

Ободович О.М.¹, докт. техн. наук, проф., ORCID: 0000-0001-7213-3118,
Целень Б.Я.¹, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0001-5213-0219,
Степанова О.Є.¹, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-7179-7251,
Недбайло А.Є.¹, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-8590-5823,
Булій Ю.В.^{1,2}, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-1905-3706

¹ **Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України**
вул. Марії Капніст, 2а, 03057 Київ, Україна, e-mail: tdsittf@ukr.net

² **Національний університет харчових технологій**
вул. Володимирська, 68, 01601 Київ, Україна, e-mail: yvbulyi@gmail.com

Технологія та обладнання для одержання універсального водовугільного палива

Анотація. Виконано аналіз способів та обладнання для одержання водовугільного палива. Метою роботи є розробка технології та тепломасообмінного обладнання для виготовлення універсального водовугільного палива, придатного для застосування в усіх типах тепло-енергетичних установок. Розроблено тепломасообмінне обладнання, за допомогою якого можна одержати універсальне водовугільне паливо з максимальним розміром частинок вугілля не більше 3 мкм. Застосування водовугільних суспензій як енергетичного палива дає можливість підвищити техніко-економічні та екологічні показники енергетичних установок. Так, під час переведення котла на водовугільне паливо вдалося збільшити його теплову потужність від 13,2 до 21,1 МВт при заміні 70 % вугілля водовугільним паливом. На даний час існують різні способи та обладнання для приготування водовугільного палива, однак усі вони мають певні недоліки. Основними недоліками способів одержання водовугільних палив є багатостадійність, металоємність, великі енергетичні витрати, здійснення фізико-механічної та дорогої хімічної демінералізації вугілля тощо. Також недоліком є обмежена частота гідроударних імпульсів при обробці за один цикл, недостатня при приготуванні висококонцентрованих суспензій, які відповідають вимогам до рідкого композиційного палива, призначеного для прямого спалювання. З метою підвищення якості одержуваних суспензій за рахунок більш ефективного подрібнення та збільшення кількості її твердої складової було розроблено тепломасообмінне обладнання, за допомогою якого можна одержати універсальне водовугільне паливо для спалювання в котлах, печах, різноманітному теплоенергетичному обладнанні, двигунах внутрішнього згоряння та ін. Як тепломасообмінне обладнання були використані роторно-пульсаційні апарати, що працюють за методом дискретно-імпульсного введення енергії. *Бібл. 18, рис. 4, табл. 3.*

Ключові слова: водовугільне паливо, роторно-пульсаційний апарат, дискретно-імпульсне введення енергії, тепломасообмінне обладнання, композиційне паливо.

Актуальність

Водовугільне паливо (ВВП) — вид палива, що одержується шляхом штучного обводнення дрібнорозмеленого вугілля із вмістом твердої фракції від 45 до 75 %. ВВП, приготовані з вугілля будь-яких марок або їх комбінацій, в окремих випадках із включенням до складу хімічних добавок — поверхнево-активних речовин (ПАР)

та пластифікаторів, мають прийнятну в'язкість (плинність), що обумовлено вимогами при трубопроводному транспортуванні, русі в паливному тракті та пальниковому пристрої, високому ступені агрегативної та седиментаційної стійкості при зберіганні в акумулюючих ємностях для створення нормованого запасу палива на місці виробництва та застосування, а також достатньою теплоцінністю та реакційною активністю

для стійкого прямого спалювання в топці [1, 2].

Застосування ВВП як енергетичного палива дає можливість підвищити техніко-економічні та екологічні показники енергетичних установок. Так, під час переведення на ВВП котла КВТС-20 вдалося збільшити його теплову потужність від 13,2 до 21,1 МВт при заміні 70 % вугілля водовугільним паливом. При цьому ККД котла підвищився від 78,8 до 84,0 %.

Внаслідок використання ВВП зафіксовано зниження виходу шлаку в 1,7–2,0 рази та зменшення горючих у шлаку з 35–38 до 13–15 % [3–5].

Основним недоліком будь-якого ВВП є те, що воно придатне для спалювання в певному типі печей, котлів або двигунів. За наявності в будь-якому господарстві різноманітної паливоспоживальної техніки необхідно забезпечити цілу низку різних за складом та структурою типів палива, кожне з яких потрібно завозити та зберігати окремо у спеціальній тарі. Виходом із такої ситуації могло б стати створення універсального водовугільного палива (УВВП), придатного для усіх типів енергетичних установок, які є в окремому господарстві, селищі, районі тощо.

Зазначене УВВП має відповідати низці вимог.

Це паливо має бути універсальним, тобто придатним до застосування на будь-якій енергетичній установці, що пов'язано в основному з граничним розміром частинок та їх середнім розміром. Наприклад, для безпечної та довготривалої роботи газових турбін обумовлюється граничний розмір частинок, який не має перевищувати 30 мкм. Для двигунів внутрішнього згоряння вимоги до граничного розміру частинок ще на порядок вищі — не більше 3 мкм [6].

Паливо має бути екологічно чистим, щоб не тільки при його виробництві не виникали додаткові проблеми з утилізацією шкідливих відходів виробництва, але також при спалюванні палива не виникало додаткове екологічне навантаження на природу та людину.

Зазначене паливо має тривалий час зберігати свій гомогенний стан, що дає можливість його попередньо накопичувати, наприклад, на період пікових навантажень. Експлуатація більш продуктивного обладнання для окремого населеного пункту при цьому малорентабельна або збиткова через його тривалі простой поза опалювальним сезоном.

Собівартість одержання УВВП має бути такою, щоб його одержання на місці було економічно доцільним та не вимагало додаткових енерге-

тичних потужностей, необхідних для виробництва палива.

Застосування УВВП не має спричиняти появу будь-яких дефектів, наприклад, нагарів, прогарів тощо, негативно позначатися на ресурсі енергетичних установок та двигунів внутрішнього згоряння.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Відомий спосіб одержання ВВП [7], що дає можливість одержувати високодемінералізоване, екологічно чисте паливо на основі викопного вугілля, яке може бути використане для спалювання в котлах, печах та інших установках об'єктів теплоенергетики при заміні ним газу та мазуту. Спосіб включає дроблення вугілля, його мокре подрібнення з одержанням водовугільної суспензії, ступінчасту демінералізацію подрібненого до крупності 3 мм вугілля для зниження його зольності з утворенням первинного та вторинного продуктів, подальшу їх демінералізацію та зневоднення до вологості 40 %, після чого вводять пластифікатор і стабілізатор та використовують для заміни газу та мазуту.

Основними недоліками відомого способу є дуже складний і багатостадійний технологічний ланцюг одержання водовугільного палива, який може бути реалізований на спеціальних підприємствах при ТЕЦ, які, маючи надлишок теплової енергії, можуть мати можливість провадження численних енерговитратних технологічних процесів.

Відомий інший спосіб одержання ВВП [8], що дає можливість одержувати високодемінералізоване, екологічно чисте паливо на основі викопного вугілля. Спосіб включає дроблення вугілля, його мокре подрібнення, фізико-механічну демінералізацію вугілля для зниження його зольності та гомогенізацію. Дроблення вугілля здійснюють до крупності 3 мм, виконують його фізико-механічну демінералізацію, потім подрібнюють мокрим способом до крупності 0,2–0,3 мм та здійснюють його хімічну демінералізацію неорганічною кислотою з одержанням реакційної маси, з якої виділяють низькозольне подрібнене вугілля. До зневодненого до вологості 45 % подрібненого низькозольного вугілля додають воду, аміак та модифікатор реологічних властивостей та гомогенізують дисперсну паливну систему. Спосіб дасть можливість одержати глибокодемінералізоване, екологічно чисте водовугільне паливо.

Основними недоліками цього способу є необ-

хідність виконання фізико-механічної та дорогої хімічної демінералізації вугілля, а також значні теплові втрати при зневодненні демінералізованого вугілля, що може бути рентабельним лише на спеціальних підприємствах при ТЕЦ, що мають надлишок теплової енергії.

Також відомий спосіб одержання ВВП [9], що включає подрібнення вугілля в молотковій дробарці до фракції 0–10 мм, великий помел одержаної твердої складової в кавітаційному змішувачі з одночасною її демінералізацією, тонкий помел одержаного твердого паливного продукту в кавітаційному змішувачі з водою. У кавітаційний змішувач великого помелу додають 0,005 % лужного реагенту, до 3,5 % вуглестабілізуючої добавки та воду з підтриманням пульпи турбіною змішувача у зваженому стані. Одержану суспензію направляють на гідрокласифікатор для відділення вугільних частинок розміром більше 800 мкм та мінеральних частинок, а відокремлені частинки мінералів та вугілля подають в гідроциклон для відділення частинок вугілля та повернення їх у змішувач, а мінералів у відвал. Суспензію після відділення великої фракції вугілля та мінералів направляють в диспергатор тонкого помелу з одержанням частинок твердої фази 0–250 мкм, де ще раз компоненти суспензії піддаються одночасному подрібненню та перемішуванню, з подальшим направленням суміші в ємність для накопичення та зберігання, з якої вона подається до пальників котла.

Основним недоліком даного способу є неможливість використання палива з частинками 250 мкм як універсального, тобто воно не може використовуватися в газових турбінах та двигунах внутрішнього згоряння, тому що гранично допустимий розмір часток на порядок перевищує допустимий граничний розмір 30 мкм.

Здійснені огляд та аналіз способів та обладнання для приготування ВВП свідчать про те, що не один з них з різних причин не дає можливості одержати УВВП, яке можна застосовувати для спалювання в котлах, печах, різноманітних енергетичних установках, двигунах внутрішнього згоряння тощо. Тому метою роботи є розробка технології та тепломасообмінного обладнання для виготовлення універсального водовугільного палива, придатного для застосування в усіх типах теплоенергетичних установок.

Матеріали та методи

Як тепломасообмінне обладнання були вико-

ристані роторно-пульсаційні апарати (РПА), що працюють за методом дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ).

Метод ДІВЕ передбачає створення великої кількості рівномірно розподілених у воді робочих органів або робочих елементів, які трансформують стаціонарну теплову, механічну або інші види енергії в енергетично потужні імпульси, дискретні в часі та просторі. Ударні та ультразвукові хвилі, що супроводжують ці явища, міжфазна турбулентність, акустична та гідродинамічна кавітація, проникні кумулятивні мікрострумені та вихори спричиняють на міжфазних поверхнях нестійкості типу Релея-Тейлора або Кельвіна-Гельмгольца, що призводить до інтенсифікації диспергування, значного збільшення сумарної поверхні контакту фаз та посилення процесів масо- та теплопереносу.

Механізми ДІВЕ були теоретично досліджені в роботах [10–12], а технологічні та інженерні доповнення цього метода наведені в роботах [13–16] та узагальнені в роботах [17–18].

Схема роторно-пульсаційного апарата наведена на рис. 1, а робочі органи — на рис. 2.

Роторно-пульсаційний вузол апарата склада-

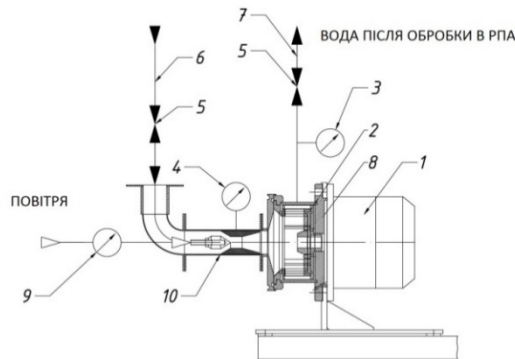


Рис. 1. Схема РПА: 1 — електродвигун; 2 — роторно-пульсаційний вузол; 3 — манометр для вимірювання тиску на виході з роторно-пульсаційного вузла; 4 — вакуумметр для вимірювання розрідження у вхідному патрубку; 5 — двоходовий кран; 6 — приймальний трубопровід; 7 — випускний трубопровід; 8 — корпус РПА; 9 — ротаметр; 10 — ежекторний вузол.

Figure 1. Scheme of the rotor-pulsation apparatus (RPA): 1 — electric motor; 2 — rotary-pulsation unit; 3 — manometer for measuring the pressure at the outlet of the rotary-pulsation assembly; 4 — vacuum gauge for measuring vacuum in the inlet pipe; 5 — two-way faucet; 6 — receiving pipeline; 7 — outlet pipeline; 8 — RPA building; 9 — rotameter; 10 — ejector unit.

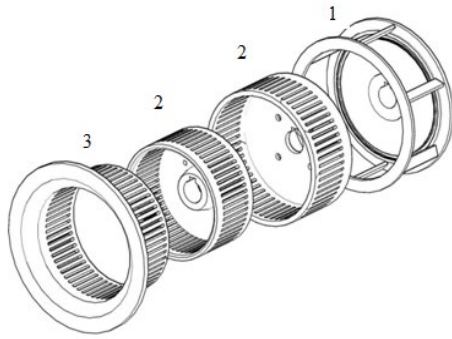


Рис. 2. Робочі органи роторно-пульсаційного вузла: 1 — робоче колесо відцентрового насоса; 2 — ротор; 3 — статор.

Figure 2. Working bodies of the rotary-pulsation unit: 1 — impeller of the centrifugal pump; 2 — rotor; 3 — stator.

ється з двох роторів, з'єднаних гвинтами в єдиний роторний вузол, статора та робочого колеса відцентрового насоса (крильчатка).

Ротори виконані з такими конструктивними параметрами: внутрішній радіус малого ротора — 56 мм; великий ротор — 66 мм; ширина прорізів — 3,0 мм; кут між прорізами в обичайках — 6°; висота прорізів — 5 мм; кількість прорізів прямокутної форми — 60; діапазон зміни зазору між роторами та статором — 0,7–0,5 мм. Конструкторські параметри ротора: радіус — 61 мм; ширина прорізів — 3,0 мм; висота прорізів — 5 мм; кількість прорізів прямокутної форми — 60.

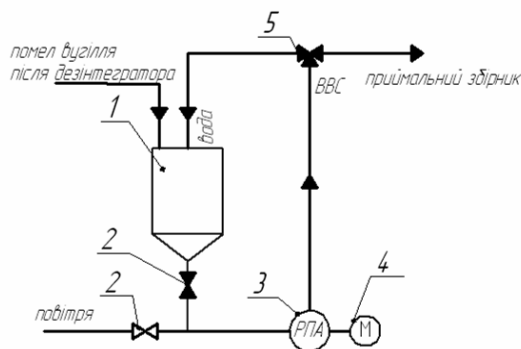


Рис. 3. Апаратурно-технологічна схема РПА: 1 — приймальний бункер; 2 — двоходовий кран; 3 — РПА; 4 — електродвигун; 5 — триходовий кран.

Figure 3. Equipment and technology scheme of the rotary-pulsation apparatus: 1 — receiving hopper; 2 — two-way faucet; 3 — RPA; 4 — electric motor; 5 — three-way faucet.

Корпус РПА змонтований на фланці корпуса електродвигуна через з'єднувальний фланець. На вільний кінець валу, що має зовнішнє різьблення, через шпонкове з'єднання встановлений роторний вузол з подальшою фіксацією гайкою. Герметичність з'єднання валу двигуна з корпусом РПА забезпечували манжетою.

Апаратурно-технологічна схема роторно-пульсаційного апарата наведена на рис. 3.

Порядок виконання досліджень

Технологія одержання УВВП полягає в наступному. Спочатку виконують подрібнення вугілля в дезінтеграторі, що містить корпус з входним та вихідним патрубками, два робочі органи у вигляді дисків протиточного обертання, на яких концентричними рядами розміщені подрібнюючі елементи, звернені один до одного, та ряди одного диска розміщені між рядами іншого. При цьому в основі входного патрубка на валу одного з дисків введений шнек, що допомагає подрібнювати вихідні матеріали будь-якої вологості. Максимальний розмір частинок вугілля після подрібнення в дезінтеграторі становить не більше 500 мкм.

На другому етапі одержання УВВП використовують РПА (див. рис. 3). Для цього в приймальний бункер РПА 1 наливають воду та додають подрібнене вугілля до вмісту твердої складової в розчині 50–70 %. Суміш перемішують у бункері пропелерною мішалкою. Потім відкривають двоходовий кран 2 та включають РПА 3, який одночасно є відцентровим насосом. Таким чином водно-вугільна суміш циркулює по контуру приймальний бункер — РПА — приймальний бункер.

При обробці водно-вугільної суміші в РПА одночасно відбуваються п'ять процесів: диспергування, розчинення, перемішування, гомогенізація, нагрівання. Проходячи крізь робочі органи РПА, суміш піддається дії механізмів, описаних вище. При обробці суміші в РПА змінювали зазор між статором та роторами від 700 до 500 мкм. Суміш обробляли за стільки циклів, щоб розмір частинок в готовій УВВП був не більше 3 мкм. Це пояснюється тим, що при такому розмірі частинок УВВП являє собою однорідну гомогенну масу, що не розширюється в часі та може використовуватися у будь-якому теплоенергетичному обладнанні.

На першому етапі досліджень брали помел вугілля після дезінтегратора (розмір частинок не

Таблиця 1. Залежність розмірів частинок УВВП від зазору між статором і роторами та кількості циклів обробки в РПА

Table 1. Dependence of the particles size of UHCF on the gap between the stator and rotors and the number of processing cycles in the RPA

Кількість циклів обробки n , од.	Максимальний розмір частинок вугілля $d_{\max}$ (мкм) при зазорі між статором та роторами (мкм)		
	700	600	500
0	500	500	500
1	450	435	420
2	430	405	375
3	265	210	160
4	110	90	75
5	55	45	30
6	30	20	15
7	17	13	9
8	14	5	3
9	10	4	3
10	9	3	2
11	9	2	2
12	9	2	2
13	9	2	1
14	9	2	1
15	8	1	1

більше 500 мкм), змішували з водою до вмісту твердої фази 50 % та оброблювали в РПА при швидкості обертання ротора 50 c^{-1} та зазору між статором і роторами 700–500 мкм за 1–15 циклів до одержання УВВП з розміром частинок не більше 3 мкм. Дані досліджень наведені у табл. 1.

Результати та їх обговорення

Одержані дані свідчать про те, що для досягнення розміру частинок УВВП 3 мкм суміш вугілля та води необхідно оброблювати в РПА протягом 8–10 циклів при зазорі між статором і роторами 500 мкм. Збільшення обробки від 10 до 15 циклів практично не впливає на розмір частинок. Підвищення зазору між статором і роторами до 700 мкм не дає можливості досягнути необхідного розміру частинок (не більше 3 мкм) навіть при обробці за 15 циклів.

Таким чином, показано, що обробку водно-вугільної суміші з вмістом твердої фази 50 % до-

цільно виконувати в РПА із зазором 500 мкм за 8–10 циклів. При цьому одержується УВВП з максимальним розміром частинок вугілля не більше 3 мкм.

Подальші дослідження виконували при обробці суміші в РПА із зазором між статором і роторами 500 мкм. При цьому вміст твердої фази у водно-вугільній суміші становив 50, 60, 70 %. Кількість циклів обробки змінювалася від 1 до 15, швидкість обертання роторів складала 50 c^{-1} . Дані експериментів наведені у табл. 2.

Зі збільшенням вмісту твердої фази в суміші зростає її в'язкість, що сприяє збільшенню енергетично потужних імпульсів, дискретних у часі та просторі, ударних та ультразвукових хвиль, акустичної та гідродинамічної кавітації. Це призводить до інтенсифікації диспергування твердої фази. Тому при вмісті твердої фази в суміші 70 % та зазорі між статором і роторами 500 мкм кількість циклів обробки до досягнення розміру частинок вугілля не більше 3 мкм становить 8 цик-

Таблиця 2. Залежність розмірів частинок УВВП від вмісту твердої фази та кількості циклів обробки в РПА

Table 2. Dependence of the particle sizes of UHCF on the speed of flow pulsations and the number of processing cycles in the RPA

Кількість циклів обробки n , од.	Максимальний розмір частинок вугілля $d_{\max}$ (мкм) при вмісті твердої фази, %		
	50	60	70
0	500	500	500
1	470	420	365
2	375	320	280
3	160	115	85
4	75	60	50
5	30	20	15
6	15	9	4
7	9	5	4
8	3	3	3
9	3	3	2
10	2	2	1
11	2	2	1
12	2	2	1
13	2	2	1
14	2	1	1
15	1	1	1

знає змін: у ній утворюються атомарний водень, перекис водню тощо. Гідродинамічна кавітаційна обробка в РПА не лише механічно руйнує вугілля, а й змінює хімічний склад поверхневих шарів вугільних частинок за рахунок реакції окислення — гідролізу у воді. Це спричиняє підвищення стабільності готової УВВП, призводить до зміни динаміки горіння та додаткового зниження викидів NO_x та CO_2 . Такий спосіб одержання УВВП покращує реологічні та седиментаційні властивості палива, знижує шкідливі викиди при горінні, впливає на параметри горіння [10].

Висновки

Вплив механізмів ДІВЕ, які здійснюються при приготуванні УВВП в РПА, та конструктивних особливостей роторно-статорного вузла призводять до механохімічної деструкції вугільних частинок з розривом хімічних зв'язків та утворенням нових поверхонь розділу фаз. Найбільш ймовірний розрив відбувається у бічних ланцюгах макромолекул вугільної речовини з утворенням вільних радикалів, що мають підвищену реакційну здатність, у тому числі по відношенню і до дисперсійного середовища (води). Активний контакт вугільних частинок з водою призводить до гідродинамічної деструкції вугілля.

Встановлено, що для приготування УВВП з розміром частинок не більше 3 мкм вугілля попередньо необхідно диспергувати в дезінтеграторі до розміру частинок 500 мкм. Після цього вугілля в кількості 70 % потрібно змішувати з водою в кількості 30 % та обробляти в РПА при швидкості обертання ротора 50 с^{-1} та зазором між статором і роторами 500 мкм за 8–10 циклів. Таким чином одержуємо універсальне водовугільне паливо, яке можна застосовувати для спалювання в котлах, печах, різноманітному теплоенергетичному обладнанні, двигунах внутрішнього згоряння та ін.

Виконаний огляд та аналіз способів та обладнання свідчать про те, що ні один з них з різних причин не дає можливості одержати УВВП з розміром частинок не більше 3 мкм, окрім запропонованого.

Список літератури

1. Макаров А.С. Перспективы развития и использования водоугольного топлива (Обзор). *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2018. № 2. С. 3–9. DOI: 10.33070/etars.2.2018.01.

2. Макарова Е.В., Савицкий Д.П., Макаров А.С., Садовский Д.Ю. Влияние технологии стабилизации на реологические свойства и стабильность водоугольных суспензий. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2016. № 3. С. 13–18.

3. Мурко В.И. Научные основы получения и эффективного применения водоугольных суспензий : Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 1999. 48 с.

4. Мурко В.И. Результаты опытно-промышленных работ по приготовлению и сжиганию водоугольного топлива на шахте «Тырганская». *Уголь*. 2002. № 12. С. 11–12.

5. Алексеев В.В., Гончар В.П., Гончар А.О., Назаренко О.В., Проценко І.О., Сезоненко О.Б., Ялтишев А.В. Потенціал використання золошлаків вугільних теплових електростанцій для виробництва альтернативних видів палива (на прикладі золошлаку Ладизинської ТЕС). *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2023. № 4. С. 31–42. DOI: 10.33070/etars.4.2023.03.

6. Пат. WO 2011/034461, С 10 L 1/32. Способ получения универсального искусственного композиционного жидкого топлива. Заявители: С.В. Луценко, К.А. Грейлих, В.А. Моисеев. Изобретатели: Ю.В. Овчинников, В.Г. Андриенко. Заяв. РСТ/RU2010/000102, 05.03.2010. Оpubл. 24.03.2011. — <https://patents.google.com/patent/WO2011034461A1/ru>

7. Пат. РФ 2178455, С 10 L 1/32. Способ получения водоугольного топлива. Г.Н. Делягин, А.П. Петраков, С.Ф. Ерохин, В.Л. Дунашева. Заяв. 2000127871/04, 09.11.2000. Оpubл. 20.01.2002. — <https://patents.google.com/patent/RU2178455C1/en?q=RU2178455>

8. Пат. РФ 2192449, С 10 L 1/32. Способ получения водоугольного топлива. А.П. Петраков, Г.Н. Делягин, С.Ф. Ерохин, Н.Н. Нестеров, Файезов Гиесидин, Асламов Ильес, Г.Н. Мухитдинов. Заяв. 2001117650/04, 29.06.2001. Оpubл. 10.11.2002. — <https://patents.google.com/patent/RU2192449C1/en?q=RU2192449>

9. Пат. РФ 2249029, С 10 L 1/32. Способ получения водоугольного топлива и технологическая линия для его осуществления. А.Д. Петраков, С.М. Радченко, О.П. Яковлев. Заяв. 2003123237/04, 23.07.2003. Оpubл. 27.03.2005. Бюл. № 9. — <https://patents.google.com/patent/RU2249029C1/en?q=RU2249029>

10. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Теоретическое обоснование принципа дискретно-импульсного ввода энергии. I. Модель динамики одиночного парового пузырька. *Промышленная теплотехника*. 1995. Т. 17, № 5. С. 3–28.

11. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Теоретическое обоснование принципа дискретно-импульсного ввода энергии. II. Исследование поведения ансамбля паровых пузырьков. *Промышленная теплотехника*. 1996. Т. 18, № 1. С. 3–20.

12. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Принципы

разработки новых энергоресурсосберегающих технологий и оборудования на основе методов дискретно-импульсного ввода энергии. *Промышленная тепло-техника*. 1997. Т. 19, № 4. С. 13–25.

13. Tselen B., Ivanytskyi G., Nedbaylo A., Radchenko N. Prospects for the use of cavitation mechanisms in order to reduce the consumption of natural water in municipal energy. *Journal of New Technologies in Environmental Science*. 2022. Vol. 6, № 2. P. 53–58. DOI: 10.53412/jntes-2022-2-1.

14. Долинский А.А., Басок Б.И., Гулый И.С., Накорчевский А.И., Шурчкова Ю.А. Дискретно-импульсный ввод энергии в технологиях. Киев : ИТТФ НАНУ, 1996. 208 с.

15. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Тепломассо

обмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах. Теплофизические основы дискретно-импульсного ввода энергии. Киев: Наукова думка, 2008. 381 с.

16. Долинский А.А. Использование принципа дискретно-импульсного ввода энергии для создания эффективных энергосберегающих технологий. *Инж.-физ. журн.* 1996. Т. 69, № 6. С. 35–43.

17. Басок Б.И., Гартвиг А.П., Коба А.Р. Оборудование для получения и обработки высоковязких дисперсных сред. *Промышленная теплотехника*. 1996. № 1. С. 50–56.

18. Накорчевский А.И., Басок Б.И., Рыжкова Т.С. Гидродинамика роторно-пульсационных аппаратов. *Инж.-физ. журн.* 2002. Т. 75, № 2. С. 58–68.

Надійшла до редакції 30.11.2023

Obodovych O.M.¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor,
ORCID: 0000-0001-7213-3118, **Tselen B.Ya.¹**, Candidate of Engineering Sciences,
ORCID: 0000-0001-5213-0219, **Stepanova O.Ye.¹**, Candidate of Engineering
Sciences, ORCID: 0000-0002-7179-7251, **Nedbailo A.Ye.¹**, Candidate
of Engineering Sciences, ORCID: 0000-0002-7179-7251, **Bulii Yu.V.^{1,2}**,
Candidate of Engineering Sciences, ORCID: 0000-0002-1905-3706

¹ *Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine*

2a, Marii Kapnist Str., 03057 Kyiv, Ukraine, e-mail: tdsittf@ukr.net

² *National University of Food Technologies*

68, Volodymyrska Str., 01601 Kyiv, Ukraine, e-mail: yvbulyi@gmail.com

Technology and Equipment for Obtaining of Universal Hydrocarbon Fuel

Abstract. An analysis of methods and equipment for obtaining hydrocarbon fuel was carried out. The purpose of the work is the development of technology and heat-mass exchange equipment for the production of universal hydrocarbon fuel, suitable for use in all types of thermal power plants. Heat and mass exchange equipment has been developed, with the help of which it is possible to obtain universal hydrocarbon fuel with a maximum size of coal particles no larger than 3 microns. The use of water-coal suspensions as an energy fuel allows to increase the technical, economic and environmental indicators of power plants. Thus, during the transition to coal-hydrogen fuel, it was possible to increase its thermal capacity from 13.2 to 21.1 MW when 70 % of coal was replaced by coal-hydrogen fuel. Currently, there are various methods and equipment for the preparation of hydrocarbon fuel. However, they all have certain drawbacks. The main disadvantages of the methods of obtaining hydro-coal fuels are multi-stage, metal-intensive, high energy costs, carrying out physico-mechanical and expensive chemical demineralization of coal, etc. Also, the disadvantages are the limited frequency of

hydraulic shock pulses during processing in one cycle, which is insufficient when preparing highly concentrated suspensions that meet the requirements for liquid composite fuel intended for direct combustion. In order to improve the quality of the resulting suspension due to more effective grinding and increasing the amount of its solid component, heat and mass exchange equipment was developed, which can be used to obtain universal hydrocarbon fuel for burning in boilers, furnaces, various thermal power equipment, internal combustion engines, etc. As heat and mass exchange equipment, rotary pulsation devices operating according to the method of discrete-pulse energy input were used. *Bibl. 18, Fig. 4, Tab. 3.*

Keywords: water pouring suspension, rotor-pulsation device, discrete-pulse energy input, heat and mass exchange equipment, composite fuel.

References

1. Makarov, A.S. (2018). Perspektivy razvitiya i ispol'zovaniya vodougol'nogo topliva (Obzor). [Prospects for the development and use of water-cooled fuel (Review)]. *Energotekhnologii i resursoberezhenie*. No. 2. pp. 3–9. DOI: 10.33070/etars.2.2018.01. (Rus.)
2. Makarova, K.V., Savitskiy, D.P., Makarov, A.S., Sadovskiy, D.Yu. (2016). Vliyaniye tekhnologii stabilizatsii na reologicheskiye svoystva i stabil'nost' vodougol'nykh suspenziy. [Stabilization technologies on rheological properties and stability of coal-water suspensions]. *Energotekhnologii i resursoberezhenie*. No. 3. pp. 13–18. — <https://etars-journal.org/index.php/journal/article/view/177> (Rus.)
3. Murko, V.I. (1999). Nauchnyye osnovy polucheniya i effektivnogo primeneniya vodougol'nykh suspenziy. [Scientific basis for the production and effective use of water-coal suspensions] : Abstract of Dissertation ... Doctor of Technical Sciences. Moscow. 48 p. (Rus.)
4. Murko, V.I. (2002). [The results of pilot work on the preparation and combustion of coal-water fuel at the mine "Tyrganskaya"]. *UGOL*. No. 12. pp. 11–12. (Rus.)
5. Aleksyeyenko, V.V., Gonchar, V.P., Gonchar, A.O., Nazarenko, O.V., Protsenko, I.O., Sezenenko, O.B., Yaltyshev, A.V. (2023). Potentsial vykorystannya zoloshlakiv vuhil'nykh teplovykh elektrostantsiy dlya vyrobnytstva al'ternatyvnykh vydiv palyva (na prykladi zoloshlaku Ladyzhyn's'koyi TES). [Potential for the use of ash and slag from coal-fired thermal power plants for production of alternative fuels (on the example of ash and slag from Ladyzhyn'ska thermal power plant)]. *Energotekhnologii ta resursoberezhennya*. No. 4. pp. 31–42. DOI: 10.33070/etars.4.2023.03. (Ukr.)
6. Pat. WO 2011/034461, C 10 L 1/32. (2011). [Process for producing a universal synthetic composite liquid fuel]. Applicants: S.V. Lutsenko, K.A. Greulich, V.A. Moiseev. Inventors: Yu.V. Ovchinnikov, V.G. Andrienko. Appl. PCT/RU2010/000102, 05.03.2010. Publ. 24.03.2011. — <https://patents.google.com/patent/WO2011034461A1/ru> (Rus.)
7. Pat. RU 2178455, C 10 L 1/32. (2002). [Method for producing coal-water fuel]. G.N. Delyagin, A.P. Petrakov, S.F. Erokhin, V.L. Dunyasheva. Appl. 2000127871/04, 09.11.2000. Publ. 20.01.2002. — <https://patents.google.com/patent/RU2178455C1/en?qoq=RU2178455> (Rus.)
8. Pat. RU 2192449, C 10 L 1/32. (2002). [Method for producing coal-water fuel]. A.P. Petrakov, G.N. Delyagin, S.F. Erokhin, N.N. Nesterov, Fayezyov Giesidin, Aslamov Ilyes, G.N. Mukhitdinov. Appl. 2001117650/04, 29.06.2001. Publ. 10.11.2002. — <https://patents.google.com/patent/RU2192449C1/en?qoq=RU2192449> (Rus.)
9. Pat. RU 2249029, C 10 L 1/32. (2005). [Method for producing coal-water fuel and technological line for its implementation]. A.D. Petrakov, S.M. Radchenko, O.P. Yakovlev. Appl. 2003123237/04, 23.07.2003. Publ. 27.03.2005. Bull. No. 9. — <https://patents.google.com/patent/RU2249029C1/en?qoq=RU2249029> (Rus.)
10. Dolinskiy, A.A., Ivanitskiy, G.K. (1995). Teoreticheskoye obosnovaniye printsipa diskretno-impul'snogo vvoda energii. I. Model' dinamiki odinochnogo parovogo puzyr'ka. [Theoretical substantiation of the principle of discrete-pulse input of energy. I. Model of the dynamics of a single vapor bubble]. *Promyshlennaya teplotekhnika. [Industrial heating technology]*. 17 (5). pp. 3–28. (Rus.)
11. Dolinskiy, A.A., Ivanitskiy, G.K. (1996). Teoreticheskoye obosnovaniye printsipa diskretno-impul'snogo vvoda energii. II. Issledovaniye povedeniya ansamblya parovykh puzyr'kov. [Theoretical substantiation of the principle of discrete-pulse input of energy. II. Investigation of the Behavior of an Ensemble of Vapor Bubbles]. *Promyshlennaya teplotekhnika. [Industrial heating technology]*. 18 (1). pp. 3–20. (Rus.)
12. Dolinskiy, A.A., Ivanitskiy, G.K. (1997). Printsipy razrabotki novykh energoresursoberegayushchikh tekhnologiy i oborudovaniya na osnove metodov diskretno-impul'snogo vvoda energii. [Principles for the development of new energy-saving technologies and equipment based on the methods of discrete-pulse energy input]. *Promyshlennaya teplotekhnika. [Industrial heating technology]*. 19 (4). pp. 13–25. (Rus.)
13. Tselen B., Ivanytskyi G., Nedbaylo A., Radchenko N. (2022). Prospects for the use of cavitation mechanisms in order to reduce the consumption of natural water in municipal energy. *Journal of New Technologies in Environmental Science*. 6 (2). pp. 53–58. DOI: 10.53412/jntes-2022-2-1.

14. Dolinskiy, A.A., Basok, B.I., Gulyy, I.S., Nakorchevskiy, A.I., Shurchkova, Yu.A. (1996). Diskretno-impul'snyy vvod energii v tekhnologiyakh. [Discrete-pulse input of energy in technologies]. Kyiv : ITTF NASU. 208 p. (Rus.)
15. Dolinskiy, A.A., Ivanitskiy, G.K. (2008). Teplo-massoobmen i gidrodinamika v parozhidkostnykh dispersnykh sredakh. Teplofizicheskiye osnovy diskretno-impul'snogo vvoda energii. [Heat and mass transfer and hydrodynamics in vapor-liquid dispersed media. Thermophysical foundations of discrete-pulse energy input]. Kyiv : Naukova Dumka. 381 p. (Rus.)
16. Dolinskiy, A.A. (1996). Ispol'zovaniye printsipa diskretno-impul'snogo vvoda energii dlya sozdaniya effektivnykh energosberegayushchikh tekhnologiy. [Using the principle of discrete-pulse energy input to create efficient energy saving technologies]. *Inzhenerno-fisichniy Zhurnal*. 69 (6). pp. 35–43. (Rus.)
17. Basok, B.I., Gartvig, A.P., Koba, A.R. (1996). Oborudovaniye dlya polucheniya i obrabotki vysokovyazkikh dispersnykh sred. [Equipment for the production and processing of highly viscous dispersed media]. *Promyshlennaya teplotekhnika. [Industrial heating technology]*. No. 1. pp. 50–56. (Rus.)
18. Nakorchevskiy, A.I., Basok, B.I., Ryzhkova, T.S. (2002). Gidrodinamika rotorno-pul'satsionnykh apparatov [Hydrodynamics of rotary-pulsation devices]. *Inzhenerno-fisichniy Zhurnal*. 75 (2). pp. 58–68. (Rus.)

Received November 30, 2023