УДК 662.995:662.61

А. А. Халатов, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, завідувач відділу високотемпературної термогазодинаміки Інституту технічної теплофізики НАНУ
Н. В. Костенко, доктор технічних наук, старший науковий співробітник відділу високотемпературної термогазодинаміки Інституту технічної теплофізики НАНУ
О. В. Шіхабутінова, науковий співробітник відділу високотемпературної термогазодинаміки Інституту технічної теплофізики НАНУ

ВОДОВУГІЛЬНЕ ПАЛИВО В ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ. СУЧАСНИЙ СТАН І ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ

Дається огляд застосування водовугільного палива в теплоенергетиці та житлово-комунальному секторі. Розглянуто основні властивості такого палива, його виробництва і застосування. Сформульовано пропозиції щодо використання водовугільного палива в Україні.

Дан обзор применения водоугольного топлива в теплоэнергетике и жилищно-коммунальном секторе. Рассмотрены основные свойства этого топлива, его производства и применения. Сформулированы предложения по использованию водоугольного топлива в Украине.

The brief survey of the coal-water fuel application in the thermal engineering and municipal-housing heating services is given. The main fuels properties, combustion process specific features are presented along with production and application of the coal-water fuel. Some proposals are given to apply the coal-water fuel in the Ukraine.

Ключові слова. Водовугільне паливо (ВВП), паливно-енергетичний комплекс України, кульові і стрижневі млини, активація подрібнення, кавітаційно-вихрова технологія.

Вступ. Україна споживає близько 80 млрд м^3 природного газу на рік, при цьому до 45 % споживаного газу припадає на промисловість і комунально-побутову сферу (ЖКГ). Структура паливного балансу ЖКГ така, що газ у ньому відіграє домінуючу роль і становить майже 80 % від сумарного паливоспоживання в галузі. Загострення ситуації в паливно-енергетичному комплексі України через підвищення вартості імпортного природного газу зумовлює необхідність розширення сфери використання в теплоенергетиці власних енергоносіїв, основним з яких є вугілля. Підвищення вимог ефективності та екологічної чистоти спалювання вугілля робить усе більш доцільним використання водовугільного палива (ВВП).

Водовугільне паливо – це дисперсна система, як горюча основа в ньому використовується енергетичне та неенергетичне вугілля. Використання ВВП замість нафтопродуктів розпочалося на початку 70-х рр. минулого століття, під час світової нафтової кризи [1]. Роботи з ВВП активно проводилися в колишньому СРСР, Китаї, Японії, Швеції, США та інших країнах. Нині найбільшого розвитку ці роботи досягли в Японії та Китаї. Так, у Китаї в 2001 р. вироблялося і споживалося більше 2 млн т ВВП, у 2006 р. – вже близько 15 млн, а до 2020 р. планується довести виробництво ВВП до 100 млн т на рік [1].

© А. А. Халатов, Н. В. Костенко, О. В. Шіхабутінова, 2009

У Росії перші дослідження з проблеми водовугільного палива розпочалися ще в 50-х рр. минулого століття у ВНДІгідровугілля, КузНДІвуглезбагачення, Інституті горючих копалин. Водовугільне паливо розглядалося як реальна заміна нафтопродуктів [1]. У 70-х рр. було виконано великий обсяг досліджень з використання ВВП в енергетиці, теплоенергетиці, двигунах внутрішнього згорання, газогенераторах. У 1989 р. в м. Бєлово (Кузбас) спроектовано і введено в дію дослідно-промисловий комплекс з терміналом для приготування ВВП (шахта Інська) продуктивністю 400 тис. т на рік, трубопроводом довжиною 262 км і терміналом приймання і спалювання ВВП на ТЕЦ-5 у м. Новосибірську. Через низку причин цей промисловий експеримент, на жаль, не доведено до кінця, проте він підтвердив можливість використання водовугільного палива в енергетиці. Як основний недолік зазначено динамічну нестабільність водовугільного палива.

Постановка завдання. Водовугільне паливо – це дисперсна система "вода – тонкодисперсне вугілля – хімічні добавки", яка містить 60…70 % подрібненого вугілля розміром 45…250 мкм, 30…40 % води й 1 % поверхнево-активних речовин (ПАР), що вводяться для підвищення реакційної здатності системи "рідина – тверда фаза". ВВП отримують з вугілля різних марок: антрациту, кам'яного і бурого вугілля різної зольності, води будь-якої якості, а також високозольних відходів збагачення [2, 3]. Кількість відходів вуглезбагачення така, що з 1 млн т переробленого на збагачувальних фабриках вугілля у відвали йде паливо, достатнє для вироблення 20 МВт електроенергії. Переведення шламів у транспортабельне й технологічно зручне суспензійне водовугільне паливо дозволить отримати істотний економічний ефект і різко поліпшити

екологічну обстановку в регіонах. Якщо ж орієнтуватися на ВВП масштабно, то можна, істотно спростивши технологію вуглезбагачення і відокремивши потрібну кількість концентрату, решту прямо на збагачувальній фабриці перетворювати на водовугільне паливо, отримуючи на виході концентрат, ВВП і ніяких відходів. Об'єктивно розрахована ціна такого нового продукту влаштовує і виробників, і споживачів. Так, вартість паливної складової 1 Гкал з бурого вугілля (рис. 1) в 2,7 раза менша вартості складової з газу і в 4,8 раза – з мазуту [2].

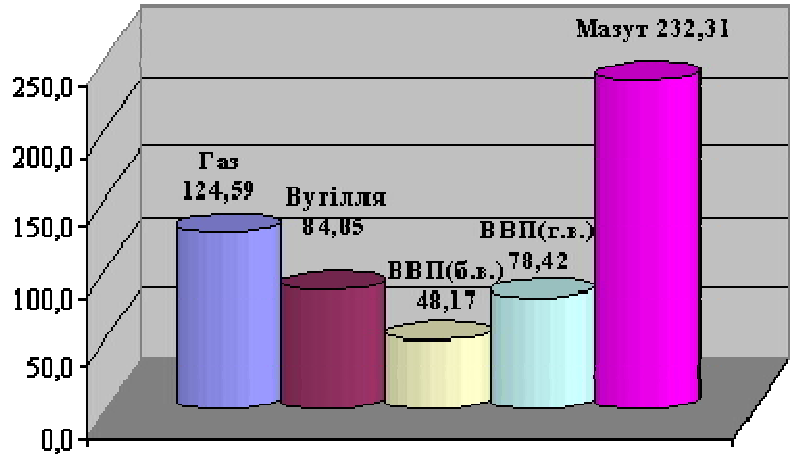

Рис. 1. Вартість паливної складової 1 Гкал у гривнях [2]

Особливістю ВВП є низькі температури займання 450…650°С, горіння – 950…1050°С і високий ступінь вигорання палива – до 99,5 %. Такі сприятливі для горіння умови істотно знижують у продуктах згорання вміст оксидів азоту (до 1,5…2 разів), вуглецю (в 2 рази) і бензопірену (в 5 разів). При однаковій теплоті згорання, зольності, мінеральному складі, початковій вологості і витратах на приготування якість ВВП характеризується його реологічними властивостями, динамічною в'язкістю і стабільністю.

Практично всім ВВП, приготовленим з різних марок вугілля, властиві екстремальні залежності в'язкості від складу і вмісту тонкої фракції і хімічних добавок [1]. Створення ВВП з максимальним вмістом твердої фази призводить до різкого збільшення його динамічної в'язкості, яка може бути зменшена введенням ПАР при оптимальному поєднанні диспергантів і стабілізаторів, а також підбором гранулометричного складу частинок. Зниження динамічної в'язкості ВВП за рахунок використання ПАР – достатньо дорогий захід, оскільки їх вартість практично порівнянна з вартістю початкової сировини (вугілля).

Стабільність ВВП – одна з найважливіших характеристик палива з огляду на його зберігання, транспортування і спалювання. Проте у разі використання водовугільного палива на місці виготовлення або близько до нього вона не має принципового значення.

Основними промисловими апаратами виробництва ВВП за традиційною технологією виступають кульові і стрижневі млини "мокрого" помелу, які характеризуються такими енерговитратами: компанія Vawri CWM Ltd (Китай) – 248 кВт·г/т; ОПУ "Бєлово-Новосибірськ" (Росія) – 192 кВт·г/т; Дослідний центр вуглевидобування (Японія) – 86 кВт·г/т. Основна причина великих витрат енергії цих млинів – низький (менше 1 %) енергетичний ККД. Другим недоліком є значний механічний і корозійний знос поверхонь млинових тіл (400…1 000 г на тонну продукції), що в 3…5 разів перевищує аналогічні характеристики при сухому подрібненні вугілля. Так, у Китаї виробництво ВВП за традиційною технологією має достатньо високу вартість – близько 25 дол. США за тонну водовугільного палива.

При існуючих схемах підготовки вугільне паливо одержують з розмірами частинок до 250 мкм незалежно від марки вугілля, що не дозволяє використовувати його замість рідкого і газоподібного палива. Оптимальні параметри ВВП з погляду технологічних властивостей і витрат енергії на приготування для котелень: вміст вугілля 62...65 %, середня теплота згорання – 21 000 кДж/кг, розмір вугільних частинок – не більше 45 мкм [3, 4]. За умови подолання цих проблем ефективніше спалювати вугілля тонкого помелу, для якого характерне збільшення реагуючої поверхні частинок вугілля. Це забезпечує швидке досягнення температури займання, більш рівномірне спалювання і, як наслідок, зменшення механічного недопалу та шкідливих викидів у довкілля. Особливий інтерес становить близьке до мазуту за реакційними властивостями вугілля тонкого помелу (менше 20 мкм).

Останні розробки показують, що найбільш перспективне й оптимальне створення двоступеневих апаратів для виробництва ВВП, де на першій стадії здійснюється "сухе" подрібнення вугілля, а на другій – кавітаційне "додрібнення", що дозволяє отримувати частинки вугілля з середнім розміром 6…10 мкм.

У 1999 р. в Новосибірському державному технічному університеті розроблено штучне композитне рідке паливо (ШКРП), для виробництва якого використано кавітаційну технологію обробки вугілля [5]. Для виробництва ВВП використовується вихідне вугілля розміром до 2,0 мм, яке подрібнюється в диспергаторі надтонкого подрібнення до середнього розміру частинок 30 мкм, змішується з водою і пластифікаторами і

надходить у пристрій кавітації. У кавітаторі відбувається доопрацювання паливної композиції, яка сприяє деструкції молекул вугілля з розпадом на окремі органічні складові з активною поверхнею частинок і великою кількістю вільних органічних радикалів з розміром частинок 6…10 мкм. Унаслідок дії кавітації вода також зазнає зміни – в ній утворюються атомарний водень, перекис водню H_2O_2, вода у збудженому стані та інші компоненти, хімічна активність яких сприяє утворенню активного дисперсного середовища, що насичене компонентами аніонного і катіонного типів.

Властивості водовугільного палива

Тонке диспергування супроводжується збільшенням зовнішніх і внутрішніх поверхонь унаслідок розблокування пор і розвитку нової пористості при виникненні мікротріщин. Об'єм мікропроміжних пор збільшується в декілька разів, тобто має місце кардинальне перетворення вихідної пористої структури. Структурні зміни викликають перетворення властивостей багатьох матеріалів, у тому числі вугілля. Відбуваються глибокі порушення тонкої структури вугільної речовини. При цьому підвищується реакційна здатність вугілля в різних процесах і хімічних реакціях.

Висока хімічна активність вугілля разом з окисленням і тенденцією до займання пояснюється утворенням вільних радикалів у результаті розриву зв'язків С – С. Зміни щільності тонкодисперсного вугілля від 1,59 до 1,39 г/см^3 підтверджують ослаблення структури внаслідок руйнування хімічних зв'язків і перебудови структури макромолекули вугілля. Одержання тонкодисперсного активованого з розвиненою поверхнею вугілля дає широкі можливості для використання цього процесу в різних енергетичних технологіях: для займання і стабільного згорання пиловугільного полум'я в енергетичних котлах, заміни паливної нафти у промислових котлах.

Глибина і характер змін складу і властивостей вугілля залежать від стадії метаморфізму, середовища, виду і технологічних параметрів подрібнення. Наведена в [6] хіміко-технологічна характеристика двох марок подрібненого вугілля показує, що при часі подрібнення 15 хв величина питомої поверхні S вугілля марки Ж досягає 13 м^2/г, а марки Т – більше 200 м^2/г. Причому це аномально високе значення S проявляється після сухого помелу, тоді як в результаті "мокрого" подрібнення S не перевищує 20 м^2/г. Допускається, що при деформуванні структури вугілля марки Т у повітрі відбувається більш інтенсивне тріщиноутворення, що й збільшує питому поверхню.

При механічних впливах у млині створюються локальні концентрації як механічної, так і теплової енергії, що призводить до розриву хімічних зв'язків. Хоча підведені імпульси збурень істотно менші енергії хімічних зв'язків, їх розрив можливий при періодичній дії з енергією 10…100 ккал/моль, що не перевищує 20 % енергій хімічного зв'язку.

Загальною тенденцією змін органічної речовини є утворення продуктів з малою органічною масою, що й викликає збільшення реакційної здатності. При високошвидкісній термохімічній підготовці вугілля тонкого помелу процес горіння відбувається в основному в кінетичній області, а константи швидкості реакції значно вищі, ніж із частинками, більшими 100 мкм.

Активація подрібнення відкриває широкі можливості застосування цього процесу в різних сферах використання вугілля. Так, активація поверхневих частинок призводить до зниження температури займання – для кавітаційного ВВП з антрациту в 2 рази, з бурого вугілля – до 300...325ºС. Реагуюча поверхня мікронних частинок вугілля приблизно в 3 рази більша, ніж в установках звичайного типу. Його хімічна активність також збільшується, що забезпечує характеристики вугільного факела, близькі до характеристик мазуту. Це забезпечує повне згорання вугілля в меншому об'ємі топки, з меншим недопалом, високою ефективністю котла і з більш низьким вмістом NO_x.

Тонкодисперсне диспергування з використанням кавітаційної технологій дозволить відмовитися або істотно зменшити кількість використання дорогих пластифікаторів. Підвищення стійкості палива забезпечується утворенням ультрадисперсної твердої фази (менше 1 мкм). Обробка рідкого палива в кавітаційних апаратах характеризується низькими витратами енергії (≈ 5 кВт·г/т).

Отримане паливо характеризується такими показниками: калорійність – до 6 000 ккал/кг; зольність – 1…1,5 %; текучість – 900...1000 спз у діапазоні температур 20...70ºС; висока стабільність. Висока калорійність палива досягається за рахунок збагачення вугілля, відмитого у флотаційних машинах, із вмістом золи до 2...3 % у твердій фазі і високій концентрації вугілля – до 70...75 %. Таке паливо характеризується підвищеною реакційною здатністю і може зберігатися без руйнування фізико-хімічної структури більше 12 місяців.

Використовувати кавітаційне водовугільне паливо (КаВВП) можна як основне паливо в парових і водогрійних котлах, а також як початкову суміш для приготування синтез-газу і синтетичних моторних палив. Особливо зручно проводити КаВВП з високовологого вугілля або зі зволожених відходів вуглезбагачення.

Дослідження показали, що вугілля різних марок, а також його відходи можуть ефективно спалюватися разом з водою в малих і великих котлах, тому ефективність його застосування в котельній техніці зростає при використанні мастиломістких або забруднених нафтопродуктами водах.

За результатами останнього стендового спалювання КаВВП на полігоні в Раменському було занесено в протокол: відзначити якість нового палива, що вигідно відрізняється від традиційних видів завдяки особливостям технології його приготування і способу спалення з газифікацією в киплячому шарі; високу ефективність процесу спалення при активній ролі води, що входить до складу КаВВП; нечутливість процесу спалювання до якості початкового вугілля та універсальність топкового пристрою відносно КаВВП з вугілля

будь-яких марок, включаючи антрацит і відходи вуглезбагачення; добру керованість і можливість автоматизації процесу спалювання КаВВП; екологічну чистоту, вибухо- і пожежобезпеку процесів зберігання, транспортування і спалювання [3, 4].

У Росії останніми роками водовугільне паливо активно використовується. Сьогодні там функціонують декілька організацій, які працюють над упровадженням водовугільного палива в теплоенергетиці і житлово-комунальному секторі. Серед них можна відзначити: НВО "Екотехніка" (Новокузнецьк), Інститут горючих копалин (Москва), Омський завод нафтовидобувного устаткування, ВАТ "Корпорація Компомаш" (Москва), НВО "Гідротрубопровід" (Москва) та ін.

В Україні роботи з використання водовугільного палива в теплоенергетиці і ЖКГ практично не проводяться. У 1970–1973 рр. на шахті ім. Абакумова (Донецьк) було побудовано промислову установку з виробництва і спалювання ВВП з кам'яновугільних шламів продуктивністю 60 000 т/рік. Але в постійну експлуатацію установку так і не введено у зв'язку з реконструкцією вуглезбагачувальної установки шахти і збільшенням зольності шламів з 30 до 50 %, на що установка не розрахована.

Як видно з виконаного аналізу, використання ВВП вигідне для теплоенергетики і гарантує істотне поліпшення екологічних показників спалювання вугілля, але має ряд недоліків технології його отримання: великі енерговитрати на подрібнення, особливо на "мокре"; значний знос поверхонь млинових тіл; необхідність уведення ПАР для підвищення реакційної здатності ВВП, тому потрібно вдосконалити технології подрібнення вугілля.

Основні тенденції розвитку технологій та установок одержання тонкодисперсних систем такі: інтенсифікація процесів диспергування; підвищення продуктивності пристроїв; підвищення якості отриманої суміші шляхом забезпечення її монодисперсності, тонкості диспергування та експлуатаційних характеристик установок.

Технологія одержання водовугільного палива

Наукове обґрунтування концепції суміщених турбулентного вихрового потоку та акустичного самозбудженого поля з різночастотними параметрами для інтенсифікації подрібнення стало основою створення вихрових установок мікронного та субмікронного диспергування твердих матеріалів з високим рівнем процесів тепломасообміну [7–10]. На цій основі в ІТТФ НАНУ розроблені нові вихрові пристрої для тонкого диспергування різних матеріалів з урахуванням їх теплофізичних, фізико-хімічних і технологічних властивостей [11–13].

З використанням вихрових пристроїв мікронного диспергування в Інституті технічної теплофізики НАН України розроблено спосіб отримання водовугільного палива на основі кавітаційно-вихрової технології. Технологія отримання ВВП грунтується на двоступеневому подрібненні вугілля: "сухе" і швидке подрібнення вугілля від 2…3 мм до 10…20 мкм здійснюється у вихровій камері, а додрібнення до 6…10 мкм – у кавітаційному апараті [14], рис. 2.

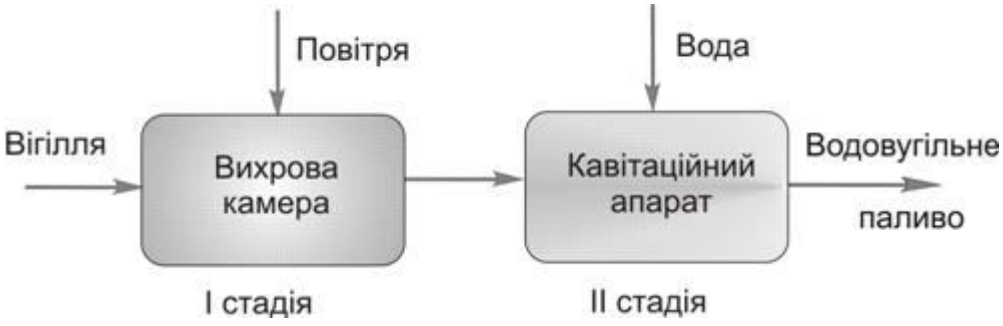

Рис. 2. Отримання ВВП за кавітаційно-вихровою технологією

Вихрова технологія мікронного подрібнення твердих матеріалів у вихровій камері з акустичними коливаннями характеризується високими експлуатаційними характеристиками. Вона успішно випробувана при використанні широкої гами продуктів у різних галузях промисловості і відображена в багатьох публікаціях [7–10, 14]. Суміщення акустичних коливань певної частоти з вихровим газовим потоком дозволяє отримувати дисперсні системи із заданим розміром частинок [7]. Джерелом акустичних коливань є самозбуджені коливання, що виникають при обтіканні резонаторів і вихрової камери потоком аеродинамічних профільованих елементів.

Схему пілотної установки вихрового подрібнення вугілля до ультратонкого стану показано на рис. 3. У вихрову акустичну камеру 6 подається потік повітря за допомогою ротаційної повітродувки ZL 350 L з дозвуковою швидкістю, достатньою для генерації звукових коливань певної інтенсивності. Спектр частот коливань у камері не залежить від швидкості повітря, але з її збільшенням зростає його інтенсивність на високих частотах. Внутрішня поверхня циліндричної камери з тангенціальними патрубками підведення повітря, що одночасно виконують роль резонаторів, забезпечує створення турбулентного вихрового потоку. Вугілля з бункера 2 за допомогою шнекового пристрою 3, який приводиться в рух електроприводом 4 з

частотним перетворювачем 5, подається в камеру диспергування 6. У потоці повітря частинки вугілля піддаються дії періодичної напруги навантаження і розвантаження. Пристрій сепарації 7 у центральній частині камери диспергування 6 не дозволяє їм залишати камеру 6, не досягнувши певної рівноважної швидкості, залежної від її поперечного перетину. Тому частинка залишається в потоці, доки змінне стиснення–розтягнення не зменшить її розмір до необхідного [7–10]. Пилогазова суміш через пристрій відведення 8 направляється в пристрій очищення повітря 9 від вугільного пилу, де тонкоподрібнене вугілля осаджується в ємкості готового продукту 10. Повітря очищається у фільтрі 11 і викидається в атмосферу. Параметри енергоносія і дисперсності суміші контролюються за допомогою контрольно-вимірювальних приладів 12. Загальний вигляд експериментальної установки вихрового акустичного диспергування вугілля наведено на рис. 4.

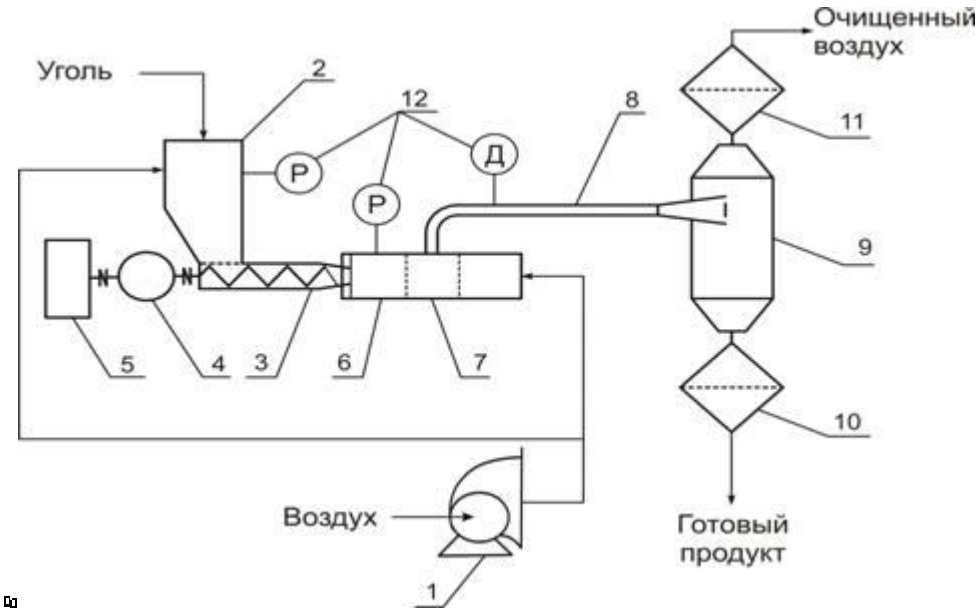

Рис. 3. Схема установки вихрового акустичного диспергування вугілля:
1 – ротаційна повітродувка; 2 – бункер вугілля; 3 – шнековий пристрій подачі вугілля;
4 – електропривод; 5 – частотний перетворювач; 6 – вихрова камера диспергування;
7 – пристрій сепарації; 8 – пристрій відведення пилогазової суміші; 9 – пристрій очищення повітря від пилу;
10 – ємкість готового продукту; 11 – фільтр для очищення повітря;
12 – контрольно-вимірювальні прилади

Рис. 4. Загальний вигляд експериментальної установки вихрового акустичного диспергування вугілля

Експериментальні дослідження подрібнення вугільних сумішей до ультратонкого складу проведено за різних значень тиску повітря, витрат вугілля, змінного перетину вихрового каналу, створеного боковою стінкою вихрової камери і сепаратором, і часу диспергування вугілля різних марок і поставки. Характеристики вугілля ГСШ, використаного в експерименті і відібраного на Ладиженській ТЕС, такі: вологість W_t^c – 9,4 %, зольність A^d – 23, кількість летючих – 40 %, нижня теплота згорання Q^r – 5069 ккал/кг. Середній розмір частинок вугілля становить 1,83 мм, розмір частинок 1…7 мм – 68 %, менше 0,1 мм – 2,2 %, тобто гранулометричний склад початкового вугілля міститься в грубодисперсній області.

Структуру тонкодисперсного вугілля, отриманого на експериментальній установці у вихровому акустичному потоці, показано на рис. 5. При тискові енергоносія P = 0,05 МПа і продуктивності 18,0 кг/г гранулометричний склад з розмірами частинок 20…30 мкм становив більше 75,8 %, більше 30 мкм – від 9,8 до 13,5 % і менше 20 мкм – до 10 % (рис. 6). При тискові енергоносія P = 0,06 МПа гранулометричний склад з розмірами частинок 10…30 мкм становив до 85 %, більше 30 мкм – від 2,2 до 7,4 % і менше 10 мкм – до 12 % (рис. 7). При тискові енергоносія P = 0,07 МПа гранулометричний склад з розмірами частинок 5…20 мкм становив до 88 %, більше 30 мкм – до 1,5 і менше 5 мкм – до 16 % (рис. 8). При діаметрі патрубка підведення енергоносія d = 45 мм витрати повітря змінювались від 143 до 258 м^3/г, швидкість – від 25 до 45 м/с. Витрати енергії на диспергування вугілля дорівнювали 32…34 Вт·г/кг. Ступінь подрібнення, який характеризує відношення початкового розміру до отриманого, становив від 73,5 до 190,9 (табл. 1).

Таблиця 1

Ступінь подрібнення вугілля при різному тискові (*P*)

№ опосередк. проб	Ступінь подрібнення		
	P = 0,05 МПа	P = 0,06 МПа	P = 0,07 МПа
1	74,54	86,59	176,25
2	73,51	91,31	188,01
3	73,54	98,67	180,26
4	74,06	98,47	181,89
5	73,67	99,89	190,86

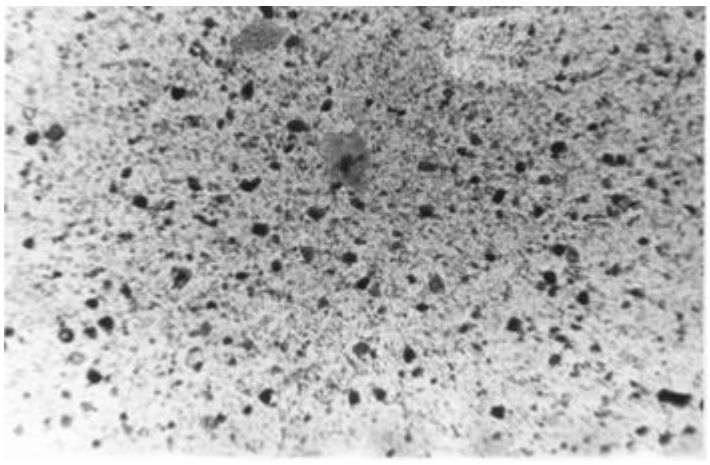

Рис. 5. Мікровугілля при збільшенні в 100$^\times$

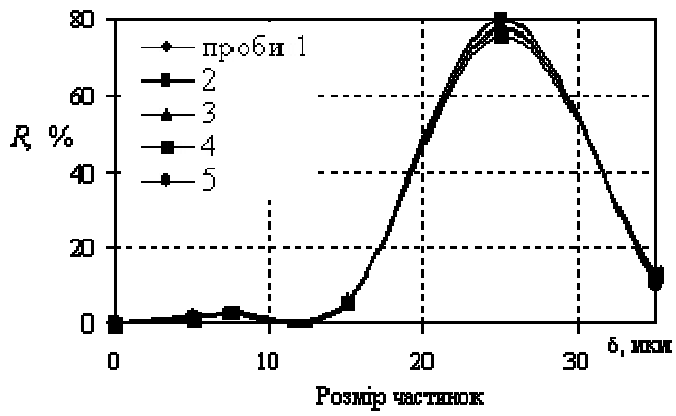

Рис. 6. Дисперговане вугілля ГСШ при тискові енергоносія P = 0,05 Мпа

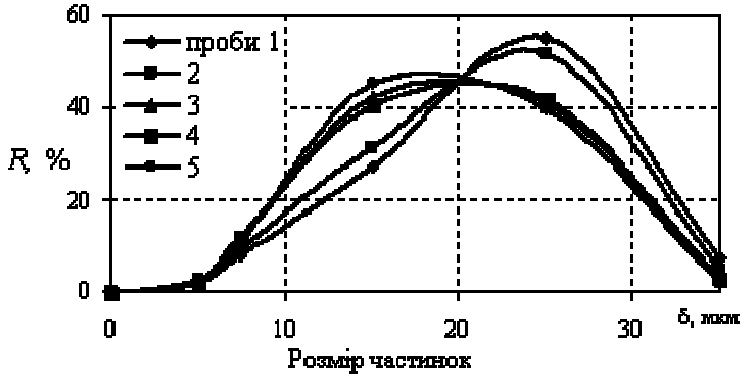

Рис. 7. Диспергованe вугілля при тискові енергоносія P = 0,06 Мпа

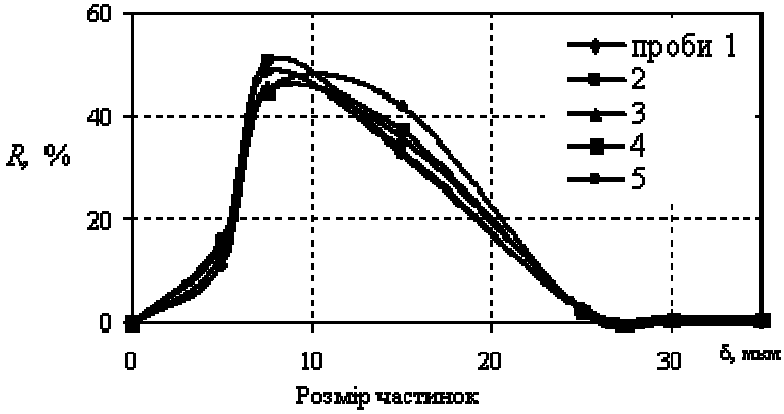

Рис. 8. Диспергованe вугілля при тискові енергоносія P = 0,07 МПа

Дослідження впливу визначальних факторів: тиску, температури, швидкості потоку у вихрових камерах – дозволили виявити сумарну дію цих факторів, які інтенсифікують процес диспергування і одержання тонкого монодисперсного вугілля з розвиненою активованою поверхнею. Експериментальне обладнання забезпечує швидкодію технологічного процесу 30…90 с і стабільність подрібнення з відбором тонкодисперсного вугілля.

При диспергуванні у вихровій акустичній установці розмір основної маси частинок становив менше 20 мкм, на противагу подрібненню у вібраційному млині ВЦМ-10М, після якого гранулометричний склад в основному дорівнював 20…50 мкм – 80 % [6].

Висновки. Водовугільне паливо в житлово-комунальному секторі та теплоенергетиці Росії нині впроваджують декілька підприємств. Серед них можна відзначити НВО “Екотехніка” (Новокузнецьк), Інститут горючих копалин (Москва), ВАТ “Корпорація Компомаш” (Москва), НВО “Гідротрубопровід” (Москва) та ін. Найбільшу активність на ринку водовугільних технологій виявляє НВО “Екотехніка” [1, 4–6]. В Україні технологію приготування водовугільного палива, яка реалізується шляхом компонування окремих блоків необхідного устаткування (системи паливоподавання, резервуарного парку, насосної і компресорної станцій), пропонує група компаній “Техінсервіс” [2]. А одержання водовугільного палива на основі новітньої ресурсоощадної вихрової та кавітаційної технологій, яка пропонується Інститутом технічної теплофізики НАНУ, з метою спалювання ВВП у котлоагрегатах житлово-комунального господарства та агропромислового комплексу з економією паливно-енергетичних ресурсів і збільшенням коефіцієнту їх корисної дії має низку переваг:

– вихрове “сухе” диспергування у вихрових акустичних камерах забезпечує високу швидкодію процесу подрібнення з отриманням вугільних частинок із середнім розміром 10…20 мкм;

– “мокре” додрібнення та змішування з водою вугільних частинок у кавітаційному апараті до 6…10 мкм;

– сумарні витрати енергії на отримання ВВП становлять не більше 50 кВт·г на тонну продукції;

– собівартість ВВП дорівнює 8…10 дол. США на тонну продукції;

– відсутність необхідності добавок пластифікаторів для підвищення стабільності суспензії ВВП;

– висока пожежобезпека.

Україна багата вугільними родовищами, і саме тому розвиток інфраструктури виробництва водовугільного палива для використання в котельних установках теплоенергетики і житлово-комунального сектора замість природного газу є виключно важливою державною проблемою. Це завдання полегшується

тим, що в Донецькому регіоні в умовах компактного проживання можуть бути створені групові пункти з виробництва ВВП, які стануть постачальниками для котелень, що розташовані на відстані 50...100 км від місця виробництва палива. Доставка ВВП автотранспортом при цьому не викликає серйозних проблем, а властивість динамічної стійкості палива при достатньо швидкому споживанні ВВП після його приготування не становить жодної перешкоди.

Насамкінець важливо зазначити, що термін окупності проектів переведення котлів на водовугільне паливо, як правило, не перевищує двох років, при цьому використання ВВП гарантує істотне поліпшення екологічних показників спалювання вугілля. Поза сумнівом, що модернізація котлів ЖКГ України з переведенням їх на водовугільне паливо може стати вельми прибутковим виробництвом, оскільки за інших переваг ще значно збільшується ККД котлоагрегату.

Література

1. Ходаков Г. С. Водоугольные суспензии в энергетике [Текст] / Г. С. Ходаков // Теплоэнергетика. – 2007. – № 1. – С. 35–45.

2. www.techinservice.com.ua.

3. Долінський А. А. Водовугільне паливо в теплоенергетиці і житлово-комунальному секторі [Текст] / А. А. Долінський, А. А. Халатов // Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації. – К. : НАНУ і British Council (UK). – Т. 2.

4. Долинский А. А. Водоугольное топливо: перспективы использования в теплоэнергетике и жилищно-коммунальном секторе [Текст] / А. А. Долинский, А. А. Халатов // Пром. теплотехника. – 2007. – Т. 29. – № 5. – С. 70–79.

5. Овчинников Ю. В. Способ производства жидкого композитного топлива / Ю. В. Овчинников, Г. В. Ноздренко, П. А. Щипников и др. – Патент на изобретение № 2151959. Приоритет от 18.06.1999.

6. Бурдуков А. П. Исследование технологии сжигания углей ультратонкого помола и технико-экономическая эффективность их применения в теплоэнергетике [Текст] / А. П. Бурдуков, В. И. Попов, В. А. Фалеев, В. Д. Федосенко, Г. В. Чернова, В. Н. Чурашев // Горение и плазмохимия. – 2006. – Т. 4. – № 4. – С. 288–299.

7. Костенко Н. В. Создание новых вихревых энергоресурсосберегающих технологий получения дисперсных систем [Текст] : дис… д-ра техн. наук: 05.14.06 / Н. В. Костенко. – К., 2006. – 386 с.

8. Костенко Н. В. Массообменные процессы и установка с интенсификацией диспергирования материалов в вихревом потоке с генерацией акустического поля [Текст] / Н. В. Костенко, Н. В. Макарец // Промышленная теплотехника. – 2000. – Т. 22. – № 5–6. – С. 108–113.

9. Костенко Н. В. Ресурсосберегающая экологически чистая технология и оборудование для получения тонкодисперсных систем [Текст] / Н. В. Костенко // Промышленная теплотехника. – 2003. – Т. 25. – № 2. – С. 47–51.

10. Костенко Н. В. Особенности создания вихревых энергосберегающих технологий и установок для получения дисперсных систем с высокоинтенсивными и совмещенными процессами [Текст] / Н. В. Костенко // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28. – № 3. – С. 90–97.

11. Н. В. Костенко (Україна). – Декл. пат. № 72154 А України, МКИ В 02С 19/06, В 02С 13/24, В 01F 5/00. Спосіб і лінія одержання тонкодисперсних матеріалів. – № 20031213001; заявл. 30.12.2003 ; опубл. 17.01.2005. – Бюл. № 1. – 5 с.

12. Н. В. Костенко (Україна). – Декл. пат. № 30397 А України, МКИ В 02С 19/06, В 02С 13/24. Спосіб вихрового диспергування і активації матеріалів і пристрій для його здійснення. – № 98031366 ; заявл. 18.03.98 ; опубл. 15.11.2000. – Бюл. № 6. – 3 с.

13. Н. В. Костенко, О. В. Шіхабутінова (Україна). – Декл. пат. № 70543 А України, МКИ В 02 С 19/06, В 07 В 4/00, 7/04. Спосіб і пристрій вихрового диспергування і аеромеханічного розподілу зернистих матеріалів / № 20031211085; заявл. 05.12.2003; опубл. 15.10.2004. – Бюл. № 10. – 4 с.

14. Костенко Н. В. Нова вихрова акустична технологія підготовки та спалення палив [Текст] / Н. В. Костенко // Електротехніка. Механіка. – 2006. – № 1. – С. 148.