

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук,
(Україна, Донецьк, Донецький національний технічний університет),
О.А. КРУТЬ, Ю.Г. СВІТЛИЙ, кандидати техн. наук
(Україна, Донецьк, Науково-виробниче об'єднання "Хаймек")

ПРИГОТУВАННЯ ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА НА ОСНОВІ БУРОГО ВУГІЛЛЯ

Постановка проблеми і стан її вивчення. Збільшення видобутку вугілля як основного на сьогоднішній день енергоносія в Україні може бути здійсненим лише шляхом корінної реконструкції старих та будівництва нових вугільних шахт, що вимагає тривалого часу та пов'язано з суттєвими капіталовкладеннями. Усунути дефіцит твердого палива в найкоротший термін з найменшими капіталовкладеннями можна за рахунок бурого вугілля, сферу використання якого в теплоенергетиці обмежено його високою вологістю та підвищеною активністю до кисню повітря (а, отже, і небезпека самозаймання), які обумовлюють недоцільність транспортування та тривалого зберігання. Усунути ці недоліки можна шляхом термообробки бурого вугілля з використанням технології "hot water drying", кінцевим продуктом якої є водовугільне паливо з теплотою спалювання більше 3400 ккал/кг. Технологія гідротермообробки "hot water drying" розроблена, зокрема, Дослідним центром з енергетики й екології (EERC) університету Північна Дакота (США). З метою опрацювання технології широкого впровадження водобуровугільного палива у велику та малу теплоенергетику України розроблено проект дослідно-промислової установки продуктивністю 147 т палива в добу.

Досвід світової практики підтвердив життєздатність технології водовугільного палива, сфера використання якого охоплює не тільки підприємства великої й малої теплоенергетики, але й теплофікаційні установки суміжних галузей, у тому числі нагрівальні й випалювальні печі, а також великі стаціонарні й судові дизелі. Водовугільне паливо може бути використане в якості основного (штатного) котлового палива, як альтернатива природному газу й рідким нафтопродуктам, для часткової заміни штатного палива з метою зниження вартості теплової й електричної енергії, а також як доспалювальне паливо для підвищення ступеня вигорання органічної маси й зниження викидів в атмосферу твердих частинок і оксидів азоту.

Вихідним продуктом для приготування водовугільного палива може бути як високоякісне малозольне вугілля й антрацити, так і високозольні відходи його збагачення. Враховуючи необхідність підвищення об'ємів використання вугілля, як основного в цей час і в недалекому майбутньому енергоносія, остання обставина набуває особливого значення у світлі пошуку додаткових джерел дешевих енергоресурсів, а також поліпшення екологічного тла густонаселених промислово розвинених регіонів.

Водовугільне паливо, приготоване на основі вугільних шламів, не має дос-
Збагачення корисних копалин, 2011. – Вип. 47(88)

Загальні питання технології збагачення

татнього енергетичного потенціалу, достатнього для використання його в якості основного котлового палива. Для цього високозольні шлами необхідно піддати глибокому збагаченню, доцільність чого треба підтвердити економічно.

Традиційно основна увага при виробництві водовугільного палива приділяється якості вихідного вугілля, його здатності до сумішоутворення й високого ступеня насичення, що ускладнює технологію приготування, обумовлює необхідність застосування дорогих хімічних добавок і, таким чином, збільшує собівартість. Таке паливо характеризується дилатантною реологією, помірною реактивністю й природною схильністю до агломерування в міру випарювання води, у результаті чого залишається зола й незгорілі частки, більші, чому у вихідному вугіллі.

До того ж додавання до високосортного вугілля великої кількості води знижує його енергетичний потенціал і, отже, основну перевагу як палива.

При впровадженні технології водовугільного палива створюється можливість максимального використання інфраструктури пиловугільних і газомазутних котлоагрегатів, мінімальної реконструкції обладнань і систем паливоподачі. Істотною перевагою ВУТ у порівнянні із твердим паливом і мазутом є його повна вибухо- і пожежобезпека, практично повна відсутність втрат при транспортуванні в цистернах і трубопроводах, екологічна чистота спалювання.

Теоретичні пророблення й експериментальні дослідження показали, що для виробництва водовугільного палива з прийнятними топковими характеристиками й стійким горінням вихідне вугілля повинно мати такі характеристики:

- рівноважна волога менше 10%;
- відношення "зв'язаний вуглець-леткі речовини" менше 1,6;
- вихід летких більше 30%;
- ступінь вільного набрякання (тенденція до агломерації) менше 3;
- температура плавлення золи якомога вище.

Буре вугілля відповідає всім цим вимогам за винятком вологості, яка й може бути знижена шляхом гідротермообробки з використанням технології "hot water drying".

Мета цієї статті – ознайомлення з результатами закордонних і вітчизняних досліджень по застосуванню технології переробки бурого вугілля "hot water drying".

Вклад основного матеріалу. НПО "Хаймек" (Донецьк) у співдружності з фірмами Williams Technologies Inc. і Coal-Water Fuel Services (США) виконані дослідження за технологією "hot water drying" на вітчизняному бурому вугіллі. Проба бурого вугілля для досліджень була відібрана на Константинівському розрізі ДХК "Олександрівугілля" і в заповнених інертним газом поліетиленових мішках, поміщених у металеві контейнери, доставлена авіапоштою в США. Дослідницькою лабораторією (Фербенкс, штат Аляска) вугілля отримане в первинному стані з вологістю на робочу масу близько 55% (рівноважна волога близько 36%).

У процесі досліджень буре вугілля пройшло повний технологічний цикл підготовки гідросуміші, термообробки й приготування водовугільного палива.

Загальні питання технології збагачення

Гідротермообробка проводилася в спеціальному реакторі при температурі від 300 до 320 °С і тиску насиченого пари протягом часу від 10 до 30 хвилин. У результаті гідротермообробки відзначене істотне поліпшення хімічних характеристик бурого вугілля, включаючи зниження змісту кисню й сірки при підвищенні енергетичного потенціалу. Рівноважна волога знизилася від 36 до 10%.

На заключному етапі отримане водовугільне паливо (ВВП) при масовій концентрації 60% без застосування хімічних добавок з теплою згоряння 3444 ккал/кг.

Розрахунок ефективності використання різних теплоносіїв електростанціями України наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Ефективність використання різних теплоносіїв електростанціями України									
Показники	Марка вугілля					Газ	Мазут	ВВП	
	Г	Д	П	А	Б			підсвічування	основне паливо
Вартість у постачальника, \$/Гкал	6,19	6,43	7,42	8,25	6,28	10,40	11,19	8,37	
Собівартість 1 кВт.год на ТЕС, центів США:									
Криворізька ТЕС	–	–	2,68	–	–	–	–	2,53	2,53
Слов'янська ТЕС	–	–	–	2,94	–	–	–	2,59	2,74
Придніпровська ТЕС	–	–	–	2,69	–	–	–	2,53	2,50
Запорізька ТЕС:									
Вугілля	2,03	–	–	–	–	–	–	2,04	2,40
Газомазутне паливо	–	–	–	–	–	–	2,73	–	2,32
Трипільська ТЕС:									
Вугілля	–	–	–	2,67	–	–	–	–	5,50
Газомазутне паливо	–	–	–	–	–	–	2,63	–	2,37
Зміївська ТЕС	–	–	–	2,82	–	–	–	2,69	2,50

Вищевикладене підтверджує технічну можливість і економічну доцільність використання водовугільного палива на теплових електростанціях у якості основного й "підсвіточного" палива.

Світові запаси бурого вугілля оцінюються в 1,3 трлн т. Світовий річний видобуток – 950 млн т. Буре вугілля використовують переважно для спалювання на теплоелектростанціях, як побутове паливо, у менших масштабах – для брикетування, газифікації, виробництва вуглелужних реагентів, гірського воску.

В Україні поклади бурого вугілля зосереджені в Дніпровському буровугільному басейні, у Закарпатті, Прикарпатті, Наддніпрянщині. У структурі балансових запасів вугілля України частка бурого вугілля становить 6,6% (2,54 млрд т на 1.01.95). Запаси бурого вугілля, зосереджені в родовищах Дніпровського басейну оцінюються в 2,2 млрд т. Найбільш перспективними є також Новодмитрівське родовище (близько 400 млн т і Сулай-Удайське (504 млн т).

Особливий інтерес являє детально розвідане Верхньодніпровське родовище бурого вугілля, сприятливі гірничо-геологічні умови якого й значні запаси енергетичного вугілля при невисокому (6,6 м³/т) коефіцієнті розкриття дозволяють уже в найближчій перспективі створити на базі ділянки потужний тепलो-

Загальні питання технології збагачення

енергетичний і хіміко-технологічний комплекси.

Родовище розташоване поблизу м. Верхньодніпровська Дніпропетровської області.

Потужність розкриву від 35,3 до 143,2 м (середня – 74,2 м).

Потужність шару від 2,0 до 28,2 м (середня 10,6 м).

Зольність вугілля на суху масу від 11 до 40% (середня 18,7 м).

Вологість вугілля від 46,0 до 65,5% (середня 51,7 %).

Вміст сірки від 0,52 до 8,95% (середнє 4,24%).

Вміст бітуму від 1,0 до 23,7% (середнє 8,3%).

Нижча теплотворна здатність 2290 ккал/кг.

Запаси понад 200 млн. т.

Основна частина родовища може бути відпрацьована відкритим способом. Для розробки родовища рекомендується застосування потужного гірничо-транспортного устаткування безперервної дії в складі транспортно-відвального комплексу для нижнього розкривного уступу й транспортного комплексу для верхнього розкривного уступу. Селективний видобуток і транспорт вугілля також повинні здійснюватися технікою безперервної дії – роторними екскаваторами й стрічковими конвеєрами з подачею від вибою до терміналу приготування водовугільного палива, який необхідно спорудити в безпосередній близькості від розрізу. Цей термінал включає вузол гідротермообробки бурого вугілля за технологією "hot water drying".

Споживачами водовугільного палива плануються сучасні пиловугільні енергоблоки теплових електростанцій, у першу чергу розташовані по р. Дніпро. Першочерговим об'єктом, у цьому плані, є Придніпровська ТЕС.

Ще одним об'єктом може бути теплоенергетичний комплекс на базі Новодмитрівського родовища, розташованого в Барвенківському районі Харківської області.

Вугільний поклад має мульдоподібну форму з розмірами в плані 2,5×4,5 км. Промислові запаси становлять близько 400 млн т.

Найбільше промислове значення мають два шари:

III2 – (основна лінза). Запаси 295 млн т.

Потужність від 2,0 до 73,8 м (середня близько 50 м).

Глибина залягання від 60 до 340 м.

Середня зольність на суху масу 24,5%.

Теплотворна здатність робочого палива 2500 ккал/кг.

IV2 – (основна пачка складної лінзи). Запаси 96 млн т.

Потужність шару від 2,0 до 15,6 м.

Глибина залягання від 50 до 230 м.

Середня зольність на суху масу 24,5%.

Теплотворна здатність робочого палива 2000 ккал/кг.

Специфічні умови родовища визначають два періоди його відпрацьовування:

Перший період тривалістю 12-15 років. Зміна коефіцієнта розкриву в процесі відпрацьовування від 11 до 6 м³/т, поступове нарощування потужності від

Загальні питання технології збагачення

2 до 10 млн т/рік і транспортування породи на зовнішні відвали. Другий період при коефіцієнті розкриття 5-4 м³/т і нижче з річною потужністю до 15 млн т.

Паралельно з будівництвом розрізу доцільне спорудження терміналу по приготуванню водовугільного палива як початкового пункту гідротранспортної системи. Альтернативний варіант транспорту – залізничні цистерни.

Споживачами палива можуть бути Слов'янська ТЕС (енергоблок №7 потужністю 800 МВт) або Зміївська ТЕС потужністю 1760 МВт.

Перехід від експериментальних досліджень на повномасштабне промислове впровадження вимагає відпрацювання технології у відповідних умовах з котлоагрегатом малої або середньої паропродуктивності. Із цією метою НПО "Хаймек" на замовлення Мінтопенерго України проведені дослідження й виконаний проект пілотної установки, основними технологічними елементами якої є підприємства холдингу "Олександріявугілля".

Постачальником вихідного продукту для приготування водовугільного палива є розріз "Константинівський", звідки для забезпечення стабільної роботи дослідно-промислової установки щодоби буде відвантажуватися 240 т бурого вугілля зольністю $A^d = 10-12\%$ при вологості на робочу масу $W_r^t = 57\%$, що забезпечить продуктивність по ВВП – 170 т/добу при масовій концентрації $Z = 60\%$.

Основні параметри поля розрізу:

– геологічні запаси, млн т	54,00;
– промислові запаси, млн т	45,78;
– проектна потужність, млн т/рік	2,1;
– марка вугілля	Б-1;
– геологічний вік	палеоген Р2;
– твердість по шкалі Мооса	1-2;
– геологічний об'єм шару розкриття, м ³	472-400
– потужність шару розкриття, м:	
максимальна	90-30
середня	70;
– вміст бітумів, %	4,0-6,0.

Таблиця 2

Технічний і елементний аналізи бурого вугілля Олександрійського родовища

Показники	Рядове буре вугілля	Буре вугілля після гідротермообробки
Технічний аналіз		
Зольність на суху масу A^d , %	7,9-40,0	18,8
Зольність на робочу масу A^r , %	4,96-25,12	11,8
Вихід летких V^{daf} , %	51,6	48,1
Зв'язаний вуглець, %	30,0	33,5
Вологість W_t^r , %	34,7-65,0	37,2
Елементний аналіз		
Вуглець, %	56,6	61,7
Водень, %	4,8	4,8
Азот, %	0,7	0,6
Сірка, %	2,52-4,73	3,9
Зола, %	18,8	18,8
Кисень, %	15,4	10,6
Вища теплота згоряння, кДж/кг (ккал/кг)	28020 (6692)	38988 (9312)

Збагачення корисних копалин, 2011. – Вип. 47(88)

Загальні питання технології збагачення

Термінал приготування водовугільного палива планується розмістити в котловому цеху №1 Олександрійська ТЕЦ.

Якісно-кількісна схема приготування водовугільного палива на основі бурого вугілля продуктивністю 170 т/добу наведена на рис. 1.

Принципова технологічна схема терміналу приготування водовугільного палива наведена на рис. 2.

Порівняльні характеристики бурого вугілля до й після гідротермообробки наведені в табл. 2.

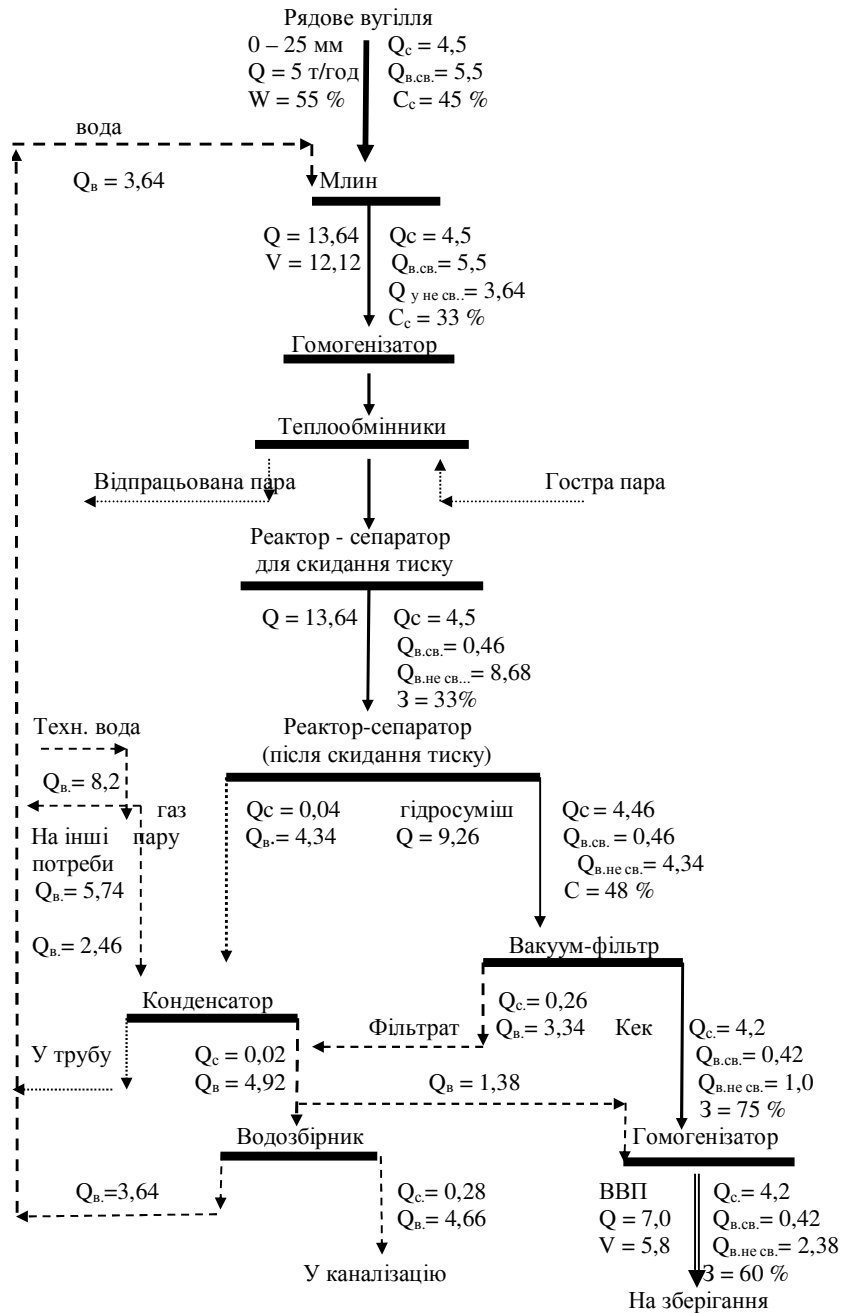


Рис. 1. Якісно-кількісна схема приготування водовугільного палива на основі бурого вугілля для продуктивності 120 т/добу. $[Q] = \text{т/год}$; $[V] = \text{м. куб./год}$

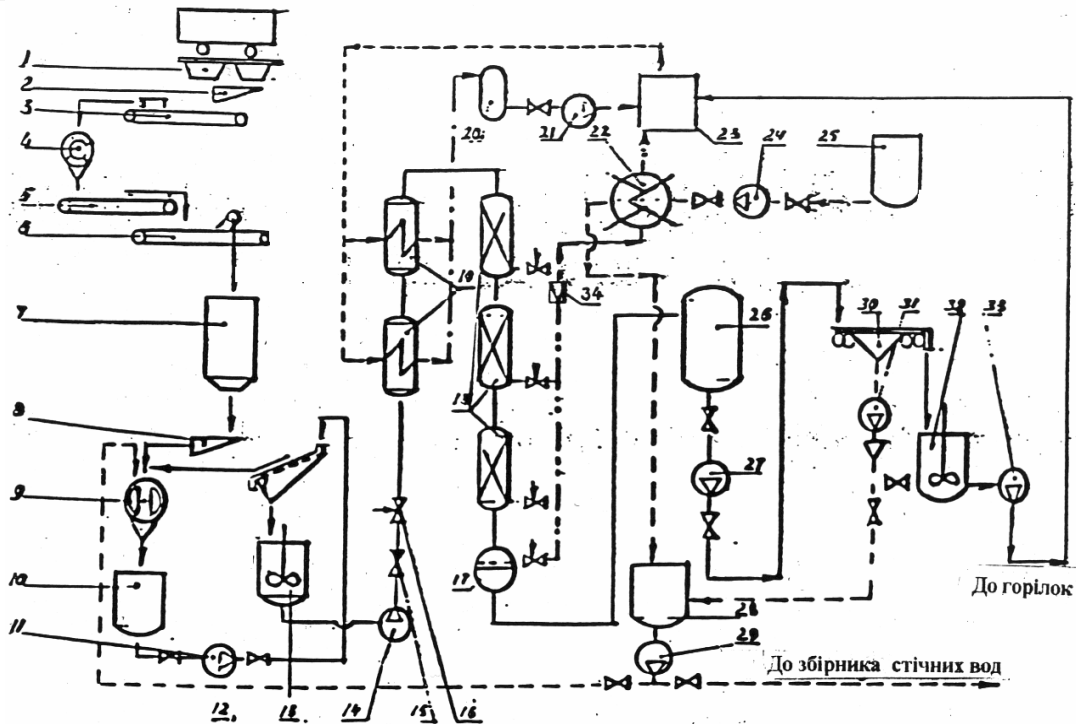


Рис. 2. Технологічна схема терміналу приготування ВВП:

- 1 – яма привізного вугілля; 2 – живильник; 3 – конвеєр з металовловлювачем;
- 4 – дробарка; 5 – конвеєр стрічковий; 6 – конвеєр з розвантажувальним візком;
- 7 – бункер дробленого вугілля; 8 – живильник-дозатор; 9 – кульовий млин;
- 10 – бак для гідросуміші; 11 – насос; 12 – гідроохот; 13 – мішалка; 14 – насос вакуумний;
- 15 – безповоротний клапан; 16 – регулювальний клапан; 17 – сепаратор; 18 – реактори;
- 19 – теплообмінники; 20 – збірник конденсату; 21 – живильний насос; 22 – конденсатор;
- 23 – котел; 24 – насос; 25 – резервуар для води; 26 – зрівнювальний резервуар;
- 27 – насос; 28 – бак для води; 29 – насос; 30 – стрічковий вакуум фільтр;
- 31 – вакуумний насос; 32 – гомогенізатор; 33 – насос готового ВВП;
- 34 – клапан скидання тиску

Проектом передбачене максимально можливе використання існуючого основного й допоміжного устаткування, інженерних мереж і комунікацій.

Собівартість водовугільного палива, включаючи вартість бурого вугілля як вихідного продукту (60 грн/т) становить 112,88 грн/т або 6,5 \$/Гкал. Планований строк будівництва – 11 місяців.

Висновки

Показана принципова можливість і перспективність застосування у вітчизняних умовах технології переробки бурого вугілля "hot water drying". Описана технологічна і якісно-кількісна схема, а також наведені розрахункові дані техніко-економічних показників технології приготування водо-вугільного палива на основі бурого вугілля.

Загальні питання технології збагачення

Список літератури

1. Hot-Water-Drying [Електронний ресурс]: <http://www.undeerc.org/demonstration/hotwater.aspx>.
2. Basta Nicholas. Moore Stephen. Gerald Ondrey. Coal Slurries: an environmental Bonus // Chemical Engineering. – 1994. – May.
3. Papayani F.A., Switly Y.G., Vlasov Y.F. Projects of Introduction of Coal-Water Fuel Technology in Ukraine // The Proceedings of 21-th International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems. – Clearwater, USA, 1996. – P. 301–303.
4. Папаяни Ф.А., Самойлик В.Г., Світлий Ю.Г. Использование бурого угля в тепло-энергетике. Стабилизационный потенциал использования угля в электроэнергетике Украины // Труды научно-методического семинара. – К., 1997. – С. 15–19.
5. Проект дослідно-промислової установки до виготовлення водовугільного палива з бурого вугілля Олександрійського родовища (пояснювальна записка). – Донецьк: АТЗТ "НВО "Хаймек", 2003. – Кн. 1. – 88 с.

© Білецький В.С., Круть О.А., Світлий Ю.Г., 2011

*Надійшла до редколегії 15.10.2011 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.І. Назімко*