



КРУТЬ

Олександр Анатолійович — доктор технічних наук, головний науковий співробітник Інституту вугільних енерготехнологій НАН України



ДУНАЄВСЬКА

Наталія Іванівна — кандидат технічних наук, в. о. директора Інституту вугільних енерготехнологій НАН України

УДК 656.50

ПРОБЛЕМИ СОЛОНОГО ВУГІЛЛЯ УКРАЇНИ

На основі оцінки сучасних технологічних процесів гірничозбагачувального виробництва розглянуто шляхи розв'язання проблеми промислового використання солоного вугілля в теплоенергетиці України. На сьогодні впровадження запропонованого підходу є найбільш економічно доцільним порівняно з іншими технологіями з підготовки, перетворення і отримання кондиційного палива з такого вугілля.

Ключові слова: солоне вугілля, граничні умови, відсаджувальний процес, енергозабезпечення.

Вступ

У західній та північній частині Українського Донбасу (Дніпропетровська, Полтавська, Луганська області) розвідано значні вугільні родовища так званого солоного вугілля. Основні з них — Новомосковське, Петриківське, Богданівське, Старобільське, розвідані запаси яких становлять близько 12 млрд т високоякісного вугілля марок Д і Г. Загалом це приблизно 25% усіх запасів низькозольного, висококалорійного палива таких марок в Україні. Крім того, високий вихід летких речовин, низька вологість, невелика глибина залягання пластів роблять цей вид вугілля перспективним твердим паливним ресурсом для вітчизняних ТЕС. Однак це можливо лише за наявності промислових, економічно привабливих технологій енергетичного використання вугілля з таких родовищ. Причина одна — домінування у вугіллі шкідливої домішки — водорозчинної солі у вигляді галіту. Підвищений вміст натрію і хлору призводить не лише до ускладнення процесу спалювання вугілля в котлоагрегатах (шлакування поверхні нагріву, значна корозія), а й до негативних екологічних наслідків (виділення токсичних сполук аж до утворення діоксинів) [1].

Отже, незважаючи на те, що запаси солоного вугілля є на всіх континентах земної кулі, зазначені вище характеристики стримують його енергетичне використання у світі.

Розвиток і сучасний стан досліджень солоного вугілля

Вивчення солоного вугілля розпочав німецький учений Г. Леман у 50-х роках минулого століття. Над проблемою працювали у США (Г. Кроунголд), Австралії (Р. Дур'є), Великій Британії (Е. Скипси), Японії (Н. Кейо) та ін. У Росії в дослідженні цього виду вугілля задіяні колективи установ Далекосхідного відділення РАН, в Україні – Український державний інститут мінеральних ресурсів, Український державний хіміко-технологічний університет (Дніпропетровськ), Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, НВО «Хаймек» (УкрНДІгідровугілля), Донецький національний технічний університет, Інститут геологічних наук НАН України та ін.

Достатньо глибоко вивчено природу солоного вугілля українського походження, взаємозв'язок сполук Na і Cl з його інгредієнтами. З метою оцінки і вибору перспективного технологічного рішення промислового використання солоного вугілля було проведено експериментальні дослідження з вивчення процесів піролізу, газифікації, зрідження, коксування вугілля, виконано пошукові роботи щодо іонного обміну та зв'язування Na і Cl в різних розчинах. За цими напрямками отримано певні позитивні результати, зафіксовано кількісно-якісні характеристики продуктів переробки вугілля [2, 3].

Пошук шляхів прямого використання (спалювання) або збагачення солоного вугілля продовжується вже не одне десятиліття в різних країнах світу. Проте й донині це питання залишається невирішеним. Промислового, великотоннажного способу збагачення вугілля з високим вмістом лужних металів поки ще немає. Перспективні для впровадження технології мають бути ефективними й економічними, вирізнятися простотою і технологічністю. На сьогодні до них можна віднести надзвичайно вузьке коло технічних рішень. На нашу думку, це лише технології збіднення солоного вугілля вугіллям звичайної якості. Слід додати, що завдяки самій природі вугілля та різноманітності

його властивостей і характеристик усі вугільні технології, які потребують підвищення якості вугілля чи перетворення його на інші продукти, є досить складними, що гальмує їх застосування. Тому проблема впровадження солоного вугілля у промисловість та енергетику існує майже в усіх країнах, де є його запаси, в тому числі й в Україні.

Як показали дослідження, в українському вугіллі мінеральна компонента (NaCl) має адсорбційне походження, тобто мінерали проникли в уже сформовані вугільні пласти з розчинів, що містилися в гірничих породах, у процесі адсорбційних впливів. Такі мінерали, приурочені до тріщин і пор у вугіллі, утворюють гнізда та стягнення. Під час подрібнення вугілля відбувається розкриття цих мінералів, що уможлиблює їх ефективне вилучення. Таке походження мінеральної компоненти в українському вугіллі визначило один з основних шляхів можливого знесолювання вугілля – спосіб промивання водою [4]. Значний обсяг наукових досліджень у цьому напрямі було виконано в зазначених вище установах України.

Результати наукових досліджень

Вивчення солоного вугілля з метою його технологічного застосування в теплоенергетиці нині триває в Інституті вугільних енерготехнологій НАН України в рамках фундаментальних досліджень за темою «Наукові основи технологій очистки та термічної переробки засоленого вугілля Західного Донбасу». Під час виконання цієї роботи проведено теоретичні та прикладні дослідження зі встановлення залежності ступеня вилучення шкідливих домішок із солоного вугілля при промиванні водою від різних параметрів водовугільної суміші та фізико-технічних впливів на неї. У загальному вигляді залежність процесу знесолення від фізико-технічних властивостей солоного вугілля і водного середовища можна представити так:

$$t_{0,4} = f(B_{\text{вих}}, k_1 D_{\text{сеп}}, k_2 C, k_3 M, k_4 T, k_5 D_{\text{ін}}),$$

де $t_{0,4}$ — час контакту вугілля з водою до моменту, коли вміст NaCl у вугіллі досягне граничного рівня, прийнятого для безпосереднього спалювання в котлоагрегатах (вміст Na_2O в золі вугілля менш ніж 0,4%); $B_{\text{вих}}$ — вихідний вміст солі у вугіллі; $D_{\text{сер}}$ — середня крупність вугільних частинок; C — концентрація твердої фази у водовугільній суміші; M — мінералізація вихідної промивальної води відносно NaCl; T — температура водовугільної суміші; $D_{\text{ін}}$ — зміна інтенсивності турбулентного потоку водовугільної суміші (ефект перемішування); $k_1 \dots k_5$ — комплексні коефіцієнти, що залежать від природних властивостей і характеристик вугілля, а також від зміни вказаних функціональних параметрів.

Додатково було проведено оцінювання залежності ступеня видалення солі від фізико-хімічних властивостей вугілля та технічних вод вугільних підприємств. У загальному вигляді їй відповідає такий вираз:

$$t = f(a_1 \text{pH}, a_2 \text{O}, a_3 p_e),$$

де pH — водневий показник води; O — ступінь окиснення вугілля; p_e — ступінь забруднення води хімічними реагентами; a — коефіцієнти.

У цілому процес видалення солі з вугілля можна описати таким виразом:

$$y = [(y_{\text{вих}} - y_0) \exp(-t/b)] + y_0,$$

де y , $y_{\text{вих}}$, y_0 — вміст домішок солі у вугіллі; t — час контакту вугілля з водним середовищем; b — параметр, що характеризує якісні показники водовугільної суміші.

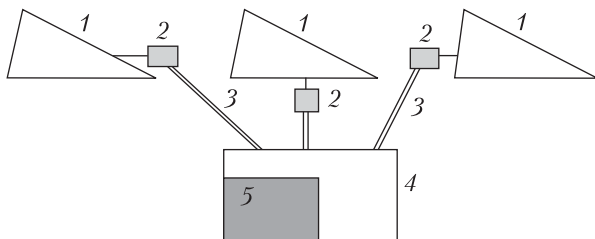
У результаті детального аналізу було з'ясовано, що технологія видалення солі на основі водного промивання має ряд жорстких вхідних граничних умов для досягнення кондиційності палива, а окремі співвідношення характеристик рядового вугілля й технічної води ускладнюють процес знесолення або роблять його взагалі неможливим. Наприклад, велика крупність вугілля збільшує необхідний час його контакту з водою, що спричинює економічну невигідність технології. Відсутність турбулентності у водовугільному середовищі, якщо різниця між швидкостями переміщення вугільної частинки і води дуже мала, також збільшує тривалість знесолення. Водночас глибоке механічне зне-

воднення вугілля після промивання, навпаки, дає позитивні показники.

Ще важливіше враховувати, що за високої концентрації твердої фази (більш як 50%) і наявності у водовугільній суміші понад третини вугільних частинок мікронних класів (менш як 0,074 мм) можливий початок зворотного процесу адсорбції іонів Na і Cl. Крім того, зворотна адсорбція може пришвидшитися, якщо в технічній воді є такі групи реагентів, як поверхнево-активні, нафтово-масляні речовини, флокулянти тощо [5]. Тому було вивчено і вперше встановлено ряд вхідних граничних умов, а також необхідних операційних проце-

Окремі параметри і вхідні граничні умови знесолення вугілля

Параметри, процес	Граничні умови	Примітки
Клас вугілля	Рядове вугілля марки Д крупністю не більше 0–13 мм	Середня крупність вугільної частинки $D_{\text{сер}} \leq 3$ мм
Концентрація вугілля (C) у водовугільній суміші	$C \leq 50\%$	Найприйнятніше співвідношення твердої і рідкої фаз Т:Р = 1:2; $C \leq 33\%$
Вихідна мінералізація води	$< 10\text{--}12$ г/л за NaCl	—
Температура водовугільної суміші	Зумовлена стандартом для цехів підприємства	Прийнятно, якщо є можливість, задіяти скидне тепло підприємства
Активізація перемішування	Швидкість водного потоку більша за швидкість вугільної частинки $v_{\text{в.п.}} > v_{\text{в.ч.}}$	Наявність турбулентних потоків
Механічне зневоднення вугілля	Робоча вологість після зневоднення $W_{\text{в}}^{\text{р}} < 25\%$	—
Питомий вміст частинок вугілля класу 0,074 мм	Не більше 32–35% за концентрації твердої фази $C \geq 50\%$	Можливий початок процесів зворотної адсорбції



Принципова схема вугільного гідромеханізованого комплексу: 1 – шахта; 2 – вузол підготовки вугілля для гідротранспортування; 3 – вуглепровід; 4 – групова збагачувальна фабрика; 5 – цех відсаджувальних машин

сів, які дозволяють досягти позитивного ефекту знесолення соляного вугілля (див. табл.).

Аналіз сучасного збагачення руд і вугілля показав, що всі зазначені технологічні умови промивання вугілля водою можна забезпечити при традиційних технологіях збагачення вугілля на вуглезбагачувальних фабриках. Тому для концептуального оцінювання було вибрано два напрями технічних рішень одержання кондиційного палива:

1) традиційне збагачення рядового вугілля (зменшення зольності) – основний процес; знесолення рядового вугілля – основний процес;

2) знесолення рядового вугілля – основний процес; традиційне збагачування – додатковий процес.

Виходячи з цих напрямів було вивчено технічні характеристики, режими роботи й параметри різних збагачувальних апаратів і машин сучасних фабрик, де для збагачення використовується водне середовище.

Принципове технічне рішення отримання кондиційного палива

Пошук і аналіз режимно-технологічних процесів таких апаратів, як концентраційні столи, відсаджувальні машини, елеватори, гвинтові сепаратори, мийні жолоби, шнекові сепаратори тощо, показав [6], що відсаджувальна машина є найбільш придатним апаратом для реалізації способу промивання соляного вугілля. Простота конструкції, режими та параметри її

роботи цілком відповідають умовам видалення мінералів солі з вугілля, а саме:

- некласифіковане відсаджування рядового вугілля класу 0–13 мм і менше;
- співвідношення твердої фази (вугілля) і рідкої (води) $T:P = 1:2$ ($C \leq 33\%$);
- наявність турбулентних потоків;
- тривалість контакту вугілля з водою може сягати 300 с;
- обов'язкове зневоднення після відсаджувальної операції;
- за потреби можливий попутний процес знезолнення вугілля.

Широкий діапазон регулювання зазначених параметрів у відсаджувальних машинах, побудова ланцюга їх взаємодії, автоматизація процесу знесолення вугілля на основі наявних приладів – солевимірювачів, дають усі підстави стверджувати, що збагачення соляного вугілля у відсаджувальних машинах може бути впроваджено без великих додаткових капітальних витрат.

Для повного досягнення поставленої мети – отримання кондиційного палива способом промивання водою – потрібне проектування гідромеханізованого підприємства або комплексу підприємств. Дві-три шахти видобувають вугілля сучасними механізованими підземними комплексами. На поверхні вугілля надходить на вузол підготовки та змішування його з технічною (шахтною) водою з концентрацією 50% і далі транспортується гідравлічним трубопровідним транспортом до групової збагачувальної фабрики на відстань до 20 км (див. рис.).

Демінералізація соляного вугілля під час транспортування в гідравлічному трубопроводі є попутним процесом [7]. За умови достатньої тривалості контакту вугілля з водою у трубопроводі (до 1 години і більше) і досягнення норми вмісту NaCl у вугіллі гідросуміш надходить на лінію зневоднення або контрольну відсаджувальну операцію. За потреби здійснюється цикл традиційного збагачення високозольного вугілля.

Природним недоліком способу промивання соляного вугілля з використанням техноло-

гічного обладнання сучасних вуглезбагачувальних фабрик є необхідність додаткового очищення (знесолення) води разом зі звичайним очищенням оборотної води. Вирішення цієї проблеми лежить у площині проектування водно-шламової схеми циркуляції оборотної води, потреби в заборі свіжої води. З цих міркувань можлива побудова лише вузлового очисного демінералізаційного комплексу для води. Відомо, що найекономічнішим способом демінералізації води є зворотний осмос. Впровадження цієї технології у світі збільшується щороку на 12–18%. Наприклад, на хімічному заводі концерну «Стирол» (м. Горлівка) термін окупності цеху очищення технологічної води методом зворотного осмосу становив трохи більше 2 років. Іншим рішенням може бути зворотне закачування води в нижні горизонти. На окремих родовищах для цього є відповідні гірничо-геологічні умови.

Компенсувати зростання собівартості вугілля (через необхідність очищення води) можуть такі чинники, як неглибоке й полого залягання вугільних пластів, а також наявність нескладних гірничо-геологічних умов.

Висновки

За результатами досліджень з демінералізації солоного вугілля в стаціонарних умовах і гідротранспортування в трубопровідних системах запропоновано промислово технологію досягнення його кондиційних якостей. На сьогодні технологія промивання вугілля водою в сучасних збагачувальних апаратах, а саме у відсаджувальних машинах, є найбільш перспективною з огляду на її простоту, гнучкість та економічність.

За результатами досліджень фізико-технічних характеристик солоного вугілля й водного середовища, їх взаємозалежностей, а також завдяки визначенню окремих граничних умов ефективності знесолення вугілля знайдено принципове рішення, яке полягає в поєднанні в один (або в окремий) технологічний процес збагачення вугілля за сіллю і традиційного збагачення за зольністю. Такий підхід є цікавим з точки зору науково-технічного рішення і заслуговує на увагу як перспективний напрям щодо подальшого вивчення, деталізації операційних параметрів, режимів і характеристик збагачення солоного вугілля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дунаєвська Н.І., Корчевой Ю.П., Майстренко О.Ю. Стан та перспективи використання українських покладів солоного вугілля в енергетиці. *Екотехнологии и ресурсосбережение*. 2002, 3: 29–33.
2. Белецкий В.С., Пожидаев С.Д., Кхелуфи А., Сергеев П.В. *Перспективы освоения соленых углей Украины*. Донецк: Донец. гос. техн. ун-т, 1998.
3. Шендрик Т.Г., Саранчук В.И. *Соленые угли*. Донецк: Східний видавничий дім, 2003.
4. Иванова А.В., Кривеча Т.А., Охотник А.К. Изучение процессов накопления щелочных металлов в углях Донбасса в связи с проблемой их промышленного использования. *Тез. VII Всесоюз. угольной конф.* Ростов-на-Дону, 1981: 380–382.
5. Круть А.А. Особенности деминерализации углей при гидротранспортировании. *Вісник інженерної академії наук України*. 2014, 2: 36–38.
6. Благов И.С., Коткин А.М., Зарубин Л.С. (ред.). *Справочник по обогащению углей*. М.: Недра, 1984.
7. Круть А.А., Свитлый Ю.Г. Исследование обессоливания угля в процессе гидротранспортирования. *Уголь Украины*. 1984, 1: 41.

Стаття надійшла 04.03.2015.

А.А. Круть, Н.И. Дунаевская

Институт угольных энерготехнологий Национальной академии наук Украины
ул. Андреевская, 19, Киев, 04070, Украина

ПРОБЛЕМЫ СОЛЕНОГО УГЛЯ УКРАИНЫ

На основе оценки современных технологических процессов горно-обогачительного производства рассмотрен путь решения проблемы производственного использования соленого угля в теплоэнергетике Украины. На сегодня внедрение предложенного подхода является наиболее экономически обоснованным по сравнению с другими технологиями по подготовке, преобразованию и получению кондиционного топлива из такого угля.

Ключевые слова: соленый уголь, граничные условия, отсадочный процесс, энергообеспечение.

O.A. Krut', N.I. Dunayevska

Coal Energy Technology Institute of National Academy of Sciences of Ukraine
19 Andriivska St., Kyiv, 04070, Ukraine

THE PROBLEMS OF HIGH CHLORINE COAL IN UKRAINE

Based on the analysis of modern technological processes of coal cleaning/washing the ways to solve the issues of industry usage of high chlorine coal in energy sector of Ukraine have been proposed. Accounting for the up-to-date developments in the above field, it is considered that proposed approach is the best economically feasible one compared to other technologies on coal handling, cleaning and production of proper coal product.

Keywords: high chlorine coal, boundary conditions, sedimentation, energy supply.