

УДК 656.50.12

Перспективи збагачення солоного вугілля Донбасу

Розглянуто розв'язання проблеми промислового використання солоного вугілля в теплоенергетиці України. Оцінено сучасний стан розвитку технологій і запропоновано економічно доцільний підхід порівняно з іншими технологіями з підготовки, перетворення і отримання кондиційного палива із солоного вугілля.

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

Контактна інформація: nina.ceti@gmail.com

Відомо, що у західній та північній частинах Українського Донбасу (Дніпропетровська, Полтавська, Луганська області) розвідано значні вугільні родовища так званого «солоного» вугілля: Новомосковське, Петриківське, Богданівське, Старобільське та ін. Про деякі властивості цих вугленосних районів і вугільних пластів йдеться в статті [1]. Розвідані запаси родовищ становлять близько 12 млрд т високоякісного вугілля марок Д і Г, тобто близько 25 % запасів низькозольного, висококалорійного палива в Україні. Високий вихід летких речовин, низька вологість, неглибоке залягання пластів вугілля вказують на нього як на перспективний твердий паливний ресурс для вітчизняних ТЕС. Але це можливо лише за наявності промислових, економічно привабливих технологій використання вугілля. Причина – домінуючою шкідливою домішкою у вугіллі є водорозчинна сіль у вигляді галіту (80 – 100 %). Підвищений вміст Na та Cl призводить до ускладнень не тільки спалювання вугілля в котлоагрегатах (шлакування поверхні нагрівання, значна їх корозія), а й до негативних екологічних наслідків (від виділення токсичних сполук до утворення діоксинів) [2].

Такі наслідки спалювання вугілля стримують його промислове використання в світі.

Першим почав вивчати солоне вугілля німецький учений Н. Лемман у 50-х роках минулого століття. Над проблемою працювали у США, Австралії, Великій Британії, Японії, Росії та в інших країнах. В Україні дослідженням цього питання займаються близько 10 наукових організацій. Достатньо глибоко вивчено природу солоного вугілля українського походження, взаємозв'язок сполук Na та Cl з інгредієнтами самого вугілля. Для вибору перспективного технологічного рішення його промислового використання проведено експерименти щодо вивчення процесів піролізу, газифікації, зрідження, коксування вугілля, а також пошукові роботи іонного обміну та зв'язування Na і Cl у різних розчинах. Дослідження дали позитивні результати, зафіксовано кількісно-якісні характеристики продуктів перероблення вугілля [3, 4].

Водночас вчені різних країн вже не одне десятиліття продовжують шукати шляхи прямого використання (спалюван-



О. А. КРУТЬ,
доктор техн. наук
(Інститут вугільних енерготехнологій НАН України)



Н. І. ДУНАЄВСЬКА,
канд. техн. наук
(Інститут вугільних енерготехнологій НАН України)

ня) або збагачення вугілля по солі. Проте і сьогодні це питання не вирішено. Промислового способу збагачення вугілля з високим вмістом лужних металів поки не розроблено. Перспективні для впровадження технології мають бути ефективними і економічними, відзначатися простотою і технологічністю. До таких технологій належить обмежене коло технічних рішень. На думку авторів, це лише рішення з розубоження солоного вугілля вугіллям звичайної якості. Завдяки природі вугілля, різноманітності його властивостей і характеристик, вугільні технології, де є потреба у підвищенні якості вугілля або перетворенні в

інші продукти, досить складні, що стримує його використання в економіці.

Тому проблема залучення солоного вугілля до промисловості та енергетики існує не тільки в Україні, а й у багатьох країнах світу.

Дослідження показали, що мінеральна компонента NaCl, яка є в українському вугіллі, має адсорбційне походження, коли мінерали проникали вже у сформовані вугільні пласти із розчинів гірничих порід у процесі адсорбційних впливів. Мінерали, приурочені до тріщин та пор у вугіллі, утворюють гнізда і стягнення. Під час подрібнення вугілля відбувається розкриття таких мінералів і з'являється можливість їх ефективного вилучення. Таке походження мінеральної компоненти в українському вугіллі визначило один з основних напрямів можливого збагачення вугілля по солі – спосіб промивання водою [5].

Результати проведених теоретичних і прикладних досліджень дали змогу встановити ряд залежностей вилучення шкідливих домішок із солоного вугілля промиванням водою від різних параметрів водовугільної суміші та фізико-технічних впливів на неї. Основні залежності процесу знесолення від фізико-технічних властивостей солоного вугілля і водного середовища у загальному вигляді можна відобразити так:

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

де $t_{0,4}$ – час контакту вугілля з водою, коли вміст NaCl у вугіллі досягне граничного рівня, який є прийнятним до безпосереднього спалювання в котлоагрегатах (Na₂O в золі вугілля менше 0,4 %);

$V_{\text{вих}}$ – 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 – k_5 – комплексні коефіцієнти, які залежать від природних властивостей і характеристик вугілля, а також зміни вказаних функціональних параметрів.

Крім цього, потребує обов'язкового оцінювання залежність видалення солі від фізико-хімічних властивостей вугілля і технічних вод вугільних підприємств:

$$t = f(a_1 pH, a_2 O, a_3 P_e),$$

де pH – водневий показник води;

O – ступінь окислення вугілля;

P_e – наявність різних груп забрудненості води хімічними реагентами;

a_1 – a_3 – коефіцієнти.

Процес видалення солі з вугілля можна подати так:

$$V = [(V_{\text{вих}} - V_0) \exp(-t/v)] + V_0,$$

де V , $V_{\text{вих}}$, V_0 – вміст домішок солі у вугіллі;

t – час контакту вугілля з водним середовищем;

v – параметр, який характеризує якісні характеристики водовугільної суміші.

Після детального аналізу науково-дослідних робіт було з'ясовано, що технологія видалення солі, яка пропонується на основі водного промивання, має ряд жорстких вхідних граничних умов щодо ефекту досягнення кондиційності палива, а окремі співвідношення характеристик рядового вугілля й технічної води ускладнюють процес знесолення або роблять його неможливим. Наприклад, збільшення крупності вугілля впливає на час його контакту з водою, внаслідок чого технологія найчастіше економічно не вигідна. Відсутність турбулентності у водовугільному середовищі, коли різниця швидкості переміщення вугільної частинки і самої води дуже мала, також збільшує час знесолення. До того ж глибоке механічне зневоднення вугілля після процесу промивання дає позитивні показники.

Ще найважливіше мати на увазі ті умови, коли при високій концентрації твердої фази (понад 50 %) і наявності більше третини у водовугільній суміші вугільних частинок мікронних класів (менше як 0,074 мм), можливий початок зворотного процесу адсорбції іонів Na і Cl. Крім цього, процес зворотної адсорбції може пришвидшитися через наявність у технічній воді відповідних груп реагентів – поверхнево-активних речовин, флокулянтів, нафтово-масляних речовин та ін. [6].

Тому було вивчено і вперше встановлено такі вхідні граничні умови, а також потрібні операційні процеси, які дають змогу досягти позитивного ефекту знесолення солоного вугілля (див. таблицю).

З метою пошуку створення альтернативних споруд, машин та апаратів спочатку було про-

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА

аналізовано сучасне збагачення руд і вугілля і виявлено, що вказані технологічні умови промивання вугілля водою створюються і при традиційних технологіях збагачення вугілля на вуглезбагачувальних фабриках на різних апаратах і технологічних операціях. Тому для концептуального оцінювання вибрали два напрями технічних рішень отримання кондиційного палива.

Перший напрям – традиційне збагачення рядового вугілля (зменшення зольності) й знесолення рядового вугілля – основні процеси на підприємстві.

Другий напрям – знесолення рядового вугілля – основний процес і традиційне збагачення – додатковий процес.

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

Пошук і аналіз режимно-технологічних процесів таких апаратів, як концентраційні столи, відсаджувальні машини, елеватори, гвинтові сепаратори, мийні жолоби, шнекові сепаратори тощо показали [7], що для промивання солоного вугілля найбільш придатна відсаджувальна машина. Простота її конструкції, режими й параметри 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 води $T : P = 1 : 2$ ($C \leq 0,33$); наявність турбулентних потоків; контакт вугілля з водою може тривати 300 с; обов'язкове зневоднення після відсаджувальної операції; за потреби можливий попутний процес знесолення вугілля.

Широкий діапазон регулювання зазначених параметрів у відсаджувальних машинах, побудова ланцюга їх взаємодії, і, що важливо, автоматизація процесу та цілковитий контроль за процесом знесолення вугілля на базі наявних приладів, наприклад солевимірвачем, дає підстави стверджувати, що збагачення вугілля по солі безумовно можна впроваджувати у відсаджувальних машинах без великих додаткових капітальних витрат.

Стовідсотковим досягненням мети – отримання кондиційного палива способом промивання водою – є проектування гідромеханізо-

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

ваного підприємства або комплексу підприємств. Дві-три шахти видобувають вугілля сучасними механізованими підземними комплексами. На поверхню воно надходить на вузол підготовки та змішування із технічною (шахтною) водою з концентрацією 50 % і далі транспортується гідравлічним трубопроводом до групової збагачувальної фабрики на від-

стань до 20 км (технологічний або промисловий трубопровідний транспорт).

Демінералізація вугілля по солі при транспортуванні у гідравлічному трубопроводі – попутний процес [8]. Під час контакту вугілля з водою у трубопроводі (до 1 год і більше) і досягнення норми вмісту NaCl у вугіллі гідросуміш надходить на лінію зневоднення або на контрольну відсаджувальну операцію. Коли необхідно, здійснюється цикл традиційного збагачення високозольного вугілля.

Природний недолік способу промивання солоного вугілля з використанням технологічного обладнання сучасних вуглезбагачувальних фабрик – потреба додаткового очищення (знесолення) води разом із звичайним очищенням оборотної води. Це можна здійснити під час проектування водно-шламової схеми циркуляції оборотної води за потреби забору свіжої. Із цих міркувань можлива побудова лише вузлового очисного демінералізаційного комплексу води. Відомо, що найекономічніший спосіб демінералізації води – зворотний осмос. Його впровадження щорічно збільшується у світі на 12–18 %.

Наприклад, в умовах хімічного заводу «Стирол» (м. Горлівка) термін окупності цеху очищення технологічної води способом зворотного осмосу становив трохи більше двох років. Інше рішення – зворотне закачування води у нижні горизонти, для чого на окремих родовищах є відповідні гірничо-геологічні умови.

Компенсувати зростання собівартості вугілля (внаслідок очищення води) можуть неглибоке та полого залягання пластів, а також наявність нескладних гірничо-геологічних умов.

Висновки. За результатами досліджень фізико-технічних характеристик солоного вугілля й водного середовища, їх взаємних залежностей, а також отримання окремих гранич-

них умов ефективності знесолення вугілля запропоновано промислову технологію досягнення його кондиційних якостей. Технологія промивання вугілля водою у сучасних збагачувальних апаратах – відсаджувальних машинах – найперспективніша щодо простоти, гнучкості та економічності. Таке науково-технічне рішення, на думку авторів, є багатообіцяльним напрямом, який потребує подальшого вивчення, деталізації операційних параметрів, режимів і характеристик збагачування вугілля по солі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Приходченко В. Ф. Перспективы использования каменных углей северных окраин Донбасса / В. Ф. Приходченко, В. С. Савчук, Д. В. Приходченко // Уголь Украины. – 2014. – № 12. – С. 47–52.
2. Дунаевська Н. І. Стан та перспективи використання українських покладів солоного вугілля в енергетиці / Н. І. Дунаевська, Ю. П. Корчевой, О. Ю. Майстренко // Экологические и ресурсосбережение. – 2002. – № 3. – С. 29–33.
3. Белецкий В. С. Перспективы освоения соленых углей Украины / В. С. Белецкий, С. Д. Пожидаев, А. Кхелуфи, П. В. Сергеев. – Донецк: ДонНТУ, 1998. – 96 с.
4. Шендрик Т. Г. Соленые угли / Т. Г. Шендрик, В. И. Саранчук. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2003. – 296 с.
5. Иванова А. В. Изучение процессов накопления щелочных металлов в углях Донбасса в связи с проблемой их промышленного использования / А. В. Иванова, Т. А. Кривеча, А. К. Охотник // Тез. VII Всесоюз. угольной конф., 1981. – Ростов-на-Дону, 1981. – С. 380–382.
6. Круть А. А. Особенности деминерализации углей при гидротранспортировании / А. А. Круть // Вісник інженерної академії наук України. – 2014. – № 2. – С. 36–38.
7. Справочник по обогащению углей: под ред. И. С. Благова, А. М. Коткина, Л. С. Зарубина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 614 с.
8. Круть А. А. Исследование обессоливания угля в процессе гидротранспортирования / А. А. Круть, Ю. Г. Свитлый // Уголь Украины. – 1984. – № 1. – С. 41.