

импорту в Україну более дешевого энергетического угля.

Такое положение может привести к закрытию шахт Украины, добывающих энергетические угли. В перспективе возможно переоборудование украинских ТЭС также на АЭС с маломодульными реакторами. Что также приведет к закрытию шахт, добывающих энергетические угли. При обоих случаях это может улучшить экологическое состояние регионов, но приведет к крупным социальным проблемам.

Все же более предпочтительный вариант, если тепловые электростанции Украины будут реконструированы на принципиально новой технической базе.

Снижение затрат на производство уранового концентрата, повышение его конкурентной способности возможно по двум направлениям: применения технологии предобогащения добытой руды непосредственно в шахте с размещением отходов в выработанном пространстве и применения автономного электроснабжения.

Одним из направлений, позволяющим повысить эффективность добычи полезных ископаемых, улучшить экологическое состояние природной среды наряду со снижением энергетических затрат в технологических процессах, является использования более дешевой электроэнергии, производимой автономно.

Список литературы

1. Капица С.П. Общая теория роста населения Земли. "Наука", М. 1999.
2. Четверик М.С., Перегудов В.В., Романенко А.В., Левицкий А.П., Удод Е.Г., Федин К.А. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития. Дионис (ФЛ-П Чернявский Д.А.), Кривой Рог: 2012.-356с.
3. Байков Н., Безмельницына, Гринкевич //Перспективы развития мировой энергетики до 2030 г. Мировая экономика и международные отношения, № 5, Май 2007.
4. Старостенко, В. И. От поверхностных структур к интегральной глубинной модели Кировоградского рудного района (Украинский щит), I / В.И. Старостенко, В. И. Казанский, Н.И. Попов и др. // Геофиз. журн. – 2010. – Т. 32. № 1. – С. 3-33.
5. Казанский, В. И. Глубинное строение и металлогения Кировоградского полиметалльного рудного района (Украинский щит): корреляция геологических и сейсмических данных / В.И. Казанский, О.Ф. Макивчук, Н.И. Попов и др. // Геология рудн. месторожд. – 2012. – Т. 54. № 1. – С. 22-48.
6. Моніторинг природного середовища після добування урану способом підземного вилуговування / В. Шумлянський, М.Макаренко, І. Колябіна [та ін.]. – К.:Логос, 2007. – 212 с.
7. Истомин, В.П. Определение режимов подземного выщелачивания при разработке уранового месторождения Тохумбет / В.П. Истомин, С.В. Скрипко // Горный журнал. – 2009. – № 4. – С.62-64.
8. К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 23, стр.659.
9. Четверик М.С. Ворон Е.А. Перспективы использования земельных ресурсов горнорудных предприятий Кривбасса для производства биотоплива. Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск, 2012. - № 3. С.71-75

Рукопись поступила в редакцию 17.02.14

УДК 553.93

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Ю.Г. СВІТЛИЙ, канд. техн. наук, доц.

Донецький національний технічний університет

ГІДРАВЛІЧНИЙ ТРАНСПОРТ СОЛОНОГО ВУГІЛЛЯ

Досліджено процес гідравлічного транспортування солоного вугілля і на основі одержаних експериментальних даних запропонована методика розрахунку критичних швидкостей і питомих втрат напору при його транспортуванні.

Ключові слова: солоне вугілля, гідравлічне транспортування, методика розрахунку.

Постановка проблеми та стан її вивчення. Проблеми переробки солоного і, як правило, малометаморфізованого вугілля, для якого характерним є підвищений до десятків відсотків вміст оксиду натрію (Na₂O) у золі, вивчають в Україні і за кордоном ряд наукових і наукововиробничих організацій [1]. вугілля такого типу розповсюджене у Європі (Німеччина, Чехія, Польща, Велика Британія, Росія, Україна), Америці (США), Азії (Казахстан, Росія), Австралії.

В Україні відомі значні поклади солоного вугілля: Новомосковське (Дніпропетровська об-

ласть) та Богданівське (Луганська область) родовища. Новомосковське родовище, яке нині активно розробляється, містить солоне вугілля з дуже високим вмістом солей (Na_2O у золі 4-16%). Нині розроблено ряд технологій, що передбачають знесолення вугілля водною промивкою (стаціонарно чи під час гідротранспортування) або його розубожування (збіднювання) перед використанням.

Розвідані запаси солоного вугілля в Україні оцінюються в 12 млрд т, 10 млрд т - в Західному Донбасі і 2 млрд т - у Північному Донбасі [2].

В Україні проблеми переробки солоного вугілля найбільш глибоко досліджені в роботах Шендрик Т.Г., Афанасенко Л.Я., Абделькріма Кхелуфі, Пожидаєва С.Д. [2-6], відомо ряд робіт з цієї проблематики за кордоном і міжнародних творчих колективів [7-9].

Питання гідравлічного транспорту солоного вугілля раніше піднімалися в роботах Світлого Ю.Г. та ін. [10].

Мета статті - викладення результатів досліджень гідравлічного транспорту солоного вугілля, який входить до технології його знесолення водною промивкою.

Викладення основного матеріалу. Найпростішим та найбільш ефективним методом знесолування вугілля, у якому 92-98 % натрію вміщено у вигляді NaCl , є механічне перемішування у чистій воді (промивка у водному середовищі), що можна здійснити одночасно (попутно) з транспортуванням його в напірному турбулентному потоці.

Дослідження в цьому напрямку було проведене у Донецькому НВО „Хаймек” на стендовій установці з трубопроводом внутрішнім діаметром 104 мм.

Як об'єкт досліджень було використано вугілля марки Д (кернові проби) зольністю на суху масу $A^c=12,8$ %, густиною $\rho_s=1380$ кг/м³. Робоча вологість вихідного вугілля $W'_i=19,7$ %, аналітична вологість $W''=9,4$ %, нижча теплота спалювання $Q'_i = 30831$ кДж/кг. Вміст Na_2O у золі - 6,4 %, у вугіллі - 0,82 %, вміст оксиду калію K_2O у золі - 0,78 %. Вихідна крупність вугілля складала 0-13 та 0-3 мм при концентрації гідросуміші $C=25$ та 50 %, відповідно.

У процесі досліджень було вивчено процес та характер демінералізації вугілля у залежності від вихідної крупності та ступеня мінералізації, концентрації гідросуміші та відстані транспортування, а також параметри і режими руху «солоного вугілля» при його гідротранспорті.

При гідравлічному транспортуванні неоднорідних полідисперсних гідросумішей з вугілля вихідною крупністю 0-13 (0-25) мм було, зокрема, зафіксовано інтенсивне зростання критичної швидкості, яке прогресувало із збільшенням концентрації.

При цьому на величину критичної швидкості впливають не лише відомі чинники, які, як правило, враховані у різного роду емпіричних залежностях, але й несуче середовище підвищеної у порівнянні з водою густини.

До уваги слід прийняти ту обставину, що більшість залежностей для визначення критичної швидкості, які розроблені нами або іншими дослідниками, у загальному випадку в достатній мірі відбивають фізичну суть процесу, враховують вплив практично всіх чинників і тому можуть бути використаними для інженерних розрахунків гідравлічного транспортування „солоного вугілля”.

Враховуючи особливості транспортуючого середовища та його гідравлічні характеристики, отримані в процесі експериментальних досліджень гідравлічного транспорту вугілля з великим вмістом лужних металів, було визначено відповідні емпіричні коефіцієнти, які дали змогу без суттєвої зміни структури існуючих залежностей використовувати їх для розрахунків параметрів транспортування у особливих випадках.

Для визначення критичних швидкостей при транспортуванні вугілля крупністю 0-13 та 0-25 мм промисловими гідротранспортними системами на відстань до 10-20 км запропоновано таку залежність

$$u_{kp} = K_{dp} \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_s}{\rho_0}} \cdot \sqrt{gD(1+aS)} \quad (1)$$

де K_{dp} - коефіцієнт, який враховує середньозважену крупність транспортованого матеріалу у середовищі підвищеної густини, величину якого можна знайти за допомогою виразу, побудованого на підставі експериментальних даних

$$K_{dp} = 1 + 0,001d_{сеп}^2; \quad (2)$$

де $d_{сеп}$ - середньозважена крупність вихідного вугілля, мм.

При транспортуванні вугілля крупністю 0-3 мм на початковій ділянці магістрального гідро-транспорту критичну швидкість можна скорегувати коефіцієнтом K_{Sp} (табл. 1), який враховує вплив концентрації гідросуміші з підвищеною густиною несучого середовища, та визначити за допомогою залежності

$$u_{kp} = K_{Sp} \sqrt[3]{\frac{\rho_s}{\rho_0}} \cdot \sqrt{g \cdot D \cdot (1 + aS)}. \quad (3)$$

Таблиця 1

Величина коефіцієнта K_{Sp}

$S, \%$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
K_{Sp}	0,77	0,92	0,98	1,00	0,97	0,94	0,90	0,88	0,87	0,86

Зі збільшенням відстані транспортування відбувається збільшення вмісту у гідросуміші найдрібніших (мікронних) класів вугілля. Якщо у вихідному вугіллі вихід класу 0,074 мм склав 17-26 %, то у кінцевому продукті транспортування ця величина дорівнювала 27-30 %.

Відповідно до цього в процесі експериментів спостерігали часткову зміну структури потоку та відповідну зміну режиму течії.

Після транспортування на 75-80 км вугілля з вихідною крупністю 0-3 мм в ньому залишилося не більше 30 % частинок крупніше 1 мм.

Таким чином, поєднання таких чинників, як суттєве зменшення вмісту у гідросуміші частинок крупністю більше 1 мм при збільшенні вмісту мікронних частинок та збільшення несучої здатності потоку внаслідок насичення солями приводило до зниження дії гравітаційних сил у процесі зависання, що знайшло відображення у формулі для визначення критичної швидкості

$$u_{kp} = K_{Sp} \sqrt{g \cdot D \cdot (1 + aS)}. \quad (4)$$

В основу залежностей (2), (3) та (4) покладено формули, призначені для визначення параметрів гідравлічного транспортування вугілля різної крупності та густини, скореговані на підставі результатів експериментальних досліджень з урахуванням якісних змін несучого середовища.

Для визначення питомих гідравлічних опорів при транспортуванні „солоного вугілля” крупністю 0-3 мм по трубопроводах магістральних гідротранспортних систем запропоновано таку залежність

$$i_{cm} = i_{cep} + K_{\gamma D} f a S, \quad (5)$$

де i_{cep} - питомі втрати напору при транспортуванні несучого середовища; f - узагальнений коефіцієнт тертя, який дорівнює 0,35-0,20 для сланців та міцного вугілля і 0,20-0,10 - для м'якого вугілля та антрацитів; при розрахунках гідравлічних опорів „солоного вугілля” коефіцієнт f може бути прийнятим 0,20; $K_{\gamma D}$ - коефіцієнт корегування, який враховує зміну діаметра трубопроводу у заданому діапазоні крупності вугілля та густини несучого середовища.

Значення коефіцієнтів $K_{\gamma D}$, отриманих на підставі експериментальних досліджень стосовно до умов гідравлічного транспортування подрібненого вугілля на відстань до 80 км та більше 80 км, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів $K_{\gamma D}$

Діаметр трубопроводу D_{γ} , мм	100	150	200	250	300	350	400
$K_{\gamma D}$	< 80 км	0,340	0,180	0,120	0,104	0,100	0,098
	> 80 км	0,306	0,162	0,108	0,094	0,090	0,088

При транспортуванні вугілля крупністю 0-13 або 0-25 мм на ділянці промислового гідро-транспорту питомі втрати напору визначають за допомогою залежності

$$i_{cm} = i_{cp} + K_{dD} f a S; \quad (6)$$

де K_{dD} - комплексний коефіцієнт, який враховує вплив на додатковий гідравлічний опір, обумовлений наявністю в гідросуміші крупнозернистого матеріалу, середньозваженої крупності та густини несучого середовища. Значення коефіцієнту K_{dD} можна знайти за допомогою виразу

$$K_{dD} = (1 + 0,12d_{cp}^2) \cdot K_{\gamma D}. \quad (7)$$

Необхідні для розрахунків значення коефіцієнту K_{dD} у залежності (7) приймають за даними, на-

веденими в табл. 2 стосовно до умов транспортування вугілля крупністю 0-3 мм на відстань до 80 км.

В основу розрахунку гідравлічних опорів при транспортуванні „солоного вугілля” покладено формулу, структура якої для визначення тих же параметрів була запропонована раніше для руху однорідних дисперсних систем, а додаткові гідравлічні опори ($\Delta i = f a S$) скориговано за допомогою комплексних поправочних коефіцієнтів.

Висновки. Досліджено процес гідравлічного транспортування солоного вугілля і на основі одержаних експериментальних даних запропонована методика розрахунку критичних швидкостей і питомих втрат напору при транспортуванні солоного вугілля.

Запропоновані залежності поширюються на особливі випадки гідравлічних розрахунків параметрів гідравлічного транспортування вугілля з великим вмістом лужних металів густиною більшою за 1400 кг/м^3 і вихідною крупністю 0-13 (0-25) мм при середній крупності $d_{cp} < 7$ мм, для умов промислового гідравлічного транспорту вугілля крупністю 0-3 мм при вмісті класу 0-0,074 мм до 17 % та в кінцевому продукті транспортування не більше 27-30 %.

Вихідна мінералізація несучого середовища не повинна перевищувати 7 г/л.

Список літератури

1. Проблеми переробки солоного вугілля // Актуальні проблеми водного господарства та природокористування: матеріали міжнар. наук.-техн. конф. Рівне, 21–22 листоп. 2007 р. – Рівне, 2007. – С. 25–49.
2. Шендрік Т.Г., Саранчук В.И. Соленые угли. Донецк / Східний видавничий дім. 2003. 294 с.
3. Белецкий В.С., Пожидаев С.Д., А.Кхелуфи. Перспективы освоения соленых углей Украины. – Донецк: ДонГТУ. – 1998. – 96 с.
4. Кхелуфі Абделькрім. Розробка технології збагачення солоного вугілля [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А. Кхелуфі. – Донецьк, 1998. – 175 с.
5. Дослідження кінетики знесолювання обмасленого вугілля / В.С. Білецький, П.В. Сергєєв, А. Кхелуфі, Т.Г. Шендрік // Геологія і геохімія горючих копалин. - 1998, № 2 (103). - С.85-89.
6. Афанасенко Л.Я. Исследование характеристик и свойств засоленных углей Донбасса и их изменений при термической обработке. Автореф. дисс. канд. техни. наук.: институт. Киев., 1990. - 20 с.
7. Pellgalli M., Keil G., Klare H. Salzkohle. Chemierohstoff und Energieträger // Wiss und Fortchr, 1982. №8. p. 316-320.
8. The Influence of Vinerall Interactions upon the Behaviour of Sodium during Combustion / A.J.Botting, N.J.Hoges, D.G.Richards, F.O.Wood// Int. Conf. Coal Sci.: Abstr. - Tokio, 1989 - 1 - p. 63-66.
9. Shendrik T., Siminova V., Pototska L., Paschenko L., Khazipov V. The Ways of Diffirent Types of Sorbents Obtaininr from Chlorine-Containing Coals: Ecological Aspects // Int. 1996 European Carbon Conference. Newcastle-upon-Fyne, 7-2 July, 1996.
10. Світлий Ю.Г. Гідравлічний транспорт / Ю. Г. Світлий, В. С. Білецький ; Донец. від-ня Наук. т-ва ім. Шевченка. – Донецьк : Сх. вид. дім, 2009. – 436 с.

Рукопис подано до редакції 17.02.14

УДК 669.17

АБУБАКР ФАРАГ СРАТ, д-р філософії, Альфатехський університет, г. Триполи, Ливія,
Г.В. ГУБИН, д-р техн. наук, проф., Т.П. ЯРОШ, канд. техн. наук, доц.
Криворозький національний університет

ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ДЕФОСФОРАЦИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД ЛИВИИ

Впервые подробно приведен вещественный состав ливийской высокофосфористой железной руды, которая до сих пор не используется в промышленности из-за большого количества в ней фосфора и неблагоприятного кремниевого модуля. Попытки улучшить эти качественные показатели механическими моделями обогащения не привели к желаемым результатам. В статье приводятся материалы по гидрометаллургической обработке этой руды. Использование гидрометаллургических методов позволило снизить массовую долю фосфора с 0,7-0,8 % до 0,12 % и увеличить количество железа с 59,9 до 62,8 %. Предложена технологическая схема обесфосфоривания ливийской железной руды автоклавным способом с предварительным спеканием ее с содой.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Место Ливии в мировой добывающей промышленности определяется пока исключительно нефтегазовой отраслью. Другие виды полезных ископаемых, имеющиеся в стране, за исключением минерального сырья, используемого в строительстве, практически не добываются. В то же время в Ливии име-