

УДК 541.183:622.33 + 622.693

*С.Д. БОРУК, **О.І. ЕГУРНОВ

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

**ВАТ "АНА-ТЕМС", м. Дніпропетровськ

ВПЛИВ УМОВ ПРОВЕДЕННЯ ПОМЕЛУ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СУСПЕНЗІЙНОГО ВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА

© Боруk С.Д., Егурнов О.І., 2011

Емпірично визначено умови ведення помелу шламів вуглезбагувальної фабрики. Показано, що властивості суспензій, отриманих на основі шламів вуглезбагувальної фабрики, уможливають їх транспортування по трубах, за умови досягнення їхньої високої седиментаційної та агрегативної стійкості.

Optimal conditions for the coal-refinery factory sludge grinding have empirically selected. The sludge based water coal suspensions show high sedimentation and aggregation stability allowing their pipeline transportation.

Збільшення масштабів переробки вугілля спричиняє комплекс технічних і екологічних проблем та можливе лише за використання ресурсозбережних технологій. Видобування вугілля пов'язане зі значним утворенням твердих відходів, шламів, порожньої породи і руйнуванням природних ландшафтів. Під час спалювання велика кількість пилоподібних канцерогенних речовин потрапляє у повітря, викидається легка зола, тверді та газоподібні продукти неповного згоряння палива, оксиди сірки та азоту, сполуки фтору. Зазвичай легка зола містить і токсичніші сполуки. Тому особлива увага сьогодні приділяється вивченню напрямів екологічно безпечного використання вугілля.

Україна має у своєму розпорядженні значні запаси низькокалорійного вугілля, широкі і ефективні застосування якого допоможе значно розширити енергетичну базу країни. Сировинна база твердого низькокалорійного палива також постійно розширюється за рахунок відходів вуглезбагачення. Тільки на території Донецької області у териконах накопичено близько 3 млрд. тонн твердих відходів із вмістом паливної складової 10–40 %, 120 млн. тонн – у вигляді шламів у гідровідстійниках. Такі відходи здатні до самозаймання і містять екологічно небезпечні речовини. Частину таких шламів за характеристиками можна використовувати як паливо. Існує тенденція їх прямого спалювання, проте деякі показники цього процесу (теплотворна здатність, питомі викиди токсичних речовин на одиницю енергії, ступінь вигорання паливної складової) зумовлюють його недоцільність.

Перспективним напрямом екологічно безпечного використання некондиційного вугілля та відходів вуглезбагачення є створення на їхній основі висококонцентрованих водовугільних суспензій (ВВВС) [1–3]. Світова практика використання ВВВС як заміника котельного палива показала, що вони вдвічі дешевші від мазуту, а також мають значні переваги з екологічного погляду. Зокрема, у разі адекватної заміни пилоподібного вугільного палива на ВВВС з масовою часткою вугілля 63 % викид в атмосферу діоксиду сірки та азоту зменшується, відповідно на 30 % та 50 % [4,5].

Підвищення концентрації вугілля до 60–70 % дає можливість спалювати водовугільні суспензії безпосередньо в котлоагрегатах без попереднього зневоднення. Збільшити вміст вугілля в суспензії за збереження її текучості можна, забезпечивши оптимальний гранулометричний склад частинок дисперсної фази і застосувавши пластифікатори. Забезпечення оптимального гранулометричного складу – дуже складне завдання, яке розв'язується індивідуально для кожного виду вугілля і безпосередньо залежить від його властивостей [6, 7].

Найсприятливішим для максимально щільного упакування частинок твердої фази в одиниці об'єму є бімодальний характер розподілу за розмірами з певним співвідношенням великої (100 – 250 мкм) і дрібної фракцій (<40 мкм) фракцій. Верхня межа великої фракції не повинна перевищувати 250 мкм, що зумовлено як вимогами седиментаційної стійкості, так і обмеженнями, пов'язаними з діаметром форсунок. Однак концентровані суспензії характеризуються високою в'язкістю і для транспортування трубопроводами необхідно вводити до їх складу пластифікувальні хімічні добавки. Енергозатрати на транспортування суспензії, здійснюване з невеликими швидкостями у ламінарному режимі протікання, є прийнятними для магістрального гідротранспорту [8].

Досягнення оптимального гранулометричного складу для одержання висококонцентрованих водовугільних суспензій є одним із найважливіших чинників, який дає змогу підвищити концентрацію твердої фази. Метою нашої роботи, враховуючи тенденцію накопичення шламів, що залишаються після збагачення вугілля, був пошук технологічних умов отримання на їхній основі висококонцентрованих суспензій, придатних для використання як палива.

Методика експерименту. Об'єктом дослідження вибрано вугільні шлами збагачувальної фабрики (вугілля марки "Г"), вологістю 7 % (мас), зольністю 60.4 % (мас). Помели виконано на вібромліній марки TESTCHEM S та на кульовому млині зі стандартним завантаженням куль. Як пластифікатор застосовано лігносульфонат натрію (ЛСТNa), сіль лігносульфонової кислоти спільно з лугом (далі добавка ЛСУ). Ця добавка добре зарекомендувала себе під час створення водовугільних суспензій.

Помели здійснювали за одностадійною та двостадійною схемами. Одностадійна схема передбачає одночасне завантаження до млину шламів, пластифікаторів, води та помел протягом визначеного часу. За двостадійною схемою частину дисперсної фази завантажують у початковий момент часу, частину після певного відрізка часу, щоб досягти більшої різниці у розмірах частинок.

Для визначення оптимальної концентрації добавки виконали серії експериментів із впливу вмісту добавки на властивості суспензій. Були вибрані суспензії з концентрацією дисперсної фази 61, 63 і 65 % (мас). Встановлено, що при збільшенні концентрації добавки до 1,0–1,1 % від маси твердої фази спостерігається стійке зниження в'язкості дисперсних систем. Системи з меншою концентрацією добавки характеризуються підвищеною в'язкістю в разі збільшення зовнішньої дії. Цей ефект не спостерігається, коли концентрація пластифікатора досягає 1 %. Подальше збільшення концентрації лігносульфонатів не дає відчутних позитивних результатів.

На першому етапі проводили одностадійні помели. Отримано системи з різною концентрацією дисперсної фази, загальну характеристику яких наведено в табл. 1. Як видно з даних таблиці, збільшення концентрації дисперсної фази призводить до збільшення в'язкості дисперсних систем. Критична концентрація твердої фази суспензії, за якої починає різко зростати її в'язкість, становить 65–66 %. Седиментаційна стійкість дисперсних систем, визначувана як час, що проходить до її розшарування, зростає в разі збільшення концентрації дисперсної фази, ймовірно, за рахунок досягнення щільнішої упаковки частинок у системі.

Разом з тим, як показали дослідження, в'язкість дисперсних систем зростає не тільки за рахунок збільшення об'ємної частки твердої фази в ній, але і за рахунок зміни її гранулометричного складу.

Зміни умов помелу за рахунок збільшення концентрації дисперсної фази приводять до зростання частки високодисперсних частинок у системі. Розподіл частинок за розмірами наближається до мономодального (табл. 2).

Як видно з наведених даних, збільшення концентрації дисперсної фази понад 65 % під час помелу приводить до інтенсивного диспергування твердої фази. Ймовірно, за щільнішої упаковки, подрібнення шламів відбувається не тільки під дією тіл, що перемелюються, але і при контакті між собою. Якщо врахувати, що шлами вже зазнавали інтенсивного подрібнення під час збагачення, то

механічна міцність частинок шламів незначна. Крім того, високий вміст мінеральної складової (у цьому випадку глинистої) також призводить до зниження механічної стійкості частинок шламів. За нижчих концентрацій у початковий момент помелу частинки шламу не впливають одна на одну безпосередньо.

Таблиця 1

Характеристики шламовугільних суспензій (одностадійний помел)

Вміст дисперсної фази, %	Ефективна в'язкість, Па·с	Седиментаційна стійкість, доба
59,4	0,9	3,5
60,5	1,03	5,0
61,2	1,11	5,0
62,1	1,23	6,5
63,2	1,29	7,5
64,4	1,31	8,0
65,3	1,80	8,0
66,3	2,50	10,0
67,5	3,05	10,0

Таблиця 2

Розподіл частинок дисперсної фази шламовугільної суспензії за розмірами (одностадійний помел)

Границі фракцій, г, мкм	Вміст фракцій (% , мас); $C_{т.ф.}=61$ %	Вміст фракцій (% , мас); $C_{т.ф.}=63$ %	Вміст фракцій (% , мас); $C_{т.ф.}=65$ %	Вміст фракцій (% , мас); $C_{т.ф.}=67$ %
125-50	46,4	42,1	28,1	24,3
50-9,54	14,4	21,1	10,9	8,3
9,54-6,75	6,2	5,3	7,8	6,3
6,75-5,51	10,3	3,7	10,2	6,9
5,51-4,27	7,2	3,7	10,2	9,7
4,27-3,02	6,2	4,2	7,8	9,0
3,02-2,46	4,1	5,3	4,7	7,6
2,46-1,74	4,1	6,3	3,1	12,5
1,74-1,42	1,1	6,3	12,5	6,9
1,42-1,23	1,0	2,1	4,7	5,6

Збільшення концентрації приводить до виникнення безпосереднього контакту між частинками твердої фази, що підвищує інтенсивність подрібнення. Для збереження бімодального гранулометричного складу було б доцільно зменшити час помелу, але тоді в системі можуть залишатися частинки розмірами 200-400 мкм. Наявність частинок такого розміру неприйнятна, з огляду на експлуатаційні характеристики шламовугільних суспензій.

Одним з параметрів, що визначає властивості дисперсних систем і залежить від умов їх отримання, є електрокінетичні характеристики частинок дисперсної фази. Як показали дослідження, введення у дисперсну систему пластифікатора, який є сумішшю ЛСТNa і луку, приводить до підвищення значень електрокінетичного потенціалу частинок як глинистої, так і органічної складової дисперсної фази суспензій, що зумовлено, на наш погляд, ефективною диспергувальною дією використовуваних реагентів (табл. 3).

Для висококонцентрованих водовугільних суспензій було встановлено наявність прямого зв'язку між значеннями електрокінетичного потенціалу і питомою поверхнею дисперсної фази. Згідно з отриманими даними в шламовугільних суспензіях ця закономірність не виконується. У разі зростання концентрації твердої фази, незважаючи на збільшення її питомої поверхні,

спостерігається зниження значень електрокінетичного потенціалу частинок (табл. 4). Цей ефект може бути зумовлений утворенням контактних агрегатів частинок, причому в центрі міститься порівняно велика частинка органічної складової, оточена високодисперсними частинками глини. У такому агрегаті заряди частинок можуть взаємно екрануватися, що призводить до зниження загального заряду. Разом із тим зниження електрокінетичного потенціалу частинок вкрай небажане, оскільки збільшується ймовірність агрегації частинок із подальшою втратою седиментаційної стійкості системи.

Таблиця 3

Залежність електрокінетичного потенціалу частинок дисперсної фази шламівугільної суспензії від концентрації пластифікатора

Концентрація пластифікатора, кг/м ³ .	Електрокінетичний потенціал частинок глинистої складової, мВ	Електрокінетичний потенціал частинок вугільної складової, мВ
0,02	32	44
0,04	34	45
0,06	37	47
0,08	39	49
0,10	42	52
0,12	44	54
0,14	46	56
0,16	47	57
0,18	48	58

Таблиця 4

Залежність електрокінетичного потенціалу частинок дисперсної фази шламівугільної суспензії від концентрації твердої фази

$C_{т.ф.}, \%$	61	63	65	67
$\xi, мВ$	49	47	43	38

Отримані результати дають змогу рекомендувати під час одержання шламівугільних суспензій за одностадійною схемою концентрацію дисперсної фази 64–65 % (мас).

Для отримання водовугільних суспензій добре себе зарекомендувала двостадійна схема помелу. Для визначення застосовності цієї схеми для одержання шламівугільних суспензій ми отримали ряд систем з різною концентрацією дисперсної фази, загальна характеристика яких наведена в табл. 5.

Таблиця 5

Характеристики шламівугільних суспензій (двостадійний помел)

Вміст дисперсної фази, %	Ефективна в'язкість, Па·с	Седиментаційна стійкість, діб
61,4	1,21	3,0
62,2	1,33	3,5
63,1	1,38	5,5
64,3	1,48	6,0
65,1	2,15	7,0
66,2	2,65	7,5
67,3	3,45	8,0

Як видно з наведених даних, характеристики систем, отриманих під час двостадійного помелу, дещо гірші, ніж аналогічних систем, одержаних одностадійним помелом. Ймовірно, це пов'язано з гранулометричним складом дисперсної фази. Отримані системи характеризуються

значним вмістом високодисперсних частинок (табл. 6). Крім того, значно знижується значення електрокінетичного потенціалу частинок, що негативно позначається на стійкості одержаних систем. Разом з тим, двостадійний помел більш енергоємний і складніший з погляду апаратурного оформлення. З вищевикладеного можна зробити висновок про недоцільність застосування двостадійного помелу для отримання висококонцентрованих суспензій на основі шламів.

Таблиця 6

**Розподіл частинок дисперсної фази шламовугільної суспензії за розмірами
(двостадійний помел)**

Границі фракцій, г, мкм	Вміст фракції (%, мас); $C_{т.ф.}=63\%$	Вміст фракції (%, мас); $C_{т.ф.}=65\%$	Вміст фракції (%, мас); $C_{т.ф.}=67\%$
125-50	10,3	14,3	11,2
50-9,54	9,0	6,3	8,3
9,54-6,75	10,3	2,7	3,3
6,75-5,51	5,1	2,7	3,9
5,51-4,27	10,3	1,8	4,7
4,27-3,02	11,5	10,7	9,0
3,02-2,46	6,4	14,3	15,6
2,46-1,74	11,5	24,1	22,5
1,74-1,42	15,4	7,1	11,2
1,42-1,23	10,2	16,0	10,3

Висновки. Виконані дослідження дали змогу встановити оптимальний технологічний режим отримання висококонцентрованих шламовугільних суспензій на основі шламів вуглебагачувальних фабрик. Показана можливість їх використання як вторинного енергоносія. Визначено оптимальну концентрацію добавки пластифікатора лігносульфонату натрію, що становить не більше за 1 % від маси суспензії. Максимальна концентрація твердої фази шламовугільних суспензій, за якої систему можна транспортувати по трубах, становить 65–66 % (мас), за одностадійною схемою помелу.

1. Урьев Н.Б. *Высококонцентрированные дисперсные системы*. – М: Химия, 1980. – 360 с.
2. Урьев Н.Б. *Закономерности структурообразования высококонцентрированных водоугольных суспензий* // В сб. *Исследование гидромеханики суспензий в трубопроводном транспорте* – М.: ВНИИПИ гидротрубопровод – 1985 – С. 8 – 27.
3. Макаров А.С., Олофінський Е.П., Дегтяренко Т.Д. *Физико-химические основы получения высококонцентрированных водоугольных суспензий* // *Вестник АН УССР* – 1989. – № 2. – С.65–75.
4. Братичак М.М., Гайванович В.І., Пишџев О.А. *Огляд технологій, спрямованих на зменшення викидів діоксидів сірки при спалюванні сірчистого та високосірчистого вугілля на ТЕС* // *Углекимический журнал*. – 2001. – № 3–4. – С.53–57.
5. Дегтяренко Т.Д., Завгородний В.А., Макаров А.С., Борук С.Д. *Адсорбция лигносульфонатов на поверхности частиц твердой фазы высококонцентрированных водоугольных суспензий* // *Химия твердого топлива* – 1990. – № 1. – С.92–97.
6. Филипенко Т.А., Басенкова В.Л., Ильинская И.В. *О влиянии добавок разжижителей и гранулометрического состава водоугольных суспензий на их реологические свойства* // *Химия твердого топлива*. – 1989. – № 5. – С.104–109.
7. Голубинская И.В., Тараканов В.М., Урьев Н.Б. *Седиментационная устойчивость высококонцентрированных водоугольных суспензий в статических и динамических условиях* // *Химия твердого топлива*. – 1989. – № 6. – С. 114 – 120.
8. Хампель Д., Брешинер Г. *Гидродинамика при малых числах Рейнольдса*. – М.: Мир, 1976. – 630 с.