

УДК 621.311.22:622.7.002.68:662.654

В.И. Мурко, Г.Д. Вахрушева, В.И. Федяев, В.И. Карпенко, В.П. Мاستихина,  
Д.А. Дзюба

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СУСПЕНЗИОННОГО УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ФИЛЬТР-КЕКОВ ОФ «МЕЖДУРЕЧЕНСКАЯ»

### Введение

Целью проведенных исследований является разработка технологических основ использования техногенных запасов, образованных после добычи и обогащения угля для выпуска дополнительной товарной продукции, освобождения земель, занимаемых хвосто- и шламохранилищами, улучшения экологической ситуации в Кузбассе и других угольных регионах России. В настоящее время в Кузбассе площади, занятые отстойниками и гидроотвалами, составляют десятки гектаров, а количество угля и углесодержащих отходов, складированных в них, составляет сотни миллионов тонн.

Для приготовления суспензионного угольного топлива на технологическом комплексе ОАО «Междуречье» в качестве основы используется фильтр-кек, полученный после обогащения углей марок «КС», «Т» [1].

Зольность и влажность фильтр-кека зависит от марки обогащаемого угля и поэтому значительно изменяются во времени. Колебание зольности в широком диапазоне значений (от 35,0% до 65%) не может не сказываться на теплофизических

свойствах приготовленного ВУТ. По технологическим требованиям для эффективного сжигания ВУТ в котлоагрегатах фактическая низшая теплота сгорания топлива должна составлять не менее 10,46 МДж/кг (2500 ккал/кг). Получить необходимые теплотехнические характеристики ВУТ возможно за счет снижения зольности твердой фазы до значения  $A^d=40,0\%$ .

По предлагаемой технологии повышение низшей теплоты сгорания ВУТ реализуется за счет приготовления топлива на основе смеси фильтр-кека и низкозольного продукта. В качестве последнего, возможно использование таких продуктов технологии как уголь или промпродукт.

Для исследования процесса приготовления ВУТ из смеси фильтр-кека с углем и промпродуктом были отобраны и проанализированы три пробы: уголь, промпродукт, фильтр-кек. Результаты проведенных анализов проб представлены в табл. 1, из которой видно из этой таблицы, анализируемые образцы проб угля и промпродукта имели низкую влажность (2,0%, 3,5% соответственно) в

Таблица 1. Характеристика исходных продуктов

№ п/п	Наименование показателя	Символ	Единица измерения	Числовое значение для проб		
				I уголь	II промпродукт	III фильтр-кек
1	Влага общая	$W_t^r$	%	2,0	3,5	45,0
2	Зольность на сухое состояние	$A^d$	%	21,9	26,6	62,6
3	Высшая теплота сгорания	$Q_s^{daf}$	МДж/кг (ккал/кг)	35,36 (8450)	35,75 (8545)	33,14 (7920)
4	Низшая теплота сгорания	$Q_i^r$	МДж/кг (ккал/кг)	26,22 (6267)	24,51 (5858)	5,50 (1315)
5	Гранулометрический состав: класс крупности:	$\gamma$ $d$	% мм			
	+100			-	10,5	-
	50-100			5,6	10,4	-
	25-50			34,3	21,3	-
	10-25			15,0	46,6	-
	6-10			4,2	5,2	-
	3-6			5,9	2,1	-
	1-3			11,3	0,9	0,4
	0,63-1,0			3,5	0,2	1,1
	0,355-0,63			4,8	0,3	4,8
	0,250-0,355			2,8	0,2	5,2
	0,071-0,250			6,8	0,9	24,2
	- 0,071			5,8	1,4	64,3
	<b>Итого:</b>			<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

отличие от фильтр-кека ( $W_t^r = 45\%$ ). Гранулометрический состав угля и промпродукта не позволяет получить суспензионное угольное топливо одним перемешиванием без дополнительного включения в технологию операции измельчения на мельнице.

#### Экспериментальная часть

Выбор состава оптимальной комплексной добавки при раздельном приготовлении суспензионного угольного топлива на основе смеси фильтр-кеков с углем или промпродуктом осуществлялся в лабораторных условиях на вибростенде СВУ-2. Для исследования использовалась помольная емкость вибростенда, т.к. полученный после дробления на лабораторной мельнице до кл. 0-3 мм исходный продукт (уголь или промпродукт) имел гранулометрический состав, не отвечающий требованиям к ВУТ.

С учетом полученных на предыдущих этапах исследований положительных результатов по приготовлению суспензионного угольного топлива из фильтр-кеков ОФ «Междуреченская» для приготовления ВУТ из смеси использовались наиболее подходящие виды комплексных добавок: Варианты В2, Д3 и М1, с последующим выбором из них оптимального варианта.

Расчет загрузки в вибромельницу проводился с учетом следующих требований: содержание твердой фазы в готовом топливе –  $C_{\text{д.т.}}^{\text{д.т.}} \geq 60,0\%$ , зольность –  $A^{\text{д.т.}} \leq 40,0\%$ .

После получения положительных результатов по приготовлению суспензионного угольного топлива на вибростенде СВУ-2 готовились опытные партии ВУТ на участке приготовления в составе экспериментальной лаборатории энергосберегающих технологий и комплексов (ЭТиК).

Основными единицами технологического оборудования, в которых происходила предварительная подготовка сырья и непосредственно процесс приготовления ВУТ из смеси фильтр-кеков с углем или промпродуктом, являются:

- бак с мешалкой для приготовления раствора реагента;
- дробилка;
- насос погружной;
- смеситель лопастной;
- мельница вибрационная горизонтальная двухкамерная;
- сито вибрационное.

Кроме того имитировался процесс приготовления ВУТ в барабанной стержневой мельнице

#### Результаты и их обсуждение

Результаты проведенных исследований с определением структурно-реологических характеристик полученных партий ВУТ представлены в табл. 2 и 3. Как видно из табл. 2, измельчение смесей из фильтр-кека, угля, воды и добавки, а также фильтр-кека, промпродукта, воды и добавки в течение 2 минут в помольной емкости достаточ-

но для получения необходимого гранулометрического состава твердой фазы ВУТ.

Топливо, приготовленное на основе смеси фильтр-кеков и угля с оптимальной добавкой (Вариант В2), было хорошо текучим и не расслаивалось, эффективная вязкость при скорости сдвига  $81 \text{ с}^{-1}$  составляла в пробе № 143  $\eta = 370 \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

Данная проба (№ 143) с течением времени незначительно загустела, но после перемешивания легко восстановила свои реологические свойства.

После измельчения на вибростенде смеси фильтр-кека и промпродукта с водным раствором оптимальной комплексной добавки (Вариант В2) проба № 146 имела следующие реологические показатели: эффективная вязкость при скорости сдвига  $81 \text{ с}^{-1}$  составляла  $\eta = 163 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ , содержание твердой фазы 60,8%, стабильность не менее 10 суток.

После лабораторных исследований было приготовлено две партии ВУТ из смеси фильтр-кека и угля и из смеси фильтр-кека и промпродукта на вибрационной мельнице ВМ-60.

Приготовленные партии топлива имели требуемые технологические свойства и структурно-реологические характеристики.

При хранении топливо не расслаивалось на воду и осадок и оставалось текучим, что соответствовало результатам предварительных испытаний.

При массовой доле твердой фазы в ВУТ из смеси фильтр-кека и угля ( $Ст=64,4\%$ ) эффективная вязкость при скорости сдвига  $81 \text{ с}^{-1}$  составляла  $\eta=341 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ , а из смеси фильтр-кека и промпродукта ( $Ст=66,1\%$ ) -  $400 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ , что значительно ниже допустимого предела.

С учетом выполненных исследований была разработана технологическая схема приготовления ВУТ из смеси фильтр-кека и угля (промпродукта), которая включает следующие операции (см. рис. 1):

- подачу угля (промпродукта) на дробление в молотковую дробилку;
- перемешивание фильтр-кека с водным раствором реагента (и при необходимости водой) в лопастном смесителе;
- измельчение суспензии на основе фильтр-кека и дробленого продукта (угля, промпродукта) в мельнице вибрационной;
- классификацию полученного суспензионного угольного топлива на вибросите;
- механоактивацию готового ВУТ в погружном насосе.

#### Заключение

Выполненные исследования показали возможность получения суспензионного угольного топлива из смеси фильтр-кеков и угля (промпродукта) ОФ «Междуреченская» с необходимыми структурно-реологическими и теплофизическими характеристиками, заявленными в техническом задании:

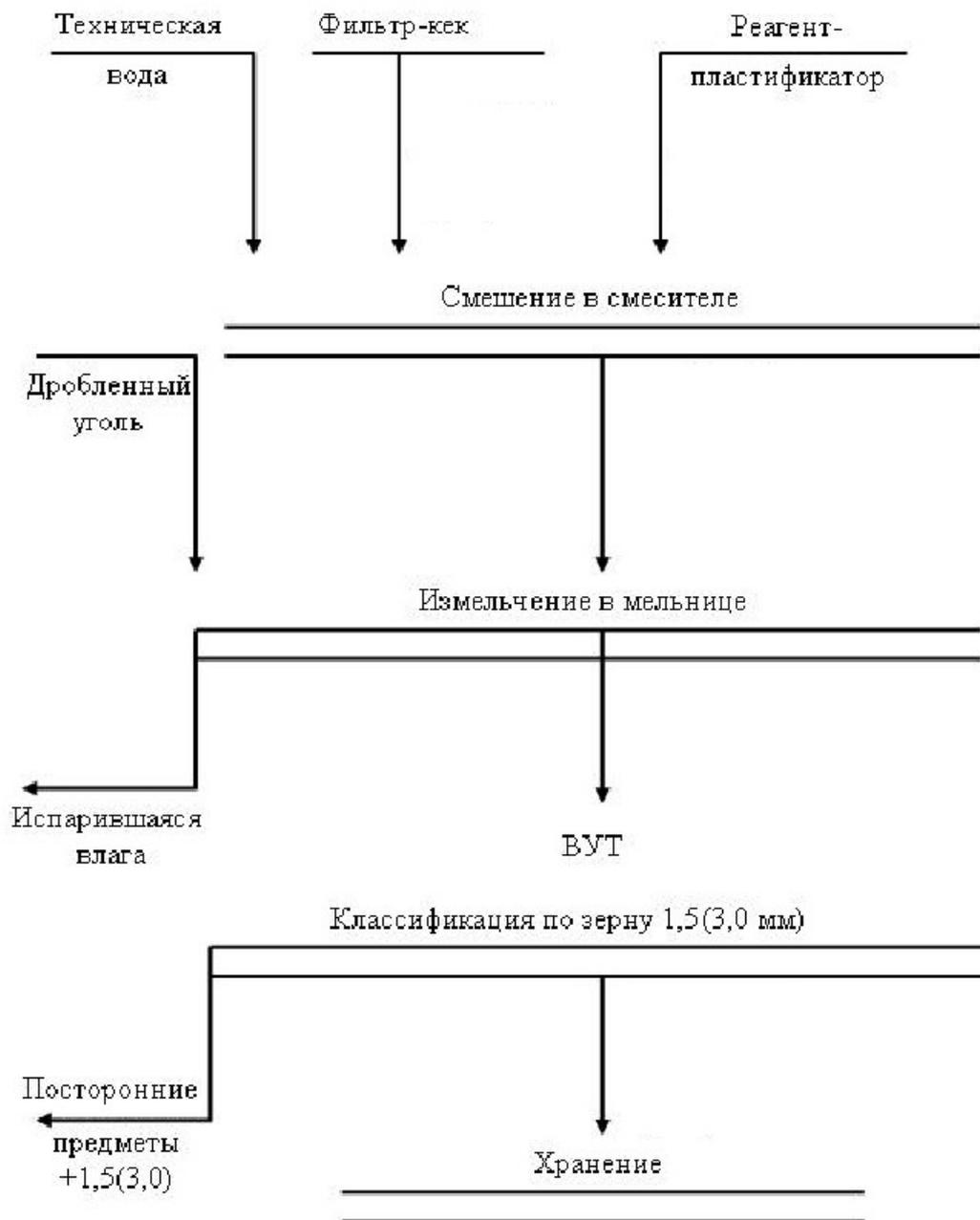
Таблица 2. Характеристика суспензионного угольного топлива на основе смеси фильтр-кеков с углем или промпродуктом ОФ «Междуреченская»

№ п/п	Номер пробы	Зольность, $A^d$ , %	Наименование добавки Вариант	Количество добавки от твердой фазы, %	Массовая доля твердой фазы, $C_T$ %	Гранулометрический состав, классы, мм				Низшая теплота сгорания, $Q_i^r$ , МДж/кг (ккал/кг)
						+0,355	0,250-0,355	0,071-0,250	- 0,071	
<b>Измельчение на вибростенде СВУ-2 (t = 2 минуты) 44% фильтр-кек + 56% уголь</b>										
1	143	39,0	В2	1,0	60,4	-	0,7	23,9	75,4	11,30 (2699)
<b>37% фильтр-кек + 63% промпродукта</b>										
2	146	38,8	В2	1,0	60,8	-	0,3	22,6	77,1	11,58 (2766)
<b>Измельчение в барабанной стержневой мельнице 44% фильтр-кек + 56% уголь</b>										
3	6	40,2	В2	1,0	60,2	0,6	1,9	29,0	68,5	11,00 (2631)
<b>37% фильтр-кек + 63% промпродукта</b>										
4	7	40,3	В2	1,0	60,9	0,4	1,7	27,8	70,1	11,28 (2698)
<b>Измельчение в мельнице вибрационной ВМ-60 фильтр-кек + уголь</b>										
5	154	42,8	В2	1,0	59,3	-	0,2	0,8	19,8	79,2 (2460)
6	151	42,8	В2	1,0	62,3	-	0,2	1,0	19,8	79,0 (2614)
7	155	41,3	В2	1,0	60,2	-	0,2	1,4	21,0	77,4 (2578)
8	152	41,3	В2	1,0	64,4	-	0,1	1,1	21,4	77,4 (2799)
<b>Фильтр-кек + промпродукт</b>										
9	156	42,0	В2	1,0	60,0	-	0,2	1,1	21,6	77,1 (2568)
10	153	42,0	В2	1,0	66,1	-	0,1	0,9	21,8	76,3 (2888)

Таблица 3. Реологические модели течения суспензионного угольного топлива на основе фильтр-кеков ОФ «Междуреченская»

№ п/п	Номер пробы	Реологические модели течения							
		Степенная (псевдопластичная)					Бингамовская (вязкопластичная)		
		Эффект. вязкость при скорости сдвига $9 \text{ c}^{-1}$ , $\eta$ , мПа·с	Эффект. вязкость при скорости сдвига $81 \text{ c}^{-1}$ , $\eta$ , мПа·с	Коэффициент консистенции, $K$ , Па·с <sup>n</sup>	Индекс потока, $n$	Средне-квадр. откл., $\sigma$	Начальное напряжение сдвига, $\tau_0$ , Па	Структурная вязкость, $\mu_0$ , Па·с	Средне-квадр. откл., $\sigma$
<b>Измельчение на вибростенде СВУ-2 (t = 2 минуты) 44% фильтр-кек + 56% уголь</b>									
1	143	759	370	1,33	0,75	0,16	12,38	0,26	0,12
<b>37% фильтр-кек + 63% промпродукта</b>									
2	146	277	163	0,37	0,87	0,15	3,55	0,16	0,15
<b>Измельчение в барабанной стержневой мельнице 44% фильтр-кек + 56% уголь</b>									
3	6	759	370	1,33	0,75	0,16	12,38	0,26	0,12
<b>37% фильтр-кек + 63% промпродукта</b>									
4	7	321	311	0,36	0,95	0,06	3,31	0,25	0,03

Измельчение в мельнице вибрационной ВМ-60									
фильтр-кек + уголь									
5	154	90	103	0,09	1,02	0,05	0,07	0,10	0,05
6	151	254	237	0,29	0,94	0,04	2,39	0,20	0,02
7	155	129	118	0,15	0,94	0,03	1,48	1,0	0,01
8	152	483	341	0,67	0,85	0,04	6,67	0,26	0,07
Фильтр-кек + промпродукта									
9	156	126	88	0,19	0,81	0,04	2,83	0,05	0,01
10	153	701	400	1,17	0,77	0,22	10,57	0,27	0,04



Условные обозначения:  $q$  – производительность по сухой массе, т/ч,  $Q$  – производительность по влажному углю и водному раствору реагента, т/ч,  $W$  – количество поступающей воды, м<sup>3</sup>/ч,  $V$  – объемная производительность, м<sup>3</sup>/ч.

Рис. 1. Технологическая схема приготовления ВУТ на основе фильтр-кеков и угля (промпродукта) ОФ «Междуреченская»

- массовая доля твердой фазы до 66,1%;
- зольность от 24,6% до 42,8%;
- эффективная вязкость для скорости сдвига 81 с-1 при температуре 20 °С от 120 мПа·с до 400 мПа·с;
- низшая теплота сгорания ВУТ от 10,51 МДж/кг до 12,09 МДж/кг;
- статическая стабильность от 10 до 30 суток.

На основании проведенных исследований разработаны технологические схемы приготовления суспензионного угольного топлива на основе смеси фильтр-кека и угля (промпродукта) ОФ «Междуреченская», произведен расчет технологических регламентов приготовления ВУТ.

Таким образом нами показана возможность приготовления суспензионного угольного топлива на основе смеси фильтр-кеков и продуктов обога-

щения с теплотехническими характеристиками необходимыми для эффективного сжигания (уголь, промпродукт) ОФ «Междуреченская».

Разработаны технологические схемы приготовления водоугольного топлива (ВУТ) из предлагаемых смесей и определены технологические показатели.

Материалы статьи подготовлены в процессе реализации проекта в рамках частно-государственного партнерства в сфере реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства при финансовой поддержке правительства Российской Федерации (шифр 2010-218-02-174 «Разработка технологии и создание пилотного образца автоматизированного энергогенерирующего комплекса, работающего на отходах углеобогащения»).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка и создание технологического комплекса по сжиганию тонкодисперсных отходов углеобогащения в котельной ОАО «Междуречье». В.И. Мурко, В.И. Федяев, В.И. Карпенко, В.П. Мастихина, Х.Л. Айнетдинов, А.В. Яковенко, В.А. Бугров, П.С. Воскобойников. Уголь Кузбасса, 2010, №4, с. 102-103.

□ Авторы статьи:

Вахрушева Галина Дмитриевна, ведущий инженер  
СибГИУ,  
т. 89617177488

Мурко  
Василий Иванович,  
докт. техн. наук., проф.,  
рук. лаборатории Сиб-  
ГИУ,  
e-mail: sib\_eco@kuz.ru

Федяев  
Владимир Иванович,  
генеральный директор  
ЗАО НПП «Сибэкотехни-  
ка»,  
т. 89617177459

Карпенко  
Виктор Иванович, стар-  
ший научный сотрудник  
СибГИУ,  
т. 89617177419

Мастихина  
Вера Павловна,  
старший научный сотруд-  
ник, СибГИУ,  
т. 89617177496

Дзюба  
Дмитрий Анатольевич,  
старший научный сотруд-  
ник, СибГИУ,  
т. 89617177430

УДК 622.831; 622.2; 622.235

Ю. А. Рыжков, В. А. Еременко

## РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ С УЧЕТОМ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

С увеличением глубины разработки железорудных месторождений Западной Сибири до 1 км большое влияние на состояние массива горных пород оказывают зоны высоких концентраций напряжений, пересекающие соседние с очистным пространством блоки, которые находятся в стадии подготовки [1-3].\* Эти зоны формируются в районе подсечного пространства и днища блоков (рис. 1), где горизонтальные напряжения превы-

шают вертикальные вне зоны очистной выемки в 1,3-2,6 раза, в зоне — в 3,5-5,2 (рис. 2) [4].

Наибольшие концентрации действующих напряжений определены в массиве с предельным состоянием, где значения напряжений приближены или выше предела прочности горных пород. В этих зонах механические процессы под воздействием техногенных факторов происходят с большей интенсивностью.

В течение года на месторождениях производится более 40 массовых и технологических взрывов. Масса заряда ВВ технологических (в среднем 0,7-20 т) и массовых взрывов (в среднем 120-370

\* Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы, гос. контракт № 16.515.11.5085