УДК 622.7:658.512; 622.766.43; 622.7.017.2

В.А. Козлов, Е.Н. Чернышова

РАБОТА ТЯЖЕЛОСРЕДНОГО ГИДРОЦИКЛОНА БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ И ТРУДНОЙ ОБОГАТИМОСТИ УГЛЯ

Представлены основные результаты работы в рамках проекта № С20045 Австралийской Угольной Исследовательской Программы (ACARP), являющегося этапом 2 и продолжающим этап 1 – проект ACARP № 17036. Главной целью было исследование работы тяжелосредного гидроциклона (ТСГЦ) большого диаметра 1450 мм в критических режимах для получения данных об условиях, при которых работа гидроциклона начинает отклоняться от допустимой. Для нахождения условий, в которых работа ТСГЦ начала бы ухудшаться, исследовались изменения нагрузки по твердому в питании, соотношения суспензии и угля (M:C) в диапазоне от 3:1 до 6:1, давление на входе в гидроциклон от 5D до 9D. Проводилась сепарация при низкой плотности разделения и при очень трудной обогатимости угля (критерий Бэрда ±0.1RD=42%). Для нахождения пределов эффективности разделения тонких частиц проводилась оценка, учитывающая присутствие немагнитного материала в образцах магнетитовой суспензии. Итоги этой оценки показали, что схожая эффективность работы достигается как в случае двух циклонов меньшего диаметра, так и в случае одного гидроциклона большого диаметра при высокой плотности разделения и легкой обогатимости угля. Работа гидроциклона начинала ухудшаться только при размере частиц меньше 1,0 мм, что позволило определить «критический» размер угольных частиц.

Ключевые слова: тяжелосредный гидроциклон, плотность разделения, погрешность разделения, критерий обогатимости, магнетитовая суспензия, критический размер частиц угля.

В течение последнего десятилетия на многих углеобогатительных фабриках в мире появились тяжелосредные гидроциклоны (ТСГЦ) с диаметрами более 1 м. Помимо увеличения диаметра (*D*), наряду со стандартной конструкцией ввода суспензии Dutch State Mines (DSM) размером 0,2·*D*, также применяется установка на гидроциклоны конструкции ввода повышенной производительности с увеличенным размером входа >0,2·*D*.

Результаты первого этапа исследований работы ТСГЦ большого диаметра были получены в проекте ACARP № С17036 для определенного диапазона значений давления на входе в гидроциклон и объемного отношения суспензии к углю *M:C* в работах [1, 2]. Результаты выполнения этого проекта показывают, что работа ТСГЦ при крупности частиц +2,0 мм аналогична работе ТСГЦ меньших диаметров. В начале исследований второго проекта ACARP № С20045 был выполнен опыт при условиях высокой плотности разделения и легкой обогатимости угля, и по итогам его проведения было рекомендовано дальнейшее испытание работы ТСЦ в более критичных условиях [3]. Основная цель исследований состояла в определении параметров и возможности достижения эффективной работы в более тяжелых условиях эксплуатации, включающих:

• Работу ТСЦ большого диаметра (~1500 мм) при низкой плотности разделения и трудной обогатимости угля при разных значениях загрузки по твердому, соотношениях *М:С*, давлении на входе в ТСГЦ с определением эффективности разделения как для крупных, так и для мелких частиц. Диапазон изменения указанных величин принимался:

– соотношение *М:С* от 3:1 до 6:1,

– давление на входе в гидроциклон от 5*D* до 9*D*.

• Определение критического размера частиц угля трудной обогатимости, при его обогащении при низкой плотности суспензии.

• Количественный анализ эффективности обогащения тонких частиц до 0,125 мм на основе кривых разделения посредством анализа содержания немагнитных частиц в суспензии легкого продукта и отходов.

Испытания проводились на двухсекционной фабрике в Австралии, технология которой включала тяжелосредные гидроциклоны, спиральные сепараторы и флотацию. Каждая секция имеет производительность 1000 т/ч. Фабрика обогащает в тяжелосредных гидроциклонах уголь крупностью +2 мм с предварительным обесшламливанием угля на грохоте, имеющем сито с ячейкой размером 1,4 мм. Уголь класса менее 2 мм обогащается на винтовых сепараторах и методом пенной флотации. На одной из секций был установлен ТСГЦ диаметром 1450 мм, обеспечивающий производительность по объему более чем 2300 м^3/ч. Установленный ТСГЦ имел отношение диаметра входа к диаметру циклона 0,25.

В рассматриваемом проекте [3] основное внимание уделялось высокому содержанию фракций с плотностью, близкой к плотности разделения, при низкой плотности кондиционной суспензии (~1,35), пониженном рабочем давлении и варьируемом соотношении суспензии к углю с целью получения данных, соответствующих началу отклонения от допустимого режима работы. Были получены данные фракционного анализа угля для классов крупности +31,5; 8–31,5; 4–8 и 2–4 мм. Кроме того, был проведен фракционный анализ содержания немагнитного материала класса менее 2 мм в пробах суспензии для исследования его распределения по классам 0,5–2; 0,25–0,5 и 0,125–0,25 мм.

Таблица 1

Данные параметров опытов

№ опыта	Производительность по питанию (т/ч)	Давление на входе в ТСГЦ (кПа)	Плотность кондиционной суспензии	Давление ТСЦ, «D»	Расчет питания ТСГЦ			Отношение *М:С*	Критерий обогатимости +/-0.1RD, %
					Общий объем (м^3/ч)	Объем твердого (м^3/ч)	Объем суспензии (м^3/ч)		
1	598	153	1,35	6,9	1983	210	1773	8,4	17,2
2	1178	151	1,33	6,9	1984	430	1554	3,6	35,4
3	1035	103	1,32	4,9	1697	380	1317	3,5	43,7
4	1019	130	1,34	6,0	1857	342	1515	4,4	26,3
5	1192	107	1,34	5,0	1714	420	1288	3,1	32,2
6	741	107	1,34	5,0	1714	259	1454	5,6	21,3
7	1121	130	1,34	6,0	1857	380	1478	3,9	34,4
8	798	130	1,34	6,0	1857	277	1580	5,7	20,0
9	1124	202	1,34	9,0	2240	365	1875	5,1	17,5

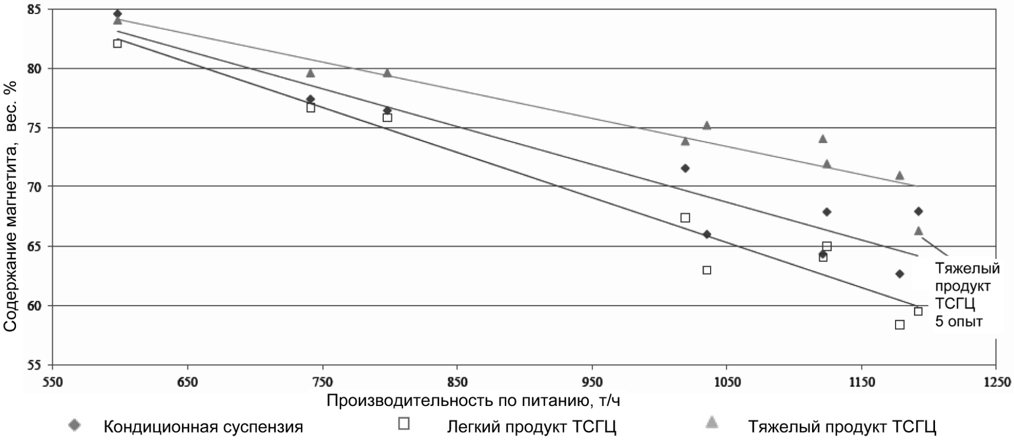

Рис. 1. Зависимость концентрации магнетита в потоках суспензии от производительности по питанию

Программа исследования была разработана таким образом, чтобы провести минимальное количество испытаний, которые позволили бы измерить описанные выше характеристики. Было определено девять различных рабочих режимов гидроциклона, необходимых для проведения целевых испытаний по варьированию его работы. В табл. 1 приведены результаты этих девяти испытаний и соответствующие им измеренные рабочие параметры.

К полученным результатам применялось множество стандартных и специальных методов проверки надежности. Имеющиеся отклонения регулярно отсылались в лабораторию в виде отчетов об ошибках и с запросом на проверку данных или на повторные анализы соответствующих проб.

Проверка надежности данных проводилась как для образцов угля, так и образцов суспензии. Была сделана оценка зависимости концентрации магнетита в пробах кондиционной суспензии, легкого и тяжелого продуктов ТСГЦ от производительности по питанию.

Все данные показывают снижение концентрации магнетита с повышением

Таблица 2

Данные аппроксимации для разных классов крупности угля в опыте 8

Параметры при давлении 6·*D* и *М:С* =6:1	**Классы крупности, мм**				
	+31,5	**8–31,5**	**4–8**	**2–4**	**Суммарный +2**
Выход в продукт, %	54,71	66,26	68,55	75,96	65,94
D_{50}	1,49	1,49	1,50	1,54	1,49
E_{pm}	0,009	0,019	0,027	0,035	0,021
Засорение: Отходов	1,8	1,7	1,6	1,8	1,7
Легкого продукта	0,7	0,9	0,9	0,8	1,0
Всего:	2,5	2,6	2,4	2,6	2,7
Критерий обогатимости +/-0,1 RD	28,7	22,1	14,5	9,9	20,0

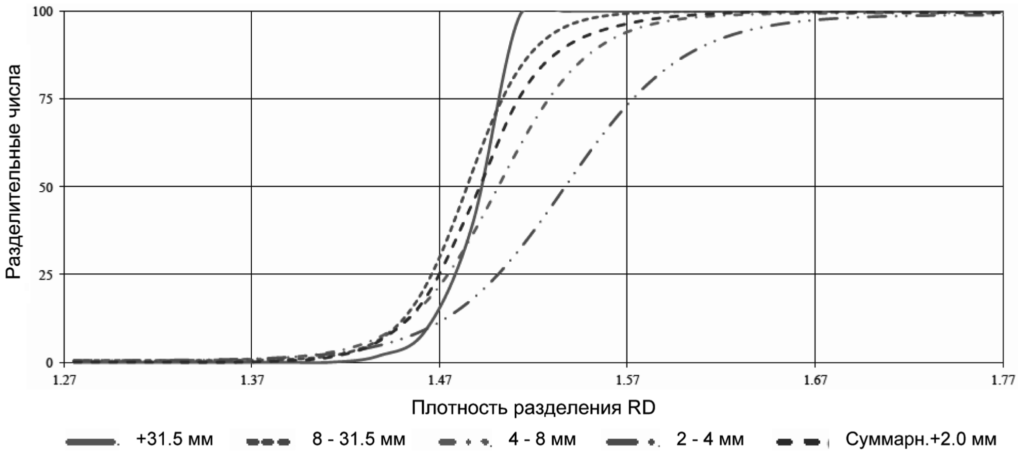

Рис. 2. Кривые разделения крупного угля в зависимости от размера частиц в опыте 8

производительности в ожидаемой линейной зависимости, что обусловлено увеличением засорения кондиционной суспензии из-за возрастающего попадания шлама в питание гидроциклона с обесшламливающего грохота. Из этих измерений сильно выделяется проба суспензии в опыте 5, что указывает на возможную ошибку определения концентрации магнетита в этой пробе.

Расхождение концентраций магнетита в пробах суспензии тяжелого и легкого продукта указывает на более высокое содержание немагнитного материала в суспензии легкого продукта при увеличении общей концентрации немагнитного материала. Детальные данные можно найти в отчете [3].

Для каждой фракции плотности и класса крупности были посчитаны разделительные числа (извлечения) и с помощью аппроксимации построены кривые разделения с использованием пакета «Поиск решения» в Excel для минимизации суммы квадратов отклонений действительных значений извлечения фракций от значений, рассчитанных по модифицированному уравнению Вайтена.

В качестве примера в табл. 2 представлены данные опыта 8, включающие параметры аппроксимации полученных кривых разделения.

На рис. 2 представлен соответствующий набор модельных кривых разделения, включающий кривые для всех классов крупности и рассчитанную кривую разделения для класса +2 мм в опыте 8. Этот рисунок показывает ожидаемую тенденцию увеличения плотности разделения и погрешности E_{pm} с уменьшением размера частиц.

В большинстве случаев зольность немагнитных частиц +0,25 мм в суспензии легкого продукта в действительности была меньше, чем зольность самого продукта ТСГЦ суммарной крупностью +2 мм. Вероятно, это обусловлено переизмельчением угля на фабрике из-за большей хрупкости чистого низкозольного коксующегося угля и последующим его переходом в класс менее 2 мм.

Для изучения разделения фракций в классе менее 2 мм в данном проекте проводился полный фракционный анализ немагнитных частиц. Анализ тонкого угля позволил оценить пределы эффективности ТСГЦ при работе с тонкими классами и получить количественное определение «критического» размера для ТСГЦ больших диаметров.

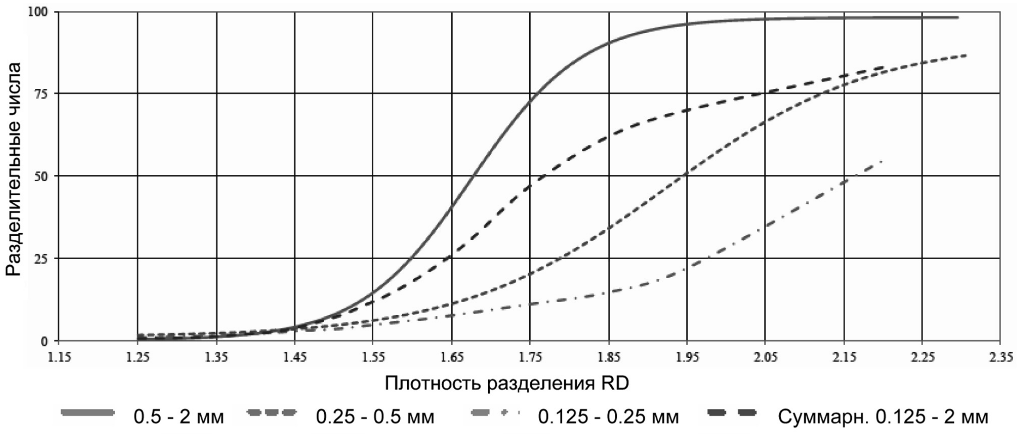

Рис. 3. Кривые разделения угольного шлама в зависимости от размера частиц в опыте 8

В качестве примера на рис. 3 представлен набор модельных кривых разделения для опыта 8, включающий кривые для всех рассмотренных классов, а также расчетная кривая для суммарного класса. Рисунок показывает значительное смещение плотности разделения класса менее 0,5 мм и плохое разделение для класса менее 0,25 мм. Это указывает на то, что материал находится ниже границы крупности перехода для эффективного разделения.

Соответствующие параметры аппроксимации кривых разделения в опыте 8 даны в табл. 3.

Ранее полученные данные по исследованиям ТСГЦ с диаметрами от 900 мм до 1300 мм в научном центре ACARP [4–6] сравнивались с данными, полученными в ходе выполнения рассматриваемого в статье проекта. При анализе результатов исследований использовались также внутренние базы данных ACARP (Mylec) по причине того, что зависимости между давлением на входе в гидроциклон, соотношением суспензии и угля, размером частиц и эффективностью ТСГЦ, широко публикуемые ранее в литературе, в целом недостаточно

Таблица 3

Данные аппроксимации для тонкого угля в опыте 8

Параметры при давлении 6·D и М:С=6:1	**Классы крупности, мм**			
	0,5–2	**0,25–0,5**	**0,125–0,25**	**Суммарный 0,125–2**
Выход в продукт %	84,9	82,2	83,2	84,2
D_{50}	1,66	1,92	2,17	1,77
E_{pm}	0,079	0,144	0,175	0,201
Засорение: Отходов	2,1	3,1	8,7	2,4
Легкого продукта	0,9	2,7	6,8	84,2
Всего:	3,0	5,8	15,5	86,6
Критерий обогатимости +/-0,1 RD	4,3	3,3	13,0	3,5

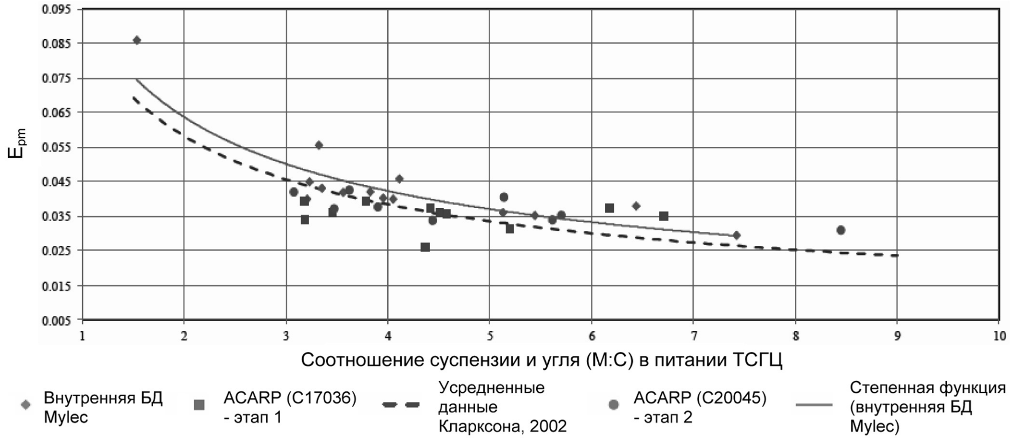

Рис. 4. Сравнение зависимости погрешности E_{pm} от соотношения М:С по данным Кларксона и ACARP для частиц крупностью 2–4 мм

полно представлены в контексте геометрии гидроциклона.

Результаты, полученные в проекте для класса 2–4 мм, демонстрируют плавное снижение погрешности E_{pm} (рис. 4). Наблюдаемая сильная корреляция между кривыми в значительной степени может быть обусловлена тем, что представленные данные указывают на узкий диапазон среднегеометрических размеров частиц (СГР), что исключает влияние размера частиц этой крупности на E_{pm}.

За исключением опыта 9 во всех экспериментах с соотношением суспензии и угля в питании 4:1 и более значения погрешности E_{pm} были меньше 0,035. И наоборот, для всех данных при соотношения суспензии и угля в питании менее 4:1 значения погрешности E_{pm} всегда больше 0,035. Это подтверждает целесообразность выбора минимального соотношения *М:С* = 4:1 для большинства рабочих режимов ТСГЦ, определенную в проекте [2].

В рамках проекта ACARP [3] проводилось сравнение зависимости погрешности E_{pm} от соотношения суспензии и угля и зависимости E_{pm} от давления на входе в гидроциклон. На графиках для зависимостей E_{pm} от *М:С* наблюдался уклон, больше чем для зависимостей E_{pm} от давления на входе, что свидетельствует о более сильном влиянии *М:С* на эффективность работы циклона по сравнению с влиянием давления на входе.

Близость значений E_{pm} для класса 2–4 мм в этом проекте ACARP при соответствующих соотношениях *М:С* говорит о том, что количество материала с плотностью, близкой к плотности разделения, или сама плотность разделения оказывают минимальное влияние на эффективность сепарации. Это свидетельствует о том, что в ТСГЦ больших диаметров не так сильно ухудшается разделение мелкого угля в условиях низкой плотности и гидроциклоны могут эффективно работать при соотношениях *М:С* равных 4:1 или более.

Данные работ [2] и [3] для класса +4 мм зависимости E_{pm} от соотношения *М:С* также хорошо коррелируют между собой (рис. 5).

Значения E_{pm} для фракции +4 мм в данном проекте сгруппированы около значения 0,02 за исключением одного значения, полученного в опыте 2, которое, скорее всего, объясняется

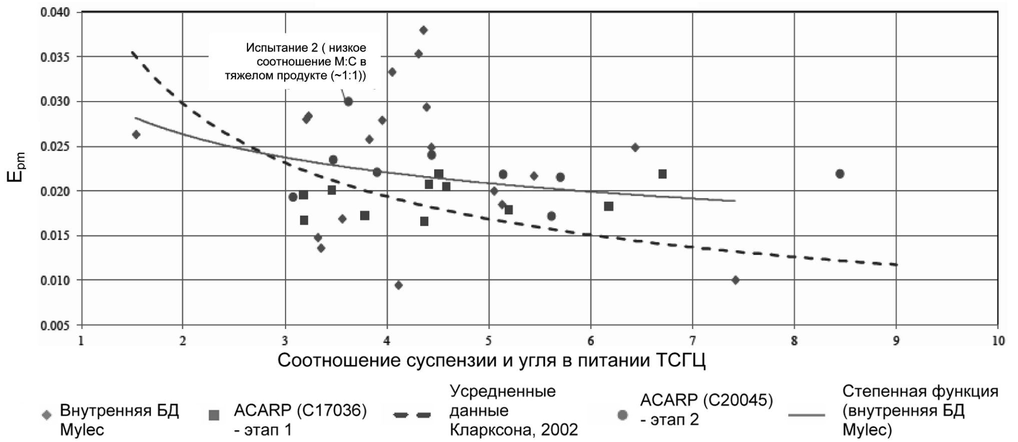

Рис. 5. Сравнение зависимости погрешности E_{pm} от соотношения М:С по данным Кларксона и ACARP для частиц крупностью +4 мм

очень низким соотношением *М:С* в тяжелом продукте (~1:1) в этом опыте.

Группирование значений E_{pm} для класса +4 мм около значения 0,02 указывает на то, что влияние соотношения *М:С* в питании на эффективность разделения крупных фракций мало, но это соотношение должно быть смещено к 4:1, чтобы обеспечить эффективность разделения тонкого угля. Это согласуется с выводами других работ [7] о том, что поддержание высоких значений соотношения суспензии и угля является важным фактором при разделении тонкого угля.

На рис. 6 наблюдается небольшое увеличение E_{pm} при более низких соотношениях *М:С* в тяжелом продукте.

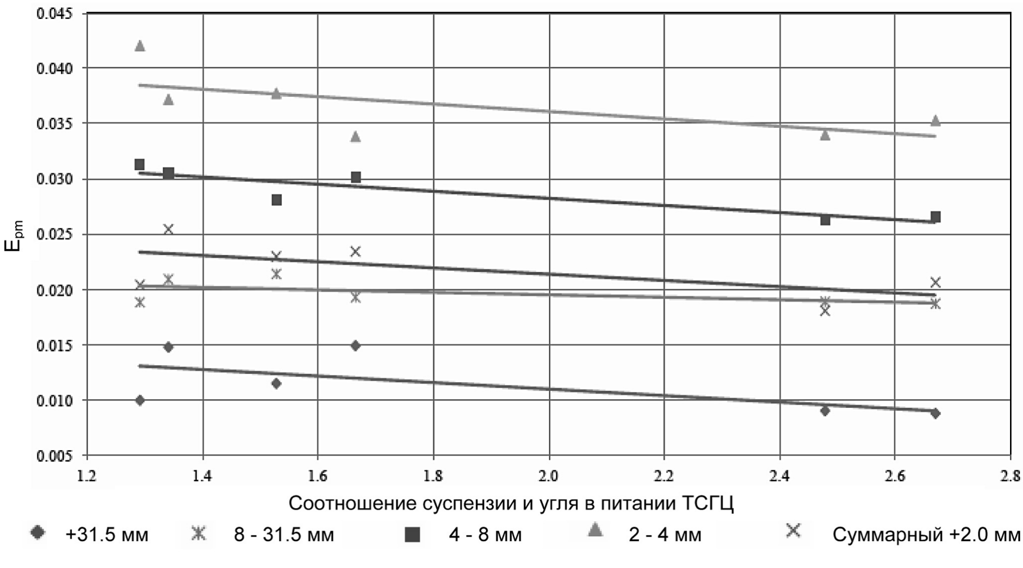

Рис. 6. Зависимость погрешности E_{pm} от соотношения М:С в тяжелом продукте для различной крупности частиц по данным проекта ACARP

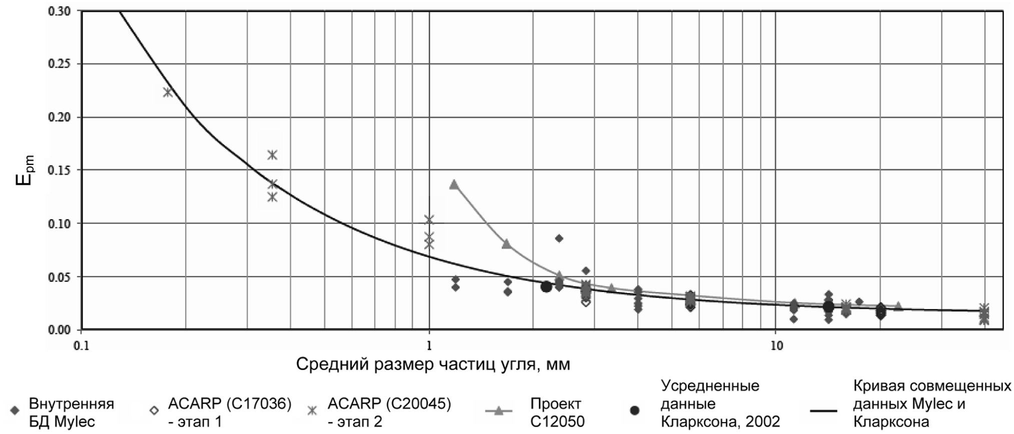

Рис. 7. Зависимость погрешности E_{pm} от крупности частиц

Тем не менее, влияние *М:С* ограничено размером частиц больше 4 мм. Для частиц меньше 4 мм, как показывает ряд данных, например, для класса крупности 2–4 мм, влияние соотношения суспензии и угля в тяжелом продукте больше, причем E_{pm} сильно возрастает по мере уменьшения этого соотношения.

Графики, построенные для всех фракций подтверждают выбор рекомендованного соотношения *М:С* в тяжелом продукте 2,5:1 и хорошо согласуются с данными некоторых общедоступных литературных источников.

Одной из задач проекта ACARP было сравнение зависимости эффективности от размера для ТСГЦ диаметром 1450 мм [3] и данных для других ТСГЦ больших диаметров [2] с целью проверки предположения «критического» размера частиц, утверждающей, что при уменьшении размера частиц менее 4 мм происходит значительное снижение эффективности [8–10]. В результате было сделано заключение, что с целью снижения риска снижения эффективности работы ТСГЦ должны быть оптимизированы такие ключевые параметры, как давление на входе и соотношение *М:С*, и была представлена кривая зависимости погрешности E_{pm} от размера частиц с «критической» точкой, расположенной выше номинального значения 2 мм в диапазоне до 4 мм.

Основные сравнительные результаты данного исследования представлены на рис. 7 совместно с данными работ Кларксона [4] (диапазон диаметров гидроциклона от 700 мм до 1300 мм), работы [10] (диапазон диаметров гидроциклона от 1000 мм до 1300 мм), внутренних баз данных ACARP (диапазон диаметров циклона от 900 мм до 1300 мм), а также данных проекта этапа-1 [2].

С помощью аппроксимации кривых по расширенным данным, полученным на этапах [2] и [3], а также данных Кларксона и внутренней базы данных ACARP была разработана общая модель взаимосвязи размера частиц *d* и погрешности E_{pm}. При этом значения, соответствующие известным неоптимальным режимам, были исключены (данные для размеров частиц менее 2 мм и вне диапазона давлений на входе от 6*D* до 9*D*). Выражение общей модели дается уравнением:

$$E_{pm} = 0{,}0149 + 0{,}054022 \cdot d^{-0{,}79655}. \quad (1)$$

Приведенные данные на рис. 7 подтверждают, что резкое снижение эффективности для мелких частиц при увеличении диаметра гидроциклона, отмеченное в работе [10] не всегда наблюдается.

Кривая E_{pm} для размеров менее 2 мм, построенная по данным проекта [3] не имеет такого крутого уклона, как кривая, построенная по данным проекта ACARP [10], но при уменьшении размера частиц менее 1 мм величина Epm возрастает более быстро. Такое возрастание может указывать на то, что «критический» размер частиц, хотя и не определяется точно, но находится приблизительно в этой области. Это существенно меньше «критического» размера, указанного в некоторых ранее опубликованных литературных источниках.

Для нахождения распределения по размерам частиц магнетита в потоках суспензии в данном проекте проводился гранулометрический анализ магнетита в пробах кондиционной суспензии, а так же в суспензии тяжелого и легкого продуктов ТСГЦ. При этом использовались три различных метода: метод лазерной гранулометрии, мокрый ситовой анализ и метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (рис. 8), для чего в лабораторию были переданы на анализ изготовленные аншлифы-брикеты с отобранными пробами магнетита.

На этапе-1 проекта ACARP [2] эмпирические результаты ситового анализа каждой пробы сравнивались с гранулометрическим составом, определенным с помощью лазерного гранулометра и с изображениями СЭМ.

Результаты этапа-1 проекта показали высокую степень неопределенности в распределении частиц магнетита по размерам, полученной методами гранулометрического анализа. Это было объяснено агломерацией частиц, искажающей результаты анализа СЭМ, и угловатостью частиц, искажающей результаты лазерного анализа. Тем не менее, на этапе-2 проекта [3] в целом наблюдалось лучшее соответствие результатов мокрого ситового анализа и лазерной гранулометрии по сравнению с результатами этапа-1. Анализ причин расхождения соответствующих данных результатов мокрого ситового анализа и лазерной гранулометрии показал, что основными источниками ошибок являются методическая погрешность. Более того, угловатость частиц, по всей видимости, влияет на результаты лазерного гранулометрического анализа в меньшей степени, чем методика подготовки образца.

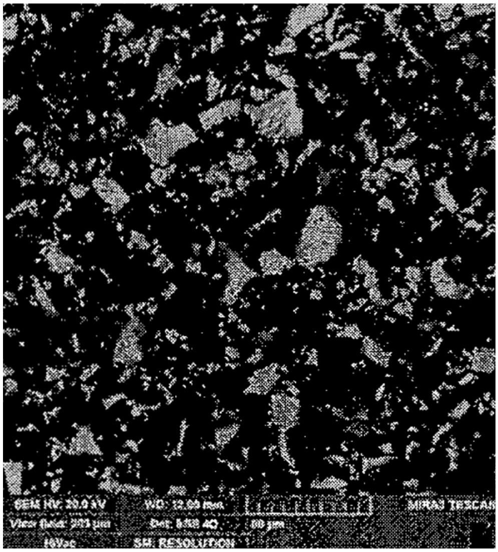

Рис. 8. Изображение СЭМ магнитного материала крупностью -38 мкм (из опыта 8)

По результатам рассматриваемого исследования можно сделать следующие основные выводы:

1. В условиях проведения испытаний существует выраженная линейная взаимосвязь между содержанием немагнитного материала в суспензии и нагрузкой по питанию на фабрике.

2. Корреляция между E_{pm} для крупных (+4 мм) и мелких (-4 мм) частиц и

соотношением *М:С* в питании ТСГЦ диаметром 1450 мм в условиях низкой плотности разделения и трудной обогатимости угля близка к взаимосвязи соответствующих величин в условиях высокой плотности разделения и легкой обогатимости для гидроциклонов диаметрами 900–1300 мм.

3. Полученные в этом проекте данные, демонстрирующие корреляцию Epm для крупных (+4 мм) и мелких (-4 мм) частиц с соотношением *М:С*, в очередной раз подтверждают рекомендуемое для проектирования минимальное значение соотношения *М:С* равное 4:1.

4. В условиях низкой плотности разделения и трудной обогатимости необходимо обеспечить приближение соотношения *М:С* в тяжелом продукте ТСГЦ к значению 2,5:1.

5. Условия работы при низкой плотности разделения и трудной обогатимости, исследование которых являлось целью этапа-2 проекта, не привели к какому-либо значительному снижению эффективности разделения при уменьшении размеров частиц менее 2 мм.

6. Значения E_{pm} для частиц размером менее 2 мм увеличиваются, причем, значительно быстро при уменьшении крупности менее 1 мм. Это указывает на то, что «критический» размер находится вблизи данного значения (~1 мм).

7. Было установлено, что подготовка проб имеет решающее значение для уменьшения погрешностей при определении гранулометрического состава магнетита лазерным и СЭМ методами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Andrew Meyers, Glenn Sherritt, Ashleigh Jones, Marnie Rowe*. Large Diameter Dense Medium Cyclone Performance in Low Density / High Near Gravity Environment. Proceedings of the 17th International Coal Preparation Congress 1–6 october 2013, Istanbul / Turkey.

2. *Sherritt G., Meyers A., Bennetts A., Graham J.* Delineation of Large Diameter Dense Medium Cyclone Performance, Project C17036, ACARP, 2010.

3. *Sherritt G., Meyers A., Jones A., Rowe M.* Large Diameter Dense Medium Cyclone Performance in Low Density / High Near Gravity Environment, Project C20045, ACARP, 2013.

4. *Clarkson C., Edward D., Davidson J., Lahey A.* Analysis of Large Diameter Cyclone Plant Performance. Ninth Australian Coal Preparation Conference, 2002.

5. *Weale W., Swanson A.* Improved Design and Operational Data for Large diameter Dense Medium Cyclones. Project C10048, ACARP, 2002.

6. *Clarkson C., Holtham P.* Efficiency of Large Diameter Dense Medium Cyclones, The Australian Coal Review, 1998.

7. *Moorehead R., Schuttle A.* Operating Guidelines for Low-Density Dense medium Cyclone Separations, 2005.

8. *Engelbrecht J.A., Bosman J.* Design Criteria for an Improved Large Diameter Dense Medium Cyclone in Smitham J. (ed), Proceedings, Seventh Australian Coal Preparation Conference, Paper B3, 1995.

9. *Swanson A.* Performance Data Collation and Database, Project C15060, ACARP, 2007.

10. *Atkinson B., Swanson A.* Large Diameter DM Cyclone Operating Data. Project C12050, ACARP, 2007. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Козлов Вадим Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, главный технолог,
Чернышова Елена Николаевна – кандидат технических наук, инженер-технолог,
ООО «Коралайн Инжиниринг» (CETCO), e-mail: info@cetco.ru.

UDC 622.7:658.512; 622.766.43; 622.7.017.2

OPERATION OF A LARGE-DIAMETER FLOAT-AND-SINK CYCLONE IN THE CONDITIONS OF LOW DENSITY SEPARATION AND LOW WASHABILITY OF COAL

Kozlov V.A., Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Chief Technologist,
Chernyshova E.N., Candidate of Engineering Sciences, Engineer-technologist,
Coraline Engineering Ltd. (CETCO), e-mail: info@cetco.ru.

The article reports the results of the Australian Coal Industry's Research Program project C20045, Stage 2, to continue Stage 1 project ACARP № 17036. The objective was the analysis of operation of a float-and-sink cyclone (FSC) with large diameter of 1450 mm under critical duties, to obtain the data on the conditions of out-of-reliability operation of the machine. Aimed at identifying conditions of FSC performance degradation, the operation analysis involved varied solid loading in the feed of the cyclone, varied pulp-to-coal ratio in the range from 3:1 to 6:1, the cyclone inlet pressure ranged from 5D to 9D. Separation was carried out at low density and low washability of coal (Bard criterion ± 0.1RD = 42%). Definition of the efficient separation limits for fine particles accounted for nonmagnetic materials present in magnetite pulp specimens. By the resultant estimations, the operation efficiency is equal in case of two smaller-diameter cyclones and in case of one large-diameter cyclone given the high density separation and high washability of coal. The cyclone performance started degrading with coal particles smaller than 1.0 mm, which identified the «critical» size of coal particles.

Key words: float-and-sink cyclone, density of separation, error of separation, washability criterion, magnetite pulp, critical size of coal particles.

REFERENCES

1. Andrew Meyers, Glenn Sherritt, Ashleigh Jones, Marnie Rowe. Large Diameter Dense Medium Cyclone Performance in Low Density, *High Near Gravity Environment. Proceedings of the 17th International Coal Preparation Congress 1–6 october 2013*, Istanbul, Turkey.
2. Sherritt G., Meyers A., Bennetts A., Graham J. *Delineation of Large Diameter Dense Medium Cyclone Performance*, Project C17036, ACARP, 2010.
3. Sherritt G., Meyers A., Jones A., Rowe M. *Large Diameter Dense Medium Cyclone Performance in Low Density, High Near Gravity Environment*, Project C20045, ACARP, 2013.
4. Clarkson C., Edward D., Davidson J., Lahey A. *Analysis of Large Diameter Cyclone Plant Performance. Ninth Australian Coal Preparation Conference*, 2002.
5. Weale W., Swanson A. *Improved Design and Operational Data for Large diameter Dense Medium Cyclones*. Project C10048, ACARP, 2002.
6. Clarkson C., Holtham P. Efficiency of Large Diameter Dense Medium Cyclones, *The Australian Coal Review*, 1998.
7. Moorehead R., Schuttle A. *Operating Guidelines for Low-Density Dense medium Cyclone Separations*, 2005.
8. Engelbrecht J.A., Bosman J. Design *Criteria for an Improved Large Diameter Dense Medium Cyclone in Smitham J. (ed), Proceedings, Seventh Australian Coal Preparation Conference*, Paper B3, 1995.
9. Swanson A. Performance *Data Collation and Database*, Project C15060, ACARP, 2007.
10. Atkinson B., Swanson A. *Large Diameter DM Cyclone Operating Data*. Project C12050, ACARP, 2007.