

УДК 621.311.22:622.7.002.68:662.654

Результаты исследования влияния механической активации на структурно-реологические характеристики угольных суспензий на основе фильтр-кеков

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Россия 654007, Новокузнецк, ул. Кирова, 42 ¹*

Received 2.12.2011, received in revised form 9.12.2011, accepted 16.12.2011

Управление структурно-реологическими характеристиками водоугольного топлива (ВУТ), получаемого на основе фильтр-кеков, возможно подбором реагентов-пластификаторов и механоактивацией.

На данном этапе механическую активацию ВУТ моделировали в экспериментальном образце специального роторно-пульсационного аппарата РПА-М, созданного в рамках выполнения контракта № 02.740.11.0757 от 12 апреля 2010 г.

Активация тонкодисперсных угольных суспензий на основе фильтров-кеков углеобогачительных предприятий Кузбасса для снижения эффективной вязкости и напряжения сдвига, а также повышения стабильности ВУТ осуществлялась при скорости сдвига более 10^3 с^{-1} .

Выполненные исследования показали, что применение механической активации позволяет снизить эффективную вязкость в водоугольном топливе в среднем на 27, а по отдельным пробам до 40 %.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологических схем для приготовления и сжигания углеотходов в виде ВУТ с обязательным включением операции механоактивации.

Ключевые слова: тонкодисперсные углесодержащие отходы, фильтр-кек, водоугольные суспензии, реологические модели течения, гранулометрический состав, механоактивация.

Введение

Выбор технологической схемы приготовления ВУТ зависит от многих факторов: характеристик исходного сырья, требуемого качества суспензии, типа добавок, используемых в процессе, экономических факторов и т.д. и в значительной мере определяется требованиями к реологическим свойствам и стабильности топлива.

Реологические свойства и стабильность суспензионного угольного топлива из углей Кузбасса в большей мере, чем углей других месторождений, определяются его гранулометрическим составом. Экспериментально установлено, что эффективная вязкость ВУТ минимальна

* Corresponding author E-mail address: sib_eco@kuz.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

для такого гранулометрического состава, который соответствует возможности образования наиболее плотной упаковки частиц. Существенное влияние гранулометрического состава угля на реологические свойства ВУТ побуждает искать условия его приготовления, обеспечивающие максимальное значение фактора упаковки [1].

Следствием разрушения структурной сетки, так же как и распада агрегатов из частиц, является высвобождение иммобилизованной в структуре или агрегатах воды и поэтому увеличение действующего значения водоугольного отношения, а значит, и соответствующее уменьшение эффективной вязкости.

Когда значения вязкости и напряжения сдвига существенно превышают приемлемые для транспортирования ВУТ, представляется необходимым установить возможность их снижения высокоскоростной активационной обработкой получаемой суспензии.

На основе теории разрушения структурированных высококонцентрированных дисперсных систем при сдвиговых деформациях [2, 3] представляется возможным рассчитать оптимальные режимы дезагрегирования – активации водоугольных суспензий для снижения эффективной вязкости и напряжения сдвига, а также повышения стабильности при скорости сдвига более 10^3 с^{-1} .

В данной статье определено влияние механической активации на структурно-реологические характеристики угольных суспензий, полученных на основе фильтр-кеков. Результаты выполненных исследований предоставляют исходные данные для создания нового специального оборудования – насоса-активатора для механической активации суспензионного угольного топлива.

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»).

Экспериментальная часть

Исследования проводились для определения влияния механической активации на структурно-реологические характеристики тонкодисперсных угольных суспензий, полученных на основе фильтр-кеков углеобогажительных предприятий Кузбасса.

Технологическая схема включала в себя следующие операции:

- дозированную подачу исходных компонентов: фильтр-кеков, водного раствора реагентов и при необходимости воды в смеситель на перемешивание;
- классификацию суспензии, выгружаемой после перемешивания из смесителя, по верхнему зерну 2,0 (3,0) мм на фильтре грубой очистки (сетке);
- механоактивацию суспензионного угольного топлива с помощью насоса-активатора;
- аккумулярование готового суспензионного угольного топлива для дальнейшего сжигания в топке.

Для приготовления суспензионного угольного топлива использовали лабораторный смеситель со следующими характеристиками:

- объем бака – 80 л;
- мощность привода – 4 кВт.

На данном этапе механическую активацию ВУТ моделировали в экспериментальном образце специального роторно-пульсационного аппарата РПА-М, созданного в рамках выполнения контракта № 02.740.11.0757 от 12 апреля 2010 г. В роторно-пульсационном аппарате осуществляли обработку ВУТ в условиях сдвигового деформирования в зазоре $0,2 \div 0,3$ мм между двумя дисками при относительной угловой частоте вращения подвижного диска 2900 об/мин. В результате на периферийной части диска скорость сдвига достигала $2100 \div 3160 \text{ с}^{-1}$, т.е. заведомо реализовались условия, соответствующие предельному разрушению структуры.

При этом решались следующие задачи:

- расчет технологических регламентов для приготовления суспензионного угольного топлива (ВУТ) в лабораторном смесителе на основе фильтр-кеков семи углеобогабателных предприятий Кузбасса;
- анализ исходных проб фильтр-кеков и готового ВУТ на гранулометрический состав, зольность, влажность, химический состав золы, дериватографию;
- определение значений основных структурно-реологических характеристик ВУТ до и после механоактивации.

Для проведения исследований в лабораторный смеситель (принудительного действия) загружали исходный материал (фильтр-кек), водный раствор комплексной добавки и при необходимости водопроводную воду. Общая масса загружаемых компонентов составляла 60,0 кг. Продолжительность перемешивания определяли достижением однородной консистенции суспензии (отсутствием комочков, водоотделения и осадка).

В табл. 1 представлена характеристика исходных продуктов – фильтр-кеков, полученных от переработки углей различных стадий метаморфизма (марки угля) обогажительных фабрик (ОФ) Кузбасса:

«КО+К»	– ОФ «Северная» (г. Березовский);
«ГЖ»	– ЦОФ «Абашевская» (г. Новокузнецк);
«Г»	– ОФ «Щедрухинская» (г. Новокузнецк);
«КС», «Т»	– ОФ «Междуреченская» (г. Междуреченск);
«КЖ+Ж»	– ЦОФ «Кузбасская» (г. Междуреченск);
«Т»	– ОФ «Красногорская» (г. Междуреченск);
«Г»	– ОФ «Спутник» (г. Полысаево).

Суспензионное угольное топливо, приготовленное в смесителе из представленных выше продуктов, переливали в расходную емкость, из которой посредством соединительных шлангов подавали через насос-активатор в емкость готового продукта (для сжигания). После перемешивания в смесителе и пропуска ВУТ через насос-активатор отбирали пробы для анализа на массовую долю твердой фазы, гранулометрический состав и вязкость. Результаты исследований даны в табл. 2.

Учитывая, что водоугольные суспензии с массовой долей твердой фазы более 50 % являются существенно неньютоновскими жидкостями, для каждой из исследуемых проб ВУТ по результатам измерений напряжений сдвига на различных скоростях сдвига определяли коэффициенты степенного и бингамовского реологических уравнений (табл. 3).

Таблица 2. Характеристика суспензионного угольного топлива на основе фильтр-кеков ОФ Кузбасса до и после механоактивации

№№ п/п	Номер пробы	Зольность, A^d , %	Наименование добавки	Количество добавки от твёрдой фазы, %	Массовая доля твёрдой фазы, C_n , %	Гранулометрический состав, классы, мм				Низшая теплота сгорания, Q_r^l , МДж/кг (ккал/кг)
						0,355	0,250- 0,355	0,160- 0,250	0,071-0,160	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ОФ «Северная»										
Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 10 мин)										
1	45	35,0	Тип С	0,25	59,2	0,5	2,2	2,6	12,4	82,3
Пропуск через насос-активатор										
2	46	35,0	Тип С	0,25	59,2	0,3	2,3	2,3	12,5	82,6
ЦОФ «Абашевская»										
Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 15 мин)										
3	57	24,2	Вариант В2	1,0	63,4	0,8	5,8	5,2	26,1	62,1
Пропуск через насос-активатор										
4	58	24,2	Вариант В2	1,0	63,4	0,7	5,7	5,0	25,5	63,1
ОФ «Щедрухинская»										
Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 20 мин)										
5	63	30,5	Вариант В2	0,7	58,8	0,5	3,9	3,1	21,1	71,4
Пропуск через насос-активатор										
6	64	30,5	Вариант В2	0,7	58,8	0,4	3,7	3,1	20,9	71,9
ОФ «Междуреченская», марка «КС»										
Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 40 мин)										
7	49	61,1	Вариант М1	0,61	50,8	0,3	1,0	1,2	10,9	86,6
Пропуск через насос-активатор										
8	50	61,1	Вариант М1	0,61	51,1	0,3	1,0	1,1	10,7	86,9
ОФ «Междуреченская», марка «Т»										
Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 20 мин)										
9	53	45,9	Вариант М1	0,31	52,0	0,4	1,6	1,7	21,1	75,2
Пропуск через насос-активатор										
10	54	45,9	Вариант М1	0,31	52,1	0,3	1,6	1,5	20,2	76,4

8,4 (2003)

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ЦОФ «Кузбасская» Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 30 мин)											
11	4	26,4	Вариант В1	1,0	56,5	1,0	2,1	1,2	10,8	84,9	12,5 (2995)
Пропуск через насос-активатор											
12	5	26,4	Вариант В1	1,0	56,4	0,4	1,9	1,0	9,8	86,9	12,5 (2989)
ОФ «Красногорская» Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 30 мин)											
13	9	24,5	Вариант В1	1,0	57,7	0,5	3,6	1,6	10,9	83,4	13,9 (3320)
Пропуск через насос-активатор											
14	10	24,5	Вариант В1	1,0	57,7	0,5	3,6	1,7	10,9	83,3	13,9 (3320)
ОФ «Спутник» Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 10 мин)											
15	39	26,8	Вариант В2	1,0	57,4	-	-	0,3	17,1	82,6	12,3 (2928)
Пропуск через насос-активатор											
16	40	26,8	Вариант В2	1,0	57,3	-	-	0,1	16,6	83,3	12,2 (29,22)

Таблица 3. Реологические модели течения суспензионного угольного топлива на основе фильтр-кеков Оф Кузбасса до и после механоактивации

№ п/п	№ пробы	Реологические модели течения							
		Степенная (псевдопластичная)					Бингамовская (вязкопластичная)		
		Эффективная вязкость при скорости сдвига 9 с^{-1} , η , мПа·с	Эффективная вязкость при скорости сдвига 81 с^{-1} , η , мПа·с	Коэффициент консистент- ности, K , Па·с ^{<i>n</i>}	Индекс потока, <i>n</i>	Среднеквад- ратичное отклонение, σ	Начальное напряжение сдвига, τ_0 , Па	Структурная вязкость, μ_0 , Па·с	Среднеквад- ратичное отклонение, σ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ОФ «Северная»									
Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 10 мин)									
1	45	569	267	1,15	0,68	0,15	9,37	0,15	0,05
Пропуск через насос-активатор									
2	46	500	207	1,14	0,63	0,12	9,28	0,10	0,02
ЦОФ «Абашевская»									
Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 15 мин)									
3	57	123	119	0,11	1,04	0,07	1,56	0,15	0,04
Пропуск через насос-активатор									
4	58	113	119	0,09	1,08	0,07	3,04	0,16	0,03
ОФ «Щедрухинская»									
Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 15 мин)									
5	63	558	311	1,03	0,72	0,02	9,53	0,17	0,14
Пропуск через насос-активатор									
6	64	445	267	0,75	0,76	0,01	8,71	0,16	0,07
ОФ «Междуреченская», марка «КС»									
Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 40 мин)									
7	49	1838	267	10,93	0,19	0,10	16,69	0,05	0,14
Пропуск через насос-активатор									
8	50	2028	267	13,22	0,15	0,09	17,60	0,05	0,14
ОФ «Междуреченская», марка «Т»									
Перемешивание в лабораторном смесителе (t=20 мин)									
9	53	3468	504	19,74	0,21	0,19	30,16	0,12	0,38

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пропуск через насос-активатор									
10	54	2444	326	15,07	0,17	0,19	22,09	0,06	0,29
ЦОФ «Кузбасская»									
Перемешивание в лабораторном смесителе 1 (t = 30 мин)									
11	4	455	444	0,49	0,97	0,03	2,43	0,39	0,04
Пропуск через насос-активатор									
12	5	336	341	0,35	0,98	0,13	2,56	0,30	0,06
ОФ «Красногорская»									
Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 30 мин)									
13	9	613	281	1,25	0,68	0,15	10,25	0,16	0,03
Пропуск через насос-активатор									
14	10	755	237	2,30	0,49	0,06	12,42	0,08	0,13
ОФ «Спутник»									
Перемешивание в лабораторном смесителе (t = 10 минут)									
15	39	171	148	0,20	0,93	0,01	1,87	0,13	0,01
Пропуск через насос-активатор									
16	40	99	89	0,10	0,99	0,05	0,07	0,10	0,04

Оставшуюся от анализов пробу заливали в полиэтиленовые банки вместимостью 500 мл для наблюдения за стабильностью с течением времени определением наличия осадка и водоотделения.

Результаты и их обсуждение

Анализ табл. 1 показал, что зольность в исследуемых пробах фильтр-кеков изменялась в широком диапазоне: от 24,2 % для фильтр-кека ЦОФ «Абашевская» и до 61,1 % для фильтр-кека марки «КС» ОФ «Междуреченская». Влажность фильтр-кеков анализируемых проб имела меньший разброс значений и лежала в интервале от 35,3 (фильтр-кек ЦОФ «Абашевская») до 44,8 % (фильтр-кек марки «Т» ОФ «Междуреченская»).

В анализируемых пробах фильтр-кеков гранулометрический состав характеризовался неодинаковым распределением частиц по крупности. Выход класса +0,250 мм значительно превышал требуемое по условиям сжигания ограничение на размер крупных частиц ($R_{250} \leq 5$ %) у фильтр-кеков ЦОФ «Абашевская» (17,9 %), в то время как практически отсутствовал этот класс у фильтр-кеков ОФ «Спутник» (0,4 %).

На остальных углеперерабатывающих предприятиях выход обозначенного выше класса крупности изменялся от 4,0 до 7,9 %, что по отдельным пробам немного выше нормы.

Наибольшее содержание тонкодисперсной фракции имели фильтр-кеки ОФ «Северная», выход класса менее 0,071 мм в которых составлял 81,5 %. Углеотходы с ЦОФ «Абашевская» наиболее крупные по гранулометрическому составу: в пробе присутствовали такие моноклассы, как 1÷3 мм, +3,0 мм в количестве 1,7; 2,2 % соответственно, выход класса менее 0,075 мм составлял 59,5 %.

Анализ табл. 2 показал, что, несмотря на то, что скорость деформации в насосе-активаторе превышала критический уровень, после которого не исключено, что некоторая доля крупных частиц, имеющих дефекты структуры, могла диспергироваться, значительно-го перераспределения классов крупности не произошло. Прирост класса -0,071 мм в отработанных механоактивацией пробах составил от 0,3 % (ОФ «Северная», ОФ «Междуреченская» марки «КС») до 2,0 % (ЦОФ «Кузбасская»). С учетом изложенного можно утверждать, что управление структурно-реологическими характеристиками ВУТ, получаемого на основе фильтр-кеков, изменением гранулометрического состава не представляется возможным. Таким образом, управление структурно-реологическими характеристиками ВУТ, получаемого на основе фильтр-кеков, возможно только подбором реагентов-пластификаторов и механоактивацией [2].

Снижение эффективной вязкости связано с тем, что длительное деформирование, вызывая разрушение агрегатов и частиц при высоких значениях скорости деформации 10^3 с^{-1} , приводит не только к распаду агрегатов, но и к более равномерному распределению добавок поверхностно-активного вещества и электролитов по поверхности частиц угля в результате интенсивного конвективного массопереноса.

После однократной обработки в насосе-активаторе эффективная вязкость осталась без изменения в пробах ВУТ на основе фильтр-кеков ЦОФ «Абашевская» и ОФ «Междуреченская» (марка «КС»), минимально снизилась при скорости сдвига 81 с^{-1} на 44 мПа·с (ОФ «Щедрухинская» и ОФ «Красногорская»), максимально – на 178 мПа·с (ОФ «Междуреченская, марка «Т»).

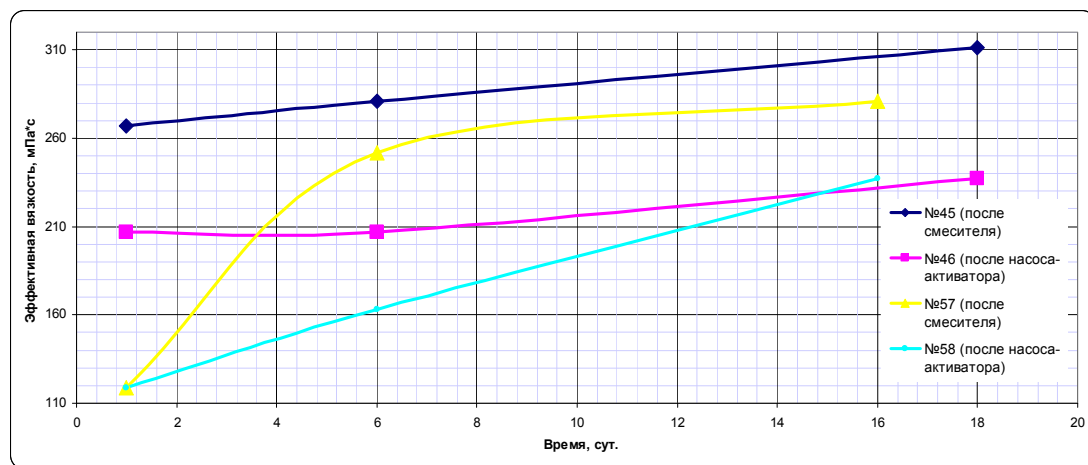


Рис. 1. Влияние механической активации на эффективную вязкость ВУТ на основе фильтр-кеков ОФ «Северная» и ЦОФ «Абашевская»

Периодическое определение эффективной вязкости в оставленных на хранение пробах ВУТ позволило получить дополнительную информацию и объективно оценить влияние механоактивации на реологические свойства топлива с течением времени в зависимости от таких факторов, как марка и зольность угля, содержание твердой фазы в ВУТ, тип используемой комплексной добавки.

В подтверждение сказанному отметим, что в пробах ВУТ, приготовленных на основе фильтр-кеков ОФ «Северная» и ЦОФ «Кузбасская», после пропускания через насос-активатор эффективная вязкость меньше, чем в необработанных в любой момент времени на протяжении всего периода хранения (рис. 1)

Положительное влияние механоактивации на ВУТ, приготовленное на основе фильтр-кеков ЦОФ «Абашевская», представляется возможным оценить после определения эффективной вязкости в оставленных на хранение пробах через промежутки времени. Так, одинаковые значения эффективной вязкости в обработанной и необработанной пробах в день приготовления через 6 суток различались между собой почти на 100 мПа·с при скорости сдвига 81 с^{-1} (рис. 2).

Пропуск через насос-активатор пробы ВУТ на основе фильтр-кеков ОФ «Красногорская» способствовал стабилизации реологических свойств. Так, увеличение времени хранения обработанной пробы до 20 суток к значительному повышению эффективной вязкости в ней не привело, в отличие от необработанной (рис. 2).

Заключение

Выполненные исследования показали, что применение механической активации позволяет снизить эффективную вязкость в водоугольном топливе в среднем на 27, а по отдельным пробам до 40 %. Таким образом, при разработке технологии приготовления ВУТ на основе тонкодисперсных отходов углеобогащения (фильтр-кеков) необходимо предусмотреть обязательное включение операции механоактивации.

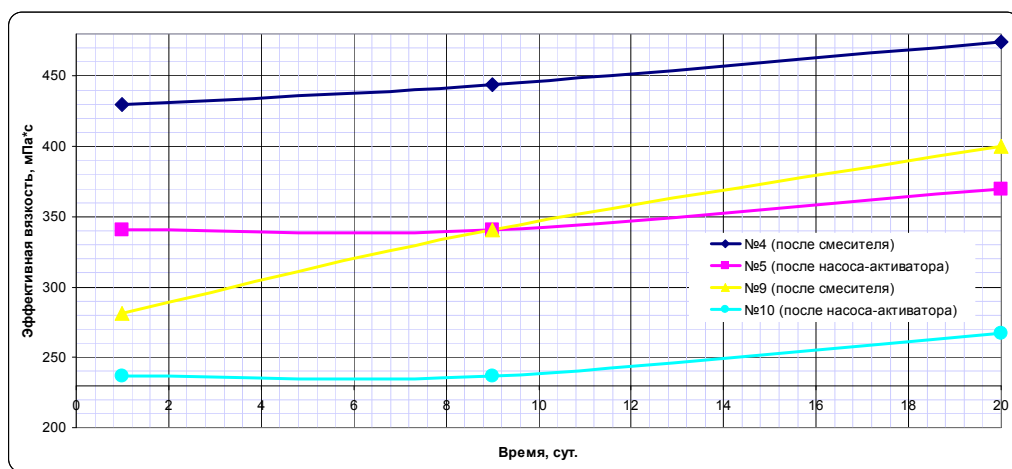


Рис. 2. Влияние механической активации на эффективную вязкость ВУТ на основе фильтр-кеков ЦОФ «Кузбасская» и ОФ «Красногорская»

В качестве основного оборудования рекомендуется использовать специально разработанный насос-активатор, в котором перекачиваемая суспензия подвергается механической активации за счет воздействия значительных градиентов скоростей вследствие движения суспензии через дисковые щели, образованные в подвижном и неподвижном колесах.

Список литературы

- [1] Редькина Н.И., Ходаков Г.С. Физико-химические особенности водоугольных суспензий: Сборник научных трудов/ НПП «Гидротрубопровод». М., 1991. С. 25.
- [2] Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. М.: Химия, 1980. С. 320.
- [3] Ребиндер П.А. Избранные труды. М.: Наука, 1978. Т. I; 1979. Т. II,

Results of Research of Influence of Mechanical Activation on Structurally-Rheological Characteristics of Coal Suspensions on the Basis the Filter-Cake

**Vasily I. Murko, Galina D. Vakhrusheva,
Vladimir I. Fedjaev, Victor I. Karpenok,
Vera P. Mastihina and Dmitry A. Dzjuba**
*Siberian State Industrial University
42 Kirov str., Novokuznetsk, 654007 Russia*

Management of structurally-rheological characteristics WCF (water-and-coal fuel) received on a basis the filter-cake probably selection of reagents-softeners and mechanical activation.

At the given stage mechanical activation WCF modelled in the experimental sample special rotor-pulsating the device of RPA TH contract created within the limits of performance № 02.740.11.0757 from April, 12th, 2010.

Activation fine-dispersed coal suspensions on the basis of filters-cake enterprises for coal enrichment of Kuzbas for the purpose of decrease in effective viscosity and pressure of shift, and also increase of stability WCF it was carried out at speed of shift more than 10^3 c⁻¹.

The executed researches indicators that application of mechanical activation allow to lower effective viscosity in water coal fuel on the average on 27 %, and on separate tests to 40 %.

The received results can be used by working out of technological schemes for preparation and burning waste of coal in the form of WCF with obligatory inclusion of operation of mechanical activation.

Keywords: fine-dispersed waste at coal enrichment, filter-cakes, water coal suspensions, flow models of a current, granulometric structure, mechanical activation.
