

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-14-19

УДК 622.7:658.512:622.765:622.794

**АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ
ПОЛИМЕРНЫХ ФЛОКУЛЯНТОВ В ПРОЦЕССАХ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ
УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ И ПРОДУКТОВ ИХ ОБОГАЩЕНИЯ****THE ANALYSIS OF THE EXISTING METHODS FOR DETERMINATION OF THE
POLYMERIC FLOCCULANTS EFFICIENCY IN THE COAL SLUDGES DE-
WATERING PROCESSES**

Удовицкий Владимир Иванович,
доктор техн. наук, зав. кафедрой ОПИ, профессор, e-mail: uvi@kuzstu.ru
Vladimir I. Udovitsky, D.Sc. (Engineering), Head of Department, Professor
Фролов Дмитрий Вадимович,
аспирант, e-mail: radhyori@mail.ru
Dmitry V. Frolov, PhD student

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация: В настоящее время на угледобывающих и перерабатывающих предприятиях широко используются полимерные флокулянты в операциях обезвоживания угольных шламов и продуктов их обогащения, кондиционировании и очистке сточных вод. В связи с увеличением расходов на приобретение полимерных флокулянтов для этих операций возрастает необходимость максимально эффективно применения флокулянтов в обогатительных процессах. Эффективность применения флокулянтов в значительной степени зависит от времени года, химического состава воды, гранулометрического, фракционного и качественного составов шламов, в связи с чем необходимо уделять пристальное внимание правильному подбору флокулянта под условия конкретной обогатительной фабрики. Целью авторов было рассмотрение существующих методик, позволяющих оценить эффективность работы флокулянта при его подборе, их анализ и оптимизация. В статье рассмотрены основные методики определения эффективности действия полимерных флокулянтов, использующиеся на обогатительных фабриках в настоящее время (а именно: методика постановки исследований, методика предварительного тестирования флокулянтов, методика основного тестирования флокулянтов), а также выполнен анализ методик в целях разработки направлений их совершенствования. Соблюдение приведенных в статье рекомендаций по отбору проб и приготовлению флокулянтов позволит получить результаты определения эффективности действия полимеров, моделирующие промышленные.

Abstract: Nowadays polymeric flocculants are widely used at the coal processing facilities to enhance the processes of coal sludges dewatering and wastewater clearing. Because of significant increase in expenses on polymeric flocculants purchasing for those operations it becomes more and more important to use those flocculants in the coal preparation processes with maximum efficiency. The efficiency of the flocculant usage is extremely dependent on the current season, chemical properties of water and the properties of the processed coal, and, considering all that, it is necessary to give full attention to the right way of choosing flocculant to use under conditions of a specific preparation plant. The authors wanted to analyze current methods to measure the flocculant efficiency when choosing one to use at the coal preparation plant and to optimize those methods when possible. In this paper, some methods of analysis of the flocculants efficiency, which are used at the coal processing plants in the present time, are listed. Those methods are further examined with the purpose of their enhancement. Following the recommendations indicated in the study will allow us to get the results that simulate the industrial ones.

Ключевые слова: обезвоживание, сгущение, флокулянты, обогащение, концентрат, отходы флотации.

Key words: dewatering, thickening, flocculants, coal processing, clean coal, flotation tailings

В последнее десятилетие на угледобывающих и перерабатывающих предприятиях России наблюдается тенденция к значительному росту применения полимерных флокулянтов во вспомогательных процессах обогащения, к которым относятся процессы обезвоживания угольных шламов и продуктов их обогащения. Флотационный концентрат обезвоживается на дисковых и ленточных вакуум-фильтрах, шламы и отходы флотации - на ленточных и камерных фильтр-прессах [1, 2, 3].

Материальные затраты на закупку флокулянтов в настоящее время значительно выросли. Это связано с ухудшением качества рядового угля из-за применения высокопроизводительной добычной техники, способствующей увеличению выходов мелких классов, а также в связи с увеличением курса иностранных валют, в первую очередь доллара и евро, так как большая часть флокулянтов поставляется из-за границы. Поэтому правильный подбор флокулянтов в процессах обезвоживания угольных шламов и продуктов их переработки имеет большое значение для снижения расхода флокулянтов и повышения эффективности работы углеобогащательного предприятия за счет снижения себестоимости обогащения в целом [4, 5].

В процессах сгущения угольно-глинистых шламов, отходов флотации, реже флотационных концентратов, применение флокулянтов также необходимо [6]. Достаточно долго, в качестве основного технологического оборудования для сгущения угольно-глинистых шламов применялись радиальные сгустители. До середины 90-х годов прошлого века, использовались сгустители с периферийным приводом С-30, диаметром 30 м. В настоящее время наиболее широко применяются сгустители с центральным приводом, которые автоматизированы, позволяют аппаратчикам управлять и контролировать процесс [7]. Некоторые предприятия из-за отсутствия свободных площадей на обогащательных фабриках вынуждены устанавливать тонкослойные сгустители. Эти сгустители имеют ряд недостатков, снижающих эффективность сгущения глинистых шламов, но их габаритные размеры позволяют разместить оборудование в ограниченном пространстве [8].

Несмотря на разнообразие конструкций сгустителей, моделирование технологического процесса сгущения достаточно достоверно осуществляется в лабораторных условиях [9, 10, 11].

Рассмотрим методики исследований эффективности действия флокулянтов в процессах сгущения шламов на обогащательных предприятиях, которые применяются в настоящее время, и проведем их анализ в целях разработки направлений их совершенствования.

Методика определения флокулируемости шлама, описанная ранее в научно-технической литературе [12, 13], широко применяется и в

настоящее время в научно-исследовательских учреждениях и в ВУЗах.

Процесс приготовления растворов флокулянтов для лабораторных и промышленных исследований подробно представлен в работах [14, 15].

Методика постановки исследований заключается в следующем.

В стеклянный, цилиндр объемом 500 мл заливают флокулируемую суспензию, содержащую 25 г твёрдого. В суспензию вводят 0,03 мл раствора негидролизованного полиакриламида 0,15% концентрации. Затем цилиндр трижды переворачивают для смешения суспензии с флокулянтom и ставят для отстаивания. Во время отстаивания пульпы ведут наблюдение за изменением высоты неосветлённого слоя и высоты осадка, образующегося на дне цилиндра. С течением времени высота неосветлённого слоя уменьшается, а высота осадка увеличивается. Время, за которое линии неосветлённого слоя пульпы и осадка совместятся, косвенно характеризует флокулируемость данного шлама, так как для различных шламов оно будет разным. При исследовании флокулируемости различных шламов ёмкость цилиндра, его высота, содержание твёрдого в пульпе, температура пульпы и расход флокулянта остаются постоянными. В случае, если указанным методом сравнивают эффективность различных флокулянтов, то для этого на одном и том же шламе ставят серию опытов с различными флокулянтами при их одинаковых и разных расходах, соблюдая все остальные условия опытов постоянными.

К настоящему времени рассмотренная методика претерпела изменения. Как правило, для исследований флокулянтов в фабричных лабораториях используют мерные цилиндры объёмом 1 л. Рабочие растворы флокулянтов приготавливаются концентрацией 0,1 %, реже 0,05 %. Замеряют высоту осадка через заданные промежутки времени. Например, 1, 3, 5, 10, 15 минут и по истечении времени осаждения определяют содержание твёрдого в осветлённом слое.

Подобные исследования на определение эффективности действия флокулянтов в процессе сгущения проводят и компании, производители полимеров (BASF, SNF, Kemira и др.). Различия в методиках незначительные. Следует отметить, что перед исследованиями в цилиндрах необходимо провести предварительные испытания, позволяющие правильно определить группу наиболее эффективно работающих полимеров (3-4 образца), так как в некоторых случаях исследованиям подвергается 20 – 30 образцов различных марок флокулянтов.

Все методики, моделирующие процесс сгущения в мерных цилиндрах, имеют один существенный недостаток – небольшой диаметр цилиндра. В этом случае влияние на результат имеет, так называемый «пристеночный эффект», и при большом содержании твёрдого в пульпе – стеснённое паде-

ние частиц.

В связи с этим представляется целесообразным рекомендовать проводить первый этап выбора наиболее эффективных флокулянтов в широких стаканах. Форма стакана позволяет моделировать процесс сгущения максимально приближенным к радиальному сгустителю. На этой стадии можно оценить работу флокулянта по таким показателям, как размер флокул, скорость флокулообразования, чистота осветлённого слоя. В случае, если используется стакан мерный, то возможно определить и величину скорости осаждения.

В дальнейшем выбранные полимеры можно будет тестировать для определения оптимального расхода по рассмотренной выше методике.

В практике изучения процессов эффективного применения полимерных флокулянтов инженера-

кулянта, плотность сгущенного продукта, мутность слива) является приоритетным для предприятия, из всего набора отбирают 3-4 флокулянта, продемонстрировавших наилучшие показатели по данным параметрам. Как правило, отбирают флокулянты, обеспечившие наибольшую скорость осаждения и давшие при этом наиболее прозрачный слив. Также для дальнейшего тестирования в обязательном порядке отбирают используемый на обогатительной фабрике в настоящее время флокулянт, независимо от продемонстрированных им показателей.

В качестве примера покажем результаты определения эффективности работы флокулянтов на сгущении отходов флотации ОФ «Анжерская», представленные в таблице 1.

Основное тестирование флокулянтов

Таблица. 1
Table. 1

Марка флокулянта	Время осаждения (230-190 мл), с.	Мутность слива, баллы	Характеристика флокул (крупные/мелкие, прочные/не прочные)
Magnafloc 155	40	2	Крупные, непрочные
Magnafloc 345	50	2	Мелкие, непрочные
Magnafloc 355	25	4	Крупные, прочные

ми фирм-производителей рекомендован порядок проведения лабораторных исследований в два этапа: предварительное тестирование флокулянтов; основное тестирование флокулянтов [16, 17].

Предварительное тестирование флокулянтов

На этом этапе определяют примерную начальную дозу раствора флокулянта (в мл) для проведения предварительного тестирования. В качестве начальной дозы можно использовать ту, которая определена в настоящее время на объекте, либо определить её экспериментально. Для этого пробу пульпы объёмом 250 мл помещают в первый цилиндр, во второй (пустой) цилиндр - рабочий (0,05 %) раствор флокулянта объёмом 0,5 мл, и пульпу переливают из цилиндра в цилиндр 4 раза. После этого измеряют время, за которое фронт осаждения пройдёт между отметками 230 и 190 мл. Желательно, чтобы время прохождения фронта осаждения между данными отметками составляло 10-20 с. При более длительном времени следует увеличить расход флокулянта, а при более коротком – снизить и повторить опыт. После определения начальной дозы с каждым из образцов флокулянтов проводят по 1 опыту с данной дозой. Для каждого опыта записывают время осаждения между отметками 230-190 мл, визуально оценивают размер и прочность флокул и чистоту слива в баллах (1 – непрозрачный, 5 – полностью прозрачный) в первый момент после осаждения. На основании полученных результатов, а также информации о том, какой параметр (расход фло-

Помещают пробу (500 мл) пульпы из стакана в цилиндр объёмом 500 мл. Устанавливают цилиндр под лабораторную мешалку с импеллером якорного типа. Середина лопастей мешалки – на уровне 250 мл. Запускают мешалку со скоростью вращения 500 об./мин. Не менее, чем через 20 с. с момента запуска, в пульпу шприцем добавляют раствор флокулянта. Одновременно с этим включается секундомер и ровно через 12 с. (приведено среднее время, достаточное для распределения и контактирования флокулянта с пульпой) после добавки флокулянта мешалку останавливают. Далее засекают время, за которое фронт осаждения проходит между отметками 450 и 350 мл. После фиксации времени цилиндр оставляют на 30 мин., по истечении которых фиксируют объём сгущённого продукта (по шкале цилиндра) и мутность слива (с помощью конуса мутности). После этого содержимое цилиндра сливают в дренаж. В случае, если визуально обнаружено, что флокулянт не до конца размешался, время смешения следует увеличить, а если наблюдается, что началось разрушение флокул – уменьшить.

При отсутствии электрической мешалки можно воспользоваться перемешиванием вручную, однако при этом, как правило, существенно снижается воспроизводимость результатов и требуется выполнять большее число повторений каждого опыта. В этом случае помещают пробу (500 мл) пульпы из стакана в цилиндр объёмом 500 мл. Используют второй цилиндр (пустой) и переме-

шивают пульпу, переливая её между цилиндрами 4 раза. Помещают во второй цилиндр порцию

В качестве примера, покажем результаты определения эффективности работы флокулянтов

Таблица. 2
Table. 2

№ п/п	Флокулянт	Дозировка, мл	Время осаждения (450-350 мл), с.	Объём осадка через 30 мин., мл	Мутность слива через 30 мин., дел.
1.	М - 355	5	20	180	40
2.	М - 5250	5	25	200	35
3.	М- 345	5	35	210	35

флокулянта и перемешивают с пульпой переливая 4 раза. Фиксируют время прохождения фронта осаждения между отметками 450 и 350 мл. Через 30 минут измеряют объём сгущенного продукта и мутность слива.

При любом варианте проведения тестов, необходимо выполнение нулевого опыта – перемешивание пробы пульпы без добавления флокулянта и выдерживание ее 30 минут. При этом, если образуется чёткий фронт осаждения – фиксируют время его прохождения между отметками 450 и 350 мл, а по истечении 30 минут – объём сгущенного продукта и мутность слива. Тесты проводят при различных дозах флокулянтов. Минимальное количество тестируемых доз – 4. При этом, для каждой дозы выполняют как минимум по 2 одинаковых теста для усреднения результатов. Дозы, при которых тестируются флокулянты, должны охватывать рабочий диапазон доз флокулянта на объекте на момент испытаний. Например, если номинальная рабочая доза флокулянта на конкретном объекте составляет 20 г/т, то на тестировании рекомендуют охватить диапазон дозировок 10-30 г/т (10, 15, 20, 30 г/т). С каждой из этих доз выполняют как минимум по 2 теста для каждого из отобранных флокулянтов.

В случае, если на исследуемой технологической линии не используется флокулянт, выбирают для тестирования дозы, наименьшая из которых обеспечивает время прохождения фронта осаждения между отметками 450 - 350 мл за 30 с., а наибольшая – за 10 с. Тесты выполняют в случайном порядке, меняя в каждом новом тесте марку флокулянта и дозу. Это помогает устранить влияние эффекта «старения» пульпы и минимизировать влияние человеческого фактора при оценке эффективности работы того, или иного флокулянта.

Для перевода объёма раствора флокулянта в удельный расход (г/т) используют ниже приведенную формулу (справедлива только для случая использования 500 мл цилиндров и концентрации рабочих растворов флокулянтов 0,05 %):

$$D = 100 \times VSG \times DS$$

где D – удельная доза флокулянта, г/т; VSG – удельный вес пульпы, г/см³; DS – содержание твёрдого в пульпе, %.

на сгущении отходов флотации ОФ «Анжерская» (таблица 2)

Данная методика, на наш взгляд, является наиболее приемлемой, так как позволяет получать сопоставимые с промышленными результаты. В то же время считаем целесообразным предложить внести некоторые изменения в представленную методику в целях увеличения чистоты эксперимента.

Так, как уже было указано выше, на предварительном тестировании, вместо цилиндров объёмом 250 мл, используют стаканы того же объёма. Это позволяет более точно моделировать процесс сгущения. Чистоту слива определяют в данном случае либо с помощью конуса мутности и тарировочных кривых, либо с помощью определителя мутности Metler, который позволяет получать результаты сразу в необходимой размерности - мг/л. В результате исследований возможно определить три показателя: скорость осаждения, плотность осадка и содержание твёрдого в осветлённом слое.

После определения оптимального расхода, проводят дополнительно и стандартный опыт на уплотнение осадка в течение определённых временных отрезков. Для угольных шламов, это отсечки в 1, 3, 5 мин. Проводить исследования более наглядно в цилиндрах объёмом 1 л.

Важным фактором проведения корректных исследований является правильный отбор и подготовка пробы. Оптимальный вариант – это свежая пульпа, отобранная на углеобогащательной фабрике. Обязательное условие – опыты проводят на одновременно отобранной пробе. Для этого следует использовать накопительную ёмкость (60-100 л) с одинаковой пульпой.

Необходимо отметить, что рабочий раствор флокулянта следует готовить на оборотной воде обогащательной фабрики. В этом случае возможно определить растворимость полимера при приготовлении. Если готовить флокулянт на питьевой или дистиллированной воде, то при промышленном его применении лабораторные результаты могут не подтвердиться.

Таким образом, проведённый анализ методик определения эффективности действия полимерных флокулянтов показал, что методика исследования эффективности действия флокулянтов в

процессах сгущения должна включать в себя 2 этапа:

1. Предварительное тестирование в стаканах объёмом 250 мл для отбора из общего количества флокулянтов, наиболее эффективных. Определяемые показатели – скорость осаждения, содержание твёрдого в сливе и образование флоккул.

2. Основное тестирование в цилиндрах объёмом 500 мл, выбранных флокулянтов с определением скорости осаждения, плотности осадка и содержания твёрдого в сливе.

Определение уплотнения осадка за определённое время в цилиндрах объёмом 1 литр. Опыты проводятся для выбранных на предыдущих стадиях исследования флокулянтов, на оптимальном расходе.

Соблюдение рекомендаций по отбору проб, приготовлению флокулянтов, проведение лабораторных исследований по наиболее объективным методикам, позволит получить результаты определения эффективности действия полимеров, моделирующие промышленные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Usage of flocculants for the Processes of Thickening and Dewatering of a thin coal sludges Frolov V.S., Merkusheva L.N., Frolov D.V., Sidorov A.V. // XVIII International Coal Preparation Congress, Saint-Petersburg Mining University Volume 2, 28 June – 01 July 2016 Saint-Petersburg, Russia.
2. Frolov V.S. Application of Magnafloc Flocculants in the Process of Thickening and Dewatering at Coal Preparation Plants // XVII. International COAL preparation congress. 1-6 October 2013. – Istanbul. Turkey. P. 449-452.
3. Разработка технологического режима флотации сфлокулированных угольных зерен, обеспечивающего высокую эффективность обогащения углей / Петухов В.Н., Субботин В.В., Фролов В.С. // Кокс и химия, №13, 2013, с. 37-41.
4. Счастливец Е.Л., Юкина Н.И. Совершенствование замкнутого цикла использования технологической воды в процессе обогащения угля с помощью эффективного модифицированного флокулянта // ГИАБ, №12, 2008.
5. Дебердеев И. Х., Линёв Б. И., Давыдов М. В., Глухих С. Г. Повышение эффективности разделения тонкодисперсных продуктов при обогащении углей // ГИАБ, №10, 2006.
6. Гольберг Г. Ю. Физико-химические проблемы флокуляции тонкодисперсных продуктов обогащения углей // ГИАБ, №1, 2006.
7. Сгущение угольных шламов различных классов крупности/Фролов В.С., Меркушева Л.Н., Сидоров А.В., Фролов Д.В. // IX Конгресс обогатителей стран СНГ. Сборник материалов. Том 2.– М.: МИСиС, 2013.– с.620– 621.
8. Бауман А.В. Критерии выбора радиального сгустителя для процессов сгущения и водооборота. // Обогащение угля. - 2013. - № 4. - С. 40-43.
9. Фролов Д.В. Лабораторные методики исследования эффективности действия флокулянтов // Сборник материалов VII Всерос., научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», 21-24 апр. 2015 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; ред. кол.: В. П. Тациенко (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово, 2015.
10. Субботин В.В., Петухов В.Н. Исследование влияния эффективности действия флокулянтов при обогащении угольного шлама // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова, №2, 2014.
11. Петухов В.Н., Погуца С.С. Исследование влияния флокулянтов различного элементного состава и строения на эффективность сгущения угольных пульп // ТИТМП, №2 (15), 2014.
12. Gregory, J. The Effect of Polymers on Dispersion Properties / John Gregory // edited by Th. F. Tadros. - London: Academic Press, 1982. - P.301
13. Практикум по обогащению полезных ископаемых: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Н.Г. Бедраня. – М.: Недра, 1991. – 526 с.
14. Меркушева Л.Н., Удовичкий В.И., Лысенко О.Н., Фролов В.С., Кравцова Т.А. Технологические и экономические предпосылки применения новых реагентов на ЦОФ «Березовская» // ГИАБ. -2003. № 12. С. 196 -198
15. Фролов В.С., Удовичкий В.И. Приготовление порошкообразных флокулянтов на углеобогатительных предприятиях Кузбасса // ГИАБ, Т. 7, № 12, 2009. С. 240-243.
16. Проспект фирмы SNF. – Франция, 2013. – 6 с.
17. Проспект фирмы BASF. – Германия, 2015. – 4 с.

REFERENCES

1. The Usage of flocculants for the Processes of Thickening and Dewatering of a thin coal sludges Frolov V.S., Merkusheva L.N., Frolov D.V., Sidorov A.V. // XVIII International Coal Preparation Congress, Saint-Petersburg Mining University Volume 2, 28 June – 01 July 2016 Saint-Petersburg, Russia.
2. Frolov V.S. Application of Magnafloc Flocculants in the Process of Thickening and Dewatering at Coal Preparation Plants // XVII. International COAL preparation congress. 1-6 october 2013. – Istanbul. Turkey. P. 449-452.
3. Razrabotka tekhnologicheskogo rezhima flotacii sflokulirovannyh ugol'nyh zeren, obespechivayushchego vysokuyu ehffektivnost' obogazeniya uglej / Petuhov V.N., Subbotin V.V., Frolov V.S. // Koks i himiya, №13, 2013, p. 37-41. (rus)
4. Schastlivcev E.L., Yukina N.I. Sovershenstvovanie zamknutogo cikla ispol'zovaniya tekhnologicheskoy vody v processe obogashcheniya uglya s pomoshch'yu ehffektivnogo modi-ficirovannogo flokulyanta // GIAB, №12, 2008. (rus)
5. Deberdeev I. H., Linyov B. I., Davydov M. V., Gluhih S. G. Povyshenie ehffektivnosti razdeleniya tonkodispersnyh produktov pri obogashchenii uglej // GIAB, №10, 2006. (rus)
6. Gol'berg G. Y. Fiziko-himicheskie problemy flokulyacii tonkodispersnyh produktov obogashcheniya uglej // GIAB, №1, 2006. (rus)
7. Sgushchenie ugol'nyh shlamov razlichnyh klassov krupnosti/Frolov V.S., Merkusheva L.N., Sidorov A.V., Frolov D.V. // IX Kongress obogatitelej stran SNG. Sbornik materialov. Tom 2.– M.: MISiS, 2013.– p.620– 621. (rus)
8. Bauman A.V. Kriterii vybora radial'nogo sgustitelya dlya processov sgushcheniya i vodooborota. // Obogashchenie rud. - 2013. - № 4. - p. 40-43. (rus)
9. Frolov D.V. Laboratornye metodiki issledovaniya ehffektivnosti dejstviya flokulyantov // Sbornik materialov VII Vseros., nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Rossiya molodaya», 21-24 apr. 2015., Kemerovo / FGBOU VPO «Kuzbas. gos. tekhn. un-t im. T. F. Gorbacheva»; red. kol.: V. P. Tacienko (otv. red.) – Kemerovo, 2015. (rus)
10. Subbotin V.V., Petuhov V.N. Issledovanie vliyaniya ehffektivnosti dejstviya flokulyantov pri obogashchenii ugol'nogo shlama // Vestnik MGTU im. G.I. Nosova, №2, 2014. (rus)
11. Petuhov V.N., Poguca S.S. Issledovanie vliyaniya flokulyantov razlichnogo ehlementnogo sostava i stroeniya na ehffektivnost' sgushcheniya ugol'nyh pul'p // TiTMP, №2 (15), 2014. (rus)
12. Gregory, J. The Effect of Polymers on Dispersion Properties / John Gregory // edited by Th. F. Tadros. - London: Academic Press, 1982. - P.301
13. Praktikum po obogashcheniyu poleznyh iskopaemyh: Ucheb. posobie dlya vuzov / Pod red. N.G. Bedranya. - M.: Nedra, 1991. - 526 p. (rus)
14. Merkusheva L.N., Udovickij V.I., Lysenko O.N., Frolov V.S., Kravcova T.A. Tekhnologicheskie i ehkonomicheskie predposylki primeneniya novyh reagen-tov na COF«Berezovskaya» // GIAB. -2003. № 12. p. 196 -198. (rus)
15. Frolov V.S., Udovickij V.I. Prigotovlenie poroshkoobraznyh flokulyantov na ugleobogatitel'nyh predpriyatiyah Kuzbassa // GIAB, T. 7, № 12, 2009. p. 240-243. (rus)
16. SNF company catalogue. – France, 2013. – 6 p.
17. BASF company catalogue. – Germany, 2015. – 4 p.

Поступило в редакцию 12.01.2018

Received 12.01.2018