

УДК 628.34

**ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ФЛОТАЦИОННОГО УГЛЕБОГАЩЕНИЯ
МЕТОДОМ УЛЬТРАФЛОКУЛЯЦИИ**

Рулёв Н.Н., д.хим.н.,

Институт биокolloидной химии им. Ф.Д. Овчаренко НАНУ
rulyovnn@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6895-2460

Небеснова Т.В., к.хим.н., доцент,

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
vig@ogasa.org.ua, ORCID: 0000-0001-7462-8931

Аннотация. Исследованы основные закономерности процесса ультрафлокуляционного разделения фаз устойчивых концентрированных угольных суспензий с последующей их пневмофильтрацией и показана его высокая эффективность. Установлено, что использование предварительной ультрафлокуляции суспензии дает в 1,5-1,7 раза более высокую производительность сепарационного оборудования, в 2,5-3 раза более низкий расход флокулянта и в 1,5 раза увеличивает степень очистки водной фазы по сравнению с «традиционной флокуляцией». Концентрация угля в очищенной воде не превышает 6 г/л, что позволяет повторно ее использовать в качестве рабочей среды в технологическом процессе обогащения угля.

Ключевые слова: угольный флотоконцентрат, сепарация, ультрафлокуляция, вакуумная фильтрация, градиент скорости среды.

Введение. В процессе флотационного углеобогащения образуются сточные воды в виде флотоконцентрата, представляющие собой тонкодисперсные устойчивые минеральные суспензии. Проблема сепарации фаз угольного флотоконцентрата представляет особо трудную задачу [1]. Жесткие нормы по влажности выделенной твердой фазы и качеству очищенной воды вынуждают уделять вопросам обезвоживания флотоконцентрата особое внимание.

Известно, что флокуляция представляет собой один из наиболее эффективных методов интенсификации процессов сепарации тонкодисперсных суспензий. Миллионы тонн водорастворимых полимеров ежегодно расходуются с единой целью – связывание взвешенных в воде частиц в компактные крупные агрегаты для ускорения дальнейшего отделения их от воды седиментацией, фильтрацией и центрифугированием. Несмотря на то, что промышленное применение флокулянтов длится более 30 лет, тем не менее, их возможности используются немногим более, чем на 50%. Поэтому практическую ценность представляет собой определение оптимальных условий флокуляционной обработки угольного флотоконцентрата при его сепарации и поиск эффективных флокулянтов.

В работах [2-5] было показано, что эффективность флокуляции может быть увеличена в несколько раз путем использования соответствующей гидродинамической обработки (ГО) суспензии сразу после введения в нее флокулянта. Эти работы составили научный базис для развития новой технологии, получившей название «Ультрафлокуляция» (УФ). В работе [6] на примере различных суспензий показано, что максимум эффективности флокуляционного процесса в неоднородном турбулентном потоке соответствует максимуму силы сцепления (парной энергии связи) частиц, которая определяется их природой, а также типом и дозой флокулянта.

В последнее время УФ успешно применяется для сепарации разбавленных (концентрация менее 1-3 г/л) суспензий и эмульсий при очистке промышленных стоков и техногенных растворов [7-10].

В качестве примера разработана промышленная установка ТФС – 017/117, предназначенная для сепарации отработанных смазочно-охлаждающих эмульсий [9] главным элементом которой является ультрафлокулятор, производительностью 1 куб.м/ч.

В работе [10] представлена флокуляционно-флотационная установка для очистки промышленных вод, образующихся при удалении нефтяных и масляных загрязнений с поверхности различных резервуаров.

Из развитой в работах [2-5] теории следует, что УФ позволяет как минимум в 1,5-2 раза повысить эффективность сепарации не только разбавленных, но и концентрированных суспензий, образующихся в рудно-обогачительной промышленности. В последнее время эта проблема стала особенно актуальна в связи с истощением богатых месторождений и вовлечением в производство бедных и тонковкрапленных минералов, требующих более тонкого измельчения, что порождает проблемы сепарации, как концентрата, так и хвостов обогащения.

Как известно, традиционным методом сепарации угольного флотоконцентрата является вакуумная фильтрация (пневмофильтрация). Использование флокуляции в этом процессе позволяет существенно увеличить производительность вакуум-фильтров при одновременном снижении влажности кека и количества взвешенных частиц в фильтрате.

Таким образом, **целью данной работы** является повышение эффективности процесса пневмофильтрационного разделения фаз устойчивых концентрированных угольных суспензий ультрафлокуляцией путем исследования закономерностей данного процесса и определения рациональных условий его ведения.

Материалы и методика исследований. Объектом исследования в данной работе служил флотоконцентрат, полученный от угольной обогащательной фабрики. Концентрация суспензии составляла 215 г/л, размер частиц дисперсной фазы колебался от 5 до 50 мкм. В качестве интенсификатора процесса агрегирования частиц взвеси использовали высокомолекулярный анионный флокулянт KANFLOCK – 130A (рабочая концентрация 1 г/л).

В эксперименте применяли вакуумированную сетку:

капроталь: шаг $0,45 \times 0,57$ мм (диаметр нити – 0,2 мм);

сталь: шаг $0,2 \times 0,2$ мм (диаметр нити – 0,070 мм);

сталь: шаг $0,1 \times 0,1$ мм (диаметр нити – 0,035 мм).

Методы исследования – экспериментальным методом исследовали:

– размер частиц дисперсной фазы суспензии – микроскопическим методом с помощью камеры Горяева;

– концентрацию дисперсной фазы суспензии – спектрофотометрически;

– влажность образующегося осадка – весовым методом.

Флокулярная обработка суспензии осуществлялась на лабораторной установке производительностью 3,5 л/ч, схематически показанной на рис.1. В процессе обработки исследуемая суспензия и 0,1% раствор флокулянта с помощью соответствующих дозирующих перистальтических насосов непрерывно подавались непосредственно на вход проточного цилиндрического ультрафлокулятора, диаметр и высота ротора которого составляли 30 мм, а зазор между поверхностью цилиндра и стенками корпуса – 2 мм. Изменяя скорость вращения ротора, изменяли среднее значение градиента скорости среды G , в диапазоне от 0 до 10000 с^{-1} . Концентрацию флокулянта в суспензии изменяли путем изменения подачи соответствующего насоса. Общее время обработки суспензии в УФ составляло, примерно, 6 секунд. В экспериментах без УФ-гидродинамической обработки смесь суспензии и флокулянта по смесительной трубке подавалась непосредственно в приемную емкость как показано пунктирными линиями на рис.1.

Эксперименты по вакуумной фильтрации проводили на лабораторной установке, показанной, на рис.2. Суспензию, обработанную на ультрафлокуляторе, в количестве 25 мл заливали в специальный приемный стакан 1, на дне которого располагалась вакуумируемая сетка 2 площадью 5 см^2 . Приемный стакан 1, в свою очередь, герметично устанавливался в воронке Бюхнера 3, соединенной с вакуумируемой с помощью перистальтического насоса 4 колбой 5. Внутри колбы 5 (непосредственно под воронкой 3) закрепляли мерную пробирку 6 так, что в нее поступал весь фильтрат, который затем можно было исследовать на содержание твердого. Через 8-10 секунд после включения насоса 4 в колбе создавали отрицательный перепад давления, равный примерно – 0,6 атм. и контролируемый с помощью U-образного манометра 7, который поддерживался до конца эксперимента (20-60 с).

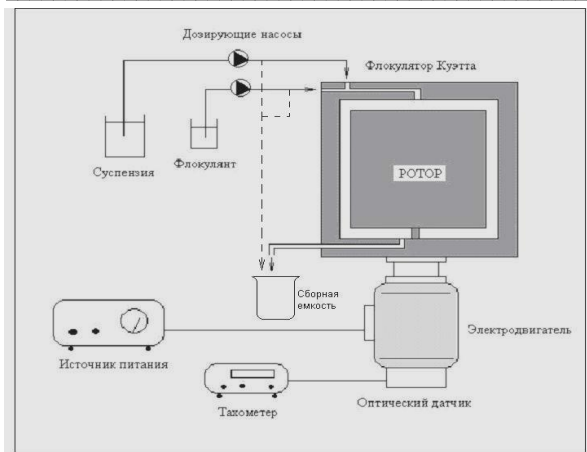


Рис. 1. Установка для ультрафлокуляционной обработки

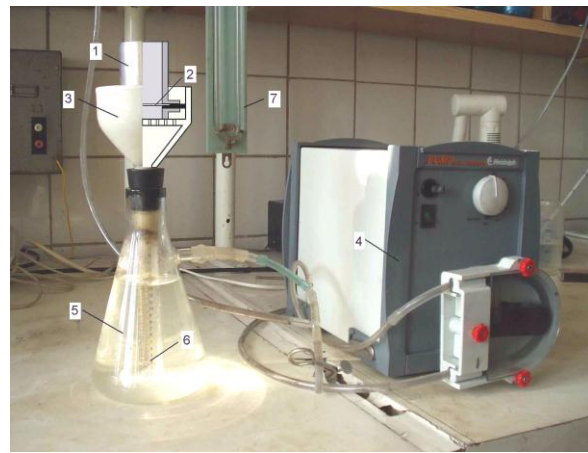


Рис. 2. Лабораторная установка для вакуумной фильтрации:

- 1 – приемный стакан; 2 – фильтрующая сетка;
3 – воронка Бюхнера; 4 – перистальтический насос;
5 – вакуумируемая колба; 6 – мерная пробирка; 7 – манометр

Результаты исследований. Как известно, обязательным условием успешного проведения флокуляции является достаточно хорошая гидродинамическая обработка суспензии [6] после введения в нее флокулянта с целью равномерного распределения его молекул по объему суспензии, ускорения их адсорбции флокулируемыми частицами и увеличения частоты столкновения последних. Обычно это достигается путем перемешивания смеси в динамическом и/или статическом миксерах. Интенсивность ГО проще всего определить, как средний градиент скорости среды (или градиент сдвига) G , создаваемый в миксере. Поскольку флокуляция является преемницей коагуляции, где роль связующих частицы молекул флокулянта играют положительно заряженные частицы гидроксидов многовалентных металлов ($\text{Fe}(\text{OH})_3$ и $\text{Al}(\text{OH})_3$), традиционно полагалось, что максимальное значение градиента скорости среды не должно превышать несколько сотен обратных секунд ($G = 300\text{-}400 \text{ c}^{-1}$). Последнее обусловлено тем, что при более высоких градиентах сдвига не удастся создать крупные агрегаты скоагулированных частиц вследствие непрочности связей между ними. При этом не учитывалось, что молекулы флокулянта способны создать связи между частицами, которые более чем на порядок прочнее, чем при коагуляции. В работе [2, 3] впервые было показано, что использование флокулянтов позволяет на первых стадиях ГО использовать градиенты сдвига, составляющие сотни тысяч обратных секунд. Это послужило толчком к развитию «ультрафлокуляции», основное отличие которой от «обычной флокуляции» состоит в том, что в ней используются режимы ГО, которые по интенсивности на несколько порядков больше, а по продолжительности на несколько порядков меньше, чем общепринятые.

Так в работе [5] было показано, что за 6 секунд обработки в динамическом миксере при $G = 5 \cdot 10^4 \text{ c}^{-1}$ удастся полностью сфлокулировать очень разбавленную масловодяную эмульсию, что обычными методами сделать невозможно. В работе [11] теоретически доказано целесообразность применения метода УФ при сепарации угольных суспензий, а также возможность эффективного использования флокулянта KANFLOCK – 130A.

Характерной особенностью исследуемого флотоконцентрата является то, что размер частиц в нем не превышает 50 мкм. Из полученной на основе микроскопического анализа кумулятивной (интегральной) функции распределения частиц по массе, представленной на рис. 3 следует, что частицы всех классов крупности от 5 до 50 мкм дают примерно одинаковый вклад в общую массу твердого в концентрате, причем частицы размером менее 15 мкм составляют 23 мас. %, а частицы менее 25 мкм составляют 50 мас. %. Поскольку масса частицы пропорциональна кубу ее диаметра, то отсюда следует, что на одну частицу диаметром 50 мкм приходится 8 частиц диаметром 25 мкм, 125 частиц диаметром 10 мкм и 1000 частиц диаметром 5 мкм. Если учесть, что для сепарации фаз флотоконцентрата на углеобогатительной фабрике

используют вакуумную фильтрацию на капроновой сетке с размером ячеек 500×1000 мкм (при толщине нитей – 300 мкм), то не трудно понять, почему проскок частиц в фильтрат вакуумных фильтров составляет до 25 мас. %. В качестве иллюстрации на рис.4 представлена (полученная с помощью компьютерного моделирования) структура осадка, сформированного частицами размером 50, 25 и 10 мкм, численные концентрации которых соотносятся как 1:8:125. Из рисунка 4, а видно, что на сетке с ячейками 0,45 (0,2) мм, слой осадка, непосредственно прилегающий к сетке, практически не содержит мелких и средних частиц, которые прошли сквозь сетку в начале формирования слоя. По мере удаления от сетки концентрация средних частиц растет, но концентрация мелких частиц остается все еще незначительной. И, наконец, на большом удалении от сетки соотношение крупных, средних и мелких частиц выравнивается и принимает значение, соответствующее исходной смеси.

На первый взгляд может показаться, что решение проблемы фильтрации мелких частиц может быть найдено путем использования очень мелкоячеистой сетки. К сожалению, это не так.

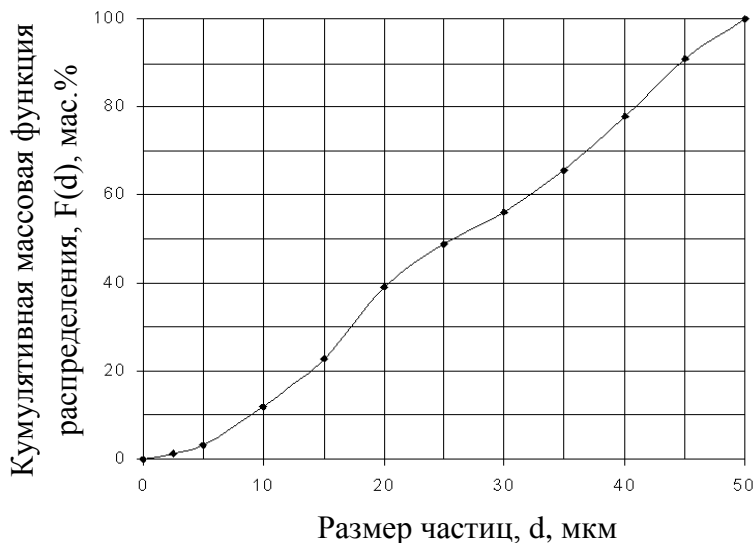


Рис. 3. Кумулятивная (интегральная) функция распределения угольных частиц по массе во флотоконцентрате $F(d)$

Наличие в смеси большого количества мелких частиц приводит к тому, что с уменьшением размера ячеек сетки образующийся на ней осадок, как показано на рис. 4, б, приобретает тонкую капиллярную структуру непосредственно у самой сетки. Обусловлено это тем, что мелкие частицы могут свободно заполнять пространство между средними и крупными частицами. Хотя проскок частиц при этом очень мал, возникает другая проблема – резкое увеличение гидродинамического сопротивления осадка, и, как следствие, существенное снижение его толщины и, следовательно, производительности фильтрующего оборудования. Кроме того, чрезмерное уменьшение ячеек сетки, а, следовательно, и толщины нитей, связано с потерями ее прочности и долговечности. Таким образом, уменьшая размер сетки можно только частично решить проблему фильтрации флотоконцентрата, содержащего тонкодисперсную фракцию частиц.

Второй путь решения проблемы состоит в использовании флокуляции, с помощью которой мелкие частицы можно связать с более крупными и, таким образом, существенно повысить средний размер частиц (их агрегатов) и, следовательно, снизить концентрацию твердого в фильтрате. Очевидно, что этот способ также имеет ограниченные возможности, если размер ячеек сетки слишком велик.

Более перспективным, и это подтверждается нижеприведенными результатами исследований, является комбинация вышеуказанных подходов, когда фильтрация суспензии осуществляется на относительно мелкой сетке, но после ее предварительной флокуляции. При таком подходе, с одной стороны, достигается увеличение соотношения (размер частиц\размер ячеек сетки), а, с другой – мелкие частицы, прикрепляясь к крупным, теряют способность образовывать тонкую капиллярную структуру внутри осадка путем заполнения

пространства между крупными и средними частицами. Таким образом, можно существенно снизить проросок частиц и сохранить производительность фильтра.

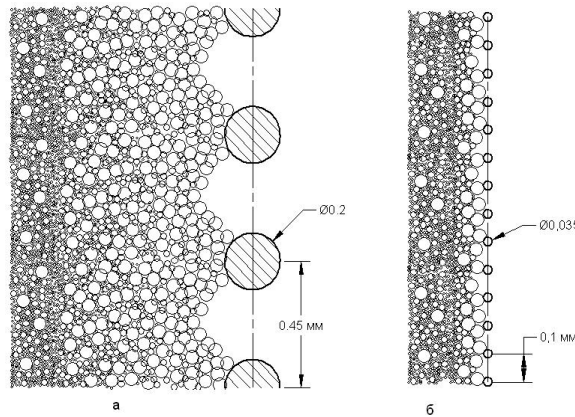


Рис. 4. Структура осадка, угольного флотоконцентрата, полученного компьютерным моделированием: размер условно сферических частиц – 10, 25 и 50 мкм (соотношение численных концентраций, соответственно 125:8:1); а – очень крупная сетка; б – очень мелкая сетка

На рис. 5 представлены экспериментально измеренные зависимости концентрации твердого в фильтрате от концентрации флокулянта для «крупной» (0,45×0,57 мм), «средней» (0,2×0,2 мм) и «мелкой» (0,1×0,1 мм) сеток. Из приведенных графиков видно, что мелкая сетка (кривая 3) дает приемлемые результаты (менее 2 г/л) даже и без использования флокулянтов. Средняя сетка (кривая 2) дает хорошие результаты (менее 6 г/л) при концентрации флокулянта более 30 г/т. Что же касается крупной сетки (кривая 1), то более или менее приемлемые результаты (менее 9 г/л) достигаются при очень больших (порядка 120 г/т) дозах флокулянта. Для сравнения на рис.5 представлена также зависимость, полученная на средней сетке, но без использования УФ-гидродинамической обработки (кривая 2, а). Из графика видно, что для получения таких же результатов, как и при УФ-обработке, расход флокулянта следует увеличить в 2,5-3 раза.

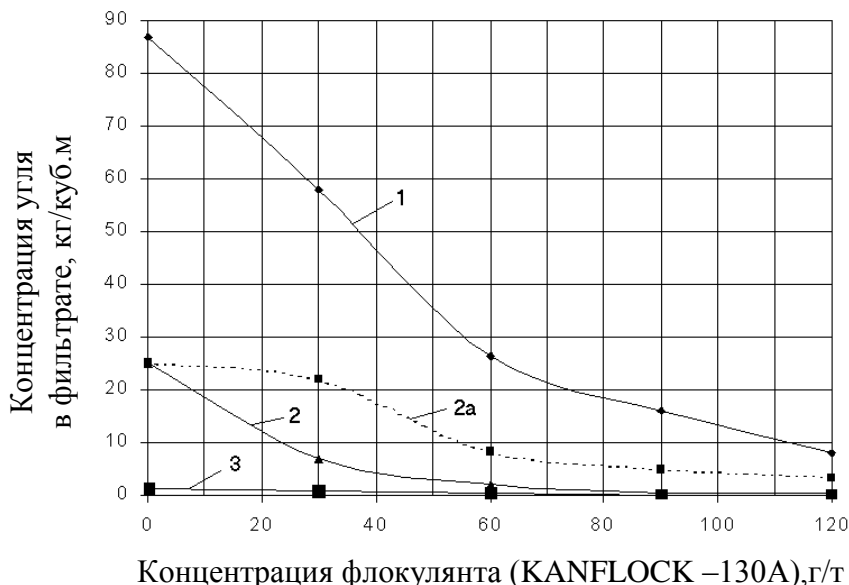


Рис. 5. Зависимость концентрации твердого на выходе пневмофильтра (входная концентрация 215 кг/куб. м) от расхода флокулянта в процессе предварительной ультрафлокуляции (кривые 1, 2, 3); градиент скорости среды $G = 750 \text{ с}^{-1}$; продолжительность обработки $t = 6 \text{ с}$ и без нее (кривая 2а) на сетках различной крупности: 0,45×0,57/0,2 мм – (1); 0,2×0,2/0,07 мм – (2, 2а); 0,1×0,1/0,035 мм – (3)

На рис. 6 представлені кінетическіє залежності фільтрації при мінімальному расходе флокулянта (30 г/т) для крупної (крива 1) і середньої (крива 2) сіток, і при відсутності флокулянта для мелкої сітки (крива 3). Из графіків следует, что мелкая сітка дає, примерно, вдвое більш низку продуктивність, що повністю згодиться з вище представленою теорією. Що ж стосується середньої сітки, то по продуктивності вона дає результати не набагато гірше, ніж крупна сітка, а по чистоті фільтрації на порядок краще. Для порівняння, на рис. 6 представлена також кінетическа залежність, отримана на середній сітці, але без використання УФ-гідродинамічної обробки (крива 2а). Як следует из графіків, продуктивність в цьому випадку примерно на 40% нижче, ніж при використанні ультрафлокуляції.

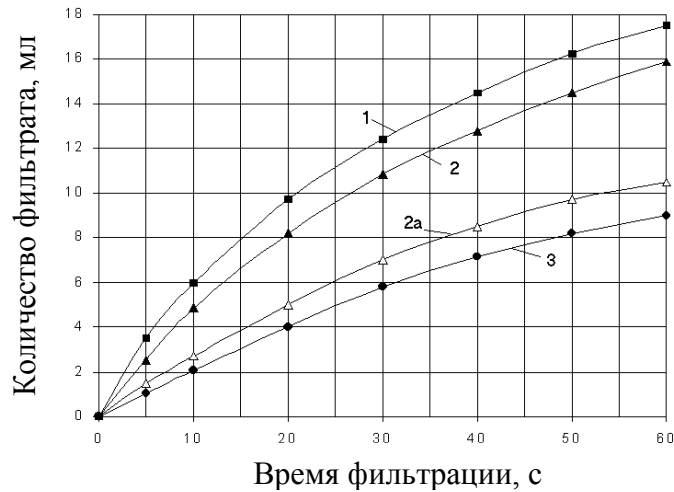


Рис. 6. Кінетика пневмофільтрації угольного флотоконцентрата (исходная концентрация 215 кг/куб. м) после ультрафлокуляционной обробки (кривые 1, 2, расход флокулянта – 30 г/т) градиент скорости среды $G = 750 \text{ с}^{-1}$; продолжительность обробки $t = 6 \text{ с}$ и без нее (кривые 2а, 3, расход флокулянта – 0 г/т) на сітках различной крупности: $0,45 \times 0,57 / 0,2 \text{ мм}$ – (1); $0,2 \times 0,2 / 0,07 \text{ мм}$ – (2, 2а); $0,1 \times 0,1 / 0,035 \text{ мм}$ – (3)

Выводы:

1. Высокая концентрация угля в фильтрате вакуумных фильтров углеобогатительной фабрики обусловлена высоким содержанием (до 50%) тонкодисперсной (5-25 мкм) фракции во флотоконцентрате.
2. Снижение проскока твердого в фильтрат только за счет использования мелкой ($0,1 \times 0,1 \text{ мм}$) сітки не приемлемо, т.к. это ведет к двукратному снижению продуктивности и надежности обробудования.
3. Решение проблемы проскока твердого в фильтрат возможно путем использования сітки средней крупности (примерно $0,2 \times 0,2 \text{ мм}$) в комбинации с флокулянтом KANFLOCK – 130А.
4. Наилучшие результаты достигаются при использовании средней сітки (примерно $0,2 \times 0,2 \text{ мм}$) и предварительной ультрафлокуляції суспензии, что по сравнению с обычной флокуляцией дает в 1,5-1,7 раза більш высокую продуктивность и 2,5-3 раза більш низкий расход флокулянта и в 1,5 раза увеличивается степень очистки водной фазы.
5. Рациональные условия ведения процесса ультрафлокуляції: расход флокулянта 30 г/т, длительность обробки 6 с, градиент скорости среды 750 с^{-1} .
6. Применение технологии предварительной ультрафлокуляції угольного флотоконцентрата в процессе его сепарации позволяет достичь эффекта выделения по взвешенным и коллоидным веществам до 97%.
7. Концентрация угля в очищенной водной фазе не превышает 6 г/л, что позволяет повторно ее использовать в качестве рабочей среды в технологическом процессе обогачения угля.
8. Комплексное решение проблемы оптимизации процесса разделения фаз угольных флотоконцентратов представляет сложную задачу, что вызывает необходимость дальнейших исследований.

Литература

1. Морозова Л.А. Исследования по применению флокулянтов для интенсификации работы сгустительного и обезвоживающего оборудования / Л.А. Морозова, А.В. Бояренко, А.Г. Резниченко, И.А. Загний // Збагачення корисних копалин. – Днепропетровск, НГУ, 2013. – Вип.53 (94). – С. 54-61.
2. Рулёв Н.Н. Гидродинамическое разрушение дисперсных систем / Н.Н. Рулев, С.В. Карась // Химия и технология воды. – Киев, 1990. – Т.12. – №10. – С. 887-890.
3. Rulyov N.N. Optimization of hydrodynamic treatment regime in the processes of sorption-flocculation water purification from organic contaminants / N.N. Rulyov, A. Maes, V.J. Korolyov // Colloids & Surfaces A: – Netherlands: Elsevier Science Publishing Company, Inc, 2000. – Vol.175. – №2. – P. 371-381.
4. Rulyov N.N. Ultra-flocculation: Theory, Experiment, Applications: In book “Particle Size Enlargement in Mineral Processing”. – Montreal (Canada): Metallurgy and Petroleum, 2004. – Vol.72. – №2. – P. 197-214.
5. Rulyov N.N. Ultraflocculation of diluted fine dispers suspensions / N.N. Rulyov, T.A. Dontsova, V.Ja. Korolyov // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – Philadelphia (USA): Taylor and Francis, Inc, 2005. – Vol.26. – № 3-4. – P.203-217.
6. Rulyov N.N. The pair binding energy of particles and size flocks, which are formed in the turbulent flow / N.N. Rulyov, T.A. Dontsova, T.V. Nebesnova // Khimiya i Tekhnologiya Vody. – Kiev, 2005. – Vol. 27. – №1. – P. 1-17.
7. Рулев Н.Н. Ультрафлокуляция стоков газоочистки металлургических предприятий / Н.Н. Рулев, О.В. Кравченко // Збагачення корисних копалин. – Днепропетровск, НГУ, 2013. – Вип. 55 (96). – С.53-62.
8. Рулев Н.Н. Интенсификация процесса сепарации фаз маслосодержащих сточных вод методом ультрафлокуляции и микрофлотации / Н.Н. Рулев, Т.В. Небеснова // Вісник ОДАБА. – Одеса, Оптимум, 2015. – Вип.60. – С. 467-473.
9. Рулев Н.Н. Технология сепарации фаз отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей / Н.Н. Рулев, Т.В. Небеснова // Вісник ОДАБА. – Одеса, Антлант, 2016. – Вип.65. – С. 165-170.
10. Небеснова Т.В. Флотационная установка для очистки сточных вод, образующихся при мойке емкостей, загрязненных ограниченными веществами / Т.В. Небеснова // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2017. – Вип. 67. – С. 134-139.
11. Rulyov N.N. Application of the ultra-flocculation for improvements of fine coalconcentrate dewatering / N.N. Rulyov, V.J. Korolyov, N.M. Kovalchuk // Coal Preparation. – Philadelphia (USA): Taylor and Francis, Inc, 2006. – Vol.26. – №3. – P.17-32.

References

1. Morozova L.A., Boyarenok A.V., Reznichenko A.G., Zagniy I.A. Issledovaniya po primeneniyu flokulyantov dlya intensifikatsii raboty sgustitel'nogo i обезvozhivayushchego oborudovaniya [Reserches for using of flocculants for intensification of thickening and dehydrating operation of equipment], Zbagachennya korisnikh kopalin, Dnepropetrovsk, NGU, Vol. 53(94), pp. 54-61, 2013.
2. Rulyov N.N., Karas' S.V. Hidrodinamicheskoye razrusheniye dispersnykh sistem [Hydrodynamic destruction of the disperse systems], Khimiya i tekhnologiya vody, Kiyev, T.12, no 10, pp. 887-890, 1990.
3. Rulyov N.N., Maes A., Korolyov V.J. Optimization of hydrodynamic treatment regime in the processes of sorption-flocculation water purification from organic contaminants. Colloids & Surfaces A: Netherlands: Elsevier Science Publishing Company, Inc, Vol. 175, no 2, pp. 371-381, 2000.
4. Rulyov N.N. Ultra-flocculation: Theory, Experiment, Applications: In book “Particle Size Enlargement in Mineral Processing”. Montreal (Canada): Metallurgy and Petroleum, Vol. 72, no 2, pp.

197-214, 2004.

5. Rulyov N.N., Dontsova T.A., Korolyov V.Ja. Ultraflocculation of diluted fine dispers suspensions. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. Philadelphia (USA): Taylor and Francis, Inc, Vol. 26, no 3-4, pp. 203-217, 2005.

6. Rulyov N.N., Dontsova T.A., Nebesnova T.V. The pair binding energy of particles and size flocks, which are formed in the turbulent flow. Khimiya I Tekhnologiya Vody. Kiev, Vol. 27, no 1, pp. 1-17, 2005.

7. Rulyov N.N., Kravchenko O.V. Ul'traflokulyatsiya stokov gazoочистки metallurgicheskikh predpriyatiy [Ultraflocculation of gas-cleaning drains of the metallurgical enterprises], Zbagachennya korisnikh kopalin, Dnepropetrovsk, NGU, Vop. 55(96), pp. 53-62, 2013.

8. Rulyov N.N., Nebesnova T.V. Intensifikatsiya protsessa separatsii faz maslosoderzhashchikh stochnykh vod metodom ul'traflokulyatsii i mikroflotatsii [Intensification of the separation process for the phases of oil-containing sewage by the method of ultra flocculation and microflotation], Visnyk ODABA, Odesa, Vol. 60, pp. 467-473, 2015.

9. Rulyov N.N., Nebesnova T.V. Tekhnologiya separatsii faz otrabotannykh smazochokhlagdayuznykh gidkostey [Technology separation phases of the exhaust coolants], Visnyk ODABA, Odesa, Vol. 65, pp. 165-170, 2016.

10. Nebesnova T.V. Flotatsionnaya ustanovka dlya ochistki stochnykh vod, obrazuyushchikhsya pri moyke yemkostey, zagryznennykh ogranicheskimi veshchestvami [Flotation installation for wastewater treatment, forming at tanks washing contaminated with organic substances], Visnyk ODABA, Odesa, Vol. 67, pp. 134-139, 2017.

11. Rulyov N.N., Korolyov V.J., Kovalchuk N.M. Application of the ultra-flocculation for improvemevts of fine coalconcentrate dewatering. Coal Preparation. Philadelphia (USA): Taylor and Francis, Inc, Vol. 26, no 3, pp. 17-32, 2006.

ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ФЛОТАЦІЙНОГО ВУГЛЕЗБАГАЧЕННЯ МЕТОДОМ УЛЬТРАФЛОКУЛЯЦІЇ

Рульов Н.Н., д.хім.н.,

Інститут біоколоїдної хімії ім. Ф. Д. Овчаренка НАНУ
nrulyov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6895-2460

Небеснова Т. В., к. хім.н., доцент,

Одеська державна академія будівництва та архітектури
vig@ogasa.org.ua, ORCID: 0000-0001-7462-8931

Анотація. Вугільний флотоконцентрат, що утворюється в процесі вуглезбагачення являє собою тонкодисперсну, концентровану, стійку суспензію, яка складно піддається поділу традиційними методами.

З розвиненою в попередніх роботах теорії слідує, що ультрафлокуляція (УФ) дозволяє як мінімум в 1,5-2 рази підвищити ефективність не тільки розбавлених, але і концентрованих суспензій, що утворюються в рудно-збагачувальній промисловості. Ефективність флокуляції в даному випадку збільшується шляхом використання відповідної гідродинамічної обробки суспензії відразу після введення в неї флокулянта.

У даній роботі наведені результати досліджень ефективності методу УФ при сепарації флотоконцентрату вуглезбагачення. Об'єктом дослідження в роботі служив флотоконцентрат, отриманий від вугільної збагачувальної фабрики. Концентрація суспензії склала 215 г/л, розмір часток дисперсної фази коливався від 5 до 50 мкм. Як інтенсифікатор процесу агрегування частинок суспензії використано високомолекулярний аніонний флокулянт KANFLOCK – 130A (робоча концентрація 1 г/л).

Досліджено основні закономірності процесу ультрафлокуляційного поділу фаз стійких концентрованих вугільних суспензій з подальшою їх вакуумною фільтрацією. Встановлено, що використання попередньої ультрафлокуляції суспензії дає в 1,5-1,7 рази вищу продуктивність сепараційного обладнання, в 2,5-3 рази більше низьку витрату флокулянта і в 1,5 рази збільшує

ступінь очищення водної фази в порівнянні з «традиційною флокуляцією».

Рациональні умови ведення процесу ультрафлокуляції: витрата флокулянта 30 г/т, тривалість обробки 6 с, градієнт швидкості середовища 750 с^{-1} . Використання технології попередньої ультрафлокуляції вугільного флотоконцентрату в процесі його сепарації дозволяє досягти ефекту виділення по зваженим і колоїдним речовинам до 97%. Концентрація вугілля в очищеній водній фазі не перевищує 6 г/л, що дозволяє повторно її використовувати як робоче середовище в технологічному процесі збагачення вугілля.

Комплексне вирішення проблеми оптимізації процесу поділу фаз вугільних флотоконцентратів являє складну задачу, що викликає необхідність подальших досліджень.

Ключові слова: вугільний флотоконцентрат, сепарація, ультрафлокуляція, вакуумна фільтрація, градієнт швидкості середовища.

THE PURIFICATION OF SEWAGE WATER OF FLOTATION COAL ENRICHMENT BY THE METHOD OF ULTRA FLOCCULATION

Rulyov N.N., Doctor of Chemical Sciences,

F.D. Ovcharenko Institute of biocolloid chemistry of NASU
nrulyov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6895-2460

Nebesnova T.V., PhD (Chemical Sciences), Associate Professor,

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
vig@ogasa.org.ua, ORCID: 0000-0001-7462-8931

Abstract. Coal flotation concentrate formed in the process of coal enrichment is the fine concentrated, stable suspension that is difficult to separate by traditional methods.

From the theory developed in previous works, it follows that ultraflocculation (UF) allows at least a 1.5-2 times increase in the efficiency of not only diluted but also concentrated suspensions formed in the ore-enrichment industry. The effectiveness of flocculation in this case is increased by using the appropriate hydrodynamic treatment of the suspension immediately after the introduction of the flocculant into it.

The results of the research of the effectiveness of UF during the separation of coal concentrate flotation concentrates are presented. The object of the study was a flotation concentrate obtained from a coal enrichment plant. The concentration of the suspension was 215 g/l, the particle size of the dispersed phase varied from 5 to 50 μm . The high-molecular anionic flocculant KANFLOCK-130A (working concentration of 1 g/l) is used as an intensifier of the aggregation process of slurry particles.

The main regularities of the process of ultra flocculation phase separation of stable concentrated coal suspensions with their subsequent vacuum filtration have been researched. It has been determined that the use of preliminary ultraflocculation of the suspension gives a 1.5-1.7 times higher productivity of the separation equipment, a 2.5-3 times lower consumption of the flocculant and 1.5 times increases a degree of purification of the aqueous phase compared with the «traditional flocculation».

Rational conditions for conducting the process of ultra flocculation: flocculant consumption - 30 g/t, processing time - 6 s, medium velocity gradient – 750 s^{-1} . Application of the technology of preliminary ultraflocculation of coal flotation concentrate in the process of its separation allows to achieve the effect of separation of suspended and colloid substances up to 97%. The concentration of coal in the purified aqueous phase does not exceed 6 g/l, which allows it to be reused as a working medium in the technological process of coal enrichment.

A multi-purpose solution of the problem of optimizing the phase separation of coal flotation concentrates is a complex task requiring further research.

Keywords: coal flotation concentrate, separation, ultraflocculation, vacuum filtration, medium velocity gradient.

Стаття надійшла 6.06.2018