

**Н.Н. РУЛЕВ**, д-р хим. наук,

**О.В. КРАВЧЕНКО**, канд. хим. наук

(Украина, Киев, Институт биокolloидной химии им. Ф.Д. Овчаренко НАН Украины)

## **УЛЬТРАФЛОКУЛЯЦИЯ СТОКОВ ГАЗООЧИСТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

### *Введение*

Водное хозяйство газоочисток на большинстве металлургических заводов представляет собой замкнутый цикл водоснабжения включающий в свой состав водоочистные сооружения (преимущественно радиальные отстойники) и сооружения по обработке шламов. Основными загрязнителями сточных вод, например, конвертерных газоочисток, являются взвешенные вещества минерального происхождения. По своему гранулометрическому составу взвешенные вещества состоят из очень мелких частиц, более 90% которых составляют частицы размером менее 50 мкм. Для интенсификации процесса осветления сточных вод в отстойниках используют флокулянты, которые, с одной стороны, увеличивают их производительность, а, с другой, снижают содержание взвешенных веществ в сливе. В процессе отстаивания сточных вод образуется значительное количество шламов, которые являются ценным сырьем для металлургической промышленности. После обезвоживания, сушки и брикетирования они могут быть использованы в конвертерном производстве. Из возможных методов обезвоживания осадков сточных вод рациональным, в настоящее время, считается обезвоживание на барабанных вакуум-фильтрах, которые позволяют снизить влажность осадка с 60-70 до 26-35%. Использование флокулянтов в этом процессе позволяет существенно увеличить производительность вакуум-фильтров при одновременном снижении влажности кека, а также снизить количество взвешенных частиц в фильтрате.

В последние годы в технологии сепарации техногенных суспензий все более широкое распространение получает т.н. ультрафлокулярная (УФ) обработка [1-5]. Было установлено, что эффективность использования флокулянтов в процессах седиментационной и фильтрационной сепарации фаз суспензии в значительной мере зависит от режима гидродинамической обработки суспензии (градиента скорости среды) после введения в нее раствора флокулянта. Было показано [6, 7], что правильный подбор режима УФ-обработки позволяет в несколько раз увеличить производительность отстойника и существенно снизить содержание взвеси в сливе. Кроме того, доказано [8, 9], что УФ-обработка позволяет в 1,5-2 раза увеличить производительность вакуумных и ленточных пресс-фильтров и существенно снизить при этом расход дорогостоящих флокулянтов.

Ниже приводятся результаты исследования эффективности УФ-обработки при сепарации фаз суспензий, образующихся в системе газоочистки конвертера.

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

### *Об'єкт і методи дослідження*

Как об'єкт досліджень служили образці суспензії і осаду отстойника, образуються в системі газоочистки конвертера на підприємстві Арселор-Мітал Гелати (Румунія) з нижеслідуючими характеристиками:

### *Суспензія:*

Концентрація твердого – 280 мг/л;  
Дисперсність – 80% менше 30 мкм;  
рН – 12.

### *Осадок:*

Концентрація твердого – 230 г/л;  
Дисперсність – 80% менше 50 мкм;  
рН – 12.

Підбір найбільш ефективного флокулянта і його дозування, а також оптимального режиму гідродинамічної обробки здійснювали з допомогою пристрою "УльтрафлокТестер-2010" виробництва фірми "ТУРБОФЛОТСЕРВІС" (рис. 1).

Тестування сфлокулірованої суспензії на швидкість седиментації і залишкове вміст в освітленому шарі здійснювали з допомогою мірного циліндра висотою 30 см, ємністю 300 мл.

Тестування сфлокулірованого осаду на здатність віддавати воду здійснювали з допомогою міні-прес-фільтра.



Рис. 1. Прибор для измерения эффективности процесса флокуляции "УльтрафлокТестер-2010" производства фирмы "ТУРБОФЛОТСЕРВИС"

### *Результаты и их обсуждение*

Експерименти по виявленню найбільш ефективного флокулянта проводились з допомогою пристрою "УльтрафлокТестер-2010". Образец суспензії і розв'язок флокулянта з допомогою перистальтичних насосів УльтрафлокТестера неперервно прокачувалися через циліндричний флокулятор Куэтта, де вони змішувалися і гідродинамічно оброблялися в течение 5 секунд. Змінюючи

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

расход флокулянта (при постоянном расходе образца  $1,1 \text{ см}^3/\text{с}$ ) можно было менять его дозировку, а изменяя скорость вращения ротора флокулятора, можно было менять интенсивность гидродинамической обработки суспензии (осредненный градиент скорости среды от 300 до  $13000 \text{ с}^{-1}$ ). С помощью оптического датчика прибора измерялись флуктуации прозрачности потока суспензии и степень ее осветления. Сигнал от оптического датчика обрабатывался и высвечивался на табло прибора в виде целого числа (от 0 до 120), пропорционального относительному размеру флокул, сформированных во флокуляторе.

В результате тестирования флокулянтов производства фирм "BASF", "Ashland" и "SNF", было установлено, что наиболее эффективными для обработки исследуемых суспензий являются продукты фирмы "Ashland" (ФРГ): "Praestol 2510, 2620 и 2515". В качестве примера (рис. 2) представлены зависимости эффективности флокуляции от расхода флокулянта для флокулянтов: "Praestol 2510" ("Ashland"), "Magnafloc 525" ("BASF") и "AN 945" ("SNF"), откуда видно, что пороги флокуляции указанных флокулянтов возрастают от 135 г/т для "Praestol 2510", до 200 г/т для "Magnafloc 525" и до 235 г/т для "AN 945". В дальнейшем все эксперименты по флокуляции исследуемых суспензий проводились с флокулянтом "Praestol 2510".

Как известно, эффективность процесса флокуляции зависит не только от типа и дозировки флокулянта, но и от режима гидродинамической обработки. В качестве подтверждения этого факта (рис. 3) представлена зависимость эффективности флокуляции суспензии от градиента скорости среды, откуда видно, что для суспензии, концентрация которой составляет 115 г/л, оптимальное значение градиента лежит в диапазоне  $1300\text{-}1500 \text{ с}^{-1}$ .

Оценка эффективности УФ-обработки шламowego осадка на его способность отдавать воду осуществлялась с помощью лабораторного мини-пресс-фильтра, схематически показанного на рис. 4.

В процессе измерения (рис. 5), суспензия, обработанная во флокуляторе прибора "УльтрафлокТестер-2010" при заданном расходе флокулянта и градиенте скорости среды в течение 5 секунд, направлялась по трубке в цилиндрическую камеру пресс-фильтра в количестве, равном, примерно,  $12 \text{ см}^3$ . На дне камеры пресс-фильтра (в котором имелось несколько отверстий диаметром 3 мм) предварительно располагалась сетка (0,5 мм), поверх которой укладывалась фильтрующая ткань (промышленный образец). После этого, в камеру вставлялся поршень, на который опирался рычаг, который с помощью груза на его конце создавал давление в камере, равное 6 барам. Время выдержки такого давления во всех экспериментах составляло 1 минуту. Жидкая фаза и часть твердой фазы, вытекшие из камеры фильтра собирались в коллекторе, расположенном под днищем камеры. После этого кек извлекали из камеры фильтра и измеряли его влажность и сухой вес ( $M$ ). Суспензию, собранную в коллекторе отфильтровывали, высушивали и измеряли сухой вес осадка ( $m$ ). Степень задержки фильтра ( $R$ ) оценивали по формуле:  $R=M/(M+m)$ .

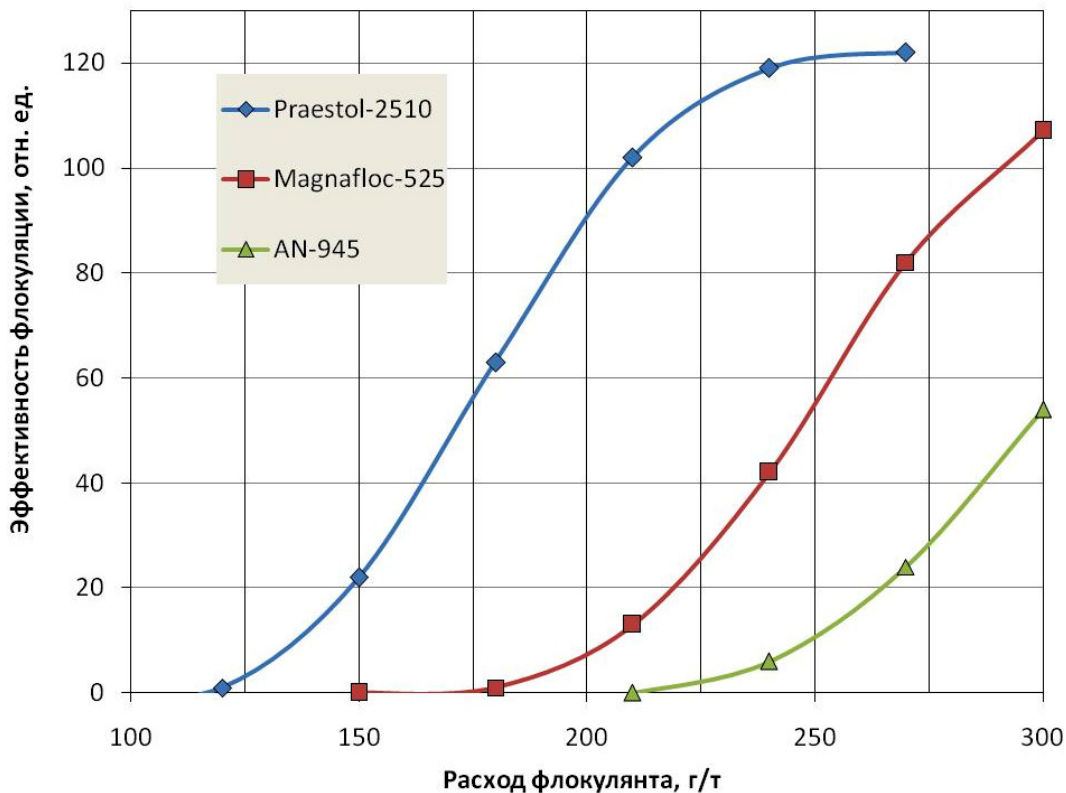


Рис. 2. Залежність ефективності УФ-обробки від витрати флокулянта: концентрація суспензії – 115 г/л; градієнт швидкості середовища – 1500 с<sup>-1</sup>; час обробки – 5 с

Результати вимірювань залежностей ступеня затримки твердого на фільтрі та вологості кека представлені на рис. 6 і 7, звідки видно, що при флокуляції концентрованої суспензії (230 г/л), оптимальне значення витрати флокулянта лежить в діапазоні 750-850 г/т, або, приблизно, 170-200 г/м<sup>3</sup>, що, приблизно, в 2,5 рази більше, ніж при обробці суспензії з концентрацією твердого в 115 г/л.

Для визначення оптимальних умов гідродинамічної обробки були виміряні залежності ступеня затримки твердого на фільтрі та вологості кека від градієнта швидкості середовища в флокуляторі при витраті флокулянта, рівній 700 г/т (160 г/м<sup>3</sup>). Оскільки при оптимальній витраті флокулянта ступінь затримки становила значення, близьке до 100%, незалежно від градієнта швидкості середовища, на рис. 8 представлена тільки залежність вологості кека від цього параметра. З наведених даних випливає, що мінімальна вологість кека (т.е. максимальна вологовіддача сфлукуюваної суспензії) досягається при градієнтах швидкості середовища, що лежать в діапазоні 3000-3500 с<sup>-1</sup>.

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

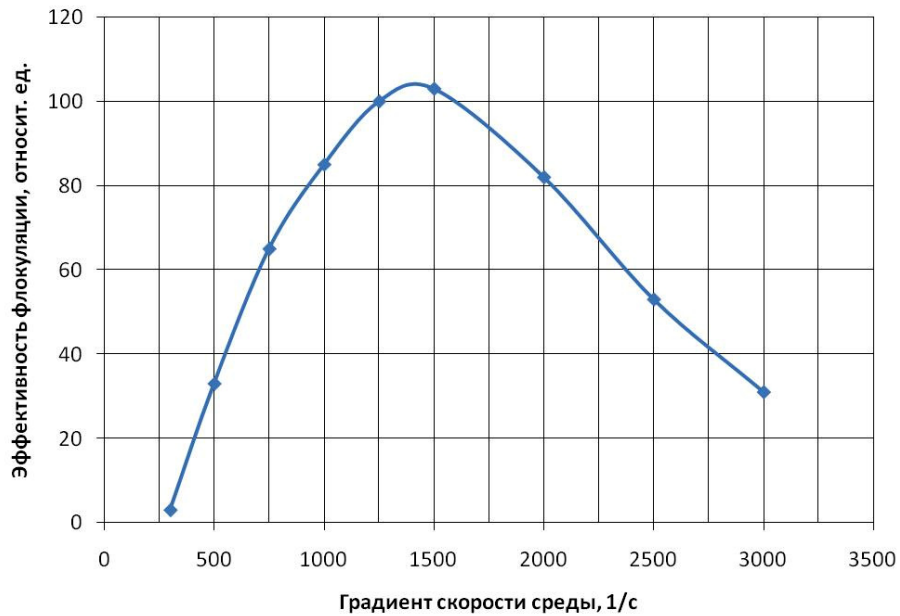
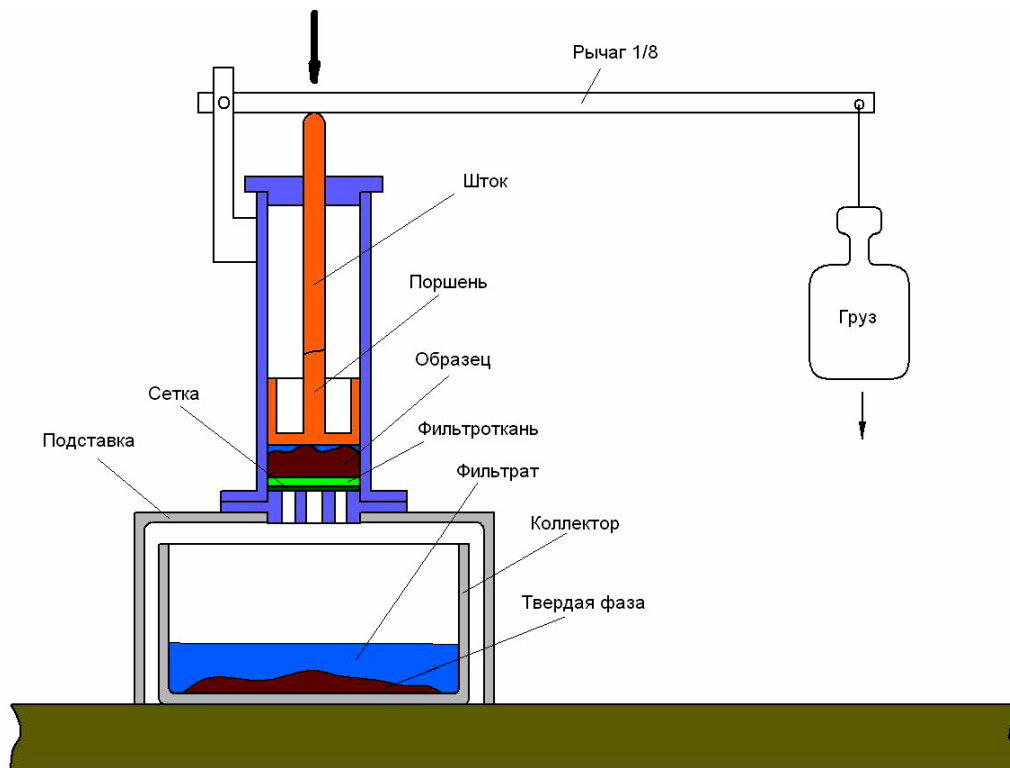


Рис. 3. Залежність ефективності УФ-обробки від градієнта швидкості середовища:  
концентрація суспензії – 115 г/л; час обробки – 5 с;  
флокюлянт – Praestol 2510 (210 г/т)



## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

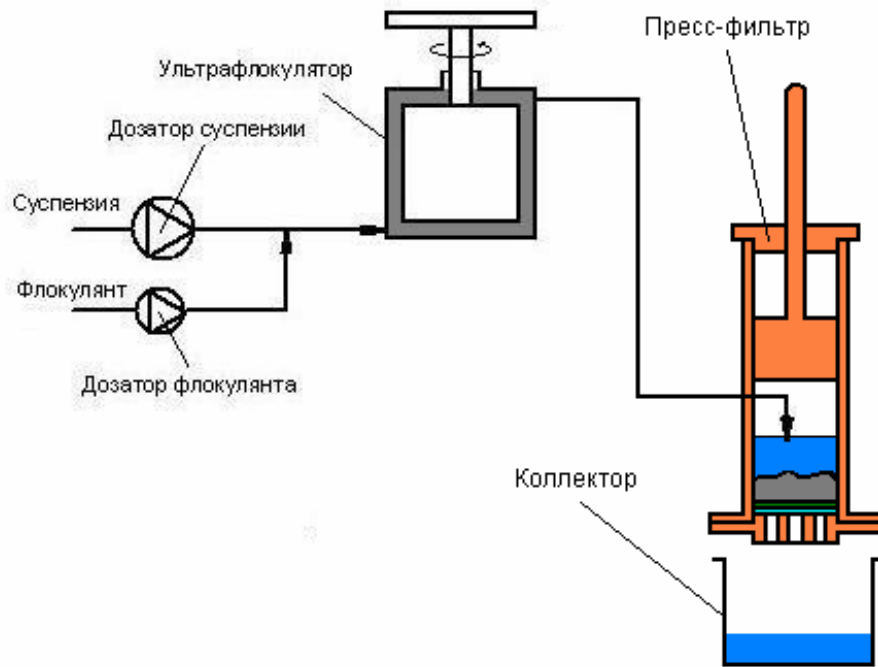


Рис. 5. Схема експеримента по флокуляції та прес-фільтрації шламового осадка

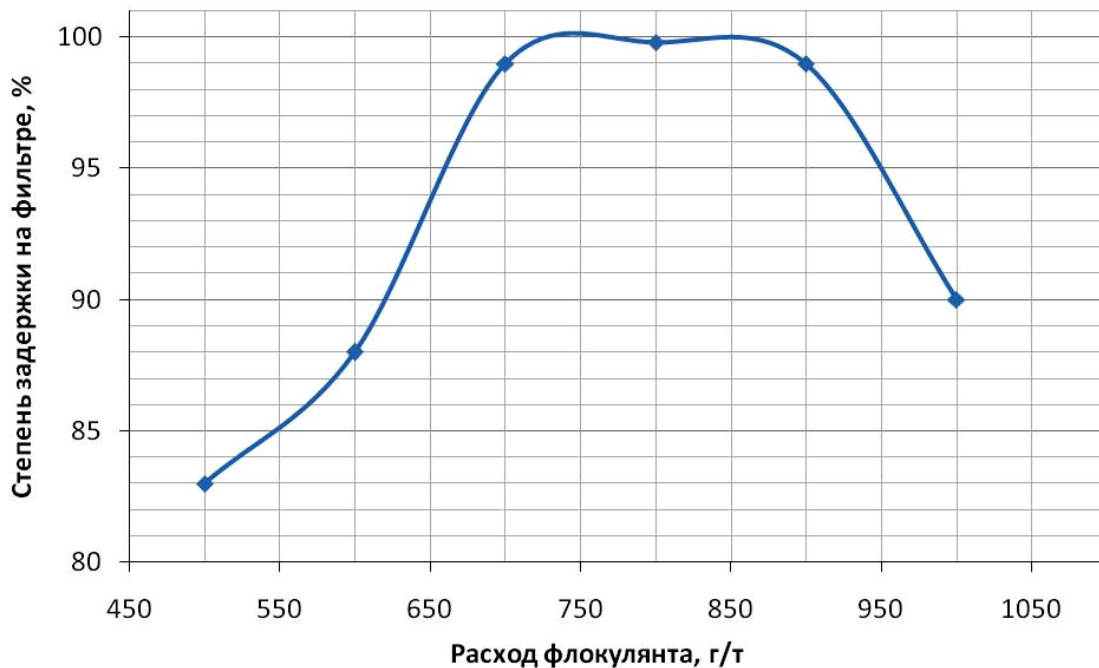


Рис. 6. Залежність ступеня задержки твердого на фільтрі після УФ-обробки від витрати флокулянта:  
концентрація суспензії – 230 г/л; час УФ-обробки – 5 с;  
градієнт швидкості середовища –  $2500 \text{ с}^{-1}$ ; тиск – 6 бар; час віджиму – 1 мин

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

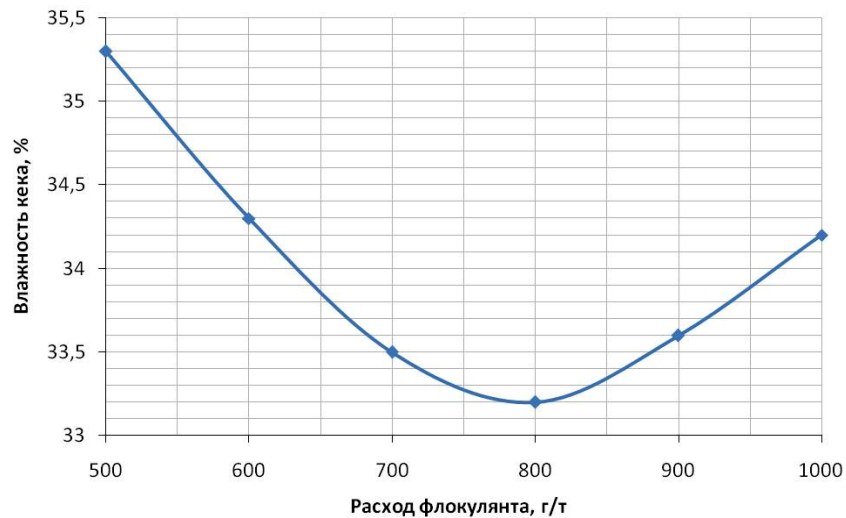


Рис. 7. Зависимость влажности кека от расхода флокулянта: концентрация суспензии – 230 г/л; время УФ-обработки – 5 с; градиент скорости среды –  $2500 \text{ с}^{-1}$ ; давление – 6 бар; время отжима – 1 мин

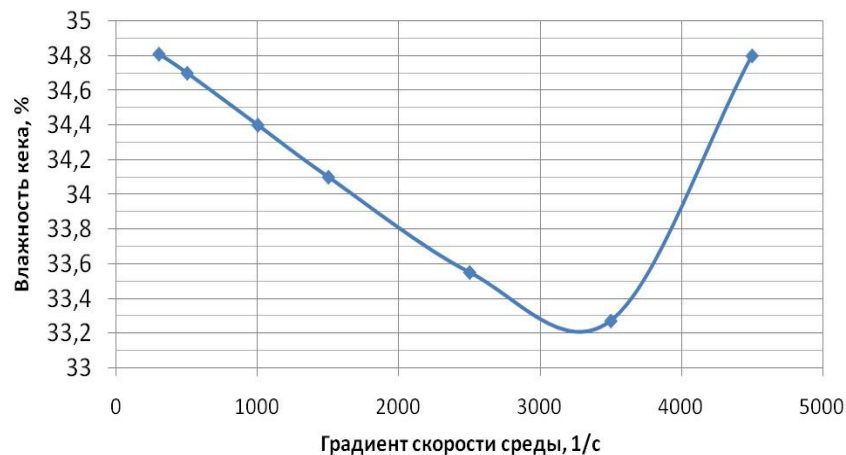


Рис. 8. Зависимость влажности кека на пресс-фильтре от градиента скорости среды во флокуляторе: концентрация суспензии – 230 г/л; флокулянт – Praestol 2510 (700 г/т); время УФ-обработки – 5 с; давление – 6 бар; время отжима – 1 мин

Для определения влияния ультрафлокулярной обработки суспензии на скорость седиментации взвеси и степень осветления водной фазы использовалась экспериментальная схема, показанная на рис. 9. Суспензия (280 мг/л) обрабатывалась в проточном режиме во флокуляторе прибора "УльтрафлокТестер-2010" в течение 5 секунд и направлялась в мерный цилиндр высотой 30 см и емкостью 300 мл. Доза флокулянта ("Praestol 2510") составляла 0,3 мг/л. После заполнения цилиндра суспензии давали отстояться в течение 30 минут, после чего с помощью сифона верхний осветленный слой воды декантировали (до уровня в 5 см) и определяли концентрацию в нем взвешенных веществ. Результаты измерений представлены на рис.10 в виде зависимости осредненной кон-

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

центрації взеси в освітленому шарі від градієнта швидкості середовища в флокуляторі. Як видно з рисунка, гідродинамічна обробка суспензії при градієнтах швидкості менше  $500 \text{ с}^{-1}$  дає приблизно той же результат, що і необроблена флокулянтною суспензією (123 мг/л). В разі ж обробки суспензії (з флокулянтною) при градієнтах швидкості середовища в діапазоні:  $1700\text{-}2300 \text{ с}^{-1}$  досягається остаточної концентрації взеси – менше 30 мг/л навіть при відносно невеликому витраті флокулянта (0,3 мг/л).

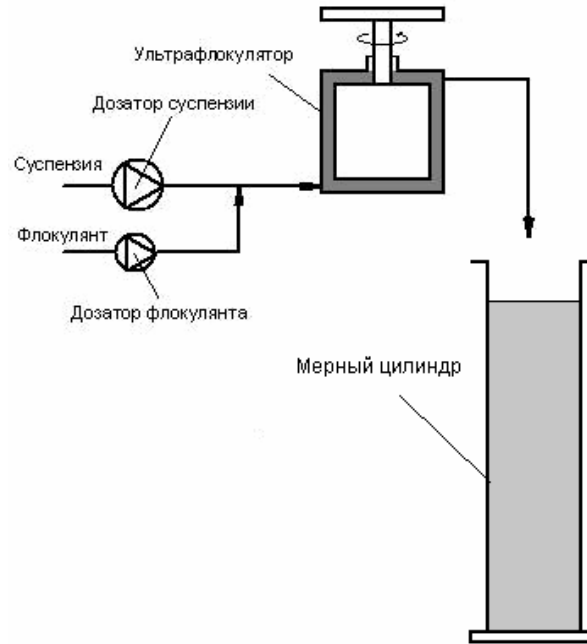


Рис. 9. Схема експерименту з визначення впливу УФ-обробки на седиментаційні властивості суспензії

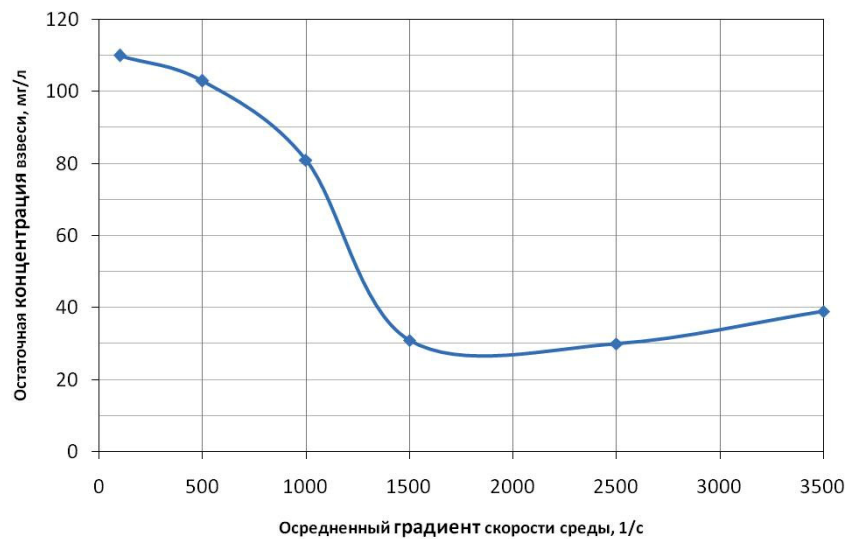


Рис. 10. Залежність концентрації взеси в освітленому шарі від градієнта швидкості середовища в флокуляторі



## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

### *Выводы*

1. Наиболее подходящим флокулянт для обработки рассматриваемой суспензии является флокулянт "Praestol 2510" производства компании "Ashland" (ФРГ).

2. Оптимальная дозировка флокулянта "Praestol 2510" при обработке шламового осадка с концентрацией 230 г/л перед ее обезвоживанием на пресс-фильтре находится в диапазоне: 750-850 г/т, или, примерно, 170-200 г/м<sup>3</sup>. При этом, оптимальное значение осредненного градиента скорости среды при УФ-обработке находится в диапазоне: 3000-3500 с<sup>-1</sup>.

3. Оптимальная обработка суспензии с концентрацией 280 мг/л перед ее осветлением в отстойнике достигается при расходе флокулянта "Praestol 2510" в диапазоне 0,3-0,5 мг/л и УФ-обработке во флокуляторе (5 с) при градиенте скорости среды в диапазоне 1700-2300 с<sup>-1</sup>.

### **Список литературы**

1. Rulyov N.N. Ultra-flocculation: Theory, Experiment, Applications: In book "Particle Size Enlargement in Mineral Processing". – Montreal (Canada), 2004. – P. 197-214.

2. Rulyov N.N., Dontsova T.A., Korolyov V.Ja. Ultra-flocculation of diluted fine disperse suspensions // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2005. – V. 26., № 3-4. – P. 203-217.

3. Rulyov N.N., Korolyov B.Y., Kovalchuk N.M. Application of the ultra-flocculation for improvements of fine coal concentrate dewatering // Coal Preparation. – 2006. – V. 26. – P. 17-32.

4. Rulyov N.N., Korolyov B.Y., Kovalchuk N.M. Ultra-flocculation of quartz suspension: effects of shear rate, dispersity and solids concentration // Mineral Processing and Extractive Metallurgy – 2009. – Vol. 118, № 3. – P. 175-181.

5. Ультрафлокуляция – как метод повышения эффективности процесса извлечения тонкодисперсного угля из хвостов обогащения / Н.Н. Рулев, В.Я. Королев, О.В. Кравченко и др. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 40(81). – С. 119-125.

6. Rulyov N.N., Laskowski J.S., Concha F. The use of ultra-flocculation in optimization of the experimental flocculation procedures Physicochem // Probl. Miner. Process. – 2011. – Vol. 46. – P. 5-16.

7. Concha F., Rulyov N.N, Laskowski J.S. Settling velocities of particulate systems 18: Solid flux density determination by ultra-flocculation // International Journal of Mineral Processing. – 2012. – Vol .104-105. – P. 53-57.

8. Определение оптимальных условий флокулянтной обработки концентрата флотационного углеобогащения перед его обезвоживанием на сетчатом вакуумном фильтре / В.Я. Королев, Н.Н. Рулев, О.В. Кравченко и др. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 41(82)-42(83). – С. 232-237.

9. Рулев Н.Н., Лукьянова В.В. Интенсификация процесса сгущения хвостов флотации ультрафлокуляцией // Сб. материалов VIII Конгресса обогатителей стран СНГ. – 2011. – Т. 1. – С. 23-26.

© Рулев Н.Н., Кравченко О.В., 2013

*Надійшла до редколегії 20.11.2013 р.*

*Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*