

99.7 Cu; 98 Zn; 96 Fe. Research has been carried out to study the duration of flotation with a duration of 4–5 minutes, where the degree of extraction of ions of heavy non-ferrous metals reaches 99%.

As a result of the research, a technological and circuit diagram of the apparatus was developed for the processing of utilized metal-containing acid solutions of JSC Almalyk MMC using ion flotation, which makes it possible to ensure the yield of metals up to 99%.

Key words: flotation, beneficiation, ion, extraction, metal, reagent, flotation concentrate, molybdenum, zinc, copper, iron, nickel.

References

1. Kholikulov D. B. Application of the ozonation method for the neutralization of technological solutions of copper production. *Universum: tekhnicheskoe nauki*. 2020. Vol. 12, No. 81. pp. 60–66. Available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11109>
2. Dolina L. F. Modern equipment and technologies for wastewater treatment from salts of heavy metals: monograph. Dnepropetrovsk : Kontinent, 2008. 254 p.
3. Weijun Peng, Luping Chang, Peiya Li et al. An overview on the surfactants used in ion flotation. *Journal of Molecular Liquids*. 2019. Vol. 286, 15 July.
4. Khalturina T. I. Wastewater treatment of industrial enterprises: textbook. [electronic resource]. Krasnoyarsk : Sibirskiy federalnyy universitet, 2014. Available at : <https://www.c-z-s.ru/doc/water-treatment/study/khalturina-t.i.-ochistka-stochnyih-vod-promyshlennyih-predp.pdf>
5. Demyanenko T. I., Babitskiy E. O. Physical methods of water treatment. *Vestnik Luganskogo natsionalnoe universiteta*. 2018. No. 8. pp. 60–62.
6. Kanunnikova M. A. Reconstruction of sewage treatment plants. *Pig*. 2012. No. 7. pp. 20–23.
7. Kovalenko A. A. Methods of catalytic intensification of processes of removal of biogenic compounds from sewage. *Ecology and industry of Russia*. 2013. No. 12. pp. 32–36.
8. Kholikulov D. B., Matkarimov S. T. Pilot tests of processing technologies of process solutions of copper production by ozonation. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 45. pp. 4987–4992.
9. Yang Duo, Feng Dongxia, Bai Lin, Zhang Xiaoyong. Research progress of metal ion flotation technology. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*. 2021. Vol. 41. pp. 133–140.
10. Zhi-yong, Zhe-yi Jiang, Wei Sun, Yue-sheng. Typical roles of metal ions in mineral flotation: A review. *Transactions of nonferrous metals society of China*. 2021. Vol. 31, Iss. 7. pp. 2081–2101.
11. Fatemeh Sadat Hoseinian, Bahram Rezai, Elaheh Kowsari, Mehdi Safari. The effect of water recovery on the ion flotation process efficiency. *Physico-chemical Problems of Mineral Processing*. 2020. Vol. 56. pp. 919–927.
12. Baynham S., Ireland P., Galvin K. Enhancing ion flotation through decoupling the overflow gas and liquid fluxes. *Minerals*. 2020. Vol. 10.
13. Lobacheva O. L., Berlinskiy I. V., Mkrtchyan A. A., Misnik A. V. Ionic flotation of Y(+3), Er(+3) and Yb(+3). *Mezhdunarodny nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2016. pp. 149–152.
14. Kholikulov D. B., Yakubov M. M., Boltayev O. N. Research of the valuable components' extraction possibility from technological solutions copper production by method of ionic flotation. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. 2019. Vol. 6, Iss. 6. pp. 9565–9569.
15. Kholikulov D. B., Normurotov R. I., Akhtamov F. E. Study of the extraction of non-ferrous metals by ion flotation from waste solutions. *Gornyy vestnik Uzbekistana*. 2016. No. 2. pp. 68–70.
16. Ksenofontov B. S. Wastewater treatment: flotation kinetics and flotation combines: monograph. Moscow : FORUM, INFRA-M, 2020. 256 p.
17. Chanturiya V. A., Medyanik N. L., Shadrunova I. V. Investigation of advanced reagents for flotation extraction of zinc and copper (II) ions from mine and waste waters. *Tsvetnye Metally*. 2011. No. 6. pp. 16–20.

Интенсификация процессов сгущения при обезвоживании пульпы путем эффективного смешивания суспензий с растворами флокулянтов

УДК 622.794:[66.065.8+666.97.031.3] **А. Н. Григорьева**, генеральный директор¹, канд. техн. наук, эл. почта: an@td-elma.ru
Р. Ш. Абиев, зав. каф. оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры², проф., докт. техн. наук, эл. почта: rufat.abiev@gmail.com

¹ГК «Элма-Астерион», Санкт-Петербург, Россия.

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет), Санкт-Петербург, Россия.

Эффективность процесса сгущения продуктов обогащения руд цветных металлов во многом зависит от размеров частиц в пульпе, поэтому для интенсификации сгущения тонкодисперсных пульп применяют флокулянты. В процессе перемешивания важно равномерно распределить раствор флокулянта по всему объему пульпы и не разрушить образованные хлопья чрезмерными сдвиговыми напряжениями мешалки. Рассмотрен процесс флокуляции при механическом перемешивании пульпы с концентрированными растворами флокулянта. Подтверждена ранее разработанная методика подбора перемешивающих устройств с учетом геометрии мешалки, в основе которой лежит полуэмпирическая модель турбулентности Прандтля. Установлено, что выбор оптимальной частоты вращения перемешивающего устройства связан с величиной напряжений турбулентного трения, создаваемых лопастями мешалки. Приведены результаты экспериментальных исследований по перемешиванию суспензии с высокомолекулярным флокулянтном Гринлайф K40 катионного действия при использовании разных типов перемешивающих устройств. Сравнению подверглись традиционная турбинная и трехлопастная мешалки, а также разработанная коническая мешалка новой геометрии. Эффективность перемешивающего устройства определяли путем сравнения размеров образованных хлопьев. Установлено, что в случае применения конической мешалки образуются более крупные и прочные хлопья.

Ключевые слова: перемешивающее устройство, флокулянт, суспендирование, турбулентные напряжения, хлопья, пульпа.

DOI: 10.17580/tsm.2022.06.02

Введение

Высокое содержание технологической воды в процессах переработки минерального сырья в горно-металлургической промышленности требует разработки и применения новых экономичных методов обезвоживания [1]. При сгущении продуктов обогащения руд цветных металлов возникают проблемы, выражающиеся в низкой скорости процесса и высоком содержании твердой фазы в сливах сгустителей. Продукты обогащения, как правило, содержат большое количество тонких шламистых частиц (крупностью меньше 0,045 мм) [2]. Для ускорения сгущения тонкодисперсных флотационных пульп необходимо применение флокулянтов [3].

Флокуляция — это один из процессов, способствующих отделению мелкодисперсной твердой фазы от жидкой. Флокулянт прикрепляется к микронным и субмикронным частицам и способствует заполнению промежутков между ними. При приближении частиц друг к другу начинают действовать силы Ван-дер-Ваальса. Они снижают энергетический барьер флокуляции, после чего начинается образование рыхлых хлопьев. Слипание, связывание и повышение прочности хлопьев происходит до тех пор, пока не образуются агрегаты — макрохлопья (флокулы). При их достаточных массе, размере и прочности происходит ускорение осаждения под действием силы тяжести. Макрохлопья очень чувствительны к интенсивности перемешивания. Их повторное образование после разрушения под действием внешней силы почти невозможно. Для флокуляции нужно осторожное перемешивание и использование полимерного флокулянта с большой молекулярной массой. К основным технологическим проблемам при флокуляции относят необходимость выбора наиболее эффективного флокулянта и создание оптимального технологического режима приготовления его растворов и их последующего применения [4].

Действие полимеров зависит от:

- природы флокулянта;
- молекулярной массы;
- концентрации дисперсной фазы;
- условий приготовления и дозирования полимера.

Еще одним фактором, оказывающим влияние на прочность хлопьев, является температура процесса хлопьеобразования [5]. Среди способов интенсификации процесса сгущения есть установка интеллектуальных блоков, управляющих подачей реагента в зависимости от особенностей течения технологического процесса [6]. Этот прием относят к регулированию дозы реагента в зависимости от концентрации твердых включений в объеме суспензии.

Настоящее исследование посвящено аппаратурному оформлению процессов приготовления и внесения полимерного флокулянта — особенностям перемешивания суспензий в целях образования хлопьев с максимально возможным размером, что позволит ускорить процесс их осаждения и, как следствие, интенсифицировать процесс сгущения пульпы. Важным ограничением процесса является создание сдвигового поля, которое не приведет к разрушению макрохлопьев и самого флокулянта.

Макромолекулы флокулянта достаточно гибкие и находятся в воде в свернутом состоянии в виде молекулярных клубков (рис. 1, а), которые начинают раскрываться по мере разбавления раствора (см. рис. 1, б).

Цели данной работы:

- экспериментальное подтверждение ранее разработанной методики расчета [7] максимально допустимой частоты вращения перемешивающего устройства;
- сравнительный анализ влияния геометрической формы перемешивающего устройства на размеры образующихся хлопьев при флокуляции суспензий.

Существует три основных типа диспергирования частиц (в рассматриваемом случае — флокул) внешними напряжениями [8]:

- 1) эрозия поверхности флокулы, когда мелкие фрагменты отделяются с внешней поверхности полиминерального агрегата, характерна для незначительных воздействий на флокулы;
- 2) фрагментация частицы, когда она распадается на несколько фрагментов, размер которых имеет один порядок величины;

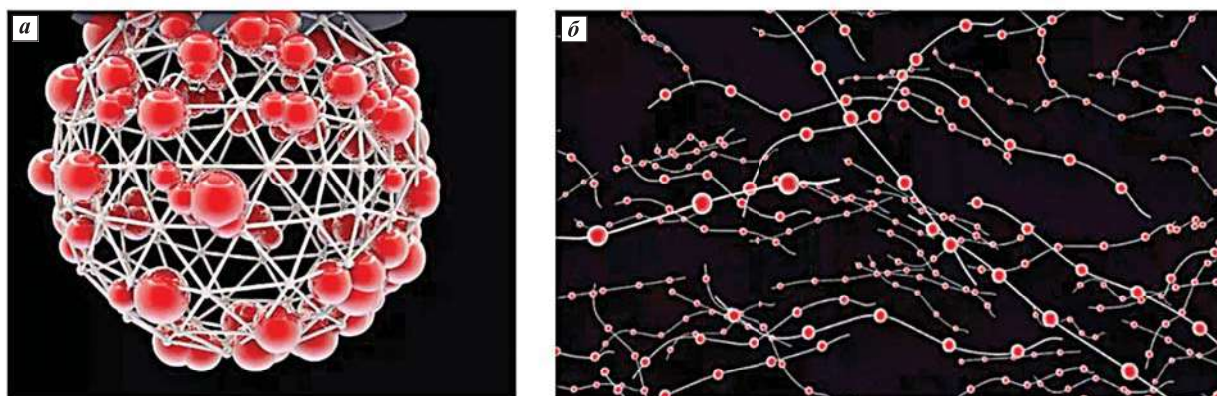


Рис. 1. Модель макромолекулы флокулянта:
а — в концентрированном растворе; б — в разбавленном растворе

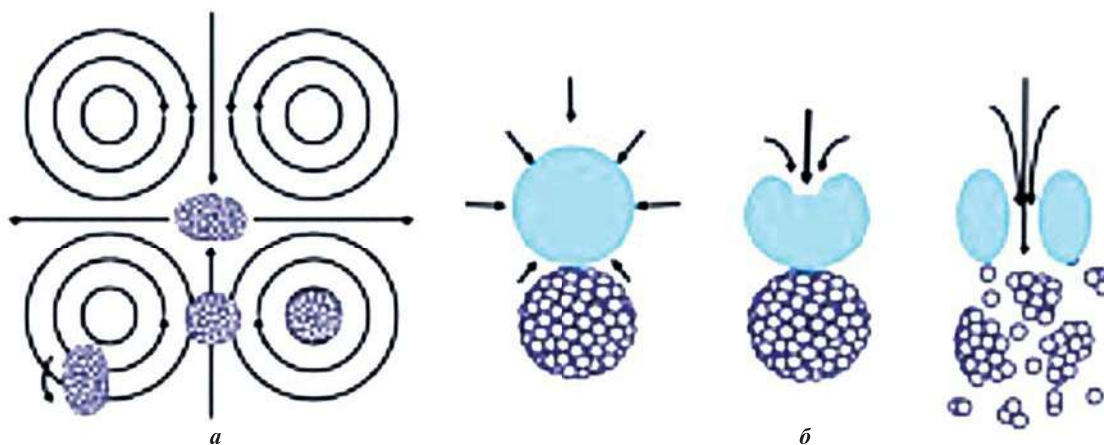


Рис. 2. Основные типы гидродинамических воздействий при разрушении хлопьев в условиях турбулентного перемешивания: а — турбулентный сдвиговой поток в соответствии с теорией Колмогорова [9]; б — кавитация [8]

3) разрушение частицы, что означает разрыв на большое число фрагментов, значительно меньших, чем частица исходного размера.

Исходя из вышеприведенной информации, можно заключить, что в процессе перемешивания раствора реагента с дисперсией пульпы следует обеспечить частоту вращения мешалки, при которой касательные напряжения на наружном диаметре лопаток не будут превышать предельно допустимую величину, соответствующую прочности образующихся хлопьев. Соответственно, для правильного выбора перемешивающего устройства, с одной стороны, необходимо изучить прочностные характеристики хлопьев, с другой стороны, необходимо иметь информацию о гидродинамической обстановке, в частности, об уровне допустимых касательных напряжений (рис. 2). Известно, что при введении флокулянта ограничивающим фактором является разрыв полимерных цепочек, и, следовательно, можно применить методику расчета пороговой частоты вращения мешалки, подробно изложенную в работе [7]. Расчет основан на определении турбулентных касательных напряжений по Рейнольдсу, создаваемых мешалкой во время ее работы, которые не должны превышать напряжения сдвига, достаточные для разрушения макромолекул флокулянта. Опираясь на данные о реологических свойствах растворов флокулянтов и построив совмещенный график зависимости создаваемых мешалкой турбулентных напряжений от скорости сдвига, можно найти определяющую частоту вращения мешалки. Эта методика использована в данной работе.

Напряжения турбулентного трения рассчитывали из полуэмпирической модели турбулентности Прандтля, согласно которой напряжения турбулентного трения τ_r (Па) определяются как:

$$\tau_r = \rho L^2 \left| \frac{du}{dy} \right| \frac{du}{dy}, \tag{1}$$

где ρ — плотность перемешиваемой среды, кг/м³; L — путь смешения, м; du/dy — градиент скорости в осевом направлении перемешивания, с⁻¹.

Градиент скорости в осевом направлении определяли по формуле:

$$\frac{du}{dy} = \omega_0 \frac{(R - r_m)^2}{R^2 - r_m^2} [1,6\psi_1(r_m^5 - 1) + 1,5\psi_2(r_m^4 - 1) + (r_m^2 - 1) + 2(\psi_1 + \psi_2 + 1) \ln(R)], \tag{2}$$

где ω_0 — угловая скорость вращения мешалки, с⁻¹; $R = D/d_m$ — главный геометрический критерий подобия — отношение диаметра аппарата к диаметру рабочего колеса мешалки; $r_m = 0,75r_0$ — средняя величина безразмерного радиуса разделения первой и второй зоны смешения в аппарате; r_0 — радиус мешалки, м; ψ_1, ψ_2 — параметры распределения окружной скорости, зависящие от геометрии перемешивающего устройства.

Рассчитав значение абсолютного градиента скорости по формуле (2), можно вычислить величину турбулентных напряжений Рейнольдса, создаваемых определенным типом перемешивающего устройства при различной частоте вращения мешалки.

Исследование влияния частоты вращения мешалки на размер образующихся хлопьев

Перемешивание пульпы с раствором флокулянта происходило в цилиндрическом лабораторном стакане объемом 2 л и диаметром 130 мм. Фотография стенда и его схема приведены на рис. 3.

Концентрация модельной суспензии (так называемой косметической глины) составила 0,5 % (мас.). Измерение размеров частиц проведено при помощи оптического микроскопа Levenhuk с окуляром, оснащенным видеокамерой.

Минимальный размер частиц составил 1 мкм, максимальный — 61 мкм (рис. 4). Рассчитанный средний диаметр по Заутеру [10] составил 22 мкм.

Модельная суспензия — горная порода осадочного происхождения, состоящая в основном из высокодисперсных гидроалюмосиликатов. Выбор этого материала обусловлен тем, что при его взаимодействии

с флокулянтom Magnafloc M919 происходит достаточно хорошая агрегация частиц. Применение в экспериментах реагента указанной марки было обусловлено результатами, приведенными в статье [11]. В той работе были изучены реологические свойства некоторых гидрогелей полиакриламида с различной степенью ионогенности. В ходе исследования было установлено, что наибольшей эффективностью использования и способностью к релаксации (восстановлению разрушенных структур) напряжений обладает флокулянт M919.

В настоящей работе непосредственно изучали влияние перемешивания, поэтому все эксперименты проводили в одинаковых условиях: концентрация твердой фазы в суспензии составила 0,5 %, доза раствора флокулянта на весь объем суспензии — 5 % (последовательное введение по 20 мл в течение 2 мин), концентрация раствора флокулянта — 0,5 %, время смешения готового раствора 30–40 с.

После образования флокул проводили отбор проб для последующего анализа при помощи оптического микроскопа, размеры хлопьев измеряли с применением программного обеспечения TourView, входящего в комплект поставки микроскопа. В качестве обобщенного среднего значения рассчитывали диаметр по Заутеру (средний объемно-поверхностный диаметр частиц) [10]. Выбор этого показателя в качестве критерия обусловлен тем, что он характеризует удельную поверхность частиц, приведенную к их объему, и его используют для расчетов массообменных процессов. Средний интегральный размер частиц несколько меньше диаметра по Заутеру.

По методике определения пороговой частоты вращения, изложенной в работе [7], была рассчитана пороговая частота вращения конической мешалки, которая составила 580 мин⁻¹ (рис. 5). Для анализа размера образующихся хлопьев эксперименты проводили при частоте вращения на 25 % меньше пороговой, а также выше на 25 и 50 %, т. е. 435, 725, 900 мин⁻¹.

Фотографии образовавшихся хлопьев представлены на рис. 6, результаты измеренных средних диаметров по Заутеру d_{32} — в табл. 1.

После образования флокул проводили отбор проб для последующего анализа при помощи оптического микроскопа Levenhuk, размеры хлопьев измеряли с применением программного обеспечения TourView, входящего в комплект поставки микроскопа.

| Таблица 1 Параметры хлопьев, полученных в результате перемешивания суспензии с раствором флокулянта конической мешалкой при разной частоте вращения | | | | |
|--|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|
| Частота вращения мешалки, мин ⁻¹ | Число измеренных хлопьев, ед. | Min диаметр, мм | Max диаметр, мм | Диаметр по Заутеру d_{32} , мм |
| 435 | 58 | 0,108 | 1,551 | 0,998 |
| 580 | 42 | 0,109 | 1,623 | 1,112 |
| 725 | 43 | 0,162 | 1,319 | 0,943 |
| 900 | 66 | 0,087 | 1,302 | 0,744 |

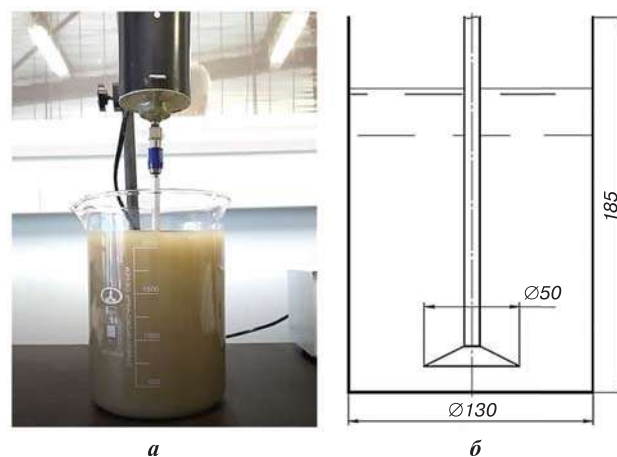


Рис. 3. Лабораторная установка для исследования образования хлопьев при перемешивании суспензии с раствором флокулянта: а — общий вид лабораторного стенда; б — схема с указанием размеров

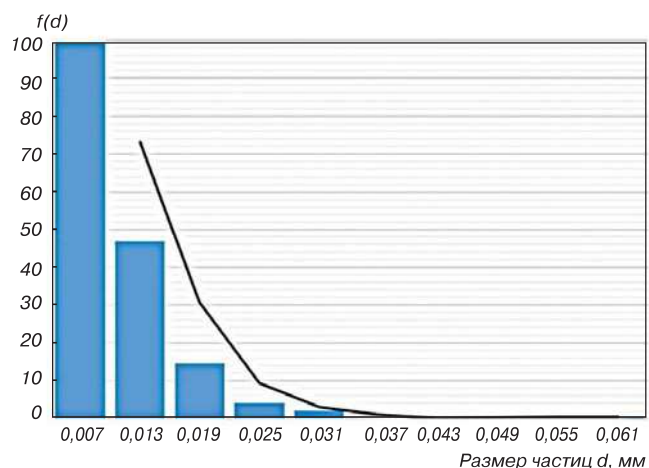


Рис. 4. Гистограмма плотности распределения размера частиц

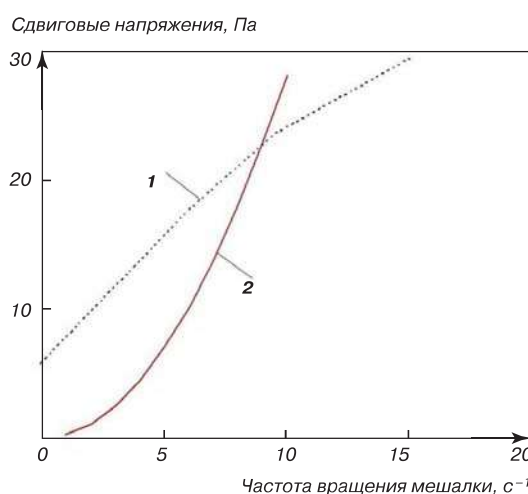


Рис. 5. Совмещенный график зависимости реологических свойств раствора флокулянта (1) и напряжений турбулентного трения Рейнольдса, создаваемых мешалкой (2), от ее частоты вращения. Точка пересечения графиков — предельно допустимая частота вращения мешалки

Обсуждение полученных результатов

С увеличением частоты вращения мешалки, а соответственно с повышением турбулизации потока, структура хлопьев становится более плотной (см. рис. 6). Это объясняется тем, что увеличение локальных скоростей потока способствует более активному соударению твердых частиц.

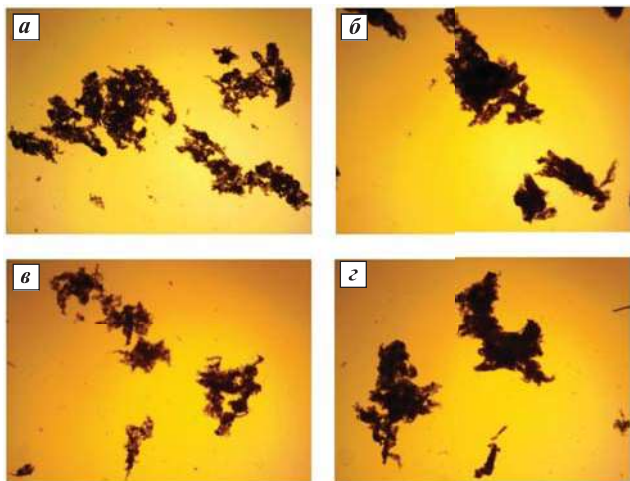


Рис. 6. Фотографии хлопьев, образованных при перемешивании суспензии конической мешалкой при частоте ее вращения, мин⁻¹: а — 435; б — 580; в — 725; з — 900

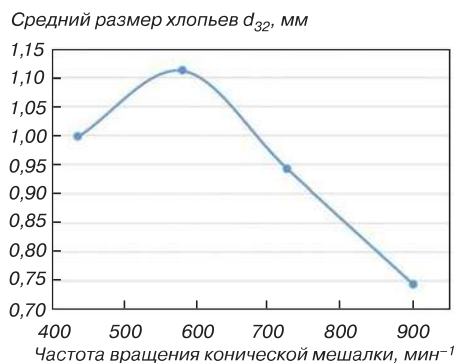


Рис. 7. Зависимость размера флоккул d₃₂ от частоты вращения конической мешалки

Пороговая частота вращения мешалки является оптимальной для достижения максимального размера флоккул (рис. 7). Ее рассчитывают по ранее разработанной методике [7]. Следует отметить, что она была применена при введении в качестве реагентов-осадителей флокулянтов, однако этот подход в целом может быть использован также при хлопьеобразовании в процессе коагуляции. Применительно к коагуляции потребуется более детальное изучение прочности образующихся хлопьев-агломератов.

Сравнительный анализ размеров образующихся хлопьев при перемешивании мешалками различной геометрической формы. В исследованиях использовали стандартные виды мешалок: турбинную, трехлопастную, а также разработанное нами новое устройство — коническую [12] (рис. 8).

Эксперименты по образованию хлопьев проводили в аппарате, схема которого представлена на рис. 3. Мешалки работали при одинаковой частоте вращения 580 мин⁻¹, все условия эксперимента сохранялись постоянными, за исключением геометрической формы исследуемого устройства. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Исходя из анализа данных, представленных в табл. 2, можно сделать вывод о том, что гидродинамическая обстановка в аппарате с конической мешалкой способствует образованию самых крупных хлопьев, что объясняется ее конструктивными особенностями: лопасти мешалки скруглены, на внешнем диаметре мешалки создаются касательные напряжения намного ниже, чем вблизи турбинной мешалки (лопасти которой расположены по отношению к вращающемуся потоку жидкости под углом 90°). Трехлопастная мешалка «не рвет» хлопья, как турбинная, однако суммарная площадь лопастей (580 мм²) не такая большая, как у конической (640 мм²), и интенсивность воздействия на жидкость ниже.

Также стоит отметить тот факт, что расчетная мощность, расходуемая на перемешивание, при использовании конической мешалки минимальна, вследствие

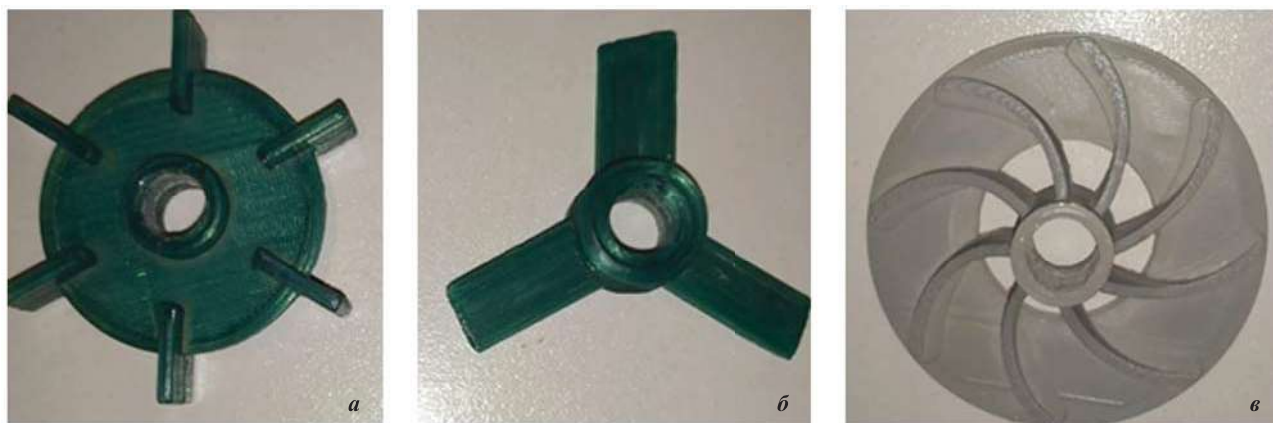


Рис. 8. Мешалки, использованные в экспериментах: а — турбинная; б — трехлопастная; в — коническая

Таблица 2

Параметры хлопьев, полученных в результате перемешивания пульпы с раствором флокулянта различными типами мешалок (частота вращения 580 мин⁻¹)

| Мешалка | Расчетная мощность, расходуемая на перемешивание, Вт | Число измеренных флокул | Min диаметр флокул, мм | Max диаметр флокул, мм | Средний диаметр по Заугеру, мм |
|---------------|--|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Трехлопастная | 0,141 | 60 | 0,071 | 1,708 | 0,928 |
| Турбинная | 1,27 | 53 | 0,048 | 0,952 | 0,686 |
| Коническая | 0,085 | 42 | 0,109 | 1,623 | 1,112 |

Таблица 3

Экономическое обоснование внедрения конических мешалок

| Мешалка | Диаметр мешалки, мм | Пороговая частота вращения, мин ⁻¹ | Мощность, расходуемая на перемешивание, кВт·ч | Стоимость электроэнергии в сутки, руб. (с НДС) |
|---------------|---------------------|---|---|--|
| Трехлопастная | 3500 | 18 | 7,52 | 1642,4 |
| Турбинная | 3500 | 10 | 10,94 | 2389,3 |
| Коническая | 3500 | 22 | 5,18 | 1131,3 |

чего предприятия, использующие такие устройства могут достичь весомого экономического эффекта. В **табл. 3** для примера представлены расчетные данные по предполагаемой экономии электроэнергии при использовании мешалки в аппарате объемом 400 м³ (диаметр 8000 мм, высота 8000 мм) при стоимости электроэнергии 9,1 руб/(кВт·ч) с НДС и непрерывной работе 24 ч/сут.

Выводы

В результате исследований установлено, что оптимальной частотой вращения мешалки при хлопьеобразовании в процессе сгущения суспензии с применением флокулянтов является ее пороговое значение, рассчитанное по методике, приведенной в работе [7]. Перемешивание с более низкими частотами ведет к образованию рыхлых непрочных хлопьев, в то время как чрезмерное увеличение турбулентных пульсаций при более высоких значениях плохо отражается на размерах агломератов. Предпочтительным вариантом из трех

сравняемых геометрических форм перемешивающего устройства является коническая мешалка, изготовленная в соответствии с пат. 2683078 [12]. Ее эффективность обуславливается конструктивными особенностями: форма лопастей способствует созданию дальнобойной веерной струи, на окончании лопаток не создаются опасные сдвиговые напряжения, приводящие к разрыву полимерных цепочек флокулянта и образуемых в процессе флокуляции хлопьев. Полученные результаты и выводы хорошо согласуются с литературными источниками. Например, приведенные в работе [13] результаты испытаний показали, что как скорость сдвига, так и время перемешивания оказывают значительное влияние на скорость фильтрации пульпы и влажность кека. Умеренное перемешивание при скорости сдвига 92 с⁻¹ было благоприятным для быстрой фильтрации.

Таким образом, можно рекомендовать коническую мешалку для применения в процессах сгущения пульпы в качестве эффективной альтернативы традиционным перемешивающим устройствам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Joseph-Soly S., Asamoah R., Addai-Mensah J.** Super-absorbent recycling for process water recovery // *Chemical Engineering Journal Advances*. 2021. No. 6. P. 1–7.
2. **Носова О. В., Грищенко В. А., Крашевский М. И.** Подбор флокулянтов для сгущения продуктов металлургического производства // *Научный вестник Арктики*. 2019. № 5. С. 13–20.
3. **Тимошенко Л. И., Анциферова С. А., Самойлов В. Г., Маркосян С. М.** Исследование процесса сгущения перед гидрометаллургическим переделом золотосодержащих руд // *Обогащение руд*. 2010. № 1. С. 27–29.
4. **Гандурина Л. В.** Очистка сточных вод с применением синтетических флокулянтов : монография. — М. : ДАР/ВОДГЕО, 2007. — 98 с.
5. **Fitzpatrick S. B., Fradin E., Gregory J.** Temperature effects on flocculation, using different coagulants // *Water Science and Technology*. 2004. No. 12. P. 171–175.
6. **Гудошников А. В.** Применение интеллектуального блока для повышения эффективности процесса сгущения // *Вестник современных исследований*. 2017. № 11. С. 191–193.
7. **Григорьева А. Н., Абиев Р. Ш.** К выбору типа и частоты вращения мешалки для эффективного перемешивания флокулянтов в воде // *Вода и экология: проблемы и решения*. 2020. № 2. С. 27–36.
8. **Васильев М. П.** Интенсификация процессов диспергирования и массообмена с использованием пульсационных и вихревых воздействий : дис. ... канд. тех. наук. — Иваново, 2018. — 204 с.
9. **Колмогоров А. Н.** Локальная структура турбулентности в несжимаемой вязкой жидкости при очень больших числах Рейнольдса // *Успехи физических наук*. 1967. № 11. С. 476–481.
10. **Sauter J.** Die Grössenbestimmung der in Gemischnebeln von Verbrennungskraftmaschinen vorhandenen Brennstoffteilchen. — Berlin : VDI-Verl, 1926. — 74 p.
11. **Ульрих Е. В., Шевченко Т. В., Пирогов А. Н., Мидуцина Ю. С.** Изучение реологических свойств флокулянтов // *Химическая промышленность сегодня*. 2011. № 5. С. 25–28.

12. Пат. **2683078** С1 РФ, МПК В01F 7/18, В01F 7/26. Перемешивающее устройство / Абиев Р. Ш., Григорьева А. Н.; заявл. 06.06.2018; опубл. 26.03.2019.
13. **Hu P., Liang L., Xie G., Zhou Sh., Peng Y.** Effect of slurry conditioning on flocculant-aided filtration of coal tailings studied

by low-field nuclear magnetic resonance and X-ray microtomography // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 30. P. 859–864.

ЦМ

Tsvetnye Metally. 2022. No. 6. pp. 24–30
DOI: 10.17580/tsm.2022.06.02

INTENSIFICATION OF THICKENING PROCESSES DURING PULP DEHYDRATION BY EFFICIENT MIXING OF SUSPENSIONS WITH FLOCCULANT SOLUTIONS

Information about authors

A. N. Grigorieva, General Director¹, Candidate of Technical Sciences, e-mail: an@td-elma.ru

R. Sh. Abiev, Head of the Chair for Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment², Professor, Doctor of Technical Sciences, e-mail: rufat.abiev@gmail.com

¹Elma-Asterion Group of Companies, St. Petersburg, Russia.

²St. Petersburg State Technological Institute (Technical University), St. Petersburg, Russia.

Abstract

The efficiency of the process of thickening the products of enrichment of non-ferrous metal ores largely depends on the particle size in the pulp, therefore, flocculants are used to intensify the thickening of fine pulps. In the process of mixing, it is important to evenly distribute the flocculant solution over the entire volume of the pulp and not to destroy the formed flakes by excessive shear stresses of the mixer. The process of flocculation during mechanical mixing of the pulp with concentrated solutions of the flocculant is considered. The previously developed method, based on the semi-empirical Prandtl turbulence model, for selecting mixing devices, taking into account agitator's geometry, was confirmed. It has been established that the choice of the optimal rotational speed of the agitator is related to the magnitude of turbulent friction stresses created by the agitator's blades. The results of experimental studies on mixing a suspension with a high-molecular flocculant Greenlife K40 of cationic action using different types of mixing device are presented. The comparison was made between traditional turbine and three-bladed agitators, as well as the developed conical agitator with a new geometry. The efficiency of the mixing devices was determined by comparing the size of the formed flakes. It has been established that larger and stronger flakes are formed in the case of using a conical mixer.

Key words: mixing device, flocculant, suspension, turbulent stresses, flakes, pulp.

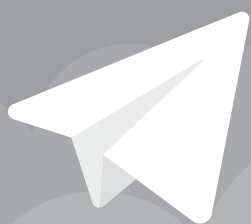
References

1. Joseph-Soly S., Asamoah R., Addai-Mensah J. Superabsorbent recycling for process water recovery. *Chemical Engineering Journal Advances*. 2021. No. 6. pp. 1–7.
2. Nosova O. V., Grishchenko V. A., Krashevskiy M. I. Selection of flocculants for thickening products of metallurgical production. *Nauchny vestnik Arktiki*. 2019. No. 5. pp. 13–20.
3. Timoshenko L. I., Antsiferova S. A., Samoylov V. G., Markosyan S. M. Study of the thickening process before the hydrometallurgical processing of gold-bearing ores. *Obogashchenie Rud*. 2010. No. 1. pp. 27–29.
4. Gandurina L. V. Wastewater treatment using synthetic flocculants: monograph. Moscow: ZAO DAR/VODGEO, 2007. 98 p.
5. Fitzpatrick S. B., Fradin E., Gregory J. Temperature effects on flocculation, using different coagulants. *Water Science and Technology*. 2004. No. 12. pp. 171–175.
6. Gudoshnikov A. V. Application of an intelligent block to improve the efficiency of the thickening process. *Vestnik sovremennykh issledovaniy*. 2017. No. 11. pp. 191–193.
7. Grigoryeva A. N., Abiev R. Sh. To the choice of the type and speed of rotation of the agitator for efficient mixing of flocculants in water. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2020. No. 2. pp. 27–36.
8. Vasilyev M. P. Intensification of dispersion and mass transfer processes using pulsating and vortex effects: Dissertation ... Candidate of Technical Sciences. Ivanovo, 2018. 204 p.
9. Kolmogorov A. N. Local structure of turbulence in an incompressible viscous fluid at very high Reynolds numbers. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 1967. No. 11. pp. 476–481.
10. Sauter J. Die Größenbestimmung der in Gemischnebeln von Verbrennungskraftmaschinen vorhandenen Brennstoffteilchen. Berlin: VDI-Verl, 1926. 74 p.
11. Ulrikh E. V., Shevchenko T. V., Pirogov A. N., Midutsina Yu. S. Study of the rheological properties of flocculants. *Khimicheskaya promyshlennost segodnya*. 2011. No. 5. pp. 25–28.
12. Abiev R. Sh., Grigoreva A. N. Mixing device. Patent RF, No. 2683078. Applied: 06.06.2018. Published: 26.03.2019.
13. Hu P., Liang L., Xie G., Zhou Sh., Peng Y. Effect of slurry conditioning on flocculant-aided filtration of coal tailings studied by low-field nuclear magnetic resonance and X-ray microtomography. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 30. pp. 859–864.

НОВОСТИ:

ГОРНОЙ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ИЗДАТЕЛЬСКОГО ДОМА «РУДА И МЕТАЛЛЫ»



ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ
НА TELEGRAM-КАНАЛ
t.me/OreMet

РЕКЛАМА

12+