

УДК 544.773.3

Д.А. Мунин, В.В. Вахрушев, В.З. Пойлов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

**ОЦЕНКА ВСПЕНИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
И УСТОЙЧИВОСТИ ПЕН РАСТВОРА СОЛЯНОКИСЛОГО
АМИНА ПОСЛЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ**

Качество флотационного хлорида калия зависит от многих факторов, в том числе и от свойств флотационной пены. В свою очередь пенообразующая способность растворов меняется при изменении вида и концентрации ПАВ, температуры, водородного показателя и поверхностного натяжения. В работе проведены поисковые исследования влияния ультразвуковой обработки (УЗО) на пенообразующую способность раствора солянокислого амина и устойчивость образующейся пены.

Объектом исследований являлся водный раствор солянокислого октадециламина с массовой концентрацией 0,8 %. Пенообразующую способность раствора после его ультразвуковой обработки и устойчивость получаемых пен оценивали при помощи анализатора пен DFA 100. Измерение устойчивости пен составляло 5 мин.

Установлено, что предварительная ультразвуковая обработка раствора солянокислого октадециламина в зависимости от режима воздействия может привести как к повышению устойчивости образовавшейся пены, так и к снижению ее устойчивости, но мало влияет на вспенивающую способность. Показано, что стабильность пены обратно пропорциональна длительности и интенсивности ультразвукового воздействия. Так, при интенсивности воздействия 25 Вт/см^2 длительностью 15 мин проявляется эффект пеногашения, в то время как при длительности обработки 10 мин устойчивость пены возрастает. Предварительная ультразвуковая обработка раствора солянокислого амина с интенсивностью воздействия $10\text{--}20 \text{ Вт/см}^2$ позволяет значительно повысить устойчивость пены.

Ключевые слова: пена, пенообразующая способность, устойчивость пены, ультразвуковая обработка, солянокислый октадециламин.

D.A. Munin, V.V. Vakhrushev, V.Z. Pojlov

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

EVALUATION OF FOAMING CAPABILITY AND FOAMS STABILITY OF HYDROCHLORIC AMINE SOLUTION AFTER ULTRASONIC TREATMENT

Quality of flotation potassium chloride depends on many factors, including the properties of the flotation foam. In turn, the foaming capability of the solution varies with the type and concentration of the surfactant, temperature, pH and the surface tension. The work was focused on the pilot studies in order to investigate the effect of ultrasonic treatment on the foaming capacity of the amine hydrochloride solution and the stability of the produced foam.

The object of research is an aqueous solution of octadecylamine hydrochloride with 0,8 % mass concentration. Foaming capability of the solution after the ultrasonic treatment and the stability of obtained foams was evaluated by using the analyzer DFA 100. The measurement time of foam stability was 5 minutes.

It was established that pre-ultrasonic treatment of octadecylamine hydrochloride solution could affect on foam stability increasing and decreasing depending on mode of action, but practically doesn't affect on foaming capability. It was shown that foam stability is inversely proportional to the duration and intensity of ultrasonic treatment. Thus foam suppression effect is found with using impact intensity equal 25 W/cm^2 during 15 minutes while foam stability increases by treatment duration equal 10 minutes. Pre-ultrasonic treatment of octadecylamine hydrochloride solution with impact intensity from 10 to 20 W/cm^2 allows to increase the stability of the foam considerably.

Keywords: *foam, foaming capability, foam stability, ultrasonic treatment, octadecylamine hydrochloride*

Флотационное обогащение сильвинитовых руд нашло широкое применение для получения хлорида калия. Чистота получаемого флотоконцентрата КСl и степень извлечения КСl зависит от многих факторов, в том числе от свойств флотационной пены [1]. Из литературных данных известно, что на пенообразующую способность растворов влияет вид и концентрация поверхностно-активных веществ (ПАВ),

температура, значения величин рН и поверхностного натяжения растворов [2]. При флотации образуются трехфазные пены, но для изучения пенообразующих свойств жидкой фазы большое значение имеет стабильность двухфазной системы при отсутствии твердых частиц [3]. Для флотации хлорида калия используют первичные алифатические амины с содержанием атомов углерода в цепочке 16–22 (в частности октадециламин). Ранее нами было установлено, что ультразвуковая обработка (УЗО) раствора солянокислого октадециламина позволяет снизить размер флокул амина, повысить эффективность закрепления данного собирателя на поверхности КС1 [4]. В то же время в литературе отмечено, что ультразвуковое воздействие может использоваться в качестве эффективного средства пеногашения [5, 6]. Однако эти данные были получены при исследовании влияния ультразвуковой обработки (УЗО) на образовавшуюся пену. Данные по пенообразующей способности и устойчивости пен после УЗО раствора солянокислого октадециламина отсутствуют. В связи с этим представляет интерес оценка пенообразующей способности раствора солянокислого амина, обработанного ультразвуком, а также определение устойчивости пен, получаемых при УЗО различных параметров.

Объектом исследований являлся раствор солянокислого октадециламина с концентрацией 0,8 % мас. Ультразвуковую обработку раствора проводили при помощи установки, представленной на рис. 1.

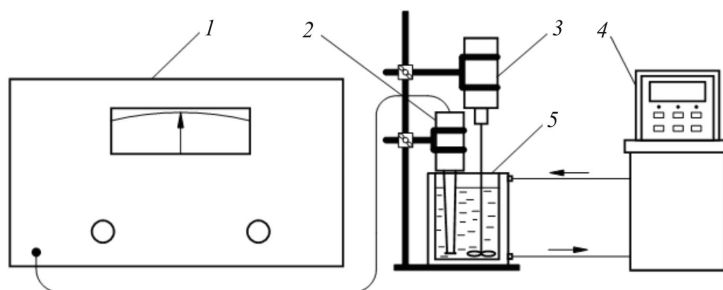


Рис. 1. Установка для УЗ-обработки растворов солянокислого амина:
1 – ультразвуковой генератор; 2 – ультразвуковой излучатель экспоненциального типа; 3 – механическая мешалка; 4 – термостат; 5 – реактор с рубашкой

В реактор 5 помещали раствор солянокислого амина объемом 250 мл с температурой 70 °С и подвергали его ультразвуковой обработке. Интенсивность УЗО была выбрана в интервале от 10 до 25 Вт/см² с шагом 5 Вт/см², длительность УЗ-обработки составляла 5,

10, 15 мин при постоянной частоте УЗО 22 кГц. Далее обработанный раствор анализировали на пенообразующую способность. Параллельно проводили измерение пенообразующей способности контрольного раствора, который не был обработан ультразвуком.

Исследование пенообразующей способности растворов осуществляли по методу продувания воздуха через раствор снизу вверх при помощи анализатора пен DFA 100. Схематично анализатор пен с термостатирующим контуром представлен на рис. 2.

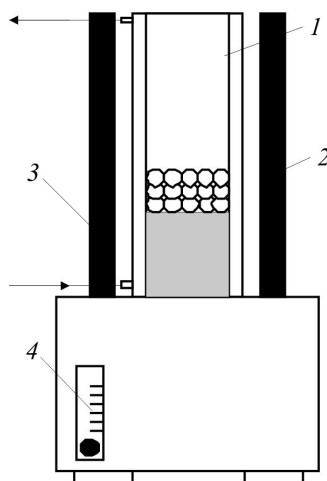


Рис. 2. Анализатор пен: 1 – измерительный цилиндр с рубашкой; 2 – светодиоды; 3 – датчик света; 4 – расходомер газа

Перед проведением анализа при помощи расходомера 4 устанавливали требуемый расход воздуха (0,3 л/мин). Далее от обработанного ультразвуком раствора солянокислого октадециламина шприцом отбирали пробу объемом 40 мл и помещали в термостатируемый измерительный цилиндр 1. Пропускание воздуха через жидкость осуществляли в течение 10 с. На протяжении всего анализа через измерительный цилиндр от светодиодов 2 пропускается свет, полученные результаты измерений считываются с датчика света 3. Длительность каждого эксперимента по оценке пенообразования и устойчивости пены составляла 5 мин, что моделирует длительность процесса основной сильвиновой флотации [7, 8]. На рис. 3 показано, как влияет интенсивность предварительной УЗ-обработки раствора солянокислого октадециламина на суммарную высоту пены и жидкости.

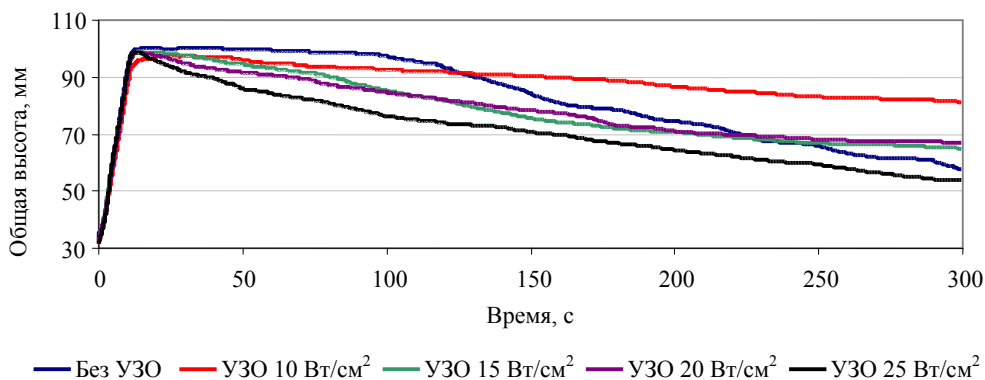


Рис. 3. Зависимость суммарной высоты жидкости и пены от интенсивности ультразвуковой обработки длительностью 15 мин

Из представленных данных (см. рис. 3) видно, что при интенсивности УЗО от 10 до 20 Вт/см² устойчивость суммарной высоты жидкости и пены возрастает по сравнению с раствором амина, который не был обработан ультразвуком. Ультразвуковое воздействие с интенсивностью 25 Вт/см² приводит к снижению устойчивости на всем протяжении измерения, что указывает на наличие эффекта пеногашения. Однако уменьшение длительности ультразвуковой обработки до 10 мин приводит к повышению устойчивости даже при интенсивности УЗО 25 Вт/см² (рис. 4).

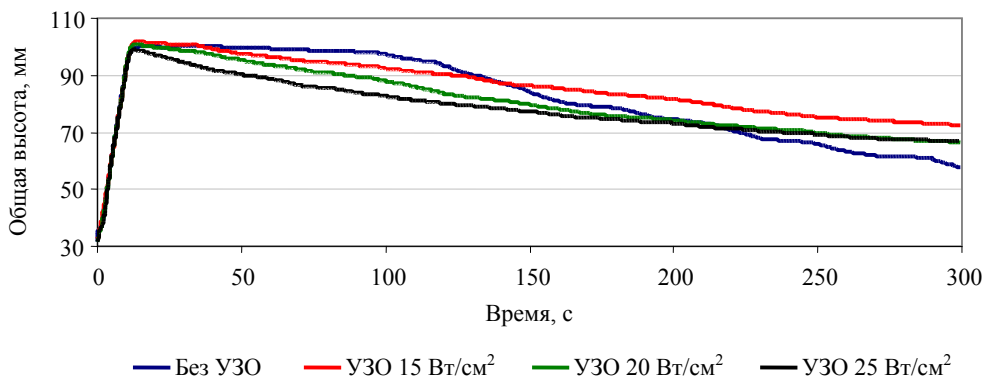


Рис. 4. Зависимость суммарной высоты жидкости и пены от интенсивности ультразвуковой обработки длительностью 10 мин

Аналогичные результаты были получены при ультразвуковой обработке раствора солянокислого октадециламина длительностью 5 мин.

Помимо суммарной высоты пены и жидкости проведена оценка устойчивости пены по международному стандарту [9], согласно которому оставшийся объем пены измеряется через 30, 180 и 300 с. Полученные зависимости имеют схожий характер с кривыми, представленными на рис. 3 и 4. В качестве примера на рис. 5 изображено сравнение устойчивости пен при ультразвуковой обработке раствора солянокислого октадециламина продолжительностью 5 мин с различными интенсивностями.

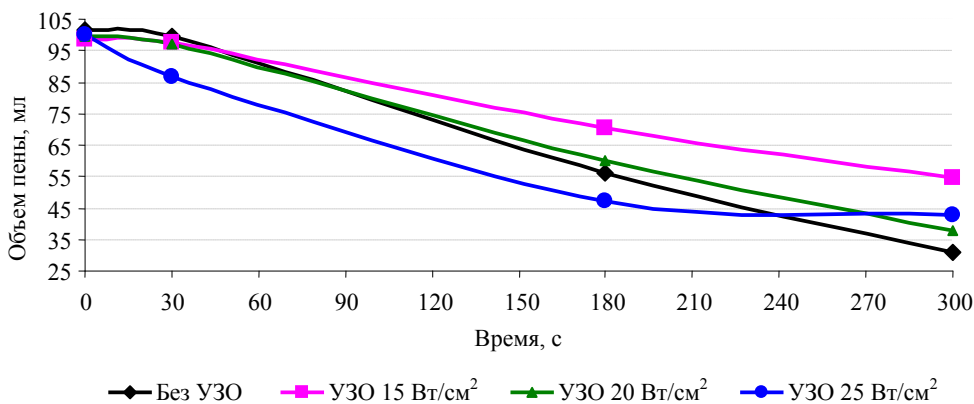


Рис. 5. Зависимость остаточного объема пены от интенсивности ультразвуковой обработки длительностью 5 мин

Из анализа кривых рис. 5 видно, что предварительная обработка раствора солянокислого амина ультразвуком с интенсивностью ультразвукового воздействия 10–20 Вт/см² позволяет значительно повысить устойчивость пены, а при интенсивности ультразвукового воздействия выше 20 Вт/см² наблюдается снижение устойчивости пены. Установлено, что устойчивость пены обратно пропорциональна длительности и интенсивности ультразвуковой обработки раствора солянокислого октадециламина. На рис. 3–5 также можно видеть, что предварительная ультразвуковая обработка раствора солянокислого октадециламина не приводит к значительным изменениям пенообразующей способности данного раствора. Вероятно, данный эффект будет более наглядно проявляться в присутствии пенообразователя.

Проведенные исследования предварительного ультразвукового воздействия на раствор солянокислого амина показали, что такая обработка может быть использована как для увеличения устойчивости пе-

ны (интенсивность 10–20 Вт/см²), так и для увеличения скорости ее распада (интенсивность 25 Вт/см², длительность более 10 мин).

Из литературных данных известно, что пены должны обладать определенной устойчивостью: малоустойчивые (хрупкие) пены приводят к снижению степени извлечения минералов, очень устойчивые пены плохо сгущаются, плохо перекачиваются насосами [10]. Поэтому на обогатительных фабриках стремятся получить пены, которые не разрушались бы до удаления их из камеры, но быстро распадались в желобах флотационных машин. Однако реагентный режим, который будет обеспечивать высокую эффективность процесса флотации и получение легко разрушающейся пены, не всегда удается подобрать. Поскольку при производстве хлористого калия для флотации используется смесь реагентов (собиратель, пенообразователь и активатор), то в дальнейшем необходимо проведение исследований пенообразующей способности раствора после ультразвуковой обработки, содержащего одновременно два реагента – собиратель и пенообразователь.

Список литературы

1. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. – М.: Химия, 1975. – 264 с.
2. Кругляков П.М., Эксерова Д.Р. Пена и пенные пленки. – М.: Химия, 1990. – 432 с.
3. Теория и технология флотации руд / О.С. Богданов, И.И. Максимов, А.К. Поднек, Н.А. Янис; под ред. О.С. Богданова. – М.: Недра, 1990. – 363 с.
4. Влияние ультразвуковой обработки на водную эмульсию солянокислого амина / А.Э. Осипович, В.В. Вахрушев, А.Л. Казанцев [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2014. – № 4. – С. 89–96.
5. Ультразвук в обогащении полезных ископаемых / В.А. Глембоцкий, М.А. Соколов, И.А. Якубович [и др.]. – Алма-Ата: Наука, 1974. – 229 с.
6. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков [и др.]. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.

7. Технология флотационного обогащения калийных руд / Н.Н. Тетерина, Р.Х. Сабиров, Л.Я. Сквирский, Л.Н. Кириченко; под ред. Н.Н. Тетериной. – Пермь: Соликамская типография, 2002. – 484 с.

8. Курмаев Р.Х. Флотационный способ получения хлорида калия из сильвинита / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1993. – 84 с.

9. ISO 696:1975. Surface active agents. Measurement of foaming power. Modified Ross-Miles method. – International Organization for Standardization, 1975. – 5 p.

10. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1984. – 383 с.

References

1. Tikhomirov V.K. Peny. Teoriya i praktika ikh polucheniya i razrusheniya [Foam. Theory and practice of their production and destruction]. Moscow: Khimiya, 1975. 264 p.

2. Kruglyakov P.M., Ekserova D.R. Pena i pennye plenki [The foam and foam films]. Moscow: Khimiya, 1990. 432 p.

3. Bogdanov O.S., Maksimov I.I., Podnek A.K., Yanis N.A. Teoriya i tekhnologiya flotatsii rud [Theory and technology of ore flotation]. Moscow: Nedra, 1990. 363 p.

4. Osipovich A.E., Vakhrushev V.V., Kazantsev A.L., Pojlov V.Z. Vliyanie ultrazvukovoi obrabotki na vodnuyu emulsiyu solyanokislogo amina [Ultrasonic treatment influence on aqueous emulsion of amine hydrochloride]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya*, 2014, no. 4, pp. 89–96.

5. Glembotskij V.A., Sokolov M.A., Yakubovich I.A., Bayshulakov A.A., Kirillov O.D., Kolchomanova A.E. Ultrazvuk v obogashchenii poleznykh iskopaemykh [Ultrasonic in mineral processing]. Alma-Ata: Nauka, 1974. 229 p.

6. Khmelev V.N., Slivin A.N., Barsukov R.V., Tsyganok S.N., Shalunov A.V. Primenenie ultrazvuka vysokoj intensivnosti v promyshlennosti [Application of ultrasound with high intensity in the industry]. Bijsk: Altajskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2010. 203 p.

7. Teterina N.N., Sabirov R.H., Skvirskij L.Ya., Kirichenko L.N. Tekhnologiya flotatsionnogo obogasheniya kalijnykh rud [Flotation technology of potash ores]. Perm: Solikamskaya tipografiya, 2002. 484 p.

8. Kurmaev R.Kh. Flotatsionnyi sposob polucheniya khlorida kaliya iz silvinita [The flotation process for potassium chloride preparation from sylvinite]. Perm: Permskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 1993. 84 p.

9. ISO 696:1975. Surface active agents. Measurement of foaming power. Modified Ross-Miles method. International Organization for Standardization, 1975. 5 p.

10. Abramov A.A. Flotatsionnye metody obogashcheniya [Flotation beneficiation methods]. Moscow: Nedra, 1984. 383 p.

Получено 01.09.2015

Об авторах

Мунин Дмитрий Андреевич (Пермь, Россия) – студент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: demon19_93@mail.ru).

Вахрушев Вячеслав Валерьевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, инженер-исследователь кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vahvv@rambler.ru).

Пойлов Владимир Зотович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vladimirpoilov@mail.ru).

About the authors

Dmitrij A. Munin (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Chemical technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: demon19_93@mail.ru).

Vyacheslav V. Vakhrushev (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Research engineer of Department of Chemical technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: vahvv@rambler.ru).

Vladimir Z. Pojlov (Perm, Russian Federation) – Doctor in Technical Sciences, Professor, Head of Department of Chemical technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: vladimirpoilov@mail.ru).