

УДК 622.765:661.18

В. С. ГЕВОД, И. Л. РЕШЕТНЯК

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БЕСПЕННОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ РАСТВОРОВ ПАВ С ПОМОЩЬЮ ПУЗЫРЬКОВО-ПЛЕНОЧНОГО ЭКСТРАКТОРА

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск

Для повышения эффективности установок беспенного фракционирования сильно разбавленных растворов поверхностно-активных веществ возможно применение пузырьково-пленочного экстрактора. На экспериментальной установке было выполнено исследование области работоспособности и получены основные характеристики такого аппарата применительно к растворам додецилсульфата натрия и полигексаметиленгуанидина.

При разделении сильно разбавленных растворов методом беспенного фракционирования на эффективность процесса существенное влияние оказывает обратный вынос концентрата в основной раствор [1,2]. Одним из способов его уменьшения является установка в верхней части аппарата пузырьково-пленочного экстрактора [3]. Его применение было изучено для очистки водопроводной воды, а также водных растворов различных поверхностно-активных веществ (ПАВ) [3,4]. Так как содержание растворенных веществ, изначально имеющих очень низкую концентрацию, в процессе очистки существенно снижается, то измерение концентрации этих веществ на выходе из аппарата представляет серьезную трудность и возможна лишь оценка ее относительного изменения. В то же время собираемый в пеносборнике раствор является более концентрированным, чем исходный. Поэтому другим способом оценки работы аппарата может быть измерение концентрации раствора ПАВ, извлекаемого в пеносборник.

Процесс беспенного фракционирования разбавленных водных растворов, содержащих 0,5–15,0 мг/л додецилсульфата натрия (SDS) и 0,2–1,5 мг/л полигексаметиленгуанидина (ПГМГ), изучали с помощью экспериментальной установки, описанной ранее в работе [3]. Для обеспечения стационарного режима работы концентрированный раствор из пеносборника экстрактора возвращался в кювету Ленгмюра. Таким образом, обеспечивалась постоянная концентрация раствора ПАВ, поступающего к пузырьково-пленочному экстрактору. Эксперименты проводили при циркуляции воды 0,5 л/мин и ее барботаже пузырьками воздуха в модуле аэрации. Распылитель воздуха с диаметром пор 500 мкм обеспечивал барботаж с

расходом воздуха, равным 0,8–1,4 л/мин.

Концентрацию полученных растворов оценивали, измеряя их поверхностное натяжение тензиометрическим методом с помощью платиновой пластинки Вильгельми с размерами 50×10×0,1 мм. Для взвешиваний использовали микроаналитические электронные весы Sartorius, точность которых ±0,1 мг. Растворы готовили непосредственно перед экспериментом, чтобы избежать возможных изменений свойств поверхностно-активного вещества со временем.

Было замечено, что процесс извлечения концентрированного раствора в пеносборник начинается одновременно с началом барботажа исходного раствора ПАВ, а наступает через определенный период времени, продолжительность которого зависит от начальной концентрации раствора (рис. 1). По-видимому, такая пауза связана с необходимостью предварительного достижения минимальной концентрации раствора в верхней части пузырькового столба, которая обеспечивает устойчивость образующихся пленок. При одних и тех же концентрациях наблюдался существенный разброс времени предконцентрирования, что можно объяснить хаотическим, псевдотурбулентным характером перемешивания, а также бурным сливанием и разрушением пузырьков.

При концентрациях менее 0,7 мг/л процесс выброса концентрата становился псевдостационарным. Это проявлялось в периодическом возникновении стабильных пленок, следующих одна за одной через примерно равные промежутки времени. Затем наступала пауза, необходимая для накопления минимальной концентрации ПАВ в верхней части воронки, после чего опять начинали образовываться пленки и т.д.

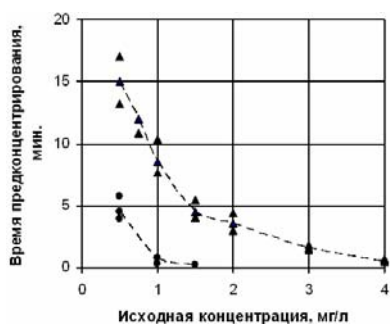


Рис. 1. Зависимость времени предконцентрирования от начальной концентрации водного раствора ПАВ:

▲ – раствор SDS, ● – раствор ПГМГ

Как известно, существенное влияние на эффективность процесса пузырькового фракционирования оказывает газонасыщенность раствора. Однако увеличение расхода воздуха на барботаж обычно ограничивается явлениями осевого перемешивания и возникновением аэролифтинга. С целью оценки рабочей области аппарата было исследовано влияние расхода воздуха и концентрации исходного раствора на количество извлекаемого концентрата (рис. 2 и рис. 3).

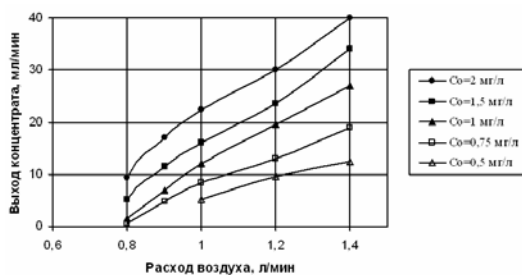


Рис. 2. Зависимость объемного выхода концентрата от расхода воздуха при различных концентрациях раствора SDS

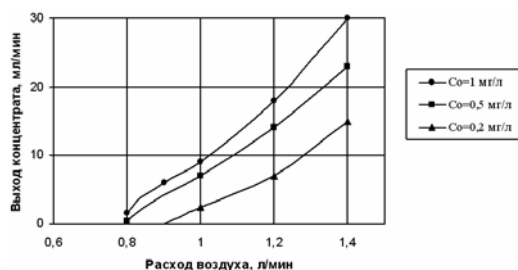


Рис. 3. Зависимость объемного выхода концентрата от расхода воздуха при различных концентрациях раствора ПГМГ

Как видно из приведенных результатов, рабочая область пузырьково-пленочного экстрактора находится в пределах расхода воздуха от 0,8 до 1,4 л/мин. При более высоких расходах, в зависимости от концентрации ПАВ, наступает явление аэролифтинга, при котором экстрактор по сути работает как насос. В этом рабочем диапазоне

можно выделить три различных режима работы экстрактора. При малых расходах воздуха наблюдается устойчивый пленочный режим, когда по трубке экстрактора под напором воздуха последовательно двигаются отдельные пленки концентрированного раствора ПАВ. Например, для раствора с исходной концентрацией SDS 0,75 мг/л при расходе воздуха 0,8; 1,0 и 1,2 л/мин среднее число пленок, проходящих через поперечное сечение экстрактора за минуту, составляет 18, 83 и 102, соответственно. При увеличении расхода воздуха и в зависимости от концентрации исходного раствора возникает переходный режим, при котором движение пленок становится нерегулярным, с частичным их наполнением друг на друга. При дальнейшем повышении расхода воздуха возникает псевдопенный режим течения в экстракторе и далее аппарат работает в режиме аэролифтинга. Структура двухфазных потоков для рассмотренных выше характерных режимов работы экстрактора показана на рис. 4.

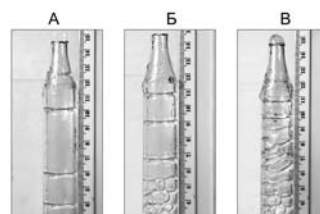


Рис. 4. Структура двухфазных потоков в экстракторе для пленочного (А), переходного (Б) и псевдопенного (В) режимов

Для раствора ПГМГ все описанные выше явления протекают аналогично, но при этом образующиеся в экстракторе пленки являются намного более устойчивыми. Например, для исходной концентрации ПГМГ 0,5 мг/л при расходе воздуха 1,0 и 1,2 л/мин среднее число пленок, проходящих через поперечное сечение экстрактора за минуту, составляет 60 и 81, соответственно. При расходе воздуха 0,8 л/мин наблюдается периодический режим удаления ПГМГ с паузами, продолжительностью около 4,5 мин каждая, за время которых происходит накопление минимальной концентрации ПАВ в верхней части воронки.

Для количественной оценки работы аппарата определялась степень концентрирования раствора. На рис. 5 приведена зависимость поверхностного натяжения концентрированного раствора, собираемого в пеносборнике, от расхода воздуха при различных концентрациях исходного раствора. По полученным значениям поверхностного натяжения определяли концентрацию C_k растворов SDS, пользуясь экспериментальными данными, приведенными в [5] при $pH=7$, $t=20^{\circ}C$. Далее определяли степень концентрирования раствора как $f_k=C_k/C_0$. Зависимость степени концентрирования от расхода воздуха показана на рис. 6.

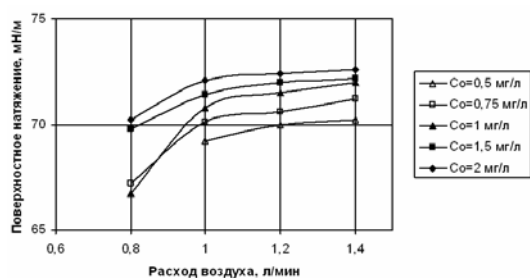


Рис. 5. Зависимость поверхностного натяжения концентрированного раствора от расхода воздуха при различных концентрациях исходного раствора

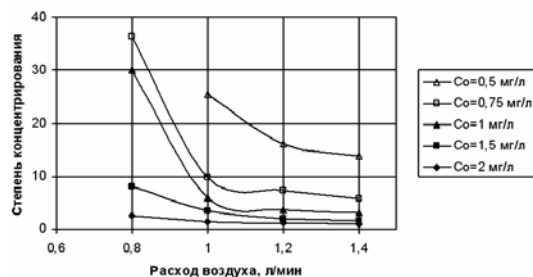


Рис. 6. Зависимость степени концентрирования раствора от расхода воздуха при различных концентрациях исходного раствора

Как видно из приведенных результатов, наибольшая степень концентрирования исходного раствора достигается при пленочном режиме аппарата. Эта область находится в узком диапазоне и требует тщательного подбора расхода воздуха при существующей исходной концентрации раствора. В определенных случаях переходный режим также

может быть использован для очистки или концентрирования растворов. Хотя он дает меньшую степень концентрирования, но при этом производительность аппарата значительно возрастает. При необходимости более глубокой очистки или концентрирования он может быть использован в каскадных схемах либо в режиме рециркуляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nonfoaming adsorptive bubble separation processes* / K.T. Valsaraj, G.J. Thoma and L.J. Thihodeaux, D.J. Wilson. // *Separations Technology*. – 1991. Vol.1. P.234-244.
2. Гельперин Н.И., Пибалк В.Л., Костянян А.Е. Структура потоков и эффективность колонных аппаратов химической промышленности. – М.: Химия, 1977. – 254 с.
3. Поверхностно-активные и другие загрязнения в водопроводной питьевой воде. Свойства, мониторинг, причины накоплений и экономичное удаление // Гевод В.С., Решетняк И.Л., Шклярова И.Г. и др. – Днепропетровск: УГХТУ, 2002. – 241 с.
4. Пузырьково-пленочная экстракция – новый эффективный метод доочистки питьевой воды от поверхностно-активных веществ и других токсичных примесей. Сообщение 1 / Гевод В.С., Решетняк И.Л., Хохлов А.С., Гевод С.В., Бирди К.С. // *Вопр. химии и хим. технологии*. – 1998. № 3. – С.55-58.
5. Francisco Hernainz-Bermudez de Castro, Antonio Galvez-Borrego, and Monica Calero-de Hoces. Surface tension of Aqueous Solutions of Sodium Dodecyl Sulfate from 20°C to 50°C and pH between 4 and 12 // *J.Chem.Eng.Data*. – 1998. – № 43. – P.717-718.

Поступила в редакцию 19.04.2012