

Пачкин Сергей Геннадьевич

канд. техн. наук, доцент

Мельникова Людмила Александровна

аспирант

Кучер Николай Алексеевич

д-р физ.-мат. наук, профессор

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

г. Кемерово, Кемеровская область

МАССООБМЕН В ТРЁХФАЗНОЙ СИСТЕМЕ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ ТВЁРДОЙ И ЖИДКОЙ ФАЗ ГАЗОМ

***Аннотация:** трёхфазные системы и обработка в них материалов имеют очень широкое распространение. Как отмечают авторы, основным достоинством трёхфазных систем является высокая степень извлечения целевого компонента.*

***Ключевые слова:** трёхфазная система, ионный обмен, плотность вероятности применения, треугольная диаграмма, математическое моделирование.*

Трёхфазные системы с ионитами получили широкое применение в различных отраслях промышленности, в первую очередь в гидрометаллургии, вследствие простоты аппаратного оформления процесса с использованием одной из фаз – газа – в качестве движителя процесса. Отсутствие механических рабочих органов (мешалок, ножей, скребков и т. п.) позволило выполнить аппараты с трёхзначной цифрой величины рабочего объёма.

Создание аппаратов «пачук» [1] определило применение трёхфазных систем в гидрометаллургии и в последующем в пищевой и химической технологиях для интенсификации взаимодействия твёрдой и жидкой фаз (суспензии) при циркуляционном перемешивании их газом. Отчётливо проявляется тенденция увеличения содержания твердой фазы, причём найден режим густой суспензии [2], который определён в интервале $T:Ж = 1,98-2,80$ и применён в процессе регенерации катионита КУ-2–8 (рис. 1, график 3).



Рис. 1. Зависимость применения трёхфазных систем от соотношения Т:Ж:

1 – цветная металлургия, 2 – химическая промышленность, 3 – пищевая и фармацевтическая отрасли (данные за период 1970–2015 гг.)

Аппарат «пачук» содержит цилиндро-конический корпус, в котором по центру установлен вертикальный эрлифт (циркулятор). Газ транспортирует суспензию из нижней части аппарата наверх, активноперемешивает твёрдые частицы с жидкостью в эрлифте и на выходе из него распределяет её по кольцевому объёму между эрлифтом и корпусом аппарата. Всю область трёхфазных систем (вертикальная штриховка, рис. 2) можно использовать для обработки жидких растворов с любой концентрацией целевого компонента.

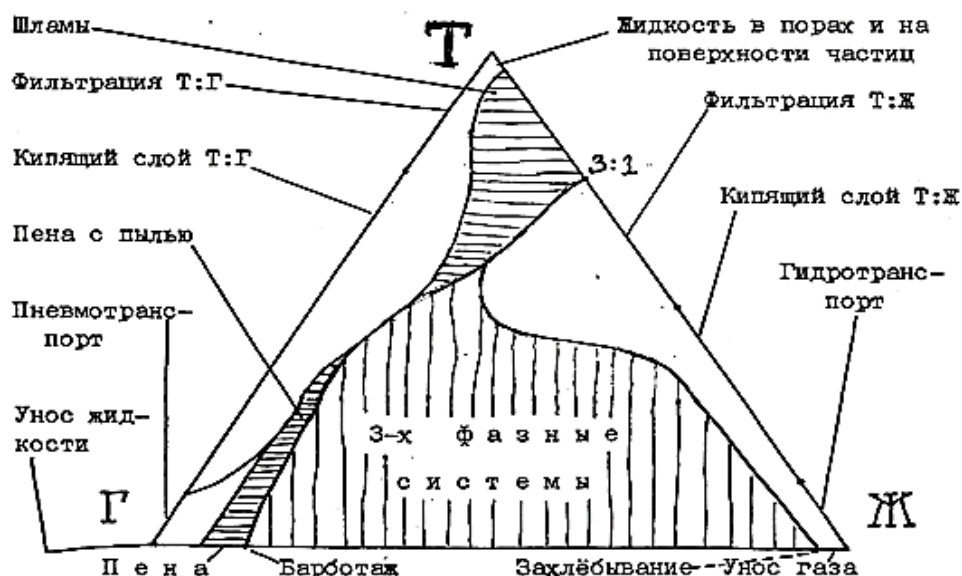


Рис. 2. Диаграмма состояния гидродинамической системы
«воздух – вода – катионит КУ-2–8»

Питле предложил цепочный принцип построения аппаратов с трёхфазными системами [3], на основе которого реализовано противоточное взаимодействие «Т и Ж» фаз. В дальнейшем развитие таких систем шло под знаком борьбы с обратным перемешиванием жидкости, поскольку перегрузка твёрдой фазы осуществлялась перегрузочными эрлифтами. Замена перегрузочных эрлифтов на шнеки практически закрыло эту проблему.

Многочисленные примеры показывают, что одним из основных достоинств трёхфазных систем является высокая степень извлечения целевого компонента. Степень очистки частиц каучука от низко-молекулярных [4] соединений с соотношением Т:Ж = 1:1,9 при барботаже водяного пара достигает 99 с десятymi доли процента. Так же извлечение иода из рассола Т:Ж = 1:3,8 [5] – 99,..%. При извлечении гуминовых кислот [6] раствором щёлочи из частиц угля при 170°C с соотношением Т:Ж = 1:2, барботаж кислородом, степень извлечения 98%. 99% с десятymi при извлечении сахара из сахарной свёклы с Т:Ж = 1:2,3 (кипение суспензии 100°C) [7].

Сточные воды, обработанные активным илом с Т:Ж = 1:10 и барботируемые воздухом при 20°C, теряют органику более чем на 99% [8].

Не остался в стороне и процесс кристаллизации. Получение кристаллов бензола из смеси бензола и охлаждённого рассола при –15°C с барботажем нейтральным газом (азот) и Т:Ж = 1:4 показывает степень извлечения 96% [9]. Получение кристаллов сульфата из продуктов горения (газовая фаза) в 40% растворе сульфата аммония при 100°C с соотношением 1:4 даёт 99% превращения [10].

Доминирующим является процесс получения металлов: урана – степень извлечения (далее – с.и.) – 99% [11]; золота – с.и. 99,5% [12], рения – с.и. 99% [13], ванадия – с.и. 90–92% [14], титана – с.и. 97–98% [15], германия – с.и. 98% [16], индия – с.и. 96% [17], лития – с.и. 99% [18], алкилирование фенолов – с.п. более 70% [19], гидролиз – с.п. 98% [20].

Создание вихревого слоя [21] и его применение для трёхфазных систем [22] привело к появлению секционированных аппаратов с естественным движением гранул твёрдой фазы противоточно потоку жидкости [10]. Энергичное перемешивание в эрлифтах и одновременное активное взаимодействие фаз «Т-Ж» в осадительной зоне секций позволило реализовать быструю кинетику регенерации ионообменных смол, а кроме того пренебречь допустимой ошибкой расчета времени пребывания частиц на основе детерминизма, в противовес стохастическому методу определения параметра времени взаимодействия фаз.

Математическое моделирование массообмена в вихревом слое таким образом встаёт на достоверный способ описания кинетики процесса, поскольку позволяет найти время пребывания каждой доли проходящего потока твердых частиц ионита и, следовательно, перейти к расчёту концентрационных полей в частице, отказавшись от метода расчёта массообмена по средней концентрации компонента в частице ионита.

Список литературы

1. Процессы и аппараты урановых производств / Б.Н. Судариков, Э.Г. Раков. – М.: Машиностроение, 1969.
2. Основные процессы и аппараты технологии урана / Н.П. Галкин, В.Б. Тихомиров. – М.: Госатомиздат, 1961. – С. 127.
3. Массоперенос в системах с твёрдой фазой / С.П. Рудобашта. – М.: Химия, 1982.
4. Ермаков В.И. [и др.] // ТОХТ. – 1976. – №1. – С. 137.
5. Аксельруд Г.А. Цветные металлы. – 1971. – №2. – С. 31.
6. Исхаков Х.А. Обработка сырья для производства гуминовых удобрений / Х.А. Исхаков, Карагандинский ф-л ИТИ. – Караганда, 1965. – 51 с.
7. Лысянский В.М. Процесс экстракции сахара из свёклы. Теория и расчёт. – М., Пищевая промышленность, 1973. – 116 с.
8. Механизм выноса твёрдых частиц из псевдоожиженного слоя / Т. Мияхара [и др.] // Айче. – 1989. – №7. – 1195 с.
9. Промышленная кристаллизация. – М., Химия, 1969. – 283 с.

10. Промышленная кристаллизация / В.И. Панов [и др.] // Промышленная кристаллизация. – Л.: НИОХИМ; Химия, 1969.
11. Влияние процессов массопереноса на скорость реакции / А.Е. Ермакова, Г.К. Зиганшин // ТОХТ. – 1970. – №2. – 286 с.
12. Плаксин И.Н. Металлургия золота, серебра, и платины – М.: Metallurgizdat, 1985. – Ч. 1. – 218 с.
13. Рений / К.Б. Лебедев К.Б. [и др.]. – М.: Наука, 1964. – С. 87.
14. Металлургия ванадия / У. Ростокер. – М.: ИЛ, 1959. – С. 56.
15. Сергеев В.В. Металлургия титана. – М.: Metallurgizdat, 1967. – С. 116.
16. Германий / А.Г. Поулл. – М.: ИЛ, 1955. – С. 156.
17. Способ получения индия. Пат. 109839 / В. Креле. – 1964.
18. Литий и его сплавы / Ф.И. Шамрай. – М.: АН СССР, 1952.
19. Катализ ионитами / Н.Г. Полянский. – М.: Химия, 1973. – С. 56.
20. Гидролиз ацеталей на катионообменных смолах / А.Х. Хусил, Н.В. Чижова // ЖОХ. – 1982. – №11. – 2276 с.
21. Митев Д.Т. Обжиг гипса в псевдоожиженном слое в аппаратах непрерывного действия: Обзор. – М.: [б. и.], 1972. – 53 с.
22. Пачкин С.Г. Одновременное ведение процессов ионообмена, регенерации и промывки в непрерывно-действующих фильтрах / С.Г. Пачкин, А.А. Шкапар, А.Г. Селедков [и др.] // Экологическая безопасность регионов России и риск от техногенных аварий и катастроф: Материалы всероссийского постоянно действующего научно-технического семинара. – Пенза, 2005.