



УДК 66.061.14

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАСАДОЧНЫХ ЭКСТРАКЦИОННЫХ КОЛОНН С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ ИХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И МАССООБМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК



SOME PACKED EXTRACTION COLUMNS RESEARCH ASPECTS FOR HYDRODYNAMIC AND MASS TRANSFER CHARACTERISTICS STUDY

Муллабаев Камиль Азаматович

аспирант кафедры нефтехимии
и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
kamil200995@gmail.com

Чуракова Светлана Константиновна

доктор технических наук, профессор,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
churakovack@rambler.ru

Константинов Егор Константинович

аспирант кафедры нефтехимии
и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
george.coin2@gmail.com

Лесной Денис Вячеславович

аспирант кафедры нефтехимии
и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
denislesnoy1992@gmail.com

Маннанов Тимур Ильнурович

аспирант кафедры нефтехимии
и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
t.i.mannanov@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены основные параметры, влияющие на эффективность насадки применительно к колоннам жидкостной экстракции. Представлена методика определения времени пребывания потока в слое насадки, а также удерживающей способности насадки при помощи метода возмущений. Затронуты некоторые особенности проведения исследования насадочных экстракционных колонн методом возмущений.

Ключевые слова: время пребывания, насадка, удерживающая способность, функция отклика, экстракционная колонна.

Mullabaev Kamil Azamatovich

Post-graduate of Department of
Petrochemistry
and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
kamil200995@gmail.com

Churakova Svetlana Konstantinovna

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Ufa State Petroleum Technological University
churakovack@rambler.ru

Konstantinov Egor Konstantinovich

Post-graduate of Department of
Petrochemistry
and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
george.coin2@gmail.com

Lesnoy Denis Vyacheslavovich

Post-graduate of Department of
Petrochemistry
and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
denislesnoy1992@gmail.com

Mannanov Timur Ilnurovich

Post-graduate of Department of
Petrochemistry
and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
t.i.mannanov@yandex.ru

Annotation. Main characteristics affecting to packing efficiency as applied to liquid-liquid extraction column was considered. A technique for determination the residence time in packing bed and liquid holdup by means of perturbations method was presented. Some features of research practice of packed extraction column using perturbations method was affected.

Keywords: residence time, packing, liquid holdup, response curve, extraction column.

Жидкостная экстракция является широко известным процессом разделения, который в течение многих лет широко используется в химической промышленности, например, при селективной очистке масляных фракций, при очистке сжиженных газов от сероводорода, при получении нефтехимических продуктов, при извлечении металлов, в ядерном синтезе, в пищевой и фармацевтической промышленности [1]. В процессе жидкостной экстракции растворимый компонент переносится из капель дисперсной фазы в ядро сплошной фазы или наоборот.



Наиболее распространенным типом экстракционных колонн являются насадочные колонны. Данные колонны могут быть оборудованы как насыпной насадкой (кольца Рашига, кольца Палля, седла Intalox, седла Берля), так и регулярной насадкой (Mellapak типа X и Y, SMVP и др.). Некоторые типы применяемых насадок представлены на рисунке 1:



Рисунок 1 – Некоторые типы насадок, применяемых в промышленных экстракционных колоннах:
1 – кольца Палля; 2 – седла Берля; 3 – седла Intalox; 4 – регулярная насадка Mellapak;
5 – регулярная насадка SMVP

Основными показателями работы насадочных контактных устройств являются пропускная способность и эффективность [2]. Пропускная способность насадки определяется предельными скорости захлебывания фаз (м/с) и зависит от:

- характеристик насадки (материал, удельная поверхность a_p , доля свободного объема ϵ);
- физических свойств контактирующих фаз (плотность ρ , вязкость μ , поверхностное натяжение σ).

Эффективность насадки может характеризоваться количеством переносимого вещества из одной фазы в другую, приходящегося на единицу объема насадки, называемая также плотностью потока вещества M , кг/м³ [3]:

$$M = K_y a \Delta C \tau,$$

где K_y – объемный коэффициент массопередачи, м/с; a – удельная поверхность контакта фаз м²/м³; $\Delta C = C - C^*$ – движущая сила процесса массообмена, определяемая как разность между концентрацией компонента в потоке одной фазы и концентрацией вещества, равновесной с концентрацией компонента в потоке другой фазы, кг/м³; τ – время контакта фаз, с.

Столь большое число параметров, определяющих эффективность работы насадки, в общем случае зависит от величины удерживающей способности (УС) по дисперсной фазе Φ_d и времени пребывания капель дисперсной фазы в насадке τ_d . С ростом УС по дисперсной фазе рост удельной поверхности контакта фаз наблюдается до тех пор, пока капли дисперсной фазы не начнут коалесцировать внутри насадки с образованием более крупных капель [4], при этом наступает захлебывание колонны. Время контакта фаз в слое насадки τ определяется временем пребывания капель дисперсной фазы в насадке τ_d , которое, как правило, меньше, чем время пребывания сплошной фазы в насадке τ_c .

Таким образом, наиболее значимыми параметрами, определяющими эффективность насадки, являются удерживающая способность по дисперсной фазе Φ_d и время пребывания капель дисперсной фазы в насадке τ_d . Установление численных значений Φ_d и τ_d обычно проводят на лабораторных колонках. Тем не менее, знания, касающиеся моделирования и расчета экстракционных колонн, довольно далеки от идеала. Это главным образом связано со сложной гидродинамической обстановкой, а также со сложностью представления эффективности массопереноса [5]. Кроме того, в отличие от тарельчатых и распылительных экстракционных колонн, в насадочных экстракторах визуальное исследование процессов, протекающих непосредственно внутри насадки, практически нереализуемо.

Наиболее эффективным методом изучения гидродинамики насадочных экстракторов является метод возмущений [6]. Суть метода заключается в том, что в ядро потока, поступающего в колонну, вводят трассер. В данном случае будет рассматриваться импульсный ввод, когда трассер впрыскивается в поток в течение очень короткого промежутка времени. После впрыскивания и смешения трассера с потоком на входе в колонну фиксируют время появления сигнала τ_0 . На выходе из колонны анализируют концентрацию вымываемого из аппарата трассера с течением времени. Концентрация трассера может быть определена различными методами, в зависимости от природы трассера (солевые растворы – кондуктометрическим методом, растворы кислот и оснований – потенциометрическим методом, окрашенные растворы – фотоколориметрическими методами). В результате эксперимента получается так называемая функция отклика, представленная на рисунке 2. Функция отклика позво-



ляет определить среднее время пребывания трассера в насадке T , что соответствует среднему времени пребывания потока в насадке:

$$T = M_1 = \frac{\int_0^{+\infty} \tau C(\tau) d\tau}{\int_0^{+\infty} C(\tau) d\tau},$$

где M_1 – первый статистический момент; значения интегралов могут быть найдены приближенно численными методами, например, методом трапеций.

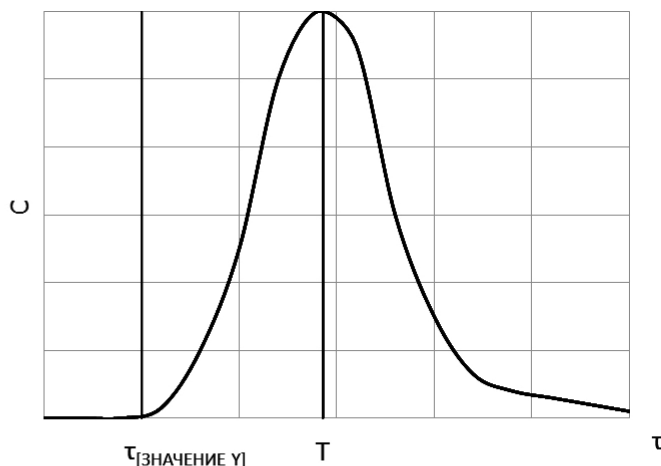


Рисунок 2 – Функция отклика на импульсное возмущение

Зная значение среднего времени пребывания фазы в насадке, можно определить значение удерживающей способности Φ :

$$\Phi = W \cdot T = \frac{V}{V_{нас}} \cdot T,$$

где W – объемная скорость подачи фазы, c^{-1} ; V – объемный расход фазы, m^3/c ; $V_{нас}$ – объем насадочного слоя, m^3 .

Таким образом, были затронуты некоторые аспекты исследования насадочных экстракционных колонн, в том числе и методом возмущения. Показано, что для сравнительной оценки эффективности массообмена различных типов насадок в экстракционных колоннах необходимо иметь экспериментальные данные по характеристикам насадок (материал, удельная поверхность a_p , доля свободного объема ϵ), данные по времени пребывания потоков, а также данные по удерживающей способности насадки.

Литература:

1. Prediction of enhancement factor for mass transfer coefficient in regular packed liquid-liquid extraction columns / A. Rahbar [et al.] // The Canadian Journal of Chemical Engineering. – 2011. – № 89. – P. 508–519.
2. Чуракова С.К., Самойлов Н.А. Об эффективности работы контактных устройств ректификационных колонн // Нефтегазопереработка. – 2014. – С. 208–211.
3. Morales C. Modeling and simulation of a liquid extraction column with structured packing / C. Morales, H. Elman, A. Perez // Computers & Chemical Engineering. – 2007. – № 31. – P. 1694–1701.
4. Трейбал Р. Жидкостная экстракция. – М.: Химия, 1966. – С. 550.
5. Ballard J. Limiting Flow Phenomena in Packed Liquid-liquid Extraction Columns / J. Ballard, E. Piret // Industrial and Chemical industry. – 1950. – V. 6. – № 42. – P. 1088–1098.
6. Самойлов Н.А. Моделирование в химической технологии и расчет реакторов. – Уфа, 2005. – 224 с.

References:

1. Prediction of enhancement factor for mass transfer coefficient in regular packed liquid-liquid extraction columns / A. Rahbar [et al.] // The Canadian Journal of Chemical Engineering. – 2011. – № 89. – P. 508–519.
2. Churakova S.K., Samoylov N.A. About operating efficiency of distillation column internals // Oil and gas processing. – 2014. – P. 208–211.
3. Morales C. Modeling and simulation of a liquid extraction column with structured packing / C. Morales, H. Elman, A. Perez // Computers & Chemical Engineering. – 2007. – № 31. – P. 1694–1701.
4. Treybal R. Liquid Extraction. – M.: Chemistry, 1966. – P. 550.
5. Ballard J. Limiting Flow Phenomena in Packed Liquid-liquid Extraction Columns / J. Ballard, E. Piret // Industrial and Chemical industry. – 1950. – V. 6. – № 42. – P. 1088–1098.
6. Samoylov N.A. Chemical Modeling and Reactor Design. – Ufa, 2005. – 224 p.