

А.Э. Тененбаум, Е.И. Грушова, Т.В. Башун,
О.П. Дмитриева, В.Н. Станишевский

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ СМЕШАННЫМ РАСТВОРИТЕЛЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе промышленных установок экстракции наметился ряд существенных недостатков, основным из которых является низкая производительность по сырью. Последнее обстоятельство связано с ограниченной растворимостью ароматических углеводородов в диэтиленгликоле (ДЭГе)—основном промышленном экстрагенте, практикуемом на отечественных заводах.

Одним из возможных путей решения этой проблемы является добавка к ДЭГу высокоэффективных полярных растворителей. В частности, представляет интерес смешение ДЭГа с диметилсульфоксидом (ДМСО), высокие экстракционные свойства которого описаны в работах [1—2]. Авторами ранее был рассмотрен эффект использования смешанного растворителя ДЭГ+ДМСО на модельных смесях и в условиях одноступенчатой экстракции [3—5].

Целью настоящей работы являлось определение оптимальных условий проведения процесса многоступенчатой экстракции ароматических углеводородов из катализата риформинга. При обработке экспериментальных данных использовались принципы регрессионного анализа. Это позволило установить зависимости между переменными параметрами и найти условия оптимума.

Сырьем для процесса была взята бензольно-толуольная фракция катализата риформинга Полоцкого НПЗ, содержащая 27,36% ароматических углеводородов, в том числе: 10,28% бензола, 14,78% толуола и 2,3% суммарных ксилолов.

Экстракцию проводили в термостатированных делительных воронках по общепринятой методике [6]. Число ступеней контакта (восемь) выбрано в соответствии с промышленными условиями экстракции. В качестве рисайкла был использован экстракт. Опыты проводили при температуре 30°C на основании ранее полученных данных [4]. Качество сырья и продуктов экстракции определяли на хроматографе ХЛ-4.

Многоступенчатая экстракция была исследована на основе ортогонального центрального композиционного планирования (ОЦКП) [7—8] с помощью ЭВМ "Проминь-М". Независимыми переменными параметрами были выбраны: X_1 — кратность растворитель: сырье, X_2 — состав растворителя, X_3 — количество рисайкла. Переменные варьирова-

лись на трех уровнях. Уровни и интервалы варьирования факторов приведены в табл. 1.

Табл. 1. Уровни и интервалы варьирования

Изучаемые факторы	Интервалы варьирования	Значения уровней переменных в условных единицах				
		-1,215	-1	0	+1	+1,215
X_1	2	4,57	5	7	9	9,43
X_2	20	25,7	30	50	70	74,3
X_3	20	35,7	40	60	80	84,3

Была составлена матрица планирования в виде ортогонального плана 2-го порядка (табл. 2).

По полученным в соответствии с пятнадцатью опытными режимами данным были рассчитаны коэффициенты регрессии для 5 выходных параметров: Y_1 — выход экстракта, Y_2 — содержание ароматических углеводов в экстракте, Y_3 — степень извлечения суммарных ароматических углеводов, Y_4 — содержание ароматики в рафинате, Y_5 — степень извлечения по бензолу. После отсева незначимых коэффициентов были получены уравнения в виде неполных квадратичных уравнений:

$$Y_1 = 45,75 + 3,75X_1 + 2,68X_2 + 2,86X_3 - 1,88X_1X_2;$$

$$Y_2 = 93,06 - 1,19X_1 - 0,70X_2 + 1,56X_3 + 1,08X_1X_2 + 0,80X_1X_3 + 0,97X_2X_3;$$

$$Y_3 = 91,08 + 6,37X_1 + 4,75X_2 - 0,89X_3 - 3,02X_1X_2 + 0,91X_1X_3;$$

$$Y_4 = 7,34 - 4,80X_1 - 3,50X_2 + 1,68X_3 + 1,67X_1X_2 - 0,91X_1X_3;$$

$$Y_5 = 97,54 + 3,01X_1 + 3,10X_2 + 1,38X_3 - 3,81X_1X_2 - 2,07X_1X_3$$

$$- 2,07X_2X_3.$$

Проверку адекватности модели осуществляли через определение средней ошибки аппроксимации [9]. Нелинейная модель оказалась адекватной.

На ЭВМ "Проминь-М" была проведена оптимизация процесса экстракции. Расчеты по оптимизации показали отсутствие экстремальной

Табл. 2. Матрица планирования и результаты эксперимента

№	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	34,00	96,99	77,78	14,27	76,58
2	+1	+1	-1	+1	-1	-1	47,00	89,65	99,25	0,50	99,98
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	50,17	94,40	93,32	6,80	100,00
4	-1	+1	+1	-1	-1	+1	47,70	94,89	89,20	10,78	100,00
5	-1	-1	+1	+1	-1	-1	39,34	95,18	73,78	21,93	93,03
6	+1	+1	+1	+1	+1	+1	52,60	94,90	97,80	1,87	99,90
7	+1	-1	-1	-1	-1	+1	44,91	89,51	94,81	3,99	100,00
8	-1	11	-1	-1	-1	-1	45,20	89,31	95,40	3,66	100,00
9	0	0	0	0	0	0	48,31	91,30	93,64	5,79	100,00
10	-1,215	0	0	0	0	0	40,08	94,77	80,64	15,21	97,73
11	+1,215	0	0	0	0	0	50,50	90,57	97,18	2,75	100,00
12	0	-1,215	0	0	0	0	44,16	93,80	87,94	10,17	96,91
13	0	+1,215	0	0	0	0	48,48	93,50	96,24	3,44	99,93
14	0	0	-1,215	0	0	0	41,67	92,21	93,26	4,76	100,00
15	0	0	+1,215	0	0	0	52,08	94,87	96,08	4,20	99,02

Табл. 3. Варианты оптимальных режимов

№	Кратность, растворитель: сырье, % об.	% ДМСО в растворителе, % вес	Обводненность раствора, % вес	Количество рисайкла, % вес	Выход экстракта, % вес	Содержание ароматических, % вес			Степень извлечения, % вес		
						в экстракте	в рафинате	суммарной ароматической	в экстракте	бензола	толуола
1	6,5 : 1	70	6	54	49,4	91,2	0,6	99,1	100	99,2	96,0
2	6,5 : 1	62	6	80	52,8	95,0	1,8	98,5	98,2	100,0	85,5
3	6 : 1	70	6	80	52,2	95,0	2,8	97,5	98,4	99,0	85,0

области, поскольку растворяющие и селективные свойства экстрагентов характеризуются антибатной связью. Поэтому была выделена зона так называемого "условного оптимума", из которой было выбрано несколько вариантов процесса, приведенных в табл. 3.

Ниже представлено сопоставление условий и результатов экстракции с использованием ДЭГ на промышленных установках экстракции и смешанного растворителя состава ДЭГ + ДМСО.

	ДЭГ	ДЭГ + ДМСО
Температура экстракции, °С	150	30
Кратность растворитель: сырье, об.ч.	11:1	(6-6,5):1
Количество рисайкла, % вес	100	50-80
Содержание ароматики в рафинате, % вес	3-6	0,6-2,8
Степень извлечения суммарной ароматики, % вес	90	97,5-99,1

Приведенные данные показывают, что использование смешанного растворителя ДЭГ + ДМСО позволяет примерно в два раза повысить производительность установок экстракции по сырью и достигнуть более высокой степени извлечения ароматических (98-99%) при значительном уменьшении температуры процесса (до 30°C).

Литература

1. Е.И. Щербина, А.Э. Тененбаум и др. Химия и технология топлив и масел, № 10, 17 (1970).
2. Е.И. Щербина, А.Э. Тененбаум, 3.В. Макарова. Сб. Синтез органических соединений. Минск, 1970, 108.
3. А.Э. Тененбаум, Е.И. Щербина. Мат-лы научно-технической конференции по итогам работы 1969 г. Минск, 1970, 265.
4. Т.В. Башун, Е.И. Щербина, А.Э. Тененбаум. Мат-лы конференции молодых ученых Белоруссии и Прибалтийских республик. Минск, 1972, 113.
5. Е.И. Щербина, А.Э. Тененбаум и др. Химия и технология топлив и масел, № 3, 18 (1973).
6. А. Альдерс. Жидкостная экстракция. М., 1962, 64.
7. Лабораторный практикум по курсу "Теоретические основы планирования экспериментальных исследований". М., 1969, 36.
8. В.В. Кафаров. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М., 1971, 158.
9. В.И. Грубов. Математическое моделирование непрерывных технологических процессов. Киев, 1971, 46.