

УДК 665.63.048

## РАЗДЕЛЕНИЕ СМЕСЕЙ АДСОРБЦИЕЙ В СЛОЖНЫХ КОЛОННАХ СО СВЯЗАННЫМИ ПОТОКАМИ

Кондратьев А.А., Самойлов Н.А., Кондратьев Ю.А., Сидоров Г.М.<sup>1</sup>

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа*

<sup>1</sup>*e-mail: kaskad@ufanet.ru*

**Аннотация.** Проанализированы способы разделения жидкой или газовой трехкомпонентной смеси адсорбцией с использованием принципа работы колонн с полностью и частично связанными потоками.

*В одном случае в промежуточном сечении адсорбционной секции слой движущегося адсорбента и в промежуточном сечении хроматографической секции восходящий поток жидкости или газа разделяют на два потока, образовав две зоны противоточного контактирования.*

*В другом способе использован принцип работы противоточных массообменных аппаратов с частично связанными потоками. В этом случае промежуточная фракция получается в отдельной хроматографической секции. Такие конструкции адсорберов позволяют увеличить число ступеней контакта адсорбента с компонентами разделяемой смеси без увеличения размеров адсорбционной колонны и повысить четкость разделения смеси.*

**Ключевые слова:** адсорбция, колонны с полностью и частично связанными потоками, хроматографическая секция, теоретическая ступень адсорбции, четкость разделения

Разделение смесей адсорбцией является энергоемким процессом, поэтому снижение энергозатрат и повышение качества продуктов разделения процесса адсорбции становится все более актуальным.

Целью настоящей работы является сопоставление работы простого гиперсорбционного адсорбера с работой адсорберов с полностью и частично связанными потоками.

Для фракционирования многокомпонентных смесей адсорбцией в противоточных аппаратах непрерывного действия чаще всего используются простые односекционные колонны, реже колонны с боковыми отборами. Более сложные адсорбционные колонны со связанными потоками, несмотря на их очевидную экономичность, пока не нашли практического применения, также не уделяется должного внимания детальному обсуждению и исследованию принципиальной возможности использования таких колонн.

Рассмотрим адсорбционное разделение жидкой или газовой трехкомпонентной смеси с использованием принципа работы колонн с полностью связанными потоками [1] (рис. 1, схема 1).

Согласно этому способу исходная смесь вводится в аппарат (в колонну) с движущимся слоем адсорбента, непрерывное противоточное контактирование адсорбента с восходящим потоком жидкости или газа происходит последователь-

но в верхней адсорбционной и нижней хроматографической секциях. В нижней части адсорбционной секции и в верхней части хроматографической секции слой движущегося адсорбента и восходящий поток жидкости или газа разделяют на два потока, образовав две зоны противоточного контактирования. При этом один из потоков адсорбента и восходящего потока контактируют в зоне ввода исходной смеси, другой поток адсорбента и восходящего потока жидкости или газа контактируют в зоне вывода промежуточной фракции. Для десорбции адсорбированных компонентов осуществляют нагрев адсорбента в нижней секции колонны. С верха колонны выводится легкая фракция (практически не адсорбируемый компонент), с низа – тяжелая фракция (наиболее сильно адсорбируемый компонент). Промежуточная фракция смеси, содержащая в основном слабо сорбируемый компонент, отводится с промежуточной ступени адсорбции.

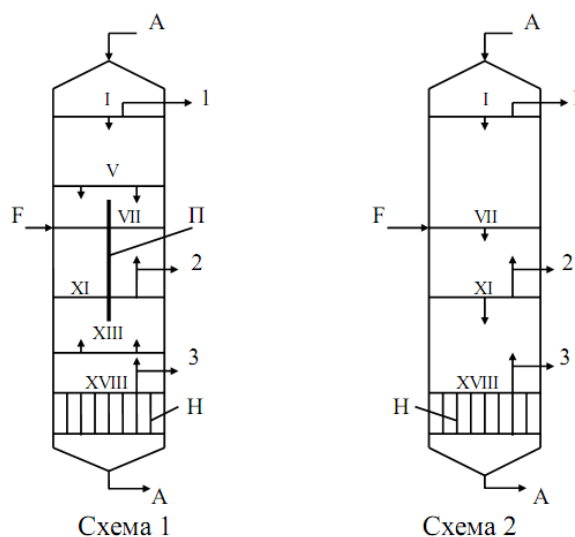


Рисунок 1. Схемы адсорбционных колонн.

I - XVIII – номера ступени адсорбции;

F – исходная смесь; A – адсорбент; П – разделительная перегородка;  
H – нагреватель (зона десорбции); 1, 2 и 3 – получаемые фракции.

Выполнено расчетное сравнение работы новой конструкции адсорбера (схема 1) с известным способом гипертонического разделения (схема 2, рис. 1). Исходная трехкомпонентная смесь характеризуется коэффициентами разделения компонентов 57, 3.5 и 1. Содержание легкого компонента 85, промежуточного 10 и тяжелого 5 % масс. Отборы конечных продуктов разделения приняты равными потенциальному содержанию компонентов в исходной смеси. Принятая эффективность работы адсорбера соответствует 18 теоретическим ступеням адсорбции. Исходная смесь вводится на VII ступень адсорбции (счет с верха колонны), отбор легкой фракции осуществляют с верхней, тяжелой с нижней и промежуточной фракции с XI ступени адсорбции из восходящего потока газа.

Принятые для расчетов величины расходов восходящего потока газа и ад-

сорбированного газа в нисходящем потоке адсорбента по ступеням адсорбции приведены в табл. 1 (эти величины обеспечиваются кратностью подачи адсорбента и подводом тепла через нагреватель в зоне десорбции), составы конечных продуктов разделения в табл. 2.

Таблица 1. Расход восходящего потока и адсорбированного газа по ступеням адсорбции, кг на 100 кг исходной смеси

Номер ступени	Схема 1*				Схема 2	
	Восходящий поток газа		Адсорбированный газ		Восходящий поток газа	Адсорбированный газ
I	85		12		85	12
II	97		14		97	14
III	99		15		99	15
IV	100		16		100	16
V	101		16		101	16
VI	98	3	6	10	101	16
VII	98	3	10	10	101	20
VIII	2	3	10	10	5	20
IX	2	3	10	10	5	20
X	2	3	10	10	5	20
XI	2	13	10	10	15	20
XII	2	13	10	10	15	20
XIII	15		20		15	20
XIV	15		20		15	20
XV	15		20		15	20
XVI	15		20		15	20
XVII	15		20		15	20
XVIII	20		0		20	0

\* В схеме 1 для ступеней контакта VI-XII цифры левой колонки соответствуют зоне ввода исходной смеси, правой – зоне вывода промежуточной фракции

Из итогов расчета видно, что новый способ адсорбции в сложной колонне позволяет повысить четкость разделения по грани между компонентами промежуточной и тяжелой фракций. Так, при малой разнице составов продуктов разделения по грани между компонентами легкой и промежуточной фракций, содержание третьего компонента в промежуточной фракции уменьшается с 9,26 до 4,74 %, содержание второго компонента в тяжелой фракции уменьшается с 18,53 до 9,50 % масс. Это объясняется тем, что в схеме 2 промежуточная фракция представляет собой часть газа, полученного контактированием всего количества адсорбента, в котором находится весь адсорбированный тяжелый компонент.

По условиям равновесия на XI ступени адсорбции по схеме 2 (рис. 1) в промежуточной фракции содержится больше тяжелого компонента, чем в промежуточной фракции, соответствующей разработанному новому способу адсорбции с полностью связанными потоками, так как по схеме 1 (рис. 1) промежуточная фракция представляет собой часть газа, полученного контактированием только

части движущегося слоя адсорбента с меньшим содержанием адсорбированного тяжелого компонента с частью восходящего потока газа по ступеням адсорбции хроматографической секции. Так, по расчетным данным содержание адсорбированного тяжелого компонента на XI ступени адсорбции, с которой выводится промежуточная фракция, для схемы 2 составляет 28,02 %, а для нового способа (схема 1) оно равно 16,09 %, тогда как в зоне ввода исходной смеси на той же XI ступени концентрация тяжелого компонента возрастает до 41,06 %, что обеспечивает существенное снижение концентрации тяжелого компонента в промежуточной фракции (табл. 2).

Таблица 2. Составы конечных продуктов разделения адсорбера, % масс.

Продукты разделения	Компонент	Содержание компонента	
		Схема 1	Схема 2
Легкая фракция	Легкий (№ 1)	98,91	99,6
	Промежуточный (№ 2)	1,09	0,94
	Тяжелый (№ 3)	-	-
Промежуточная фракция	Легкий (№ 1)	9,25	7,92
	Промежуточный (№ 2)	86,01	82,82
	Тяжелый (№ 3)	4,74	9,26
Тяжелая фракция	Легкий (№ 1)	-	-
	Промежуточный (№ 2)	9,50	18,53
	Тяжелый (№ 3)	90,50	81,47

Аналогичный анализ адсорбционного разделения жидкой или газовой смеси был выполнен при использовании принципа работы противоточных массообменных аппаратов с частично связанными потоками. В этом случае промежуточная фракция получается в отдельной хроматографической секции [2, 3]. Схема действия такого адсорбера (рис. 2, схема 1) подобна схеме работы ректификационной колонны с отпарной секцией и экстракционной колонны с боковой экстрактной секцией.

Как видно из рис. 2, в схеме 1, как и в предыдущем способе адсорбционного разделения смеси с полностью связанными потоками, перегородка-разделитель П делит адсорбер на две зоны. При этом одна из зон примыкает к месту ввода исходной смеси и включает адсорбционную и хроматографическую секции, а другая зона представляет собой отдельную хроматографическую секцию для получения промежуточной фракции. Такая конструкция адсорбера с выделением отдельной хроматографической секции приводит к образованию частично связанных потоков, как и в схеме 1 (рис. 1), приводит к увеличению числа ступеней контакта адсорбента с компонентами разделяемой смеси без увеличения размеров адсорбционной колонны. Это позволяет повысить четкость разделения смеси по сравнению с четкостью разделения в традиционных адсорберах с отбором промежуточных фракций со средних тарелок хроматографической секции (схема 2, рис. 2).

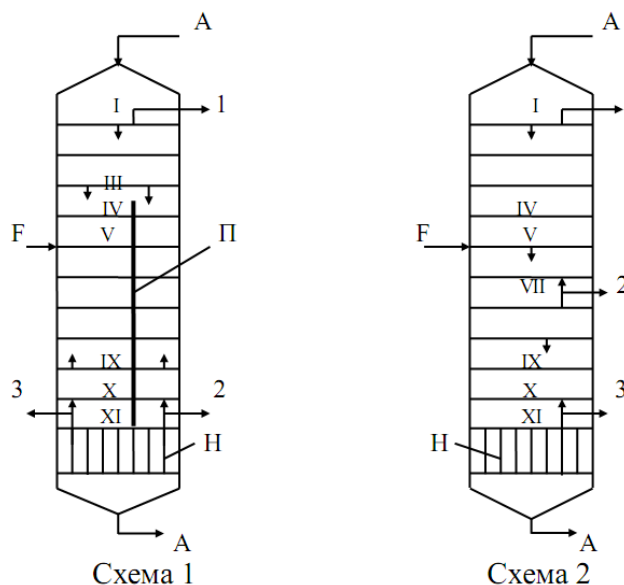


Рисунок 2. Схемы адсорбционных колонн:

схема 1 – адсорбер с боковой хроматографической секцией;

схема 2 – адсорбер с отбором боковой промежуточной фракции;

I-XI – номера ступени адсорбции; F – исходная смесь; A – адсорбент; П – разделительная перегородка; H – нагреватель (зона десорбции); 1, 2 и 3 – получаемые фракции

Сравнительный расчет адсорбера с отдельной хроматографической секцией для получения промежуточной фракции разделяемой смеси и адсорбера с отбором промежуточной фракции со средней тарелки его хроматографической секции выполнен на примере разделения компонентов с коэффициентами разделения компонентов 1200, 11.2 и 1 на три фракции, обогащенные соответственно первым, вторым и третьим компонентами в адсорберах непрерывного действия с одиннадцатью теоретическими ступенями адсорбции (рис. 2). Эта ситуация соответствует, например, процессу глубокой осушки природного газа, когда из нижней части адсорбера отводится вода, а промежуточная фракция содержит "жирные" компоненты ( $C_3+$ ). Исходная смесь, содержащая 95 % первого, 2 % второго и 3 % масс. третьего компонентов, вводится на пятую тарелку адсорбера. Отборы всех трех продуктов разделения приняты равными потенциальному содержанию компонентов в исходной смеси. В схеме 1 отдельная хроматографическая секция имеет восемь ступеней контакта, в схеме 2 отбор промежуточной фракции осуществляется с четвертой ступени от зоны десорбции. Принятые в расчетах потоки восходящего потока и адсорбированных компонентов приведены в табл. 3. Величины указанных потоков обеспечиваются кратностью подачи адсорбента и подводом тепла через нагреватель в зоны десорбции. Итоги расчетов по составам продуктов разделения приведены в табл. 4. При работе адсорбера по схеме 1 (рис. 2) с частично связанными потоками, содержание целевых компонентов в конечных продуктах разделения возрастает на 5-7 %.

Таблица 3. Расход восходящего потока и адсорбированного газа по ступеням адсорбции, кг на 100 кг исходной смеси

Номер ступени	Схема 1*				Схема 2	
	Восходящий поток газа		Адсорбированный газ		Восходящий поток газа	Адсорбированный газ
I	95		2		95	2
II	97		5		97	5
III	100		14		100	14
IV	105	4	14	6	109	16
V	111	4	16	6	111	14
VI	13	4	12	5	9	11
VII	9	3	10	5	6	9
VIII	7	3	8	4	6	7
IX	5	2	6	4	4	6
X	3	2	4	3	3	5
XI	4	3	0	0	5	0

\* В схеме 1 для ступеней контакта с IV по XI цифры левой колонки соответствуют зоне адсорбции и десорбции, примыкающей к месту ввода исходной смеси, правой – отдельной хроматографической секции получения промежуточной фракции.

Таблица 4. Составы конечных продуктов разделения адсорбера, % масс.

Продукты разделения	Номер компонента	Содержание компонента	
		Схема 1	Схема 2
Легкая фракция	1	99,98	99,84
	2	0,02	0,16
	3	-	-
Промежуточная фракция	1	1,34	0,10
	2	98,38	90,82
	3	0,28	9,08
Тяжелая фракция	1	-	-
	2	0,24	6,06
	3	99,76	93,94

Таким образом, разделение смесей адсорбцией в сложных колоннах с полностью или частично связанными потоками позволяет повысить четкость разделения смеси, или уменьшить энергозатраты при неизменном качестве продуктов разделения.

### Литература

1. Патент № 2098168 РФ. Способ адсорбционного разделения жидкой или газовой смеси компонентов / Кондратьев А.А., Самойлов Н.А., Сидоров Г.М. // Бюл. 1997. №34. 5 с.
2. Патент № 2098169 РФ. Адсорбер непрерывного действия / Кондратьев А.А., Самойлов Н.А., Сидоров Г.М. // Бюл. 1997. № 34. 3 с.
3. Samoilov N.A. The new type of adsorbers – sectioning apparatuses // 13 International Zeolite Conference: Recent Research Reports: French Zeolite Group. Montpellier, 2001. 18-R-01.

## SEPARATION OF MIXTURES BY ADSORPTION IN COMPLEX COLUMNS WITH COUPLED FLOWS

A.A. Kondrat'ev, N.A. Samoilov, Y.A. Kondrat'ev, G.M. Sidorov <sup>1</sup>

*Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia*

<sup>1</sup>*e-mail: kaskad@ufanet.ru*

**Abstract.** *Method for separating liquid or a gas three components mixture by adsorption using principle of columns with fully and partially coupled flows.*

*In one case, the intermediate section of the adsorption layer of the moving section of the adsorbent and in the intermediate section of the chromatographic section of the upward flow of liquid or gas can be separated into two streams, forming two zones of the countercurrent contacting.*

*Another method used the principle of countercurrent mass-transfer apparatus with partially coupled flows. In this case, the intermediate fraction obtained in a separate chromatographic section. Such design of adsorbers allowed to increase the number of stages contact adsorbent with components of separable mixtures without increasing the size of adsorption column therefore improve the sharpness of separation of the mixture.*

**Keywords:** *adsorption, columns with fully and partialy coupled flows, chromatographic section, theoretical stage adsorption, sharpen separating*

### References

1. Patent of Russian Federation № 2098168. Method of adsorption separation of liquid or gaseous mixtures of components / Kondrat'ev A.A., Samoilov N.A., Sidorov G.M. Date of publication: 10.12.1997.
2. Patent of Russian Federation № 209819. Continuous-action adsorber / Kondrat'ev A.A., Samoilov N.A., Sidorov G.M. Date of publication: 10.12.1997.
3. Samoilov N.A. The new type of adsorbers – sectioning apparatuses // 13 International Zeolite Conference: Recent Research Reports: French Zeolite Group. Montpellier, 2001. 18-R-01.