

И.А. Александров

**Перегонка и ректификация в
нефтепереработке**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 66.0
ББК 35
И11

И11 **И.А. Александров**
Перегонка и ректификация в нефтепереработке / И.А. Александров – М.: Книга по Требованию, 2023. – 349 с.

ISBN 978-5-458-28109-6

В книге рассмотрены основы расчета перегонки и ректификации нефтяных смесей, простые и сложные схемы перегонки и ректификации, разделительные системы со связанными тепловыми и материальными потоками и с тепловыми насосами. Рассмотрены методы синтеза и анализа разделительных и теплообменных систем, типовые схемы автоматического управления процессами перегонки и ректификации.

ISBN 978-5-458-28109-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

смотрены основные методы и алгоритмы синтеза и анализа технологических схем перегонки и ректификации нефтяных смесей, систематизирован и по возможности обобщен накопленный к настоящему времени в патентной и в периодической литературе материал по синтезу и анализу технологических схем разделения нефтяных смесей практически для всех процессов нефтегазопереработки. Исключение составляют лишь азеотропная и экстрактивная ректификации, которые рассмотрены очень кратко, и перегонка и ректификация в процессах экстракции и кристаллизации для регенерации растворителей, которые вообще не рассматривались, так как технологическое оформление этих процессов зависит в первую очередь от типа используемого агента или растворителя:

При изложении системного анализа процесса ректификации особое внимание было уделено синтезу сложных систем ректификации со связанными тепловыми и материальными потоками, как наиболее перспективных для применения в нефтепереработке. Многочисленные примеры успешного применения таких систем, приведенные в книге, раскрывают не только сущность современных алгоритмов синтеза, но и лишний раз доказывают эффективность и целесообразность применения сложных разделительных систем.

Автор признателен инженеру М. Л. Креймеру, доцентам З. Л. Буртоликовой и Б. А. Чернышову за целый ряд замечаний, высказанных при рецензировании и просмотре рукописи.

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

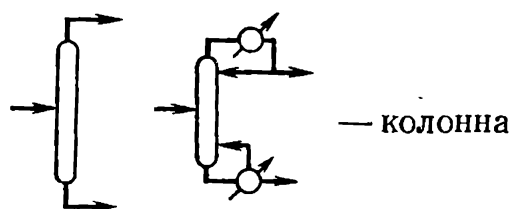
ПАРАМЕТРЫ I

- C — содержание, % (масс.)
 D — расход дистиллята, кмоль/ч; диаметр колонны, м
 e — доля отгона, кмоль/кмоль
 F — расход сырья, кмоль/ч
 f_i — расход i -го компонента в сырье, кмоль/ч
 H, h — энтальпии потока пара, жидкости, кДж/кг
 K — характеризующий фактор [$K=1,216\sqrt{T_{ср}}/(0,994\varphi_i^{20}+0,093)$]
 K — капитальные затраты, руб.
 K_i — константа фазового равновесия i -го компонента
 L — расход жидкостного потока, кмоль/ч
 l_i — расход i -го компонента в жидкостном потоке, кмоль/ч
 M — молекулярная масса, кг/моль
 N — число теоретических тарелок; число секций
 N' — число реальных тарелок
 P — общее давление в системе, Па
 P_i — давление насыщенных паров i -го компонента, Па
 ΔP — перепад давления, Па
 p — общее число компонентов смеси
 Q — тепловая нагрузка, Вт
 R — флегмовое число ($R=L/D$)
 S — расход бокового погона, кмоль/ч
 T — температура, К
 t — температура, °С
 V — расход потока паров, кмоль/ч
 v_i — расход i -го компонента в потоке паров, кмоль/ч
 W — расход остатка, кмоль/ч
 w — скорость паров в свободном сечении колонны, м/с
 x — мольная концентрация компонента в жидкости, кмоль/кмоль; отгон по кривой ИТК или по кривой стандартной разгонки, % (об.)
 y — мольная концентрация компонента в паре, кмоль/кмоль
 z — расход водяного пара, кг/ч; коэффициент сжимаемости
 α — коэффициент относительной летучести компонента смеси
 $\alpha_{ИТК}$ — угол наклона кривой ИТК, °С на % (об.) отгона или °С/%
 ε — доля отбора продукта по отношению к сырью
 γ — кинематическая вязкость, мм²/с
 ρ — плотность относительная или абсолютная, кг/м³

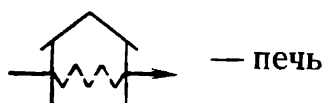
ИНДЕКСЫ

- i — произвольный компонент
 j — номер секции
 l, h — легко- и труднолетучий компоненты
 L — жидкость
 V — пар
 t — при температуре t
 P — при давлении P
 F — сырье
 D — дистиллят
 W — остаток
н. к — начало кипения
к. к — конец кипения

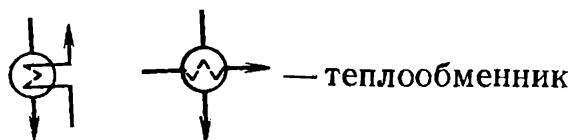
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ



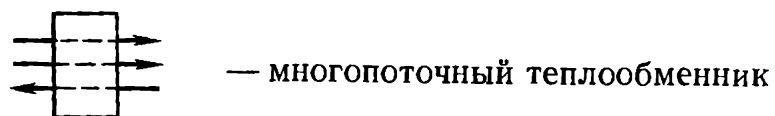
— колонна



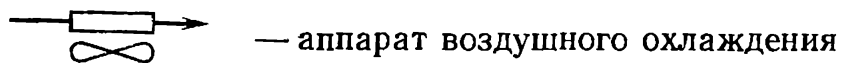
— печь



— теплообменник



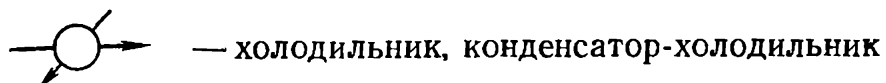
— многопоточный теплообменник



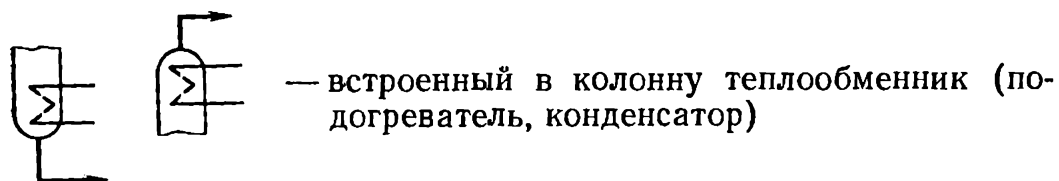
— аппарат воздушного охлаждения



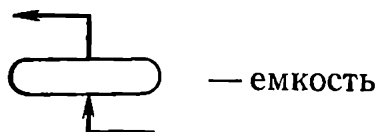
— кипятильник, подогреватель



— холодильник, конденсатор-холодильник



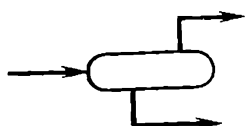
— встроенный в колонну теплообменник (подогреватель, конденсатор)



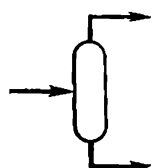
— емкость



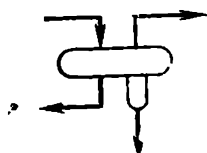
— реактор



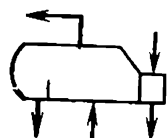
— сепаратор горизонтальный



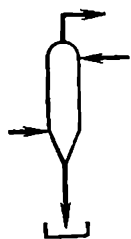
— сепаратор вертикальный



— фазный разделитель



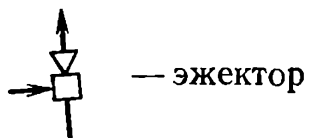
— подогреватель с паровым пространством
(кипятильник)



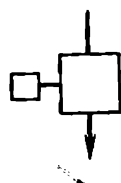
— барометрический конденсатор



— дроссель



— эжектор



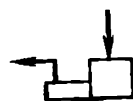
— поршневой насос



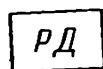
— центробежный насос



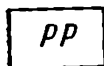
— центробежный компрессор (ЦК)



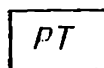
— поршневой компрессор



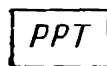
— регулятор давления



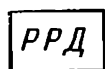
— регулятор расхода



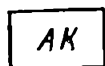
— регулятор температуры



— регулятор разности температур



— регулятор разности давлений



— анализатор качества



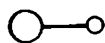
— регулирующий клапан



— диафрагменный расходомер



— манометр



— регулятор уровня

ВВЕДЕНИЕ

Перегонка — это процесс разделения жидких и газообразных (паровых) смесей на фракции, обогащенные высоко- и низколетучими компонентами. Различают простую и сложную перегонки.

Простая перегонка жидких смесей осуществляется путем постепенного или однократного их испарения, а простая перегонка паровых смесей — путем постепенной или однократной их конденсации. При постепенной перегонке жидких смесей они постепенно нагреваются от начальной температуры до конечной с непрерывным отводом из системы образующихся паров. При однократной перегонке жидкость нагревается до заданной температуры, при которой паровая фаза однократно отделяется от жидкости.

При **многократной перегонке** жидких смесей остаток однократного испарения предыдущего процесса нагревается до более высокой температуры, после чего паровая фаза однократно отделяется от жидкости, т. е. многократная перегонка состоит из повторения процесса однократной перегонки по отношению к остатку предыдущего процесса. Аналогичным образом организуется процесс многократной перегонки паровых смесей.

На практике постепенная перегонка реализуется обычно как периодический процесс, а однократная и многократная перегонки — в виде непрерывных процессов разделения.

Сложная перегонка — это перегонка с дефлегмацией, когда образующиеся при перегонке пары конденсируют и в виде флегмы подают навстречу потоку пара. В результате тепло-массообмена между паром и флегмой пары дополнительно обогащаются низкокипящими компонентами.

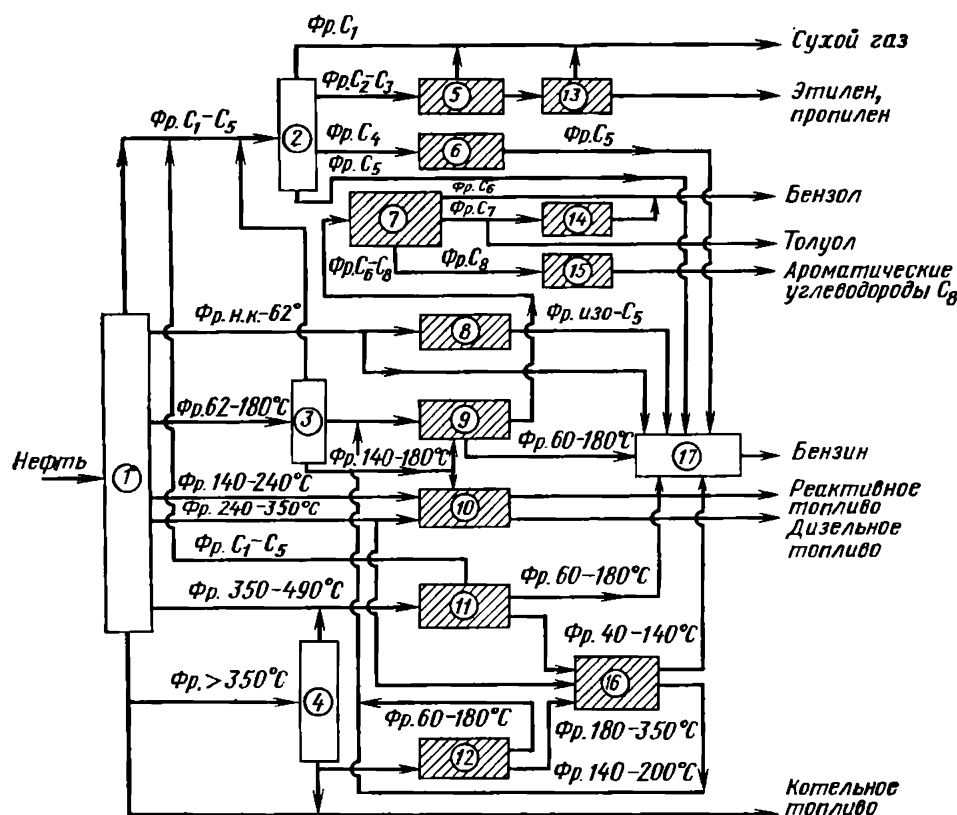
Постепенную перегонку с дефлегмацией называют **периодической ректификацией**, а однократную и многократную перегонки с дефлегмацией — **непрерывной ректификацией**.

В настоящее время в технологии нефтегазопереработки для процессов однократной перегонки и ректификации нефтяных смесей используется обобщенное их наименование: первичная перегонка нефти, перегонка мазута, вторичная перегонка бензинов и т. д.

В начальный период развития нефтяной промышленности разделение нефти на фракции осуществлялось простой перегонкой и главным образом в кубах периодического действия. В последующем для повышения четкости разделения нефти стали применять дефлегмацию паров, в связи с переработкой больших объемов нефти перешли на использование непрерывных процессов разделения. В настоящее время разделение нефти на фракции осуществляется только однократной перегонкой и ректификацией. Перегонку с постепенным испарением, осложненную дефлегмацией, и периодическую ректификацию применяют лишь в лабораторной практике.

На нефтеперерабатывающих заводах в настоящее время вырабатывают широкий ассортимент топлив, масел, полупродуктов и продуктов для нефтехимии. В производстве топлив заводы ориентируются на выпуск главным образом высокооктановых бензинов АИ-93, дизельного топлива с содержанием серы не выше 0,2%, реактивного топлива с ограниченным содержанием ароматических углеводородов (не более 12% для некоторых сортов керосинов) и малосернистого котельного топлива. Масла будут выпускаться с высоким индексом вязкости, высоковязкие и маловязкие, стойкие против нагарообразования и обладающие целым рядом других ценных эксплуатационных свойств, которые им придают специальные композиции в виде различных присадок.

В связи с этим в современной технологии переработки нефти первичная перегонка нефти используется в основном для получения сырья для последующих процессов и поэтому широко применяются процессы вторичной обработки дистиллятов для последу-



Условная поточная схема комплексной переработки нефти по топливному варианту:

1 — атмосферная перегонка нефти; 2 — газоразделение; 3 — вторичная перегонка бензина; 4 — вакуумная перегонка мазута; 5 — пиролиз; 6 — алкилирование; 7 — экстракция ароматических углеводородов; 8 — изомеризация; 9 — риформинг; 10 — гидроочистка; 11 — каталитический крекинг; 12 — коксование; 13 — получение этилена и пропилена; 14 — деалкилирование; 15 — разделение ксилолов; 16 — гидрокрекинг; 17 — компаундирование бензинов незаштрихованные блоки — процессы, основанные на перегонке и ректификации; заштрихованные блоки — процессы, использующие перегонку и ректификацию.

ющего облагораживания этих фракций: газоразделение, вторичная перегонка бензинов, стабилизация топливных фракций, разделение продуктов реакций и т. д.

С целью иллюстрации области применения перегонки и ректификации в нефтепереработке на рисунке изображена условная поточная схема переработки нефти, составленная из схем, приведенных в работах [1]. Как видно из приведенной схемы, перегонка и ректификация составляют основу таких процессов, как первичная перегонка нефти, вторичная перегонка бензиновых фракций и газоразделение. Перегонка играет также немаловажную роль практически во всех химических процессах переработки нефтяного сырья: крекинге, риформинге, пиролизе, гидроочистке, алкилировании, изомеризации и т. д.

Современная технология нефтепереработки характеризуется не только широким применением перегонки и ректификации, но и все более жесткими требованиями к целевым продуктам: узким топливным фракциям, которые используются для получения ароматических углеводородов и растворителей; масляным фракциям как основы для производства смазочных масел; специальным сортам топлив как сырья для производства белково-витаминных концентратов; моющим веществам и пр. Жесткие требования к процессу ректификации предъявляются также в связи с получением индивидуальных компонентов некоторых парафиновых, ароматических и олефиновых углеводородов.

Весьма перспективным в химической и нефтяной технологии представляется применение комбинированных процессов перегонки и ректификации с химическими реакциями — так называемых хеморектификационных процессов. В настоящее время уже известны примеры успешного применения таких процессов в химической промышленности [2]. Хеморектификационные процессы испытываются и в нефтепереработке, например, процесс, сочетающий вакуумную перегонку мазута с гидроочисткой остатков [3]. Очевидно, расширение области применения хеморектификационных процессов будет определяться успехами в области катализа, т. е. разработкой эффективных катализаторов, работающих при давлениях, когда возможны фазовые превращения сырья в процессе реакций. Преимущества применения хеморектификационных процессов совершенно очевидны, так как они требуют меньше энергетических затрат, протекают более полно и селективно.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Stanford F.*, Hydrocarb — Processing, 1971, v. 50, № 9, p. 147—150; *Коротков П. И., Исаев Б. Н., Тетерук В. Г.* Первичная перегонка нефти на высокопроизводительных атмосферно-вакуумных установках. М., Химия, 1975. 120 с.
2. *Серафимов Л. А., Балашов М. И.* — В кн.: Астарита Дж. Массопередача с химической реакцией. Пер. с англ./Под ред. Л. А. Серафимова. Л., Химия, 1971, с. 186—215.
3. *Canadian Petroleum*, 1975, v. 16, № 12, p. 8.

ОСНОВЫ ПЕРЕГОНКИ И РЕКТИФИКАЦИИ НЕФТЯНЫХ СМЕСЕЙ

1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕФТЯНЫХ СМЕСЕЙ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ

1.1. Классификация нефтяных смесей

Нефть представляет собой сложную жидкую смесь близки кипящих углеводородов и высокомолекулярных углеводородных соединений с гетероатомами кислорода, серы, азота и некоторых металлов. В нефти содержатся также в небольших концентрациях неуглеводородные соединения, органические кислоты и некоторые другие вещества.

При разделении нефти перегонкой и ректификацией получают фракции или дистилляты, выкипающие в определенном интервале температур и представляющие собой также достаточно сложные смеси. В то же время отдельные фракции нефти могут состоять из сравнительно небольшого числа компонентов, заметно различающихся температурами кипения. В связи с этим нефтяные смеси классифицируют на непрерывные, дискретные и дискретно-непрерывные.

Непрерывная смесь — это непрерывнокипящая смесь, состоящая практически из бесконечно большого числа близки кипящих компонентов, физико-химические свойства которой трудно определить на основе ее состава и свойств чистых компонентов. На рис. I-1 (кривая *a*) показана типичная кривая зависимости температур кипения непрерывной смеси от доли отгона.

Нефть и нефтяные фракции представляют собой, как правило, полиазеотропные смеси бесконечно большого числа близки кипящих компонентов. В связи с этим нефтяные смеси часто называют также сложными смесями. Таким образом, к непрерывным смесям в первую очередь следует отнести нефть и ширококипящие нефтяные фракции, представляющие собой смеси близки кипящих углеводородов различного гомологического строения, образующих между собой при перегонке неазеотропные и азеотропные смеси. В то же время узкокипящие нефтяные фракции могут представлять собой смеси сравнительно небольшого числа близки кипящих компонентов, например смеси парафиновых углеводородов от C_5 до C_7 . Такую смесь уже нельзя назвать непрерывной и тем более сложной смесью, так как ее физико-химические свойства можно сравнительно просто вычислить на основе состава смеси и свойств отдельных компонентов.