



Химическая технология нефти и газа

Лекция № 7

Нефтеперерабатывающий завод. Первичная перегонка нефти.

Лектор – к.т.н., доцент кафедры ХТТ Юрьев Е.М.



Основные понятия

В нефтеперерабатывающей промышленности выделяют три типа профиля нефтеперерабатывающего завода, в зависимости от схемы переработки нефти:

1. Топливный
2. Топливо-масляный
3. Топливо-нефтехимический

Топливный профиль

На НПЗ топливного профиля основной продукцией являются различные виды топлива и углеродных материалов: моторное топливо, мазуты, горючие газы, битумы, нефтяной кокс и т.д.

Набор установок включает в себя: обязательно - перегонку нефти, **риформинг, гидроочистку; дополнительно вакуумную дистилляцию, каталитический крекинг, изомеризацию, гидрокрекинг, коксование и т.д.**

Примеры НПЗ: МНПЗ, Ачинский НПЗ и т.д.

Глубокая переработка – если есть процессы каткрекинга или гидрокрекинга;

Неглубокая переработка – если отсутствуют процессы превращения темных дистиллятов в светлые.



Основные понятия

Топливо-масляный профиль

На НПЗ топливо-масляного профиля помимо различных видов топлив и углеродных материалов производятся смазочные материалы: нефтяные масла, смазки, твердые парафины и т.д.

Набор установок включает в себя: установки для производства топлив и **установки для производства масел и смазок (деасфальтизации гудрона, селективной очистки, депарафинизации)**.

Примеры: Омский нефтеперерабатывающий завод, Ярославнефтеоргсинтез, Лукойл-Нижегороднефтеоргсинтез и т.д.



Основные понятия

Топливо-нефтехимический профиль

На НПЗ топливо-нефтехимического профиля помимо различных видов топлива и углеродных материалов производится нефтехимическая продукция: полимеры, реагенты и т.д.

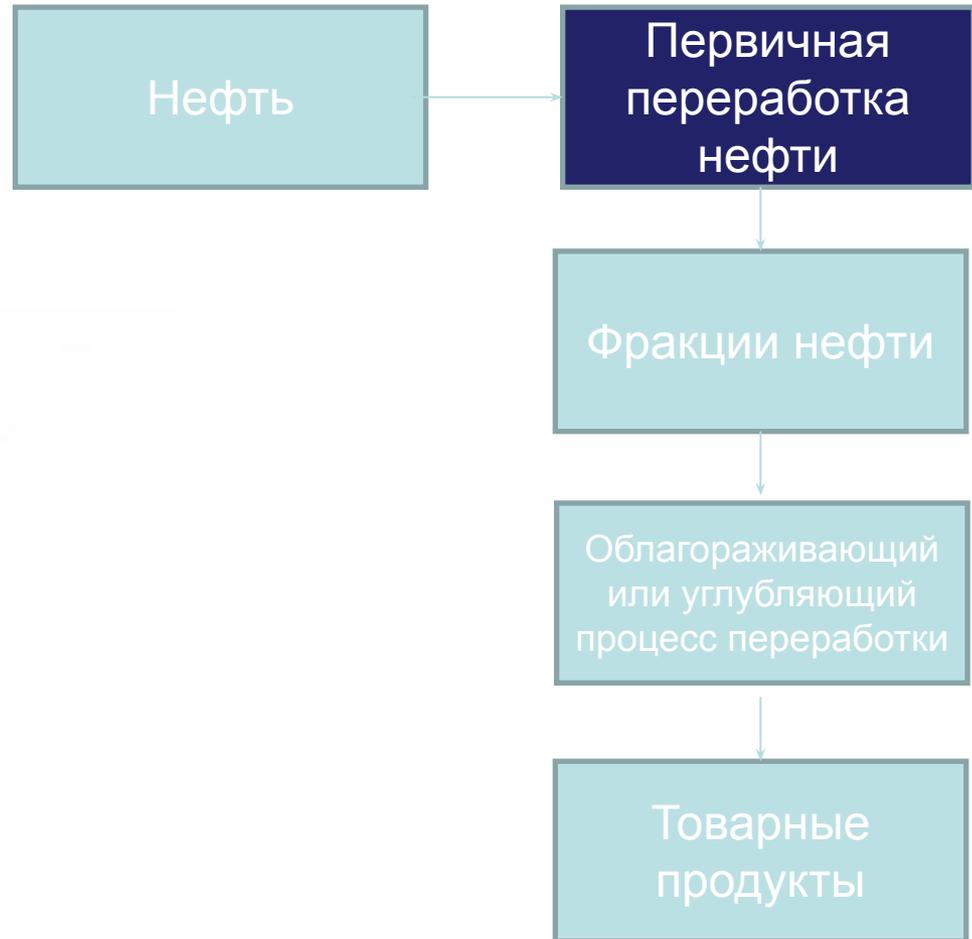
Набор установок включает в себя: установки для производства топлив и установки для производства нефтехимической продукции (**пиролиз, производство полиэтилена, полипропилена, полистирола, риформинг направленный на производство индивидуальных ароматических углеводородов и т.д.**).

Примеры: Салаватнефтеоргсинтез; Уфанефтехим.



Назначение первичной переработки нефти

Из нефти, поступающей с установок промышленной подготовки на нефтеперерабатывающий завод, получают широкий спектр различной продукции (высокооктановые бензины, дизельные топлива, авиационные керосины, битумы, масла, котельные топлива и многое другое). Но предварительно нефть должна быть разделена на фракции – составляющие, различающиеся по температурам кипения (дистилляты). Для этого на НПЗ существуют установки первичной переработки нефти.





Общие сведения о первичной переработке нефти

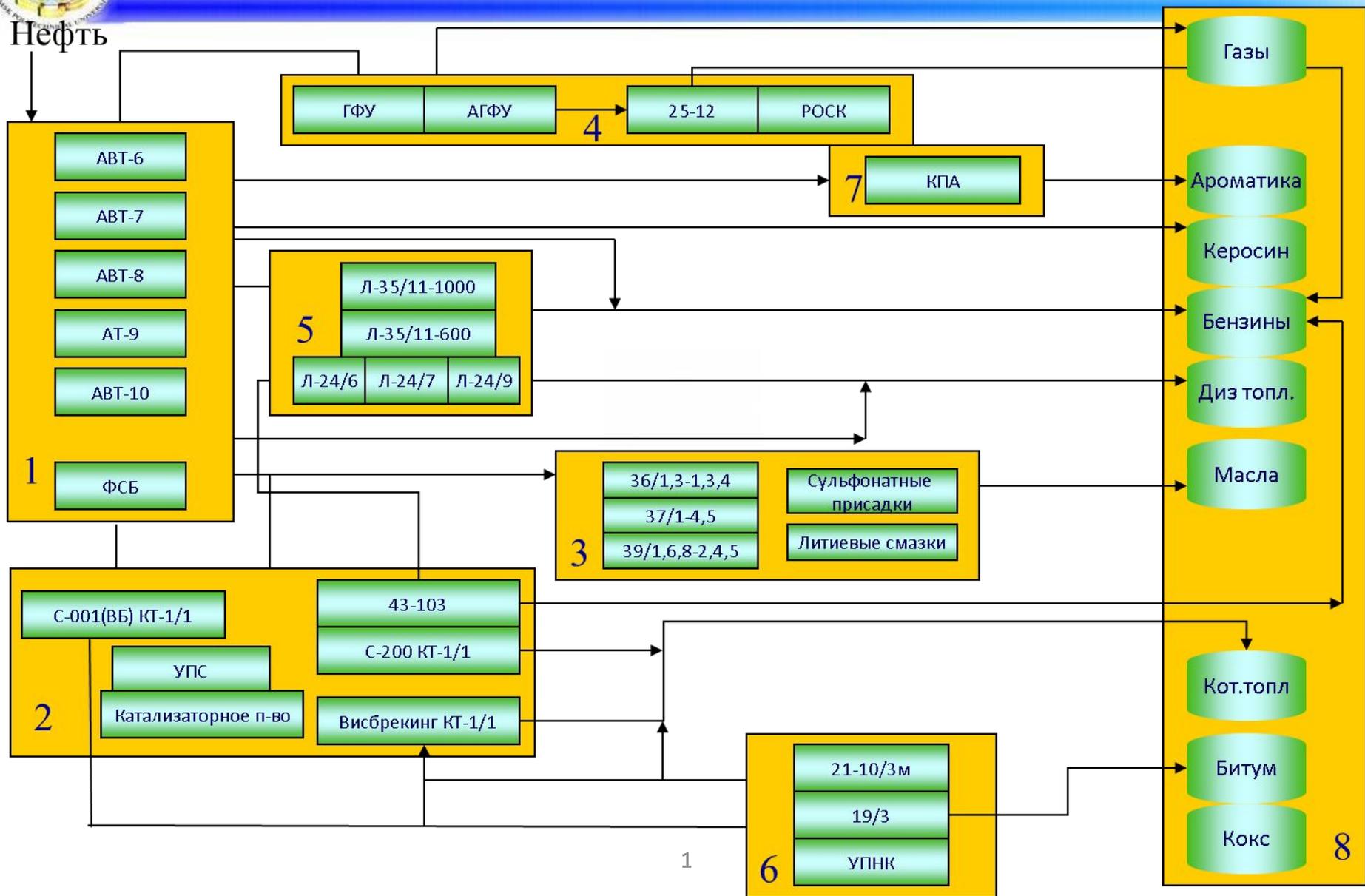
- Установки первичной переработки нефти составляют основу всех нефтеперерабатывающих заводов, от работы этих установок зависят качество и выходы получаемых компонентов топлив, а также сырья для вторичных и других процессов переработки нефти. **На Омском НПЗ действуют установки первичной переработки нефти АВТ-6, АВТ-7, АВТ-8, АТ-9, АВТ-10**



Общий вид установки первичной переработки нефти



Схема Омского НПЗ по установкам и производствам





Перегонка нефти

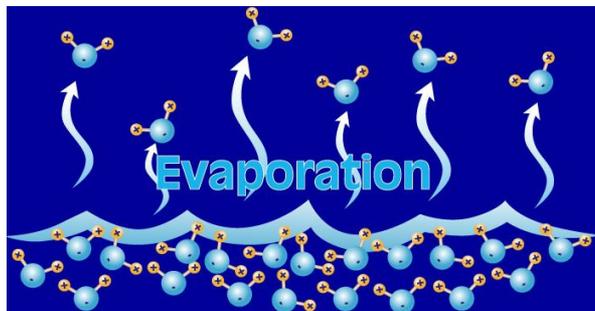
Перегонка нефти — начальный процесс переработки нефти на нефтеперерабатывающих заводах, основанный на том, что при нагреве нефти образуется паровая фаза, отличающаяся по составу от жидкости.

Компоненты жидких смесей, имеют при одинаковом внешнем давлении различные температуры кипения. Благодаря этому в процессе испарения жидкой смеси ее компоненты проявляют различное стремление к переходу в парообразное состояние, т. е. обладают различной летучестью.

Наиболее летучим является компонент с наиболее низкой индивидуальной температурой кипения (низкокипящий компонент, НКК).

Наименее летучим является высококипящий компонент (ВКК).

Следовательно, при испарении жидкой смеси концентрация низкокипящего компонента в образующихся парах больше, чем в жидкой фазе (закон Коновалова).



В паре больше НКК, чем ВКК



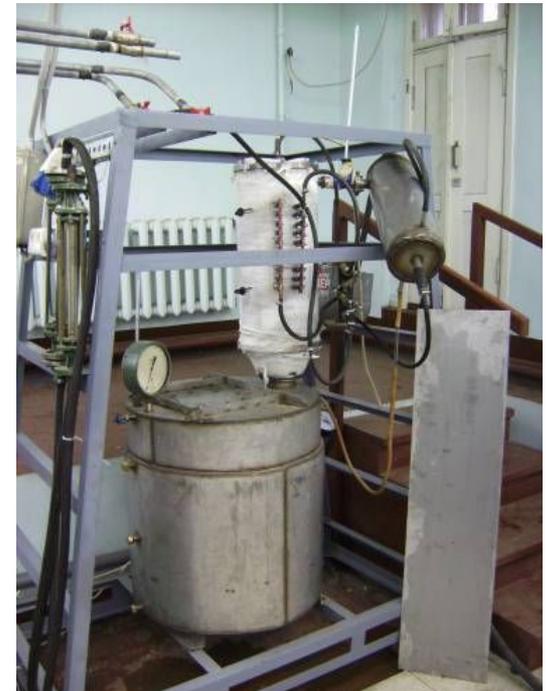
В жидкости больше ВКК, чем НКК



Перегонка нефти

Перегонка нефти осуществляется методами **однократного испарения** (равновесная дистилляция – испарение нефти в испарителе + ввод нефтегазовой смеси в сепаратор) или **постепенного испарения** (простая перегонка, или фракционная дистилляция); с ректификацией и без неё; в присутствии перегретого водяного пара —испаряющего агента; при атмосферном давлении и под вакуумом.

В лабораторной практике в основном применяется простая перегонка нефти, иногда с ректификацией паровой фазы на установках периодического действия.





Фракционный состав нефти

- **Фракционный состав** является важным показателем качества нефти. В процессе перегонки при постепенно повышающейся температуре из нефти отгоняют части — фракции, отличающиеся друг от друга пределами выкипания. «Разгонка» нефти на фракции осуществляется в ректификационной колонне.

Общий вид ректификационной колонны





Фракционный состав нефти

Температуры кипения, °С	Фракция
Менее 32	Углеводородные газы
32-180	Бензиновая
180-240	Керосиновая
240-350	Дизельная
350 - 500	Мазут
Выше 500	Гудрон



Фракционный состав нефти

- Нефть «разгоняют» до температур **300–350** °С при атмосферном давлении (атмосферная перегонка) и до **500 – 550** °С под вакуумом (вакуумная перегонка). Все фракции, выкипающие до **300–350** °С, называют **светлыми**. Остаток после отбора светлых дистиллятов (выше **350** °С) называют **мазutom**.



лом.

Внешний вид различных фракций нефти: чем выше температура кипения фракции, тем темнее цвет.



Фракционный состав нефти

Наименование фракции	Где отбирается	Где используется
Бензиновая	Атмосферная перегонка	Используется после очистки как компонент товарного автобензина и как сырьё каталитического риформинга (получение высокооктановых бензинов), пиролиза (получение олефинов, ароматики) и др.
Керосиновая	Атмосферная перегонка	После очистки используется как топливо реактивных авиационных двигателей, для освещения и технических целей
Дизельная	Атмосферная перегонка	После очистки используется как топливо для дизельных двигателей
Мазут	Атмосферная перегонка (остаток)	Используется в качестве котельного топлива или как сырьё для термического крекинга; для получения масел.
Вакуумный газойль	Вакуумная перегонка	Сырьё процессов каталитического крекинга, гидрокрекинга, компонент товарных мазутов
Гудрон	Вакуумная перегонка (остаток)	Сырьё процессов коксования, гидрокрекинга





Перегонка нефти в промышленных условиях

В промышленности используется **перегонка нефти с однократным испарением в сочетании с ректификацией паровой и жидкой фаз**. Такое сочетание позволяет проводить перегонку нефти на установках непрерывного действия и добиваться высокой чёткости разделения нефти на фракции, экономного расходования топлива на её нагрев.

Основные термины:

Шлем (голова) колонны – верх колонны, где расход газа выше, чем расход жидкости;

Куб колонны – низ колонны, где расход жидкости выше чем расход газа.

Дистиллят – верхний продукт колонны, обогащенный НКК;

Кубовый остаток – нижний продукт колонны, обогащенный ВКК.

Флегма – часть дистиллята, возвращаемая в шлем колонны в виде жидкости.

Боковой отбор (боковой дистиллят) – дистиллят определённых пределов выкипания, отбираемый из средней части колонны.

Питательная секция – участок в колонне, куда подводится свежее сырье.

Концентрационная (укрепляющая) секция – часть колонны выше тарелки питания.

Отгонная (исчерпывающая) секция - часть колонны ниже тарелки питания.



Перегонка нефти в промышленных условиях

Основные термины на производстве:

АВТ – атмосферно-вакуумная «трубчатка» - комбинированная установка, сочетающая нагрев в трубчатой печи, ректификацию при атмосферном давлении и ректификацию при пониженном давлении (вакууме).

АТ – атмосферная «трубчатка», ВТ – вакуумная «трубчатка»;

ЭЛОУ – электрообессоливающая установка;

ЭЛОУ-АВТ – комбинированная установка, сочетающая обезвоживание/обессоливание нефти и ее ректификацию.

ЭЛОУ может присутствовать как на НПЗ, получающем нефть из нефтепровода, так и на НПЗ, получающего нефть с куста НМ;

ЭЛОУ обеспечивает:

- Содержание воды в нефти до 0,1 % масс. (диаметр остаточных капель воды менее 4,3 мкм);
- Содержание солей – 3-5 мг/л;
- Снижение содержания солей Ni и V в 2-3 раза.



Физико-химические основы процесса ректификации

Разделение процесса на фракции происходит посредством процесса **ректификации**.

Ректификацией называется массообменный процесс разделения жидких смесей на чистые компоненты различающиеся **по температурам кипения**, за счет противоточного многократного контактирования паров и жидкости.



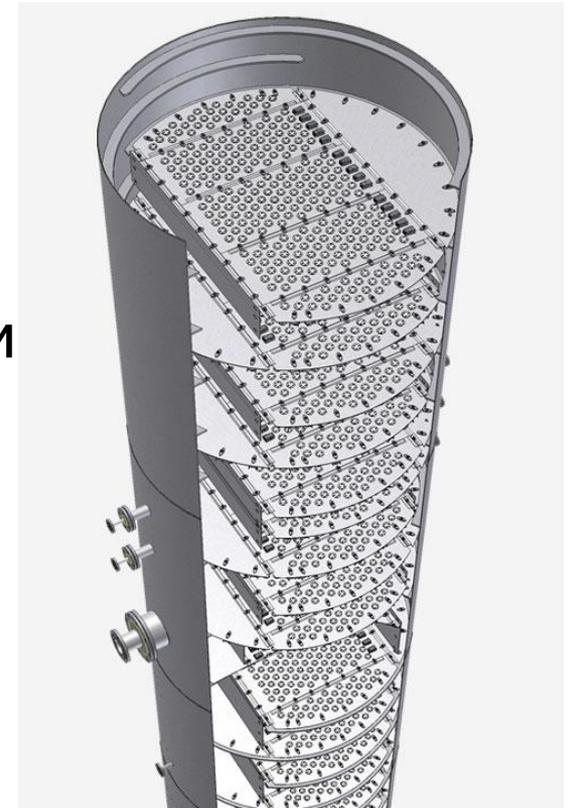


Физико-химические основы процесса ректификации

- Ректификацию можно проводить периодически или непрерывно. Ректификацию проводят в башенных колонных аппаратах (до 60 м высотой), снабженных контактными устройствами (тарелками или насадкой) **ректификационных колоннах.**



Внешний вид насадки: насадка, заполняющая колонну, может представлять собой металлические, керамические, стеклянные и другие элементы различной формы

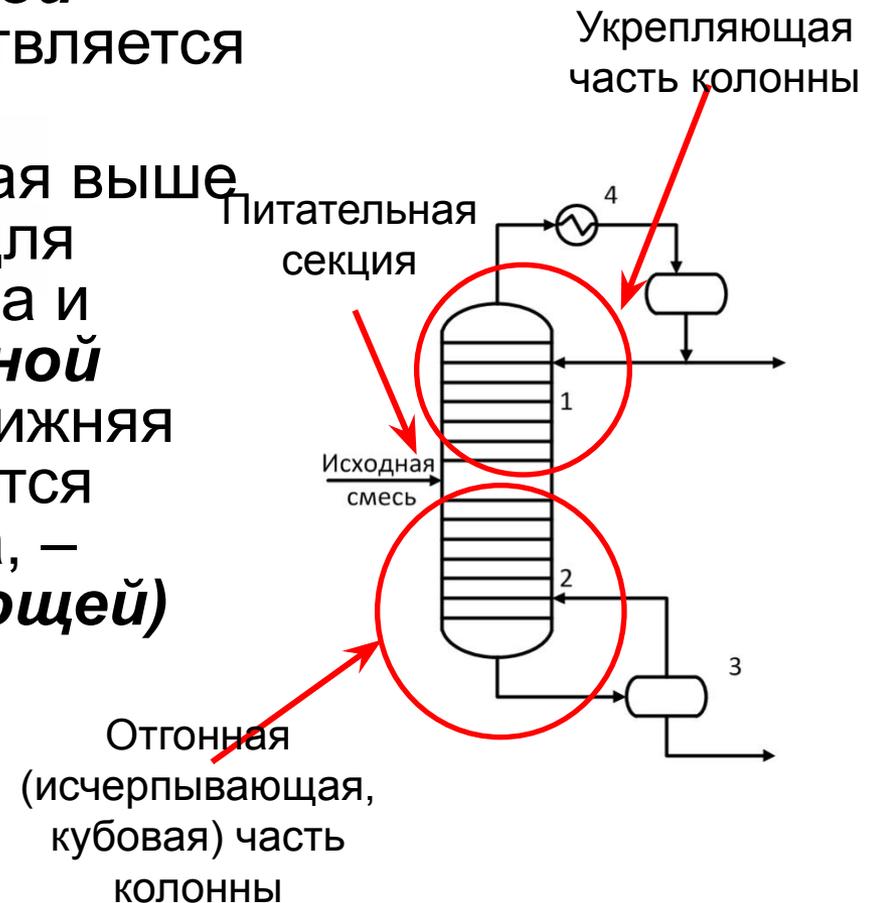


Расположение тарелок внутри ректификационных колоннах



Принцип работы ректификационной колонны

- Место ввода в ректификационную колонну нагретого перегоняемого сырья называют **питательной секцией (зоной)**, где осуществляется однократное испарение.
- Часть колонны, расположенная выше питательной секции, служит для ректификации парового потока и называется **концентрационной (укрепляющей)**, а другая – нижняя часть, в которой осуществляется ректификация жидкого потока, – **отгонной (или исчерпывающей) секцией**.

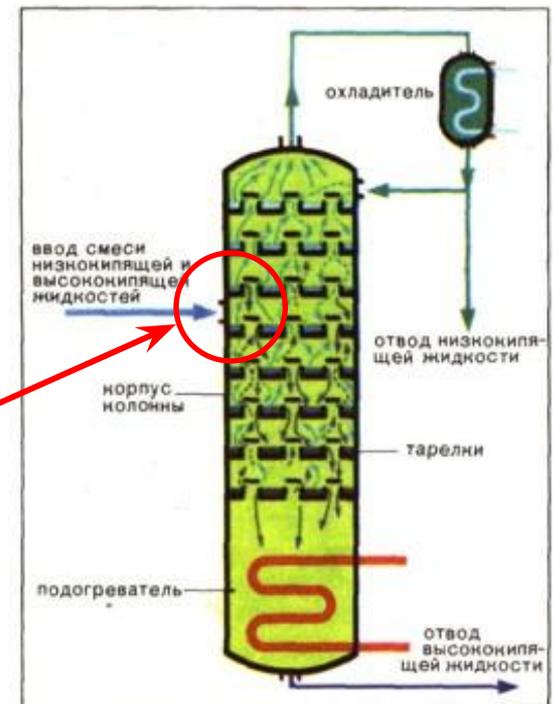




Принцип работы ректификационной колонны

- Исходная смесь (нефть), нагретая до температуры питания в паровой, парожидкостной или жидкой фазе поступает в колонну в качестве питания. Зона, в которую подаётся питание называют **эвапарационной**, так как там происходит процесс **эвапарации** - однократного отделения жидкости.

Эвапарационная зона

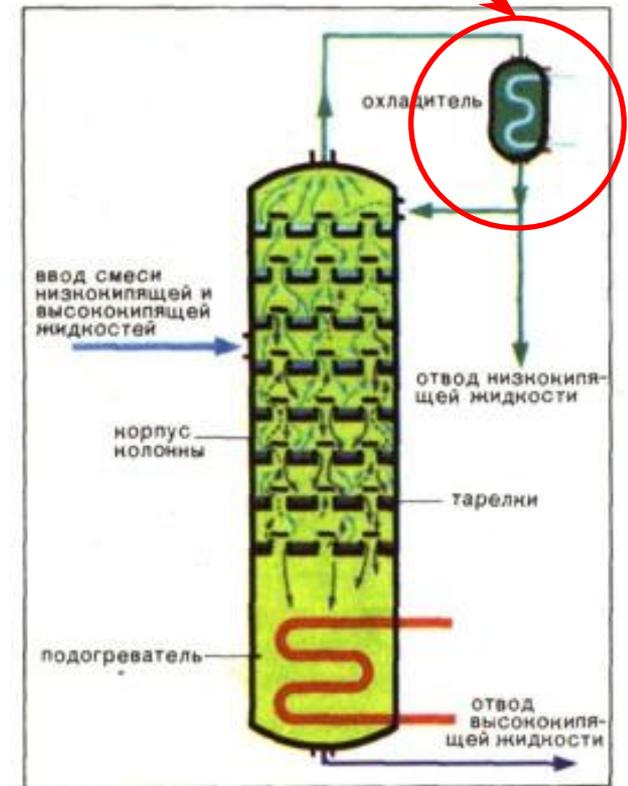




Принцип работы ректификационной колонны

- Пары поднимаются в верхнюю часть колонны, охлаждаются и конденсируются в **холодильнике-конденсаторе** и подаются обратно на верхнюю тарелку колонны в качестве орошения. Таким образом в верхней части колонны (**укрепляющей**) противотоком движутся пары (снизу вверх) и стекает жидкость (сверху вниз).

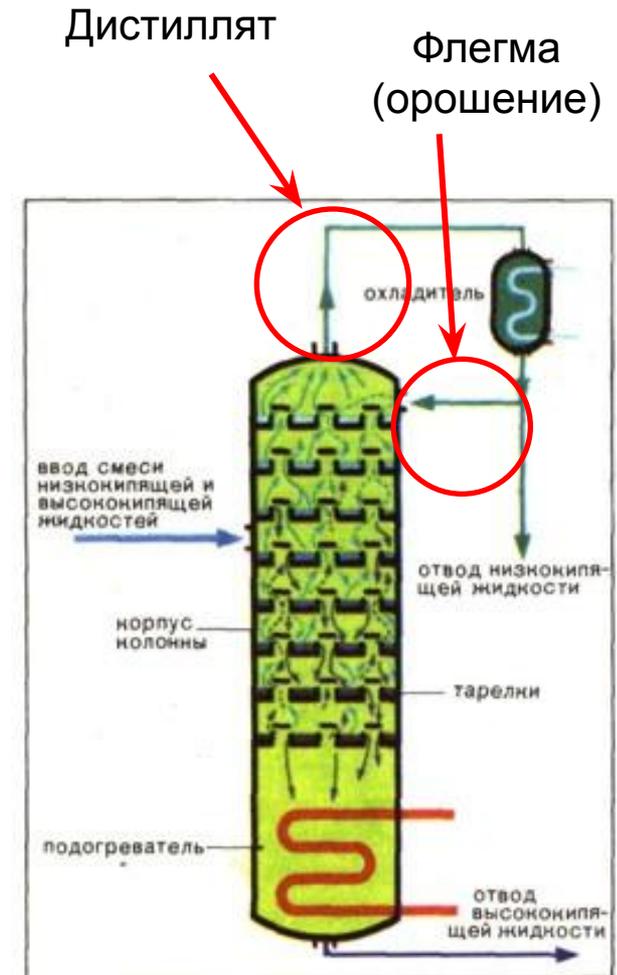
Холодильник-конденсатор





Принцип работы ректификационной колонны

- Стекая вниз по тарелкам жидкость обогащается высококипящим (высококипящими) компонентами, а пары, чем выше поднимаются в верх колонны, тем более обогащаются легкокипящими компонентами. Таким образом, отводимый с верха колонны продукт обогащен легкокипящим компонентом. Продукт, отводимый с верха колонны, называют **дистиллятом**. Часть дистиллята, сконденсированного в холодильнике и возвращенного обратно в колонну, называют **орошением или флегмой**.



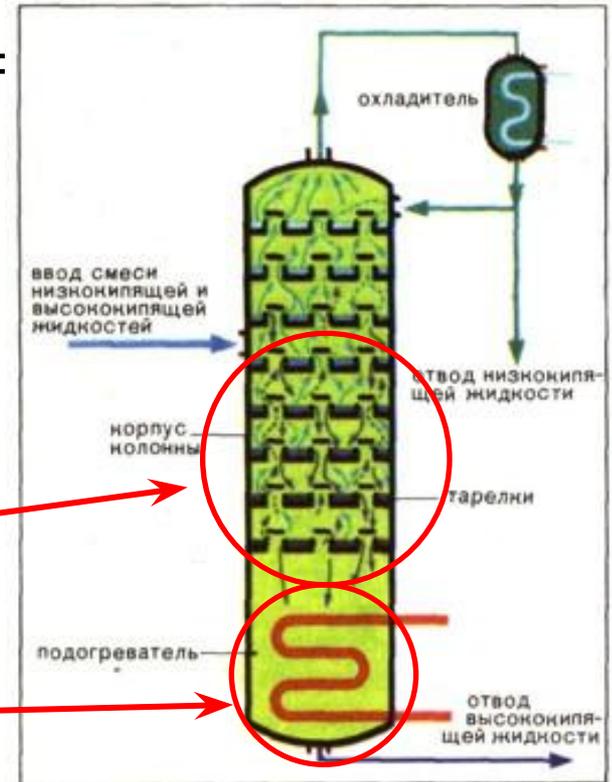


Принцип работы ректификационной колонны

- Для создания восходящего потока паров в **кубовой** (нижней, отгонной) части ректификационной колонны часть кубовой жидкости направляют в теплообменник, образовавшиеся пары подают обратно под нижнюю тарелку колонны.

Кубовая часть
колонны

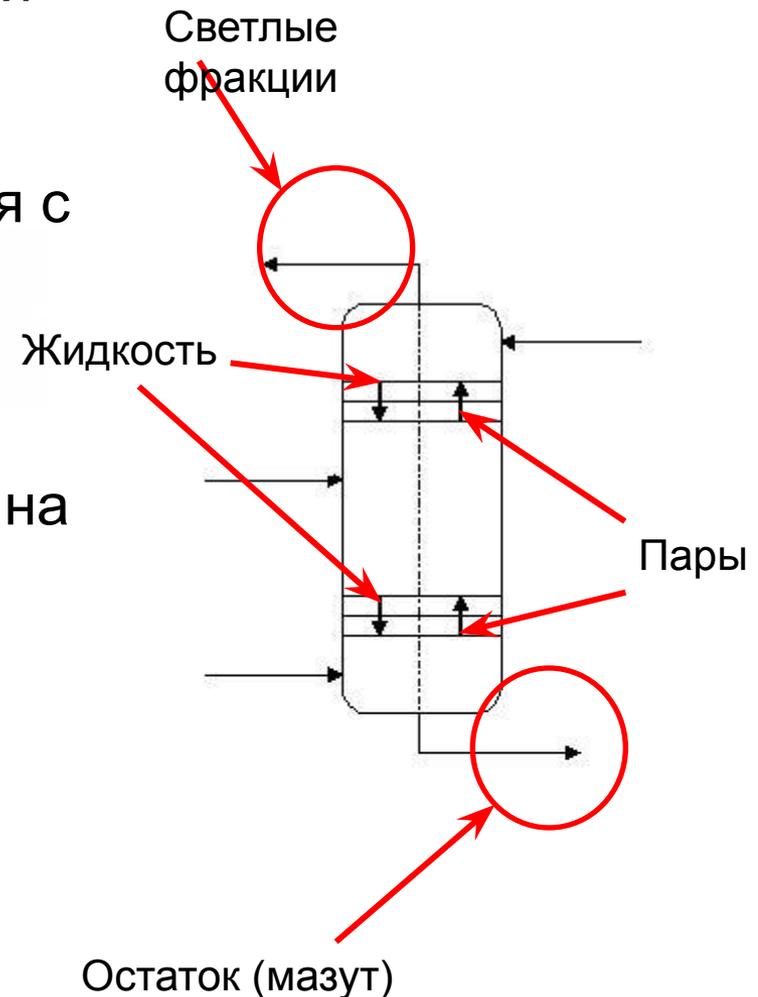
Теплообменник
(подогреватель)





Принцип работы ректификационной колонны

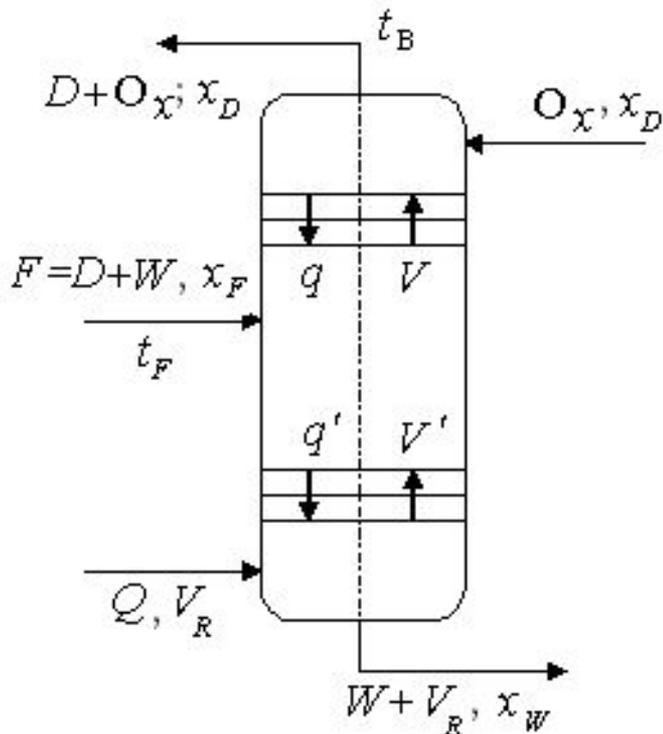
- В работающей ректификационной колонне через каждую тарелку проходят 4 потока:
- 1) жидкость – флегма, стекающая с вышележащей тарелки;
- 2) пары, поступающие с нижележащей тарелки;
- 3) жидкость – флегма, уходящая на нижележащую тарелку;
- 4) пары, поднимающиеся на вышележащую тарелку.





При установившемся режиме работы колонны уравнение материального баланса представляется в следующем виде $D + W$,

тогда для низкокипящего компонента $F \cdot x_F = D \cdot x_D + W \cdot x_W$.



$$F x_F = D x_D + (F - D) x_W$$

$$D = \frac{(x_F - x_W)}{x_D - x_W} F$$

$$W = \frac{x_F - x_D}{x_W - x_D} F$$



Флегмовое число (R)

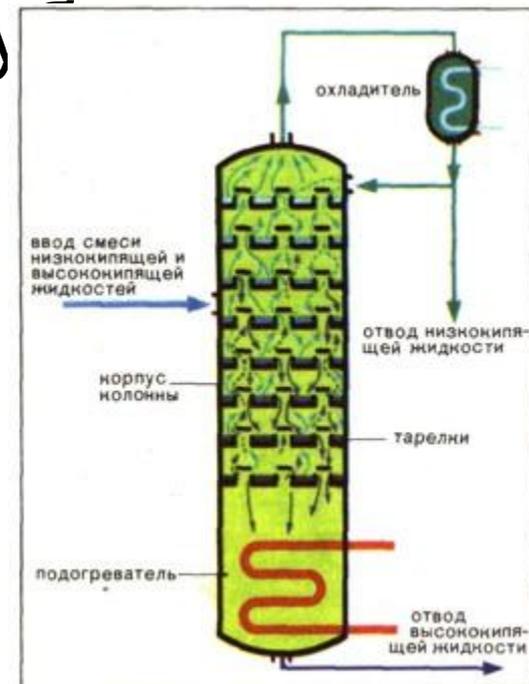
- соотношение жидкого и парового потоков в концентрационной части колонны ($R = L/D$; L и D – количество флегмы и ректификата).





Паровое число (Π)

- отношение контактируемых потоков пара и жидкости в отгонной секции колонны ($\Pi = G / W$; G и W – количество соответственно паров и ку остатка).





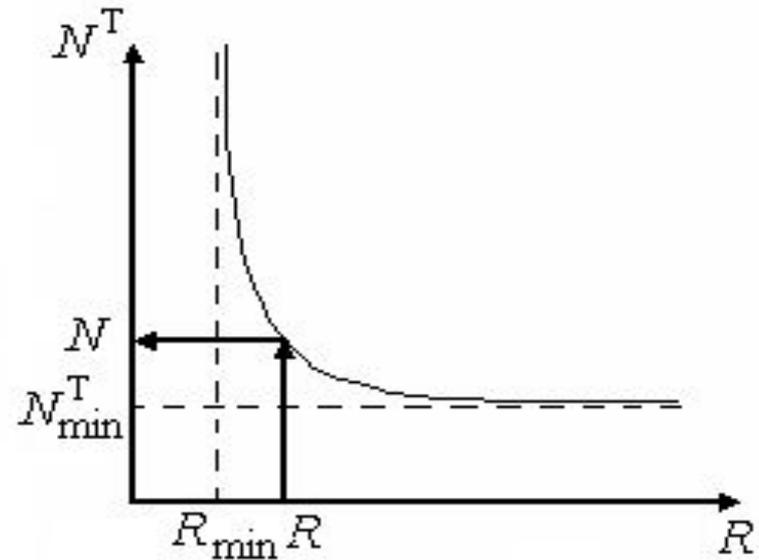
Теоретическая тарелка

- При количественном рассмотрении работы ректификационных колонн обычно используется концепция ***теоретической тарелки***. Под такой тарелкой понимается гипотетическое контактное устройство, в котором устанавливается термодинамическое равновесие между покидающими его потоками пара и жидкости.



Число тарелок

- определяется числом теоретических тарелок, обеспечивающим заданную четкость разделения при принятом флегмовом (и паровом) числе, а также эффективностью контактных устройств (обычно КПД реальных тарелок или удельной высотой насадки, соответствующей одной теоретической тарелке).





Четкость погоноразделения

- В нефтепереработке в качестве достаточно высокой разделительной способности колонны перегонки нефти на топливные фракции считается налегание температур кипения соседних фракций в пределах 10–30 °С (косвенный показатель четкости разделения)

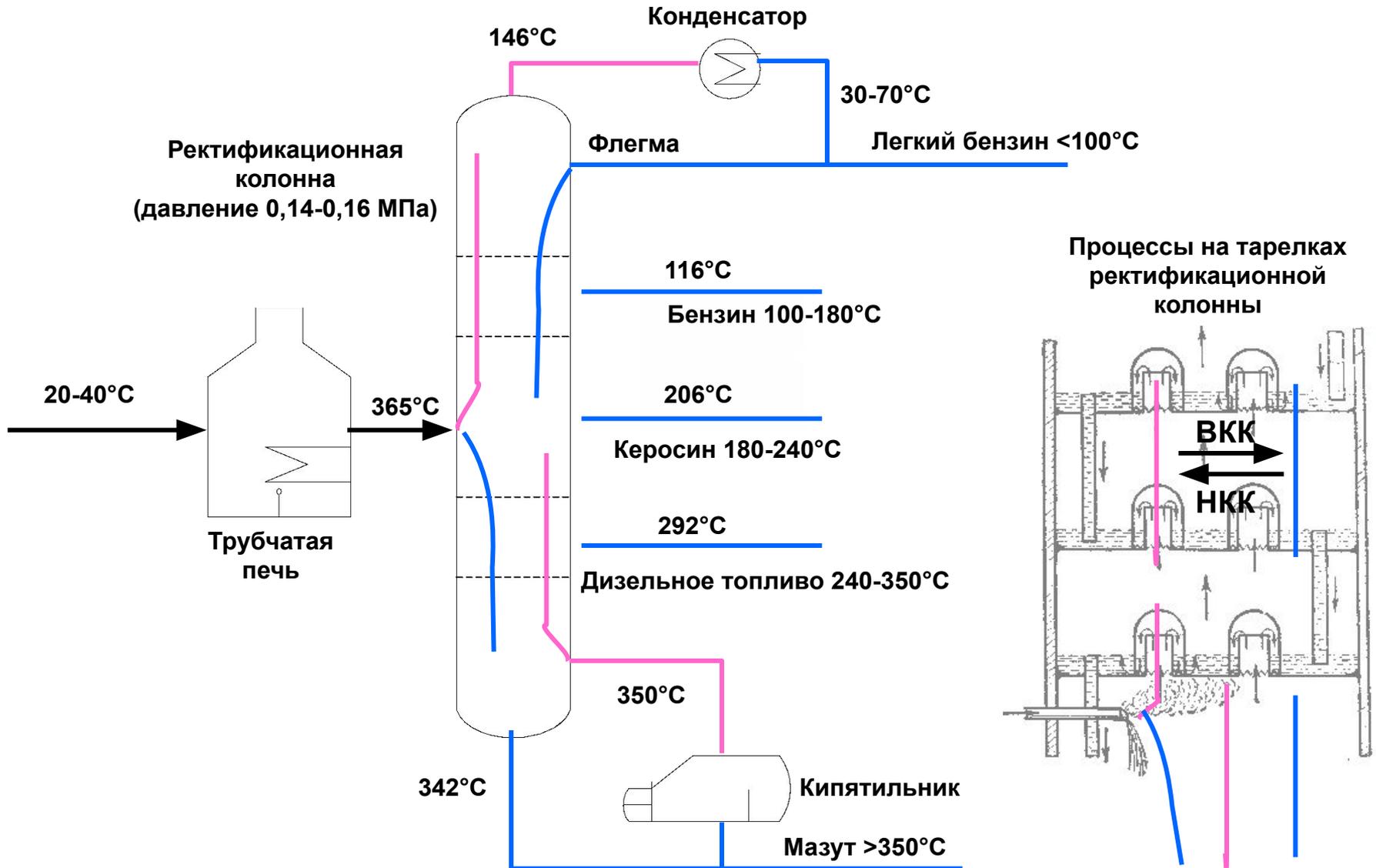
Бензиновая фракция:
температура кипения 32-180 °С



Масляная фракция: температура кипения
300—600 °С



Перегонка нефти в промышленных условиях





Перегонка нефти в промышленных условиях

Исторически при промышленной перегонке нефти получали:

- Конец 19-начало 20 вв. – керосин (осветительный, готовое топливо);
- Первая половина 20 вв. – бензин, керосин, дизельное топливо – как готовые топлива;
- Вторая половина 20 вв. – дистилляты различного состава, не менее 5 фракций;

Сейчас **АВТ** играет роль **диспетчера** на НПЗ. АВТ – головной процесс, **первичный** процесс (первичная перегонка). **ВСЕ** получаемые дистилляты далее идут на **вторичную** переработку:

- ДТ – очистка от серы, депарафинизация;
- Бенз.Фр. – повышение октанового числа (облагораживание);
- Керосин – очистка от серы;
- Мазут – снижение вязкости (висбрекинг).

Мощность современных АВТ – 3-8 млн. т в год. Энергоемкость – 20-35 кг топлива (получаемого из нефти) на 1 т нефти. На заводе может быть несколько установок АВТ или ЭЛОУ-АВТ (например, на Киришском НПЗ 4 шт.: 1 – АВТ-3, 3 – АВТ-6, общая мощность НПЗ по нефти 21 млн. т. В год)

При переходе к укрупненной установке взамен двух или нескольких установок меньшей пропускной способности эксплуатационные расходы и первоначальные затраты на 1 т перерабатываемой нефти уменьшаются, а производительность труда увеличивается



Перегонка нефти в промышленных условиях

Прямую перегонку осуществляют при атмосферном или несколько повышенном давлении, а остатков — под вакуумом. АТ и ВТ строят отдельно друг от друга или комбинируют в составе одной установки (АВТ).

АТ подразделяют в зависимости от технологической схемы на следующие группы:

- 1) установки с однократным испарением нефти;
- 2) установки с двукратным испарением нефти;
- 3) установки с предварительным испарением в эвапораторе легких фракций и последующей ректификацией.

ВТ подразделяют на две группы:

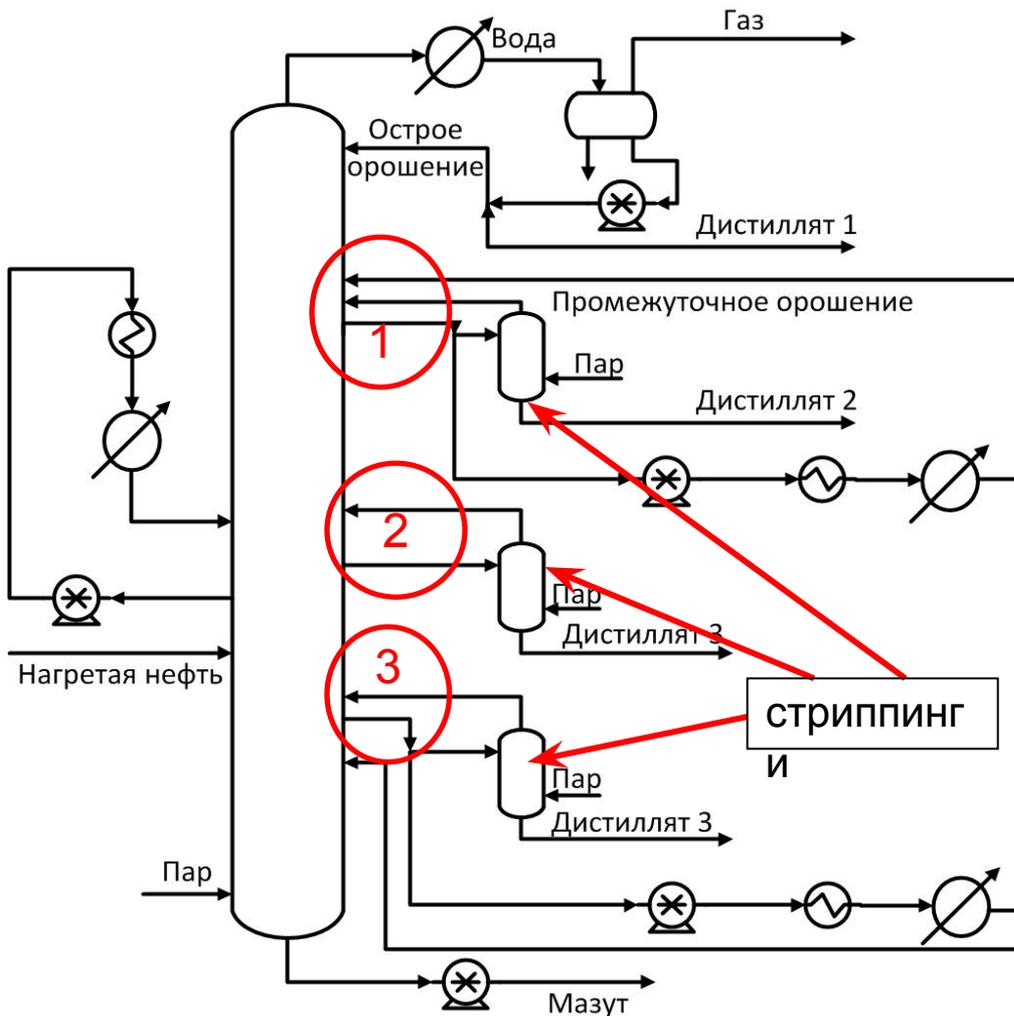
- 1) установки с однократным испарением мазута;
- 2) установки с двукратным, испарением мазута (двухступенчатые).

Широко распространены установки с **предварительной отбензинивающей колонной и основной ректификационной атмосферной колонной**, работоспособные при значительном изменении содержания в нефтях бензиновых фракций и растворенных газов.

Процесс первичной переработки нефти наиболее часто комбинируют с процессами обезвоживания и обессоливания, вторичной перегонки и стабилизации бензиновой фракции: ЭЛОУ—АТ, ЭЛОУ—АВТ, ЭЛОУ—АВТ — вторичная перегонка, АВТ — вторичная перегонка.



Ректификационные колонны



Простые колонны

используются для разделения исходной смеси (сырья) на два продукта.

Сложные колонны разделяют исходную смесь больше, чем на два продукта: 1-я – ректификационная колонна с отбором дополнительной фракции непосредственно из колонны в виде боковых погонов (1,2,3); 2-я – ректификационная колонна, у которой дополнительные продукты отбираются из специальных отпарных колонн (стриппингов).

Сложные колонны
ректификации



Перегонка нефти в промышленных условиях

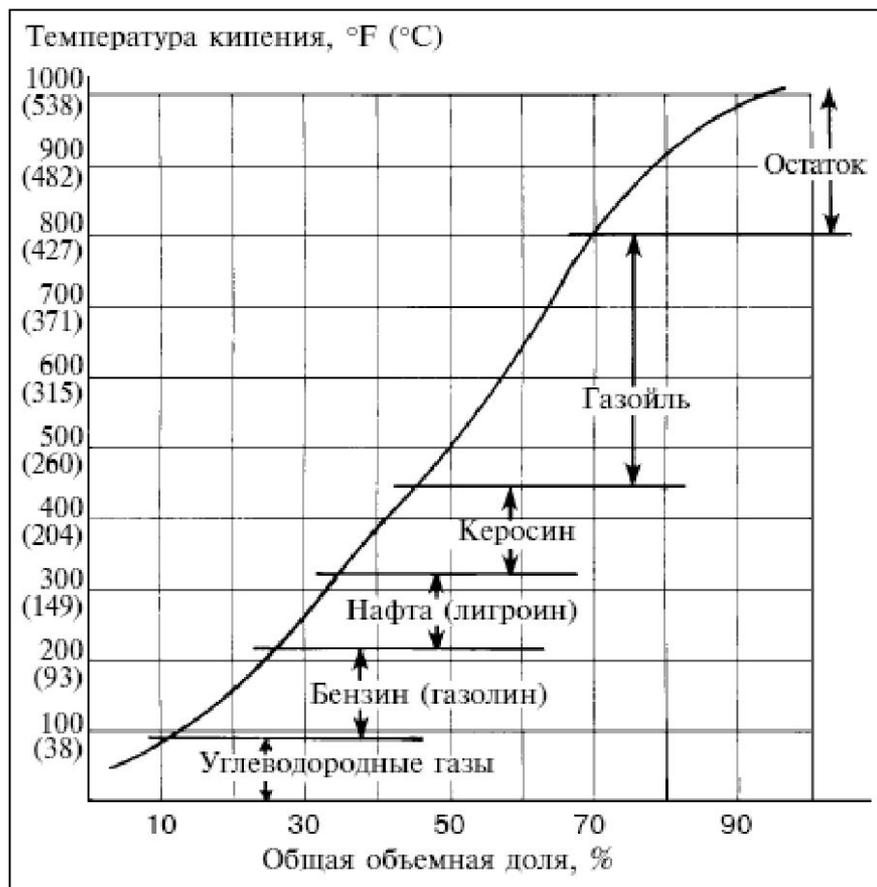


Рис. 2.4. Кривая разгонки сырой нефти и полученные фракции.

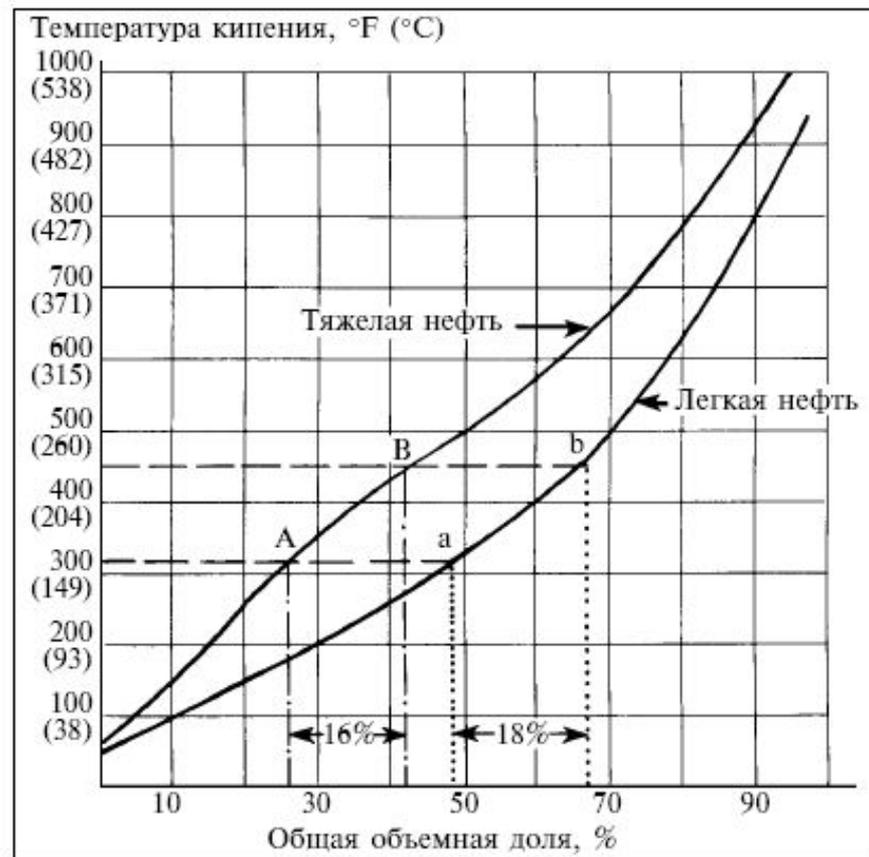


Рис. 2.5. Керосиновая фракция в двух типах сырой нефти.



Установки первичной переработки нефти

- Ректификационные установки по принципу действия делятся на ***периодические*** и ***непрерывные***.
- В установках **непрерывного действия** разделяемая сырая смесь поступает в колонну и продукты разделения выводятся из нее непрерывно.
- В установках **периодического действия** разделяемую смесь загружают в куб одновременно и ректификацию проводят до получения продуктов заданного конечного состава.



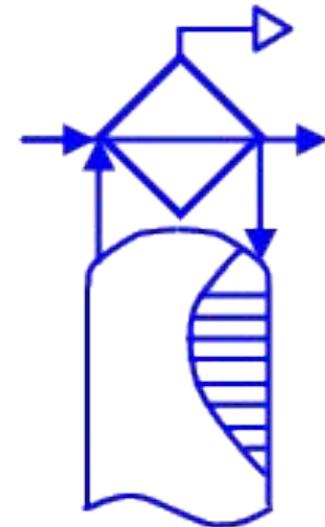
Способы регулирования температурного режима ректификационных колонн

- Регулирование теплового режима – отвод тепла в концентрационной (укрепляющей) зоне, подвод тепла в отгонной (исчерпывающей) секции колонн и нагрев сырья до оптимальной температуры.



Отвод тепла

- использование парциального конденсатора (кожухотрубчатый теплообменный аппарат; применяется в малотоннажных установках; трудность

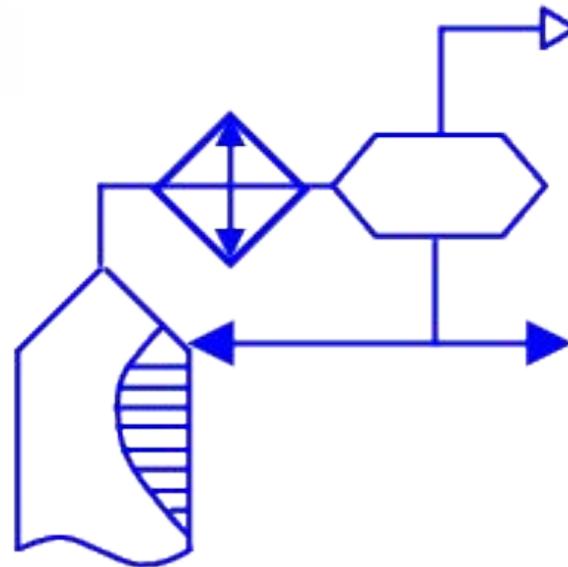


Цилиндрические
теплообменники



Отвод тепла

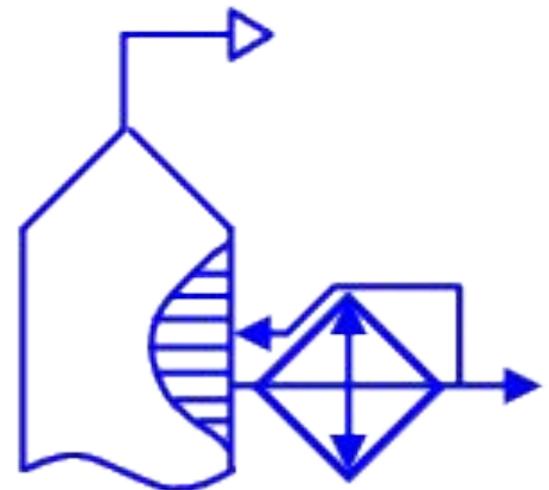
- организация испаряющегося (холодного) орошения (наиболее распространенного в нефтепереработке)





Отвод тепла

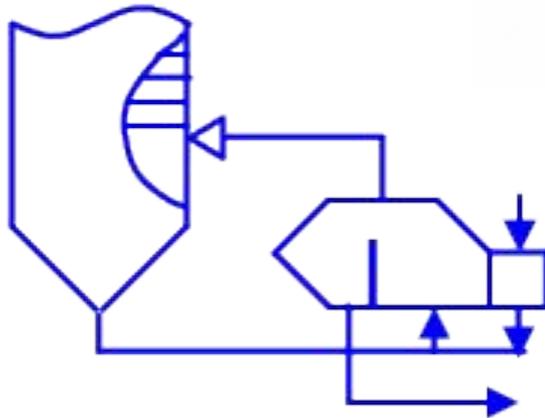
- организация неиспаряющегося (циркуляционного) орошения, используемого широко и не только для регулирования температуры наверху, но и в средних сечениях сложных колонн.





Подвод тепла в отгонной секции

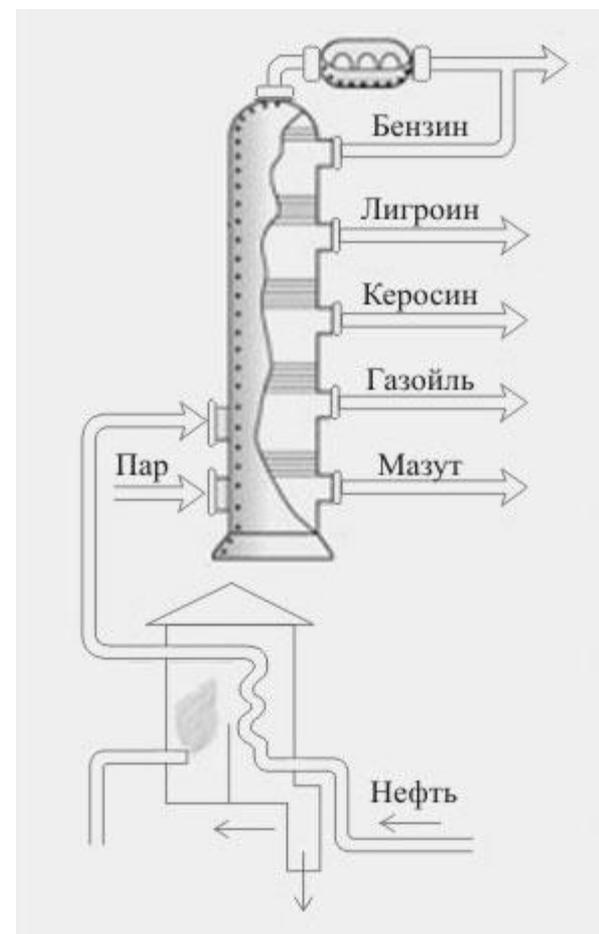
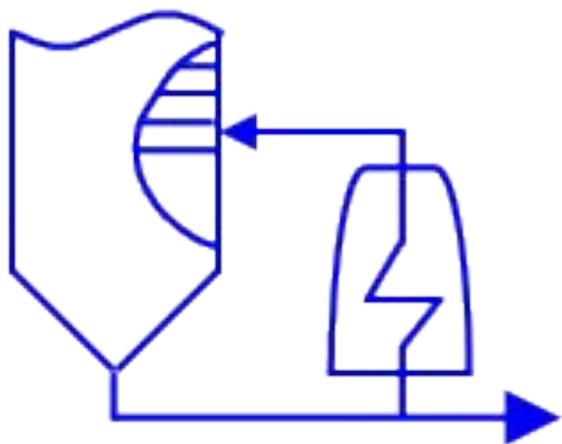
- нагрев остатка ректификации в кипятильнике с паровым пространством





Подвод тепла в отгонной секции

- циркуляция части остатка, нагретого в трубчатой печи





Установки первичной переработки нефти

- Ректификацию осуществляют на трубчатых установках:
- атмосферная трубчатая установка (АТ);
- вакуумная трубчатая установка (ВТ);
- атмосферно-вакуумная трубчатая установка (АВТ).



Внешний вид установки
первичной переработки
нефти на Московском
НПЗ



Установки первичной переработки нефти. Атмосферная трубчатая установка (АТ)

- Является наипростейшей схемой первичной перегонки нефти.
- На установках АТ осуществляют неглубокую перегонку нефти с получением топливных (бензиновых, керосиновых, дизельных) фракций и мазута.

Внешний вид
атмосферной трубчатой
установки

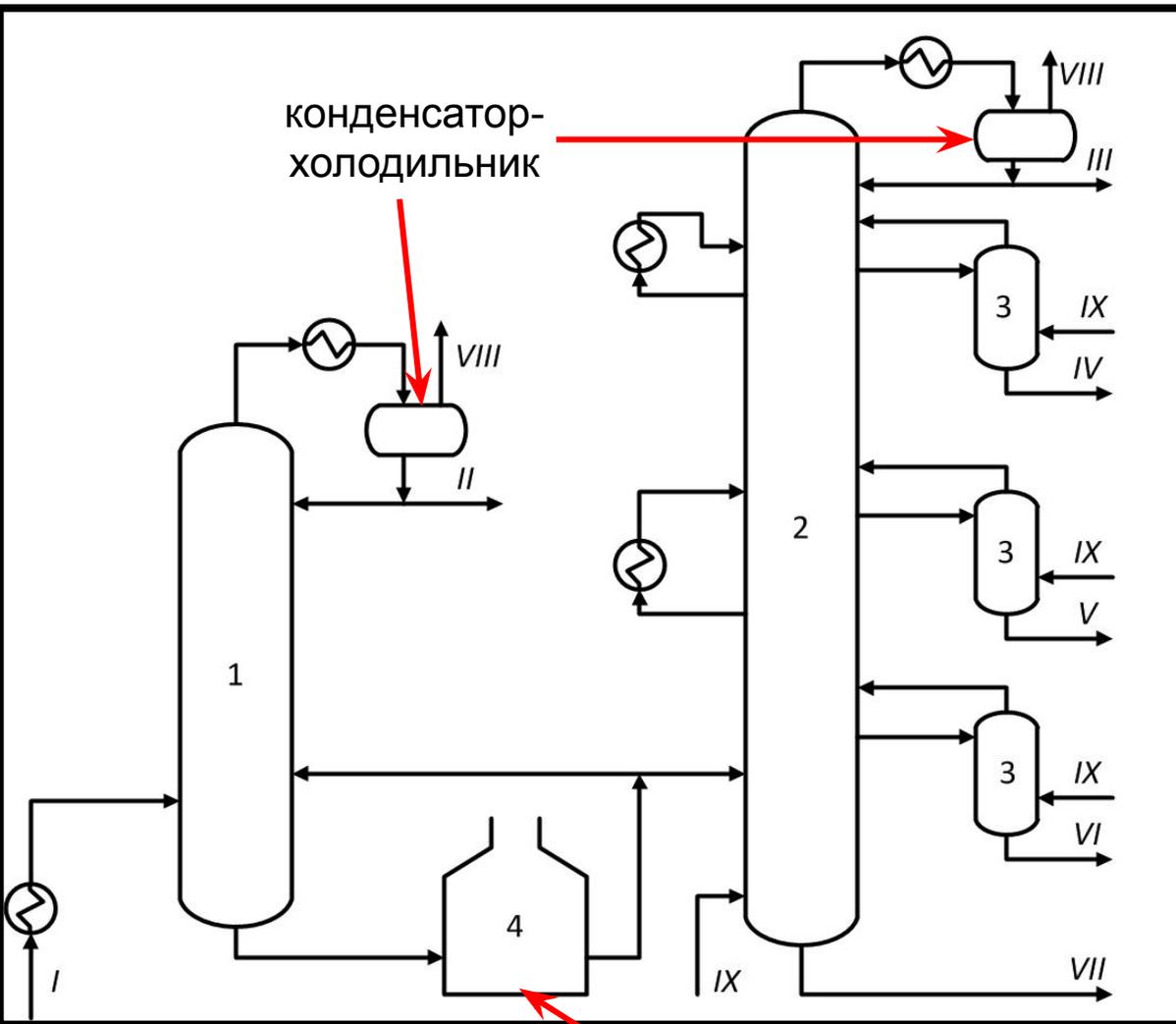




Установки первичной переработки нефти.

Принципиальная схема АТ

конденсатор-холодильник



Для перегонки легких нефтей и фракций до 350 °С (I) применяют АТ: установки с предварительной отбензинивающей колонной (1) и сложной ректификационной колонной (2) с боковыми отпарными секциями (3) для разделения частично отбензиненной нефти на топливные фракции (III, IV, V, VI) и мазут (VII).

трубчатая печь для нагрева куба



Материальный баланс АТ

Поступило, %	
Нефть	100
Получено, % на нефть	
Газ и нестабильный бензин (н.к.-180 °С)	19,1
Фракции	
180-220°С	7,4
220-280°С	11,0
280-350°С	10,5
Мазут	52,0

Технологический режим

Колонна частичного отбензинивания нефти	Атмосферная колонна
Температура питания 205°С	Температура питания 365°С
Температура верха 155 °С	Температура верха 146°С
Температура низа 240°С	Температура низа 342°С
Давление 0,5 МПа	Давление 0,25 МПа



Установки первичной переработки нефти. Вакуумные трубчатые установки (ВТ)

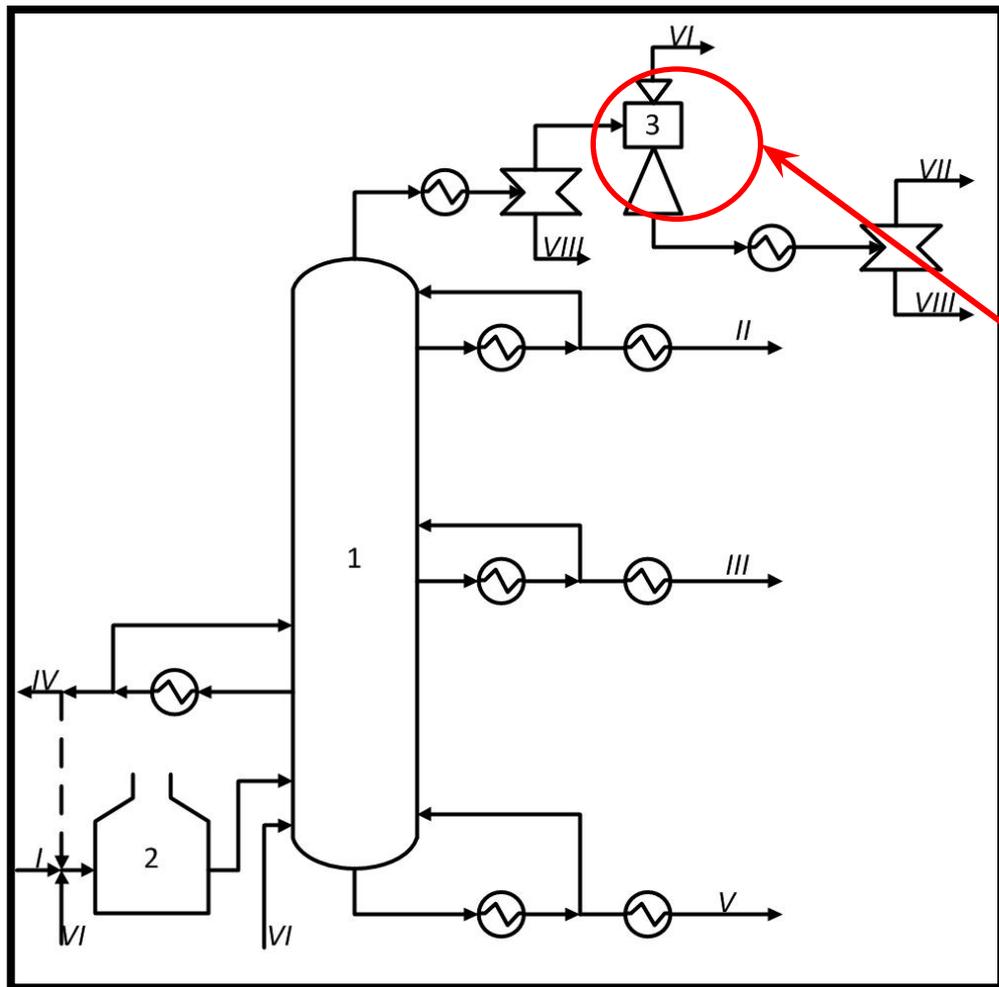
- Установки ВТ предназначены для перегонки мазута.
- При вакуумной перегонке из мазута получают вакуумные дистилляты, масляные фракции и тяжелый остаток – **гудрон**.
- Полученный материал используется в качестве сырья для получения масел, парафина, битумов. Остаток (концентрат, гудрон) после окисления может быть использован в качестве дорожного и строительного битума или в качестве котельного топлива.

Внешний вид вакуумной
трубчатой установки



Установки первичной переработки нефти.

Принципиальная схема ВТ



Мазут, отбираемый с низа атмосферной колонны блока АТ прокачивается параллельными потоками через печь 2 в вакуумную колонну 1. Смесь нефтяных и водяных паров поступают в вакуумсоздающую систему. После конденсации и охлаждения в конденсаторе-холодильнике она разделяется в газосепараторе на газ и жидкость. Газы отсасываются вакуумным насосом 3, а конденсат поступает в отстойник для отделения нефтепродуктов от водяного конденсата. Верхним боковым погоном отбирают фракцию легкого вакуумного газойля (соляра) (II), вторым боковым погоном - широкую газойлевую фракцию (масляную) (III), с низа колонны отбирается гудрон (V).



Материальный баланс ВТ

Поступило, %	
Поступило, % на нефть	
Мазут	52
Получено, % на нефть	
Легкий вакуумный газойль	1,2
Вакуумный газойль	22,0
Гудрон	28,8
Технологический режим в вакуумной колонне	
Температура питания, °С	395
Температура верха, °С	125
Температура низа, °С	352
Давление наверху абс., кПа	8,0

Характеристика вакуумной колонны

	Диаметр, м	Число тарелок
Верхняя часть	6,4	4
Средняя часть	9,0	10
Нижняя часть	4,5	4



Установки первичной переработки нефти. Атмосферно-вакуумная трубчатая установка (АВТ)

- Атмосферные и вакуумные трубчатые установки (АТ и ВТ) строят отдельно друг от друга или комбинируют в составе одной установки (АВТ).
- **АВТ состоит из следующих блоков:**
- блок обессоливания и обезвоживания нефти;
- блок атмосферной и вакуумной перегонки нефти;
- блок стабилизации бензина;
- блок вторичной перегонки бензина на узкие фракции.

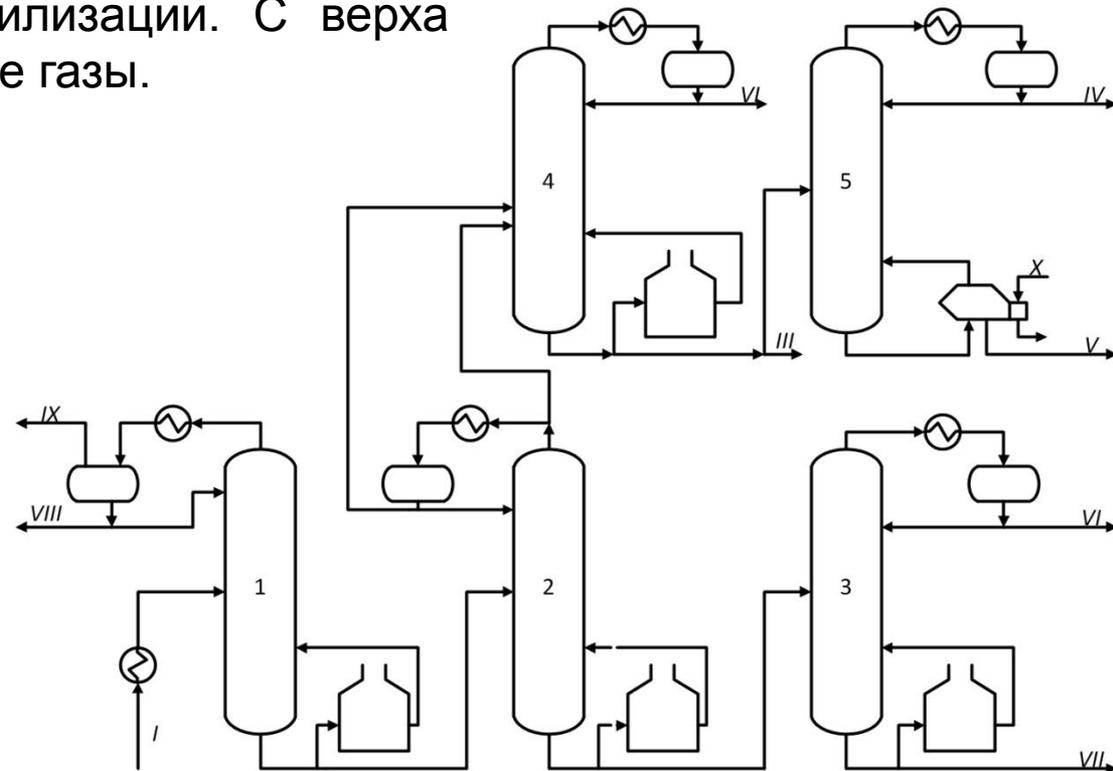


Принципиальная схема блока стабилизации и вторичной перегонки бензина установки ЭЛОУ-АВТ-6

Прямогонные бензины после стабилизации сначала разделяются на 2 промежуточные фракции н.к.-150 °С

и 105-180 °С, каждая из которых в дальнейшем направляется на последующее разделение на узкие целевые фракции. Нестабильный бензин из блока АТ поступает в колонну стабилизации. С верха колонны 1 отбираются сжиженные газы.

Из стабильного бензина в колонне 2 отбирают фракцию н.к.-105 °С. В колонне 3 происходит разделение на фракции н.к.-62 °С и 62-105 °С. В колонне 4 происходит дальнейшее разделение на фракции 62-85 °С (бензольная) и 85-105 °С (толуольная). Остаток колонны 2 направляют на разделение в колонну 5 на фракции 105-140 °С и 140-180 °С.





Технологический режим и характеристика ректификационных колонн блока стабилизации и вторичной перегонки

Показатель	Номер колонны				
	1	2	3	4	5
Температура, °С					
Питания	145	154	117	111	150
Верха	75	134	82	96	132
Низа	190	202	135	127	173
Давление, МПа	1,1	0,45	0,35	0,20	0,13
Число тарелок	40	60	60	60	60





Материальный баланс блока стабилизации и вторичной перегонки бензина

Поступило, % на нефть:	
Нестабильный бензин	19,1
Получено, % на нефть	
Сухой газ (C_1-C_2)	0,2
Сжиженный газ (C_2-C_4)	1,13
Фракция C_5-62 °C	2,67
Фракция 62-105 °C	6,28
Фракция 105-140 °C	4,61
Фракция 140-180 °C	4,21



Расходные показатели установки ЭЛОУ-АВТ-6

- На 1 тонну перерабатываемой нефти:

Топливо жидкое, кг	33,4
Электроэнергия, кВт·час	10,4
Вода оборотная, м ³	4,3
Водяной пар (1 МПа), кг	1,1

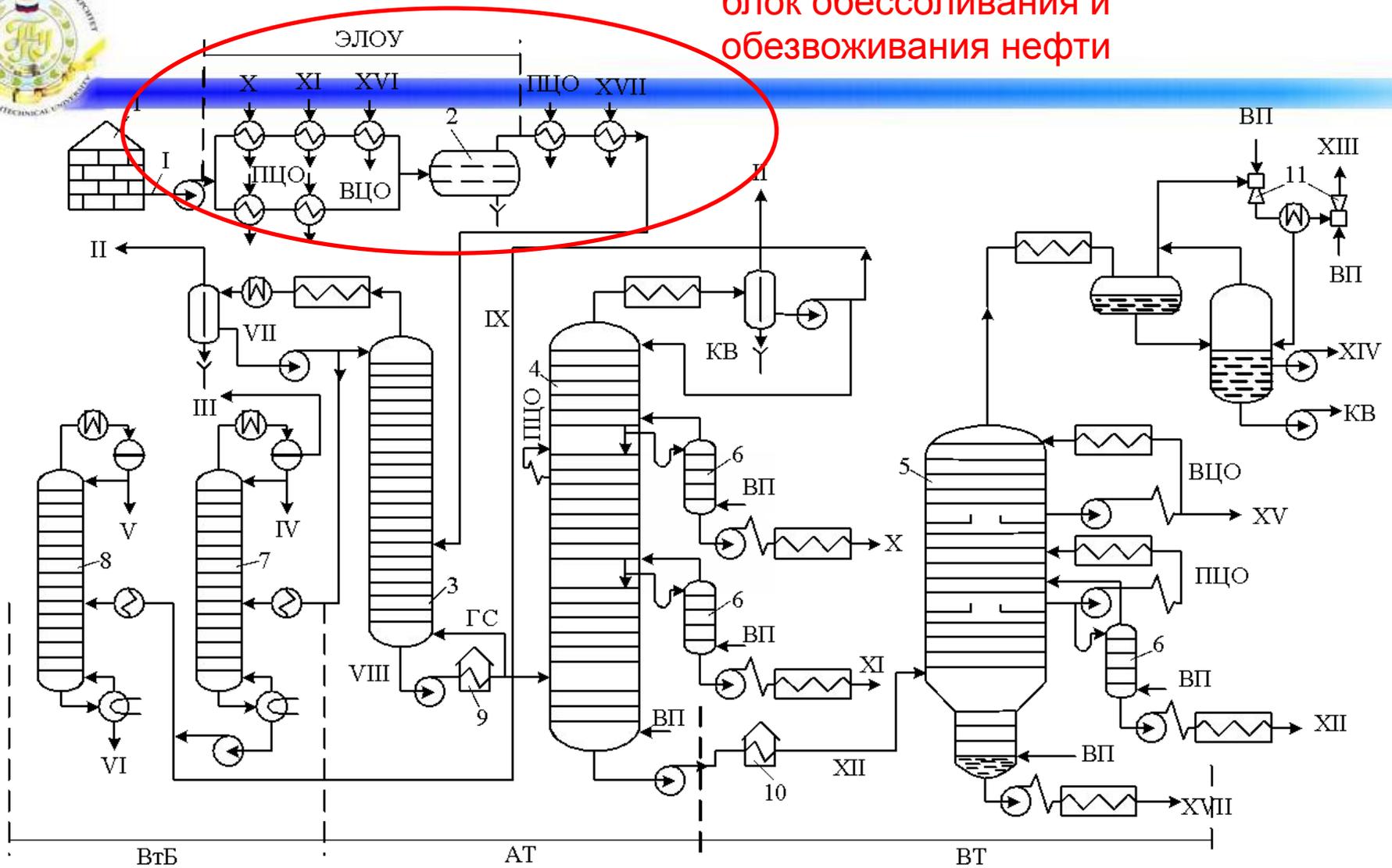


Материальный баланс перегонки нефти и использование дистиллятов

- Общий материальный баланс: выход (% мас.) всех конечных продуктов перегонки от исходной нефти, количество которой принимают за 100 %.
- Поступенчатый баланс: за 100 % принимают выход (% мас.) продуктов перегонки на данной ступени (продукты могут быть промежуточные).



блок обессоливания и обезвоживания нефти



блок вторичной перегонки бензина

атмосферная перегонка

вакуумная колонная

Принципиальная технологическая схема ЭЛОУ-АВТ



Материальный баланс перегонки нефти и использование дистиллятов

- Нефть (I) (100 %) поступает на установку с содержанием минеральных солей от 50–300 мг/л и воды 0,5–1,0 % (мас.)
- Углеводородный газ (II). В легкой нефти ($\rho = 0,80–0,85$) – 1,5–1,8 % (мас.). Для тяжелой – 0,3–0,8 % (мас.)
- Сжиженная головка стабилизации бензина (IV) содержит пропан и бутан с примесью пентанов (0,2–0,3 % мас.), используется для бытовых нужд (сжиженный газ) или в качестве газового моторного топлива для автомобилей (СПБТЛ или СПБТЗ).



Материальный баланс перегонки нефти и использование дистиллятов

- Легкая головка бензина (V) – фракция бензина Н.К. (начало кипения) – 85 °С (4–6 % мас.); О.Ч.М (октановое число по моторному методу) не более 70.
- Бензиновая фракция (VI) 85–180 °С. Выход ее от нефти в зависимости от фракционного состава обычно составляет 10–14 % мас. Октановое число (О.Ч.М = 45–55).
- Керосин (X): 1) отбор авиационного керосина – фракция 140–230 °С (выход 10–12 % мас.); 2) компонент зимнего или арктического дизельного топлива (фракции 140–280 или 140–300 °С), выход 14–18 % (мас.)



Материальный баланс перегонки нефти и использование дистиллятов

- Дизельное топливо (XI) – атмосферный газойль 180–350 °С (выход 22–26 % мас., если потоком (X) отбирается авиакеросин или 10–12 % (мас.), если потоком (X) отбирается компонент зимнего или арктического дизельного топлива.
- Легкая газойлевая фракция (XIV) (выход 0,5–1,0 % мас.
- Легкий вакуумный газойль (XV) – фракция 240–380 °С, выход этой фракции составляет 3–5 % мас.



- Первичная прямая перегонка нефти даёт сравнительно мало бензина (выход от 4 до 25 %). Увеличение выхода бензина достигается применением вторичной переработки более тяжёлых нефтяных фракций, а также мазута с помощью деструктивных

М





Перегонка нефти в промышленных условиях

Атмосферно-вакуумная перегонка нефти с отбензинивающей колонной

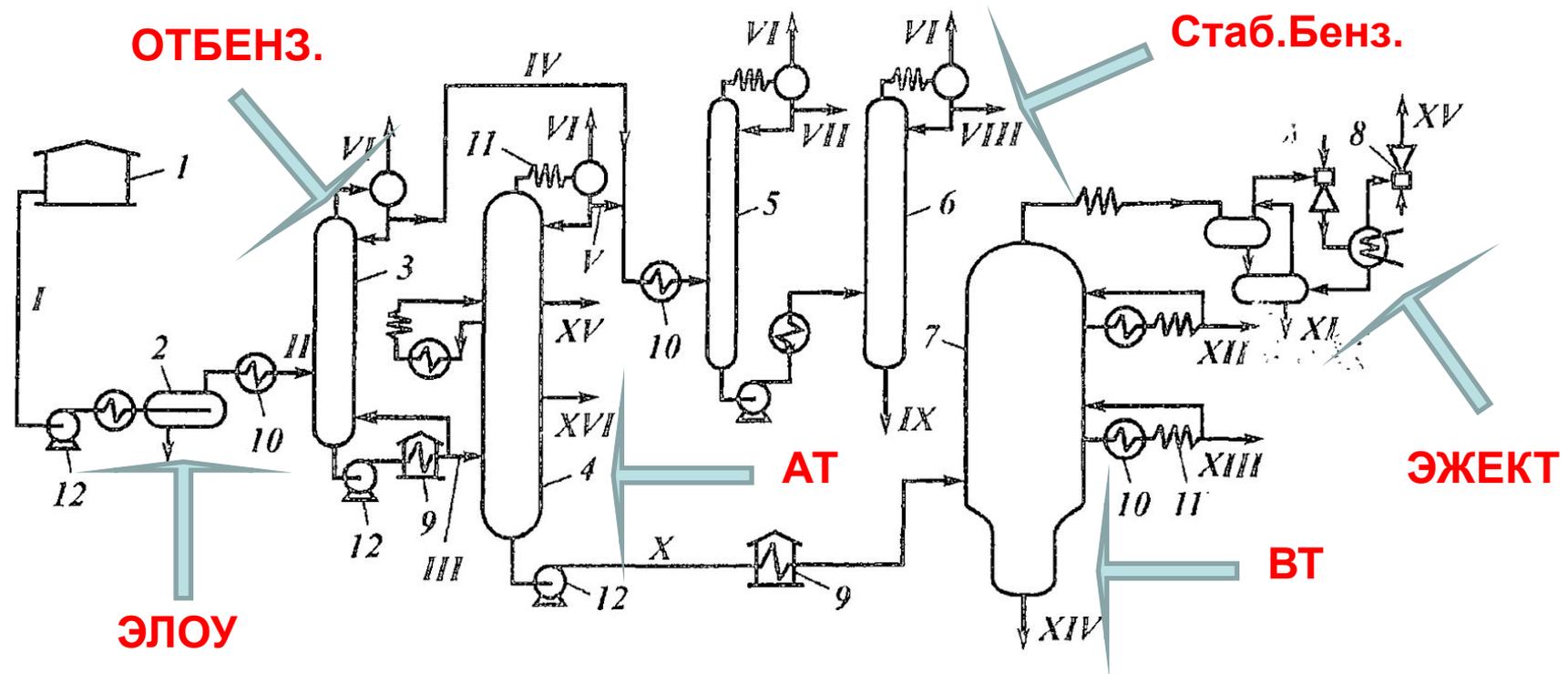


Рис. 4.1. Принципиальная схема типовой современной АВТ:

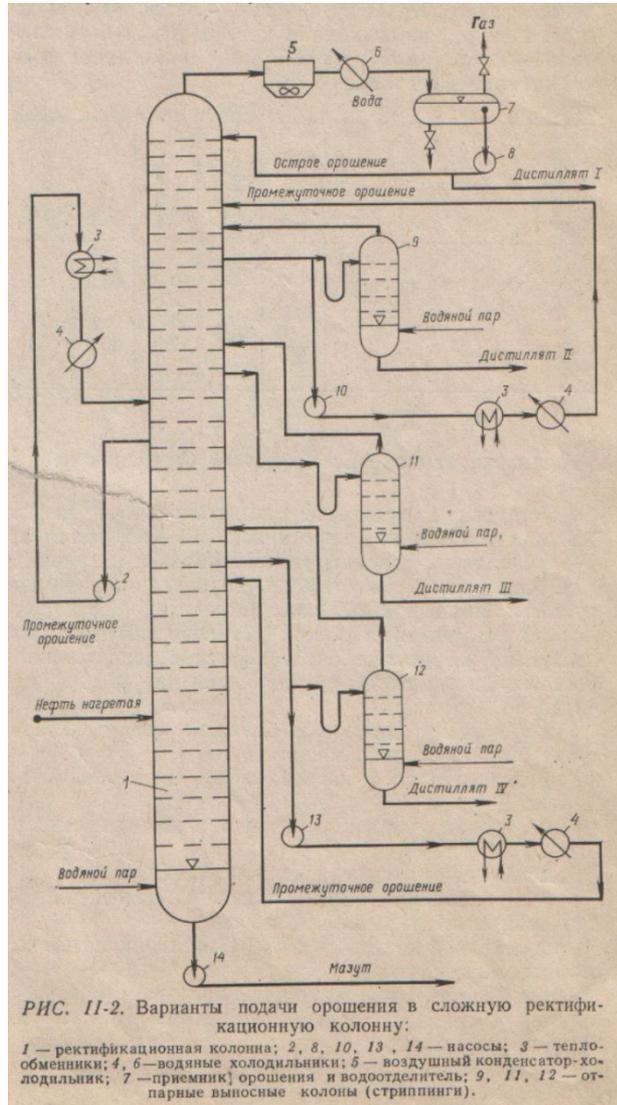
1 – резервуар с нефтью; 2 – блок ЭЛОУ; 3 – отбензинивающая колонна; 4 – атмосферная колонна; 5 – колонна стабилизации; 6 – колонна вторичной перегонки бензина; 7 – вакуумная колонна; 8 – эжектор; 9 – печи; 10 – теплообменники; 11 – холодильники; 12 – насосы;

п о т о к и: I – сырая нефть; II – обессоленная нефть; III – отбензиненная нефть; IV, V – бензиновые фракции; VI – углеводородные газы; VII – сжиженный газ; VIII – фракция НК – 85 °С; IX – фракция 85–180 °С; X – мазут; XI – газойлевая фракция; XII – легкий вакуумный газойль; XIII – вакуумный газойль; XIV – гудрон; XV – керосин; XVI – дизельное топливо



Перегонка нефти в промышленных условиях

Тепловой режим в колонне, промежуточное орошение



- Виды острого орошения в атмосферной колонне:
- Верх - верхний дистиллят;
 - различные точки по высоте колонны — несколько промежуточных циркуляционных орошений:
- 1) Промежуточное орошение чаще всего отводят в выносную отпарную колонну с одной из тарелок, расположенных ниже или выше точки вывода бокового дистиллята.
 - 2) В качестве промежуточного орошения используют сам боковой погон, который после охлаждения возвращают в колонну выше или ниже точки ввода в нее паров из отпарной выносной колонны.

Применяя орошение, рационально используют избыточное тепло колонны для подогрева нефти, при этом выравниваются нагрузки по высоте колонны, и это обеспечивает оптимальные условия ее работы.



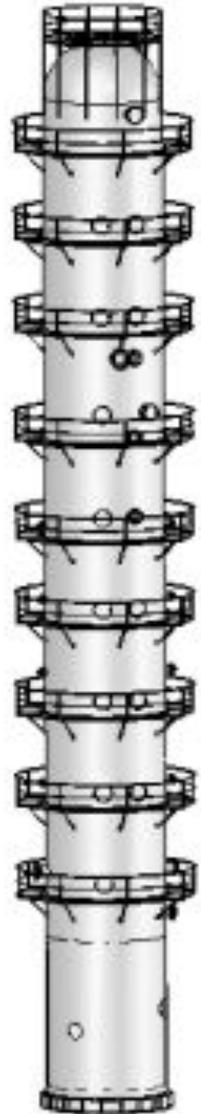
Перегонка нефти в промышленных условиях

Колонна	Число тарелок	Тип тарелок
<u>Установка АВТ</u>		
Атмосферная предварительная	28	Клапанные (верх - двух-поточные, низ - четырёхпоточные)
Атмосферная основная	49	Клапанные
Вакуумная	18	Верх - клапанные, S-образные, низ - решетчатые, струйные
Отпарная	4	Клапанные



Перегонка нефти в промышленных условиях

Температура, °С	
подогрева нефти в теплообменниках	200—230
подогрева отбензиненной нефти в змеевиках трубчатой печи	330—360
паров, уходящих из отбензинивающей колонны	120—140
внизу отбензинивающей колонны	240—260
паров, уходящих из основной колонны	120—130
внизу основной колонны	340—355
ввода сырья в вакуумную колонну	380 - 400
верха вакуумной колонны	180 - 200
низа вакуумной колонны	350 - 360
Давление, МПа	
в отбензинивающей колонне	0,4—0,5
в основной колонне	0,15—0,2.
Давление, кПа	
вверху вакуумной колонны	7,85 – 8,85





Перегонка нефти в промышленных условиях

Материальный баланс (для установки типа АТ)

	Ромашкинская нефть	Самотлорская нефть
Взято, % (масс.)		
Нестабильная нефть	100,0	100,0
Вода эмульсионная	0,1	0,1
Итого	100,1	100,1
Получено, % (масс.)		
Углеводородный газ	1,0	1,1
Бензиновая фракция (н.к. - 140)	12,2	18,5
Керосиновая фракция (140-240)	16,3	17,9
Дизельная фракция (240-350)	17,0	20,3
Мазут (>350)	52,7	41,4
Потери	0,9	0,9
Итого	100,1	100,1

Отбензинивающую колонну применяют при высоком содержании легких УВ: газы – не менее 1,5-2,2 %, бензиновые фракции – не менее 20-30 %, в целом светлые фракции – не менее 50-60 %.



Продукты перегонки нефти в промышленных условиях

Таблица Конечные продукты АВТ

Наименование	Фракции	Выход, %	Использование
Газ колонн 3 и 4	C_1-C_4	0,1–0,8	В топке печей
Газ колонны 5	C_1-C_2	0,5–1,0	То же
Сжиженный газ (VII)	C_3-C_4	0,6–1,2	На установку ГФУ; бытовое топливо
Бензиновая головка	НК – 85 °С	2–5	На изомеризацию
Бензин	85–180 °С	5–15	На каталитический риформинг
Авиакеросин ТС-1 (или уайт-спирит)	140–230 °С (150–200) °С	7–12 (5–7)	Товарный растворитель
Дизельное топливо марки "Л" (или марки "З")	180–360 °С (150–340) °С	22–26 (15–20)	На гидроочистку, депарафинизацию и получение низкозастывающего топлива и жидкого парафина
Мазут	Выше 350 °С	40–70	Компонент котельного топлива; на вакуумную перегонку
<i>Вакуумная перегонка мазута</i>			
Газойлевая фракция	150–280 °С	0,5–0,8	Компонент дизельного топлива
Легкий вакуумный газойль	250–380 °С	2–4	Компонент дизельного, котельного или газотурбинного топлива
Наименование	Фракции	Выход, %	Использование
Вакуумный газойль (или утяжеленный вакуумный газойль)	300–500 °С (350–550 °С)	20–25 (25–32)	На гидроочистку и каталитический крекинг с получением ценных моторных топлив
Гудрон	Выше 500 °С (или 550 °С)	12–15 (10–12)	На коксование или висбрекинг На получение битума; компонент котельного топлива
<i>При вакуумной перегонке по масляной схеме вместо фракции 350–500 °С и гудрона выделяются:</i>			
1-я масляная фракция	350–420 °С	8–12	На селективную очистку, депарафинизацию, гидроочистку с получением базовых дистиллятных масел
2-я масляная фракция	420–500 °С	12–14	
Гудрон	Выше 500 °С	15–18	Деасфальтизация, селективная очистка и т.д. с получением базового остаточного масла



Перегонка нефти в промышленных условиях

Особенности процесса:

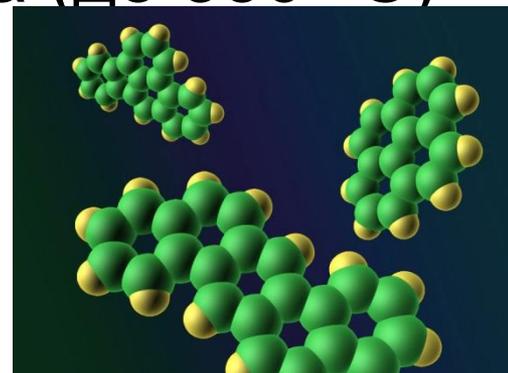
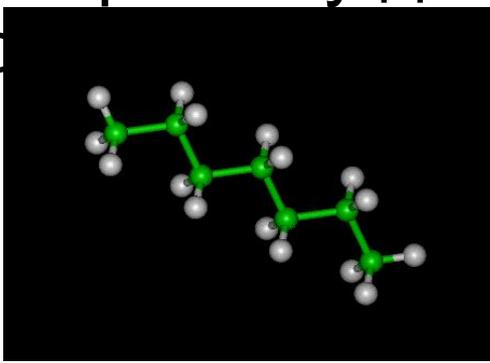
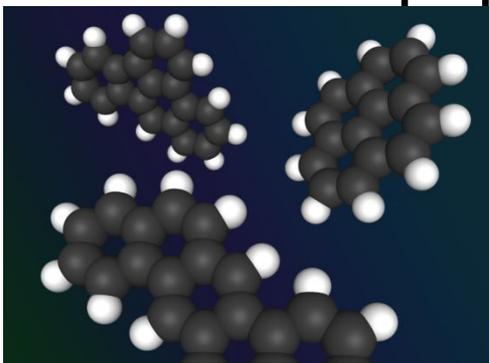
- 1) Максимальная температура нагрева – 350-390 °С. Если температура выше усиливаются реакции термического крекинга (для мазута): снижается выход продуктов, образуются твердые нерастворимые пробки в трубопроводах. Чем выше нагрев, тем короче расстояние от печи до колонны по трансферному трубопроводу (меньше время нахождения нефти при данной температуре).
- 2) Куб колонны работает в двух режимах:
 - в куб колонны подают перегретый водяной пар вместо горячего кубового продукта (создается необходимый тепловой поток, не происходит разложения УВ);
 - возвращения кубового потока в виде пара не происходит – **отпарная колонна**.
- 3) Питающая тарелка должна быть сконструирована таким образом, чтобы:
 - Равномерно распределить сырье по сечению колонны;
 - уловить капли жидкости, уносимые паровой фазой.



Особенности нефти как сырья процессов перегонки

- **Невысокая термическая стабильность** нефти, ее высококипящих фракций ($\approx 350\text{--}360\text{ }^\circ\text{C}$). Поэтому необходимо ограничение температуры нагрева (для повышения относительной летучести – перегонка под вакуумом, перегонка с водяным паром – для отпаривания более легких фракций). С этой целью используют, как минимум, две стадии: атмосферную перегонку до мазута (до $350\text{ }^\circ\text{C}$)

нку по





Особенности нефти как сырья процессов перегонки

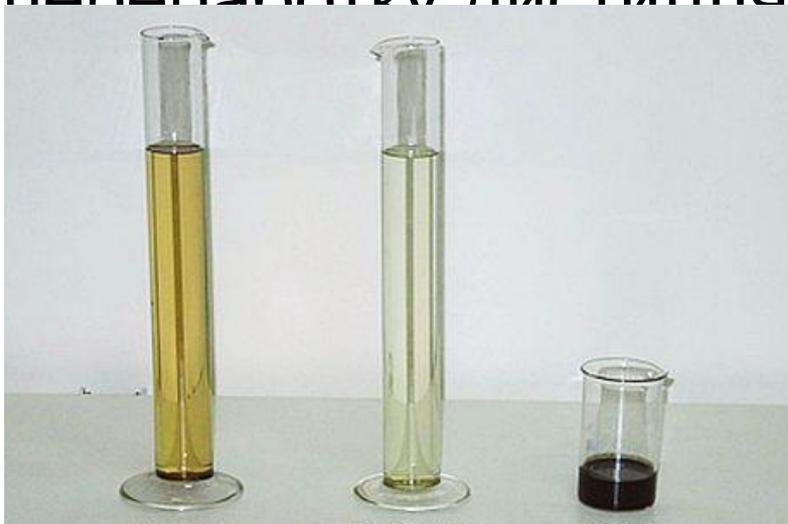
- Нефть – **многокомпонентное сырье** с непрерывным характером распределения фракционного состава и соответственно летучести компонентов.
- Поэтому в нефтепереработке отбирают широкие фракции ($^{\circ}\text{C}$): бензиновые; керосиновые; дизельные; вакуумный газойль; гудрон.
- Иногда ограничиваются неглубокой перегонкой нефти с получением остатка (мазута, выкипающего выше 350°C).





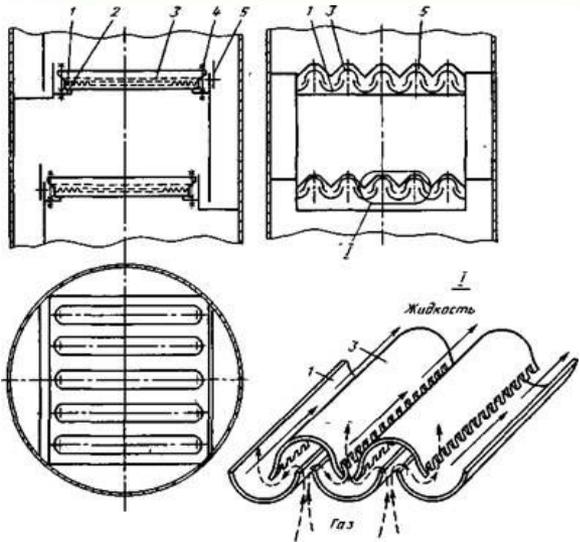
Особенности нефти как сырья процессов перегонки

- Высококипящие и остаточные фракции нефти содержат **значительное количество гетероорганических смолисто-асфальтеновых соединений и металлов** (ухудшают товарные характеристики продуктов и усложняют дальнейшую переработку дистиллятов).

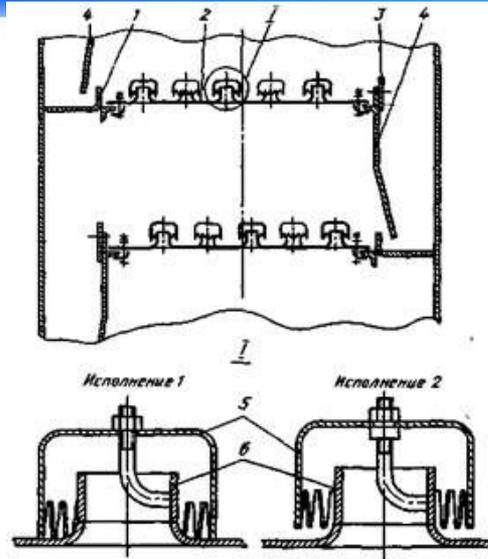




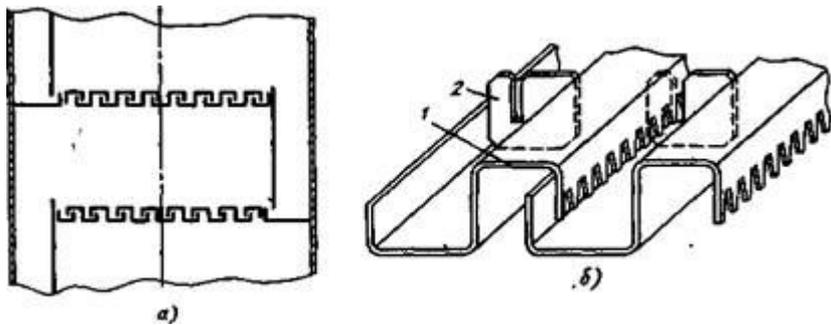
Контактные устройства



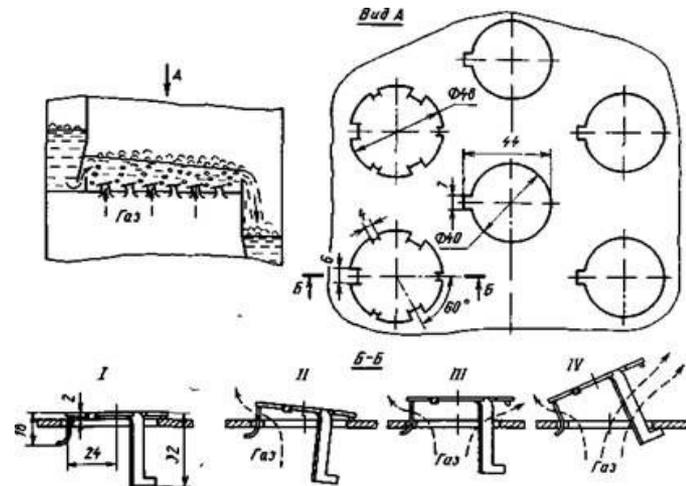
Тарелка с туннельными колпачками



Колпачковая тарелка

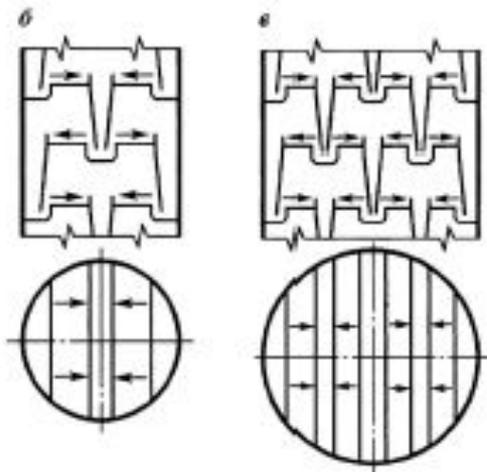


Тарелка с S-образными элементами: а — общий вид; б — схема

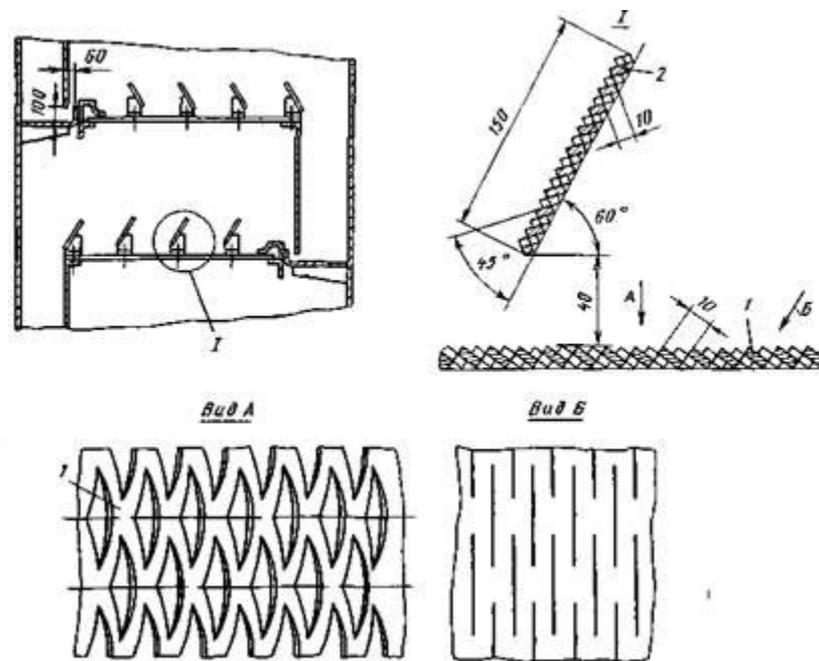


Клапанно-прямоточная тарелка

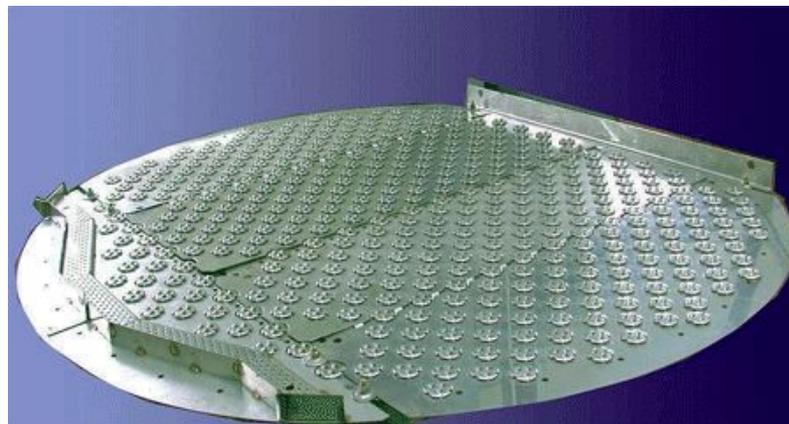
Контактные устройства



Двух- (б) и четырехпоточная (в)
тарелки с переливным
устройством



Тарелка с просечно-вытяжными отверстиями





Контактные устройства

Требования, предъявляемые к тарелкам:

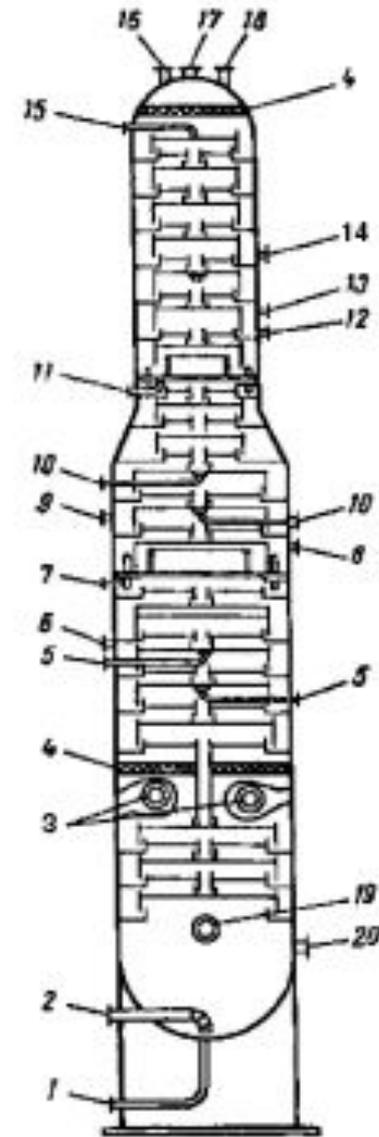
- обеспечение на их поверхности (плато) соответствующего запаса жидкой фазы (т. наз. задержка жидкости);
- достижение необходимой разделит. способности при изменении нагрузок по газу или жидкости;
- малое гидравлическое сопротивление газовому потоку;
- минимальный брызгоунос (с нижних тарелок на верхние);
- возможность подвода теплоты непосредственно в зону контакта фаз и отвода из нее теплоты (достигается установкой над плато тарелок спец. змеевиков);
- возможность проводить процесс в вакууме (до 8 Па);

Различают **барботажный** и **струйный** гидродинамические режимы работы тарелок.

В **барботажном** режиме на тарелках поддерживается слой жидкости (сплошная фаза), через который барботирует восходящий поток газа (дисперсная фаза), распределяясь в жидкости пузырьками.

С повышением нагрузок по газу происходит инверсия фаз, при которой в сплошной (газовой) фазе распределена в виде капель и струй дисперсная (жидкая) фаза; такой режим наз. **струйным**.

Конструкция колонн





Вакуумная перегонка нефти в промышленных условиях

Конденсационно-вакуумсоздающая система

Остаточное давление – 10-15 кПа (80-100 мм.рт.ст.)

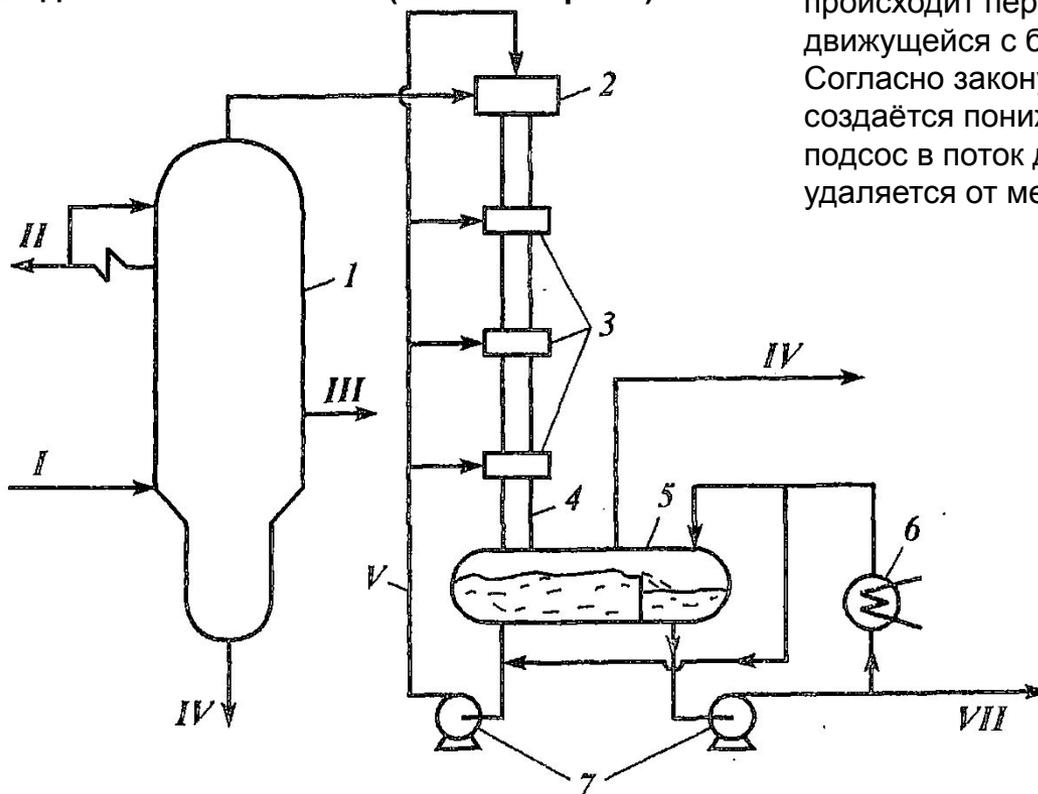


Рис. Четырехступенчатое создание вакуума жидкостными эжекторами:

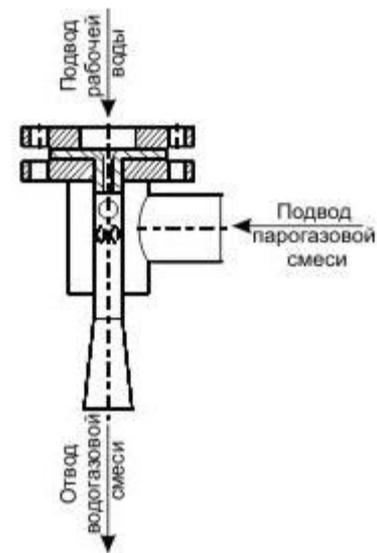
1 – вакуумная колонна; 2 – жидкостной струйный эжектор; 3 – вихревые эжекторы; 4 – стояк; 5 – емкость; 6 – водяной холодильник; 7 – насосы;

потоки: I – мазут; II – ВЦО; III – газойль; IV – гудрон; V – циркулирующий нефтепродукт; VI – газ; VII – избыток продукта

Эжектор - устройство, в котором в процессе смешения сред происходит передача кинетической энергии от одной среды, движущейся с большей скоростью, к другой.

Согласно закону Бернулли, в сужающемся сечении создается пониженное давление одной среды, что вызывает подсос в поток другой среды, которая затем переносится и удаляется от места всасывания энергией первой среды

Эжектор





Технологические процессы на НПЗ

Считается, что на НПЗ средней мощности (5...7 млн т/год) каждый процесс должен быть представлен 1 технологической установкой.

При этом **связи между процессами становятся весьма жесткими, резко повышаются требования к надежности оборудования, системе контроля и автоматизации, сроку службы катализаторов.**

В совр. практике проектирования и строительства НПЗ большой мощности (10...15 млн т/год) предпочтение отдают двухпоточной схеме переработки нефти:

каждый процесс представлен двумя одноименными технологическими установками.

При этом процесс, для которого ресурсы сырья ограничены при данной мощности НПЗ, может быть представлен одной технологической установкой (алкилирование, коксование, висбрекинг, производство серы и др.).





Технологические процессы на НПЗ

Исходя из принятой оптимальной мощности НПЗ топливного профиля, равной 12 млн т/год, на основании технико-экономических расчетов и опыта эксплуатации современного отечественных и зарубежных заводов принята оптимальная мощность головной установки АВТ, равная 6 млн т/год.

Наиболее часто комбинируют следующие процессы:

- ЭЛОУ-АВТ (АТ),
- гидроочистка (ГО) бензина — каталитический риформинг (КР),
- гидроочистка вакуумного газойля — каталитический крекинг (КК) — газоразделение,
- сероочистка газов — производство серы;
- ГО — КК — газофракционирование и др.

Наибольшую трудность представляет переработка гудронов с высоким содержанием смолисто-асфальтеновых веществ, металлов и гетеросоединений - с получением таких нетопливных нефтепродуктов, как битум, нефтяные пеки.

