



Химическая технология топлива и углеродных материалов

Лекция № 1

Структура НПЗ. Первичная перегонка нефти. Атмосферно-вакуумная «трубчатая» установка

Лектор – к.т.н., доцент отделения химической инженерии Кривцова Н.И.

Разработчик лекционного материала – к.т.н.,
доцент отделения химической инженерии Юрьев Е.М.



Основные особенности НПЗ

1. Каждый нефтеперерабатывающий завод уникален.

Номенклатура продуктов НПЗ (по материалам *API*): 17 классов, свыше 2000 наименований (1156 смазочных материалов, 300 химреагентов и катализаторов, 209 битумов) продуктов, имеющих индивидуальные спецификации (марки по ТУ).

Основную структуру НПЗ определяет 3-8 основных фракций нефти и производимые на их основе продукты (бензин, ДТ, авиатопливо, СУГ).

Хранение продуктов и удаление отходов – **дорого** – требуется сбыт или переработка всех производимых продуктов (в т.ч. по убыточным ценам, например, высокосернистый мазут, высокосернистый кокс).

Корректирующие факторы:

- Местоположение НПЗ,
- Спрос на продукт;
- Характеристика горения получаемых НП;
- Содержание серы в сырьевой нефти;
- Цены на конкурирующие топлива.

2. Не существует 2 марок нефти с одинаковыми свойствами.



Основные особенности НПЗ

3. Структура НПЗ меняется с течением времени.
4. Не все НПЗ обладают равными возможностями.
5. НПЗ – капиталоемкие высокоспециализированные средства производства с длительным сроком службы.
6. Продукты переработки являются товарами и реализуются на сегментных рынках.
7. Цены на нефтепродукты изменчивы.
8. Цены на нефтепродукты связаны с ценами на нефть (в развитых странах с жестким антимонопольным законодательством!!!).
9. Нефтеперерабатывающие компании не влияют на цены на нефть (при отсутствии вертикальной интеграции).
10. Чем тяжелее нефть, тем выше содержание серы в ней.
11. Оптимизация структуры НПЗ требует множества компромиссных решений.
12. НПЗ является энергоемким производством (20-30 % всего энергопотребления в обрабатывающей промышленности, 35-40 % ЭП НПЗ – установки АВТ).
13. НПЗ и нефтепродукты оказывают серьёзное влияние на окружающую среду.



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 дистилятов 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.

Гипотетически существует (в РФ нет) *топливно-масляно-нефтехимический профиль.*



От чего зависит мощность НПЗ?

Мощность НПЗ зависит от многих факторов:

- от потребности в нефтепродуктах экономического района их потребления;
- от наличия ресурсов сырья и энергии;
- от дальности транспортных перевозок;
- от близости соседних аналогичных предприятий.

Классификация НПЗ по мощности (нестрогая):

- мини-НПЗ - до 1 млн. т в год;
- Малые НПЗ - 1-5 млн. т в год;
- средние НПЗ - 5-15 млн. т в год;
- Крупные НПЗ – 15-25 млн. т в год;
- заводы-гиганты, перерабатывающие более 25 млн. т в год.

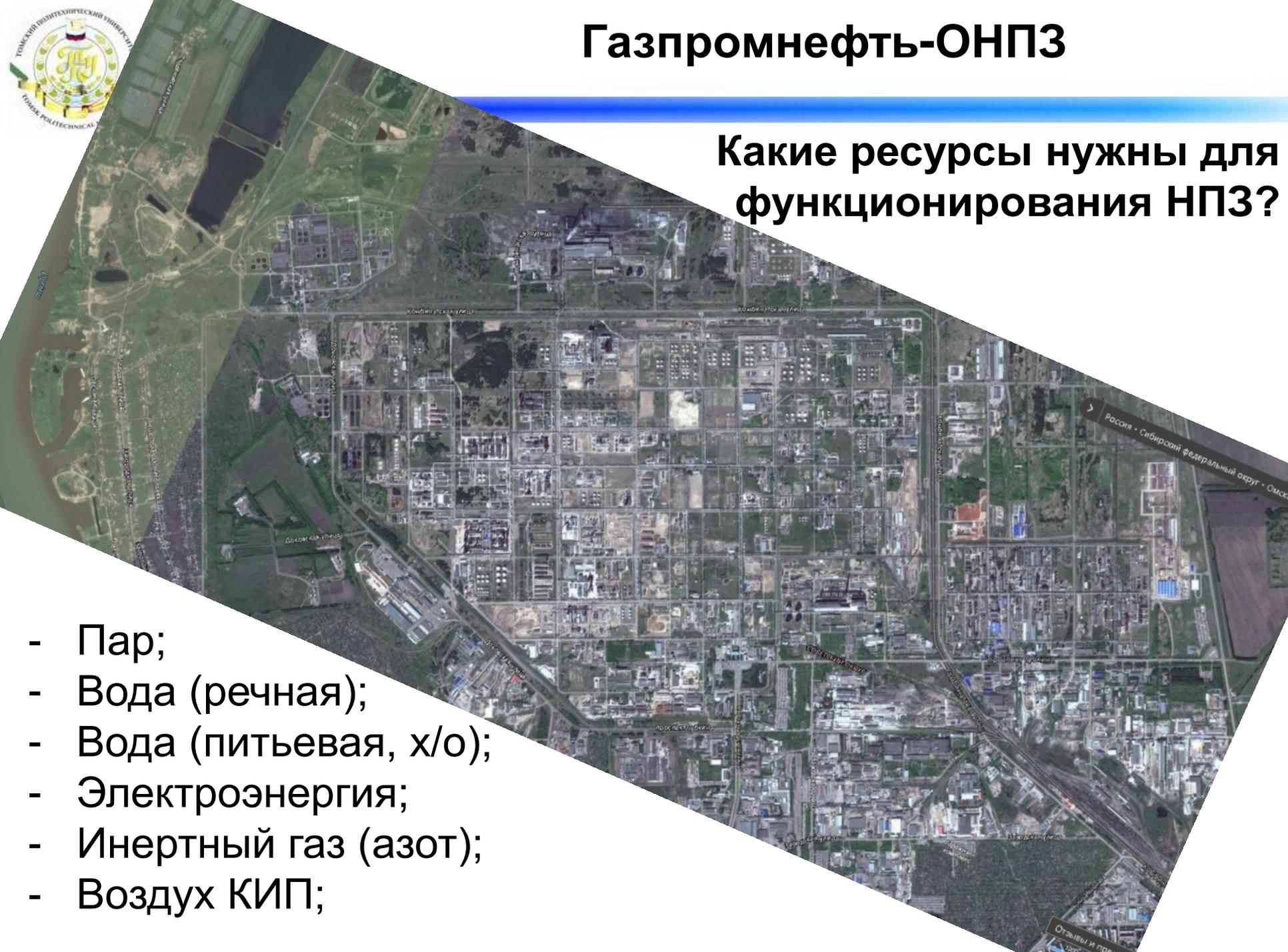
Современные нефтеперерабатывающие предприятия характеризуются большой мощностью как предприятия в целом, так и технологических процессов.



Газпромнефть-ОНПЗ

Какие ресурсы нужны для функционирования НПЗ?

- Пар;
- Вода (речная);
- Вода (питьевая, х/о);
- Электроэнергия;
- Инертный газ (азот);
- Воздух КИП;





Товарное производство на Омском НПЗ

Условная граница товарного производства

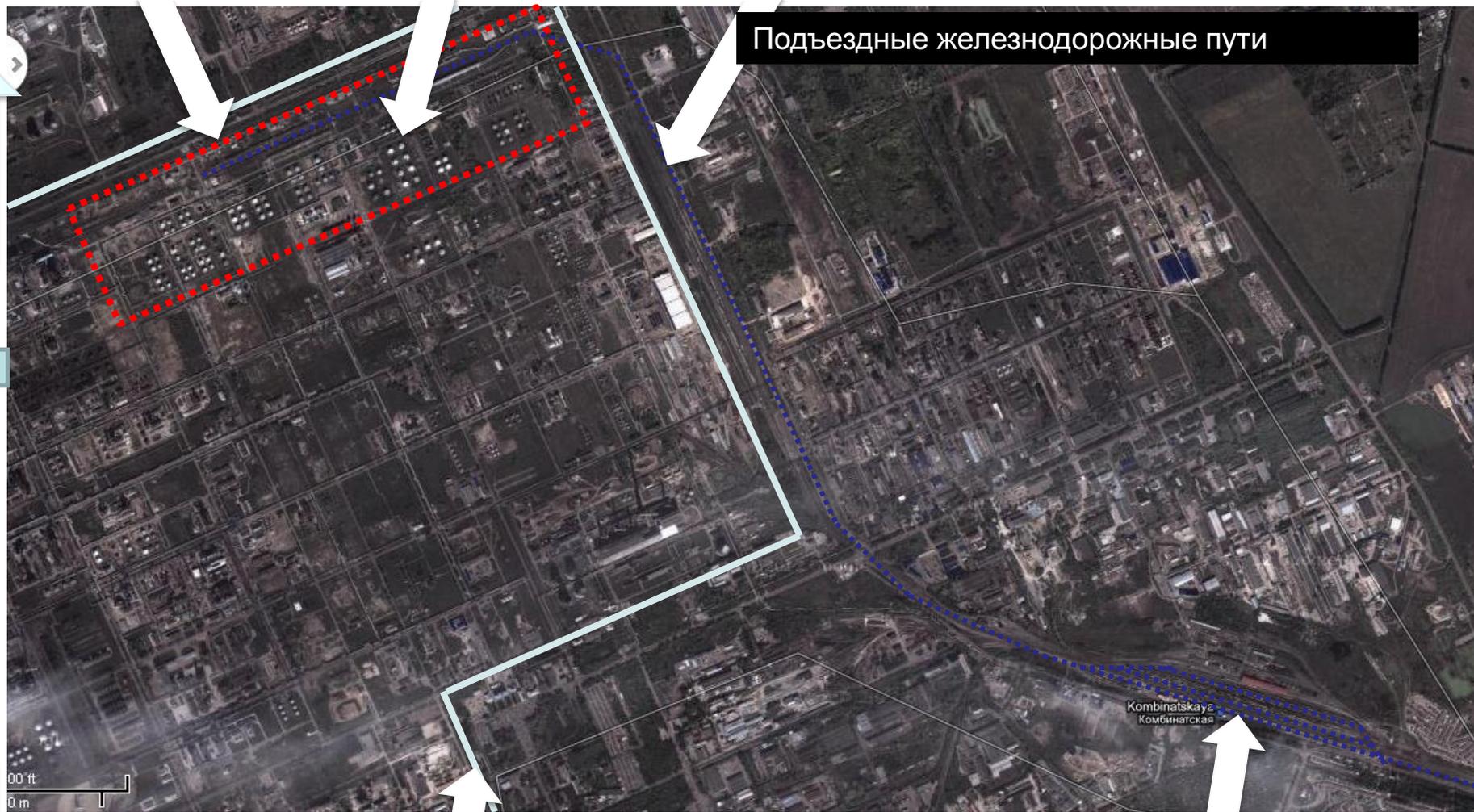
Резервуары для хранения нефтепродуктов

Подъездные железнодорожные пути

Север

р. Иртыш

Юг



Границы НПЗ

Сортировочная станция



Газпромнефть-МНПЗ





Мощность НПЗ

Потребность в емкости хранилищ определяется:

- Числом и видом продуктов;
- Методом сбыта;
- Источником сырой нефти;
- Местоположением и мощностью НПЗ;

Стоимость резервуарных парков:

- 330-860 долларов на 1 м³ емкости (для жидких НП);
- 660-1060 долларов на 1 м³ емкости (для СУГ);

Хранилища рассчитаны, как правило, на:

- 13-суточный запас нефти;
- 25-суточный запас нефтепродуктов (исходя из соображений остановки на ремонт не менее 1 раза в 18-24 месяцев);

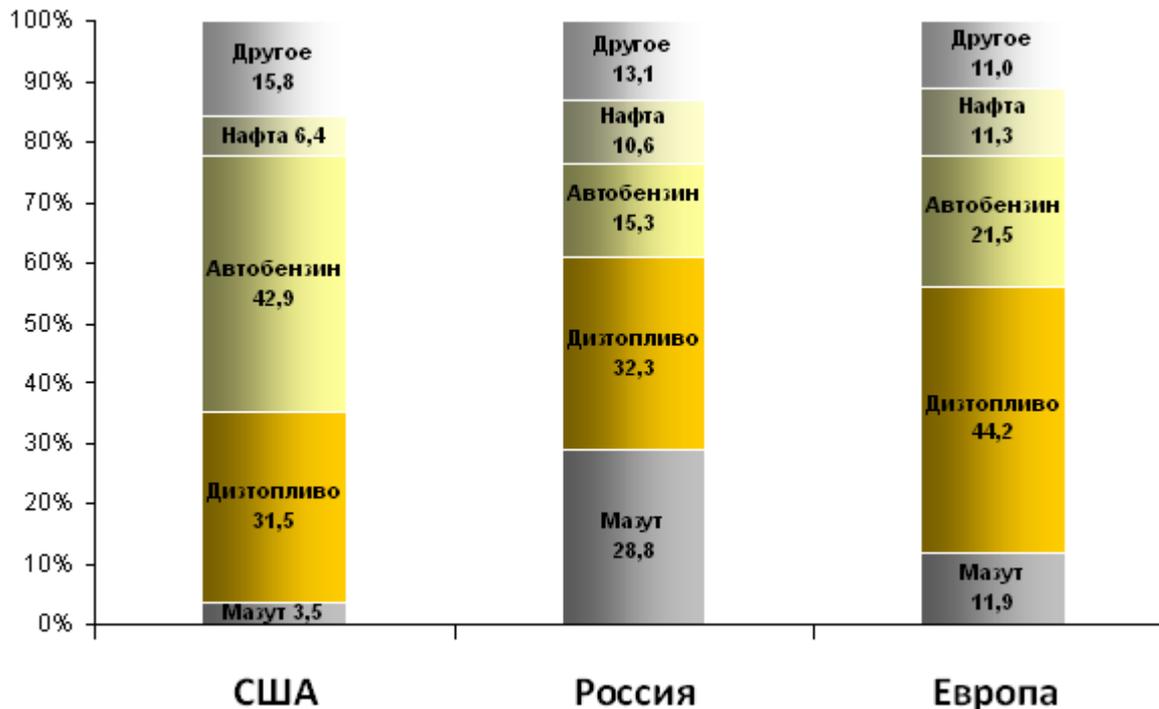
Общая емкость хранилищ должна быть равна 50 м³ в расчете на 1 м³ пропускной способности НПЗ в сутки.



Глубина переработки нефти

Российский вариант:

ГПН = (Объем поступившей нефти – Объем производства мазута/топочного мазута/котельного топлива – Объем потерь и топлива на собственные нужды) / Объем поступившей нефти * 100 %





Перегонка нефти

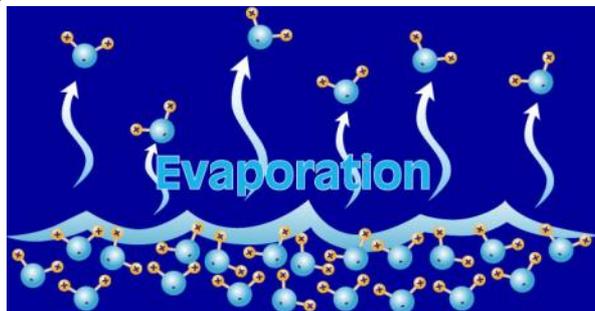
Цель: разделение сырой/подготовленной нефти на фракции, пригодные для дальнейшей переработки или реализации на рынке.

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 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 сырьё.

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

Предназначена для удаления солей, мех. примесей, пластовой воды;

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.

Эффективность ЭЛОУ зависит от плотности, вязкости, кислотного числа нефти.



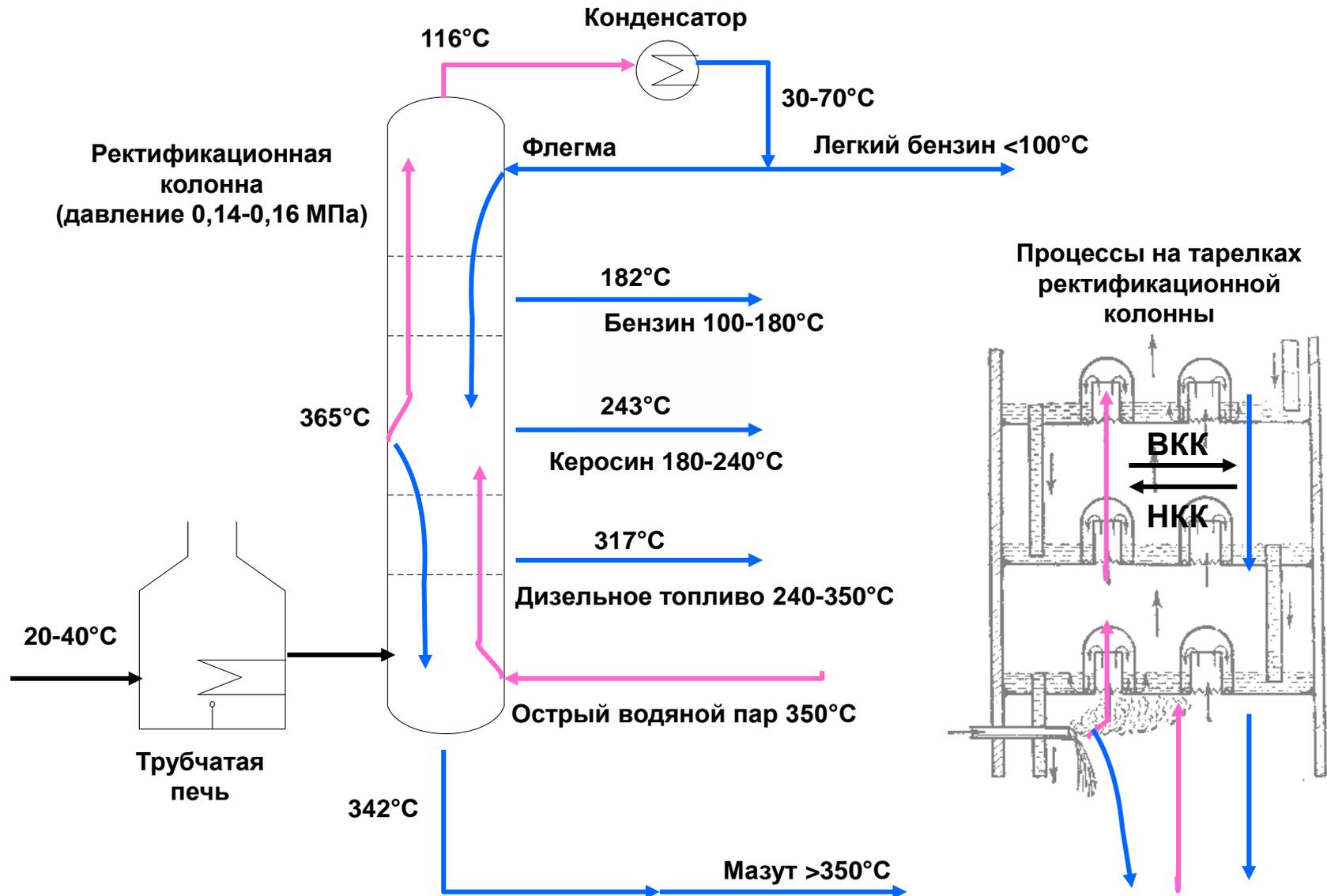
Перегонка нефти в промышленных условиях

Особенности процесса:

- 1) Максимальная температура нагрева – 350-400 °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). **Температура начала крекинга различается для разных нефтей.**
- 2) Куб колонны работает в следующем режиме: в куб колонны подают перегретый водяной пар вместо горячего кубового продукта (создается необходимый тепловой поток, не происходит разложения УВ);
Фактически, и основные, и боковые колонны являются отпарными (!).
- 3) Питающая тарелка должна быть сконструирована таким образом, чтобы:
 - Равномерно распределить сырье по сечению колонны;
 - уловить капли жидкости, уносимые паровой фазой.



Работа атмосферной колонны





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.

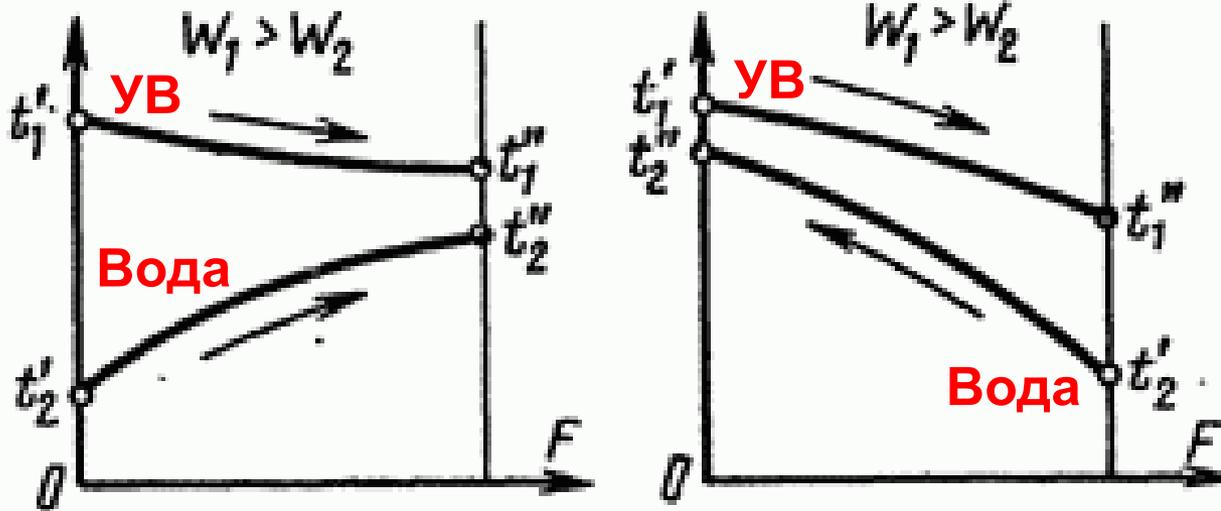
Процесс первичной переработки нефти наиболее часто комбинируют с процессами обезвоживания и обессоливания, вторичной перегонки и стабилизации бензиновой фракции: ЭЛОУ—АТ, ЭЛОУ—АВТ, ЭЛОУ—АВТ — вторичная перегонка, АВТ — вторичная перегонка.



Технологические параметры

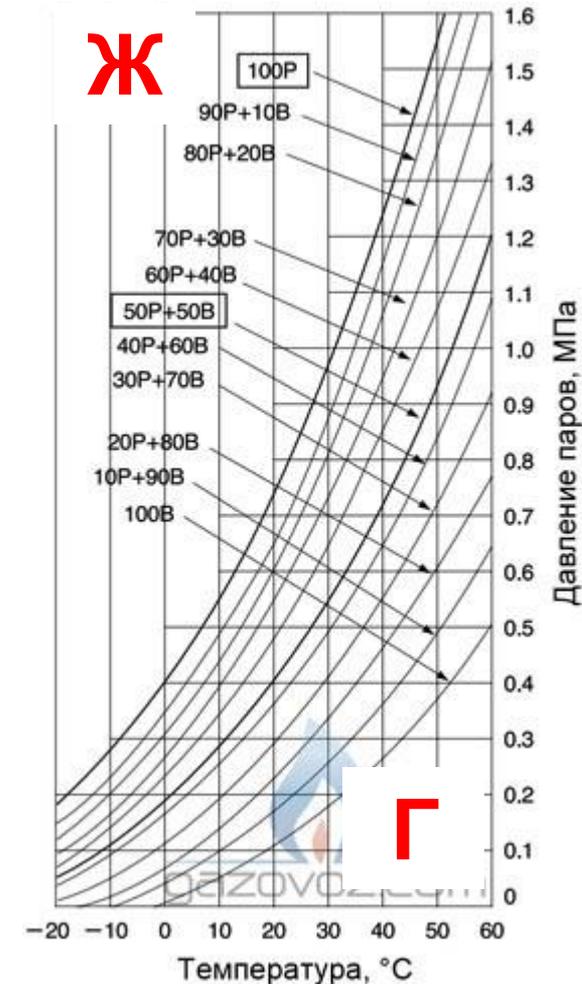
Давление: чуть выше атмосферного, т.к.

- необходимо поднять температуру кипения легких УВ, чтобы часть УВ С3-С4 в конденсаторе можно было перевести в жидкое состояние, используя оборотную воду ($t = \text{ок. } 15\text{-}30\text{ }^\circ\text{C}$);
- поднять давление газа до уровня, достаточного для транспортировки;
- преодолеть гидравлическое сопротивление колонны.



Характеристики нефти:

- обводненность;
- содержание металлов/термостойкость/групповой состав - предельная температура нагрева;





Технологические параметры

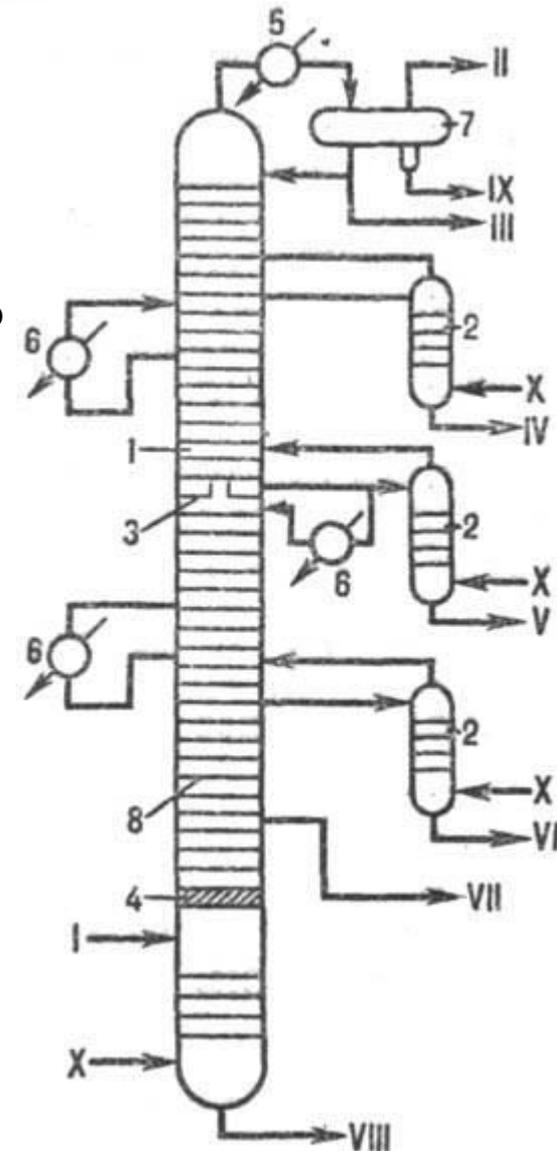
Рабочие условия в испарительной (эвапорационной) зоне:

- **Температура** = предельная температура нагрева нефти;
- **Давление** = Давление в сборнике флегмы +
+ Гидравлическое сопротивление колонны и шлемовой трубы;

Расход острого пара на отпарку легких компонентов кубового остатка:

- 15-30 кг пара на 1 м³ кубового продукта (6 кг – в отпарные колонны);
- $t_{\text{пара}} = 310 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Основной критерий рационального расхода пара - температура вспышки продукта (кубового остатка, либо тяжелого бокового погона);

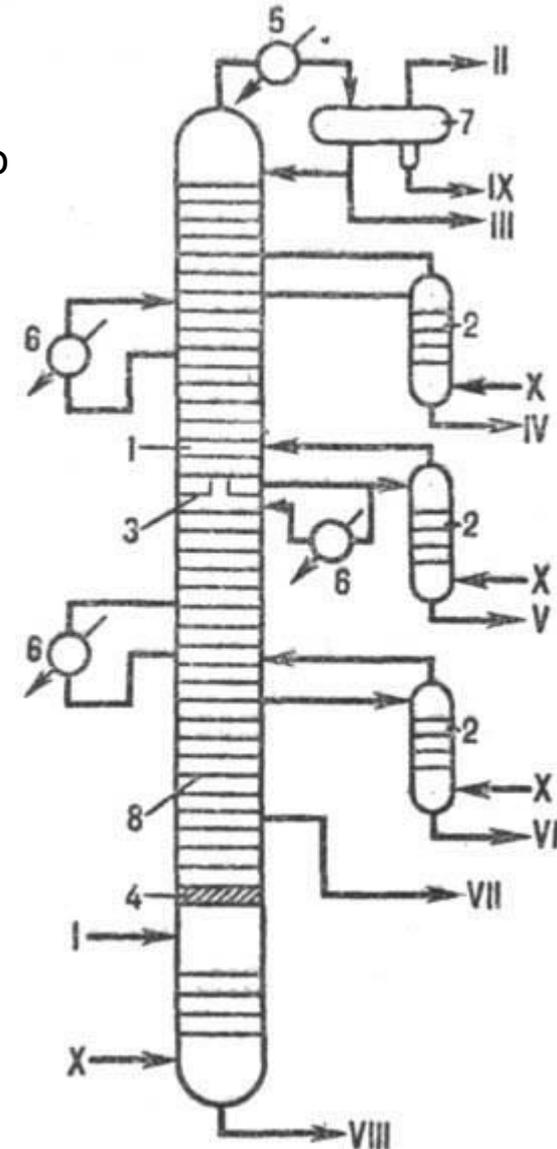
Отпарная колонна (стриппинг-колонна, стриппинг, боковая колонна) – теплообменник, служащий для выделения из жидких смесей легколетучих примесей за счет добавления в куб колонны перегретого водяного пара;



Технологические параметры

Четкость разделения:

- Фракции, как правило, всегда содержат в себе «хвосты», состоящие из НКК и ВКК – для повышения качества бокового продукта, приходится уменьшать его выход;
- (в РФ) 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).





Продукты установки АВТ (в соответствии со схемой)

Колонна	Фракция	Выход, %	Использование
Атмосферная перегонка			
Газ атмосферной (4) и отбензинивающей колонн (3)	C_1-C_4	0,1-0,8	Как печное топливо
Газ колонны физической стабилизации бензина (5)	C_1-C_2	0,5-1,0	Как печное топливо
Сжиженные углеводородные газы (VII)	C_3-C_4	0,6-1,2	На установку газодифракционирования, как бытовое и газомоторное топливо
Головка перегонки (легкий бензин)	н.к.-85 °С	2-5	На изомеризацию
Бензиновая фракция	85-180 °С	5-15	На каталитический риформинг
Керосиновая фракция	140-230 °С (150-200)	7-12 (5-7)	Как растворитель; на депарафинизацию и гидроочистку с получением авиатоплива;
Дизельная фракция	180-360 °С (150-340)	22-26 (15-20)	На депарафинизацию и гидроочистку; получение низкозастывающего дизельного топлива и парафина;
Мазут	350-к.к. °С	40-70	Компонент котельного топлива; на вакуумную перегонку



Продукты установки АВТ (в соответствии со схемой)

Колонна	Фракция	Выход, %	Использование
Вакуумная перегонка (топливный вариант)			
Дистиллят вакуумной перегонки	150-280 °С	0,5-0,8	Компонент дизельного топлива
Легкий вакуумный газойль	250-380 °С	2-4	Компонент дизельного, котельного или судового топлива
Вакуумный газойль (тяжелый вакуумный газойль)	300-500 °С (350-550)	20-25 (25-32)	На каткрекинг или гидрокрекинг для получения моторных топлив
Гудрон	500 °С-к.к. (550-к.к.)	12-15 (10-12)	На коксование, висбрекинг или получение битума; как компонент котельного топлива;
Вакуумная перегонка (топливно-масляный вариант)			
2 масляные фракции (3 масляные фракции)	350-420 °С 420-500 °С (350-400 400-450 450-500)	8-12 12-14	На селективную очистку, депарафинизацию, гидроочистку с получением базовых нефтяных масел
Гудрон	500 °С-к.к.	15-18	На деасфальтизацию и селективную очистку с получением остаточных масел



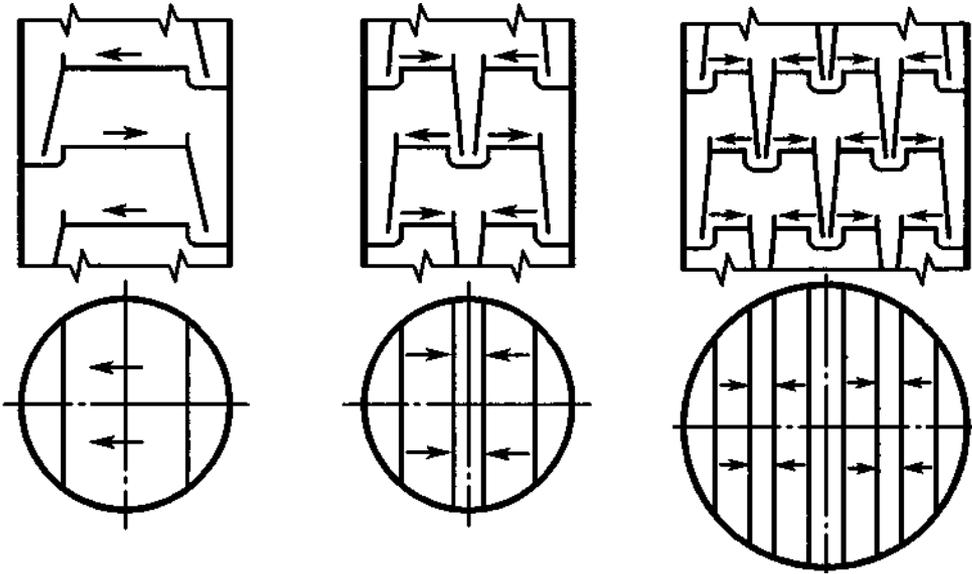
Перегонка нефти в промышленных условиях

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 %.

Клапанные тарелки



1-пот.

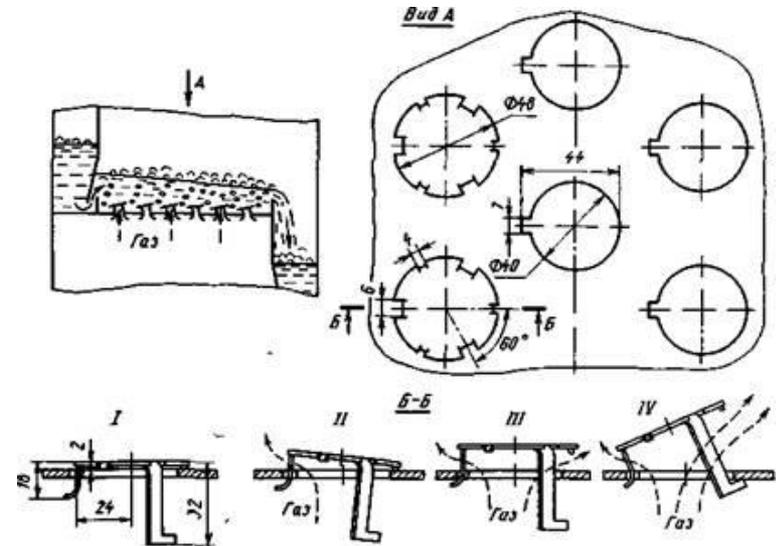
2-пот.

4-пот.

Схема движения жидкости на тарелке



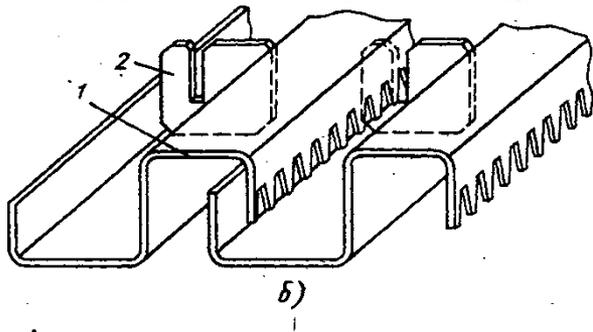
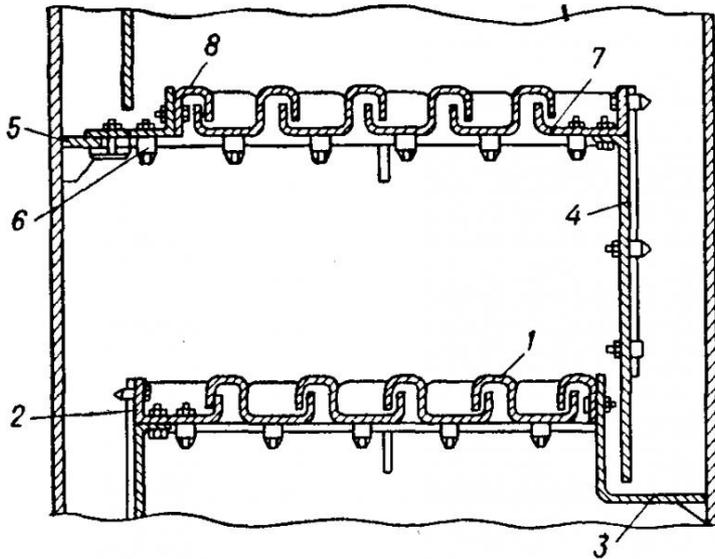
Клапанная тарелка 1-пот.



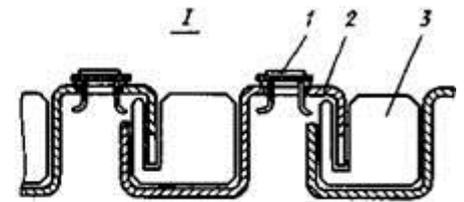
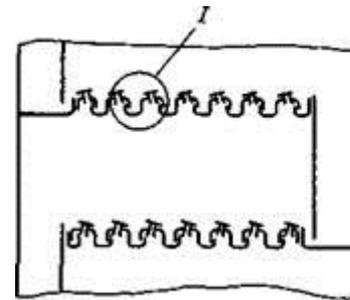
Принцип работы клапана



Клапанные тарелки с S-образными элементами

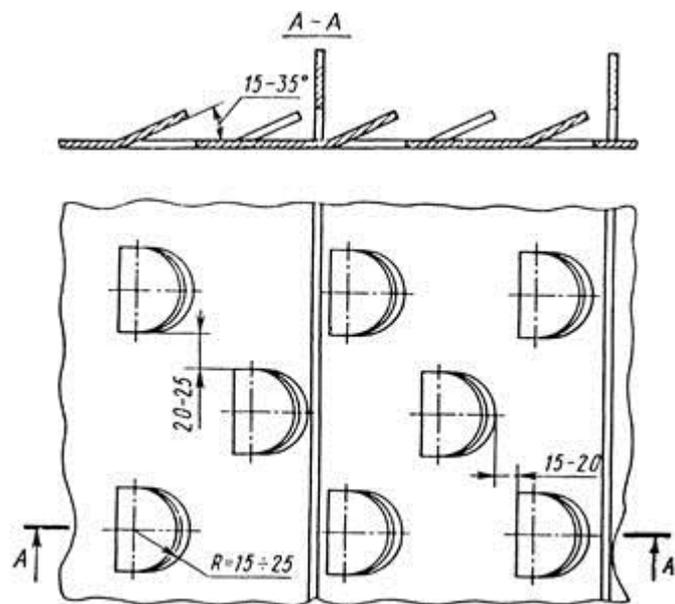


Простая тарелка с S-образными элементами

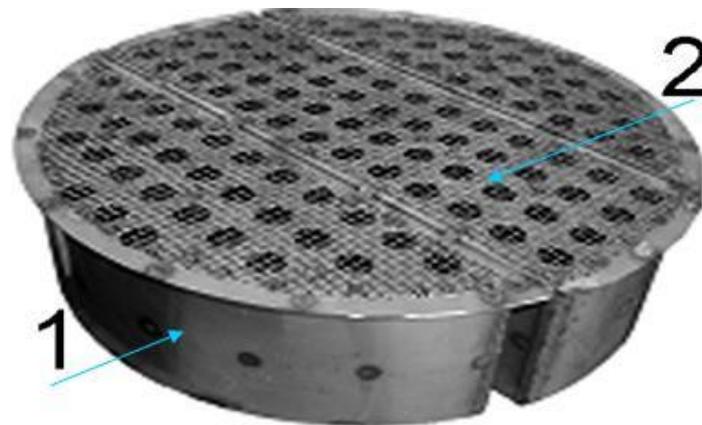
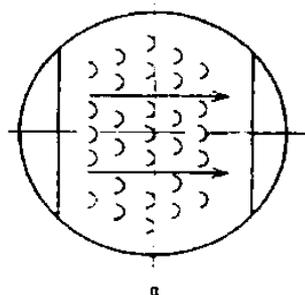
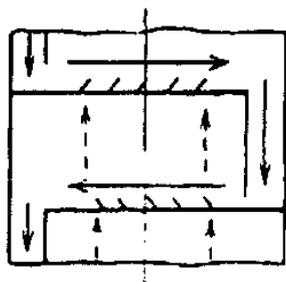


Тарелка с S-образными элементами и клапанами

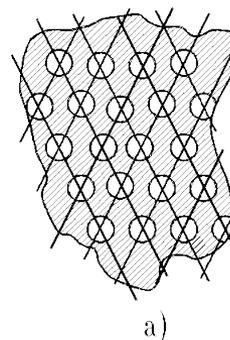
Струйные и решетчатые тарелки



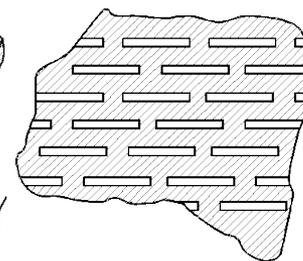
Элементы струйной чешуйчатой тарелки



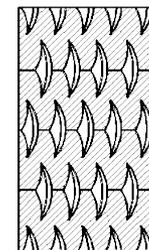
Решетчатая провальная тарелка



а)



б)



в)



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**.