

Современные технологии

Образовательная программа
«Химическая технология подготовки и переработки нефти и газа»

**Нефть: основные понятия. Нефтяная отрасль
России и мира**

Лекция 1

emyu@tpu.ru

<https://portal.tpu.ru/SHARED/e/EMYU/>

<https://us05web.zoom.us/j/6111307161?pwd=NjFYUES1MkZiT0cxTmdwZVhvOGhTQT09>

Лектор – к.т.н., доцент ОХИ Юрьев Е.М.

11.09.2023 г.

Нефть: основные понятия

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Основные понятия

Природные энергоносители (в химической технологии) — совокупное название природных смесей, являющихся источниками энергии (служащие топливом): нефть, газ, газовый конденсат, уголь, торф, горючие сланцы и т.д.

Нефть — природная маслянистая горючая жидкость, состоящая из сложной смеси углеводородов и некоторых неорганических соединений.

Газ нефтяной попутный — углеводородный газ, сопутствующий нефти и выделяющийся при ее добыче на газонефтяных месторождениях.

Смесь, добываемая на нефтегазовом месторождении



Элементный химический состав – относительное содержание отдельных элементов: C, H, O, N, S и др.

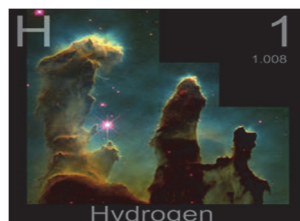
Средние массовые содержания элементов в нефтях

Углерод



83-87 %

Водород



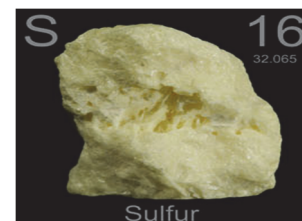
11-14 %

Азот



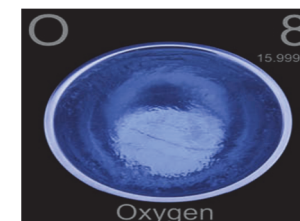
0,01-0,6 %

Сера



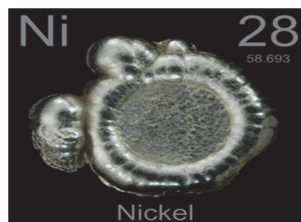
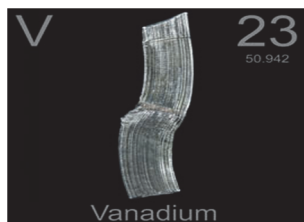
0,02-6,0 %

Кислород

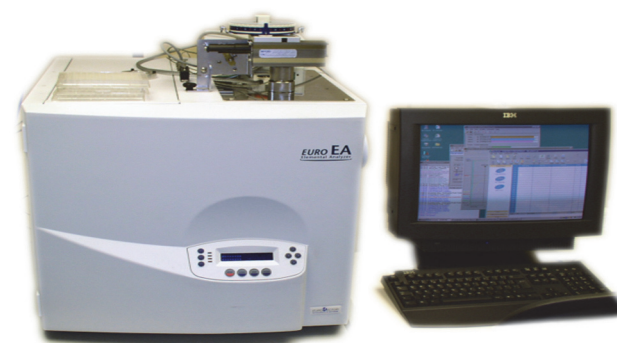


0,05-0,8 %

Металлы (в основном, ванадий и никель)



до 0,05 %



CHNS-анализатор для определения элементного состава нефти, нефтепродуктов и твердых горючих ископаемых

Официальная классификация нефтей

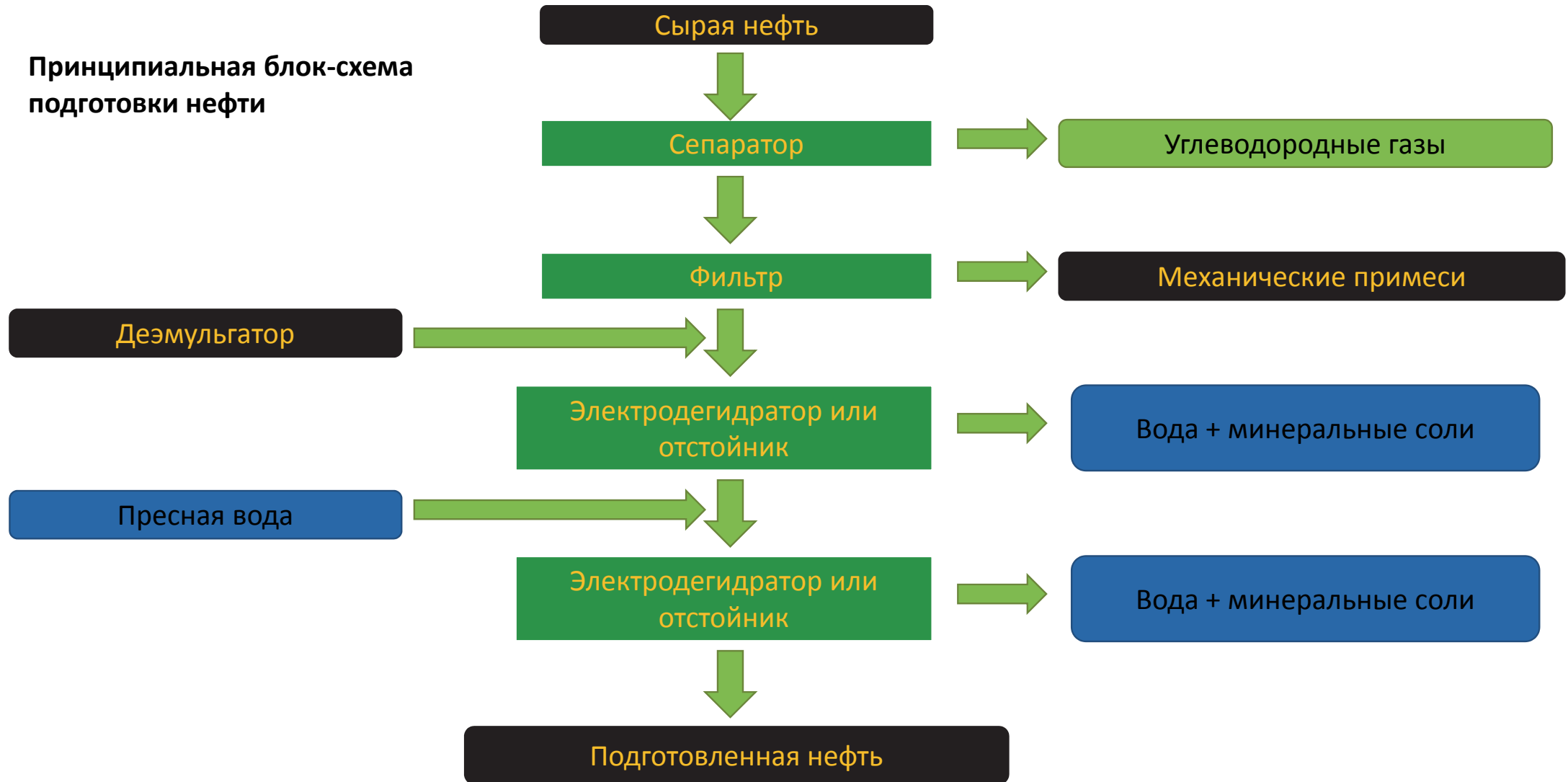
Группы нефтей

По степени подготовки нефть подразделяют на группы **1—3**

Параметр	Норма для нефти группы		
	1	2	3
1 Массовая доля воды, %, не более	0,5	0,5	1,0
2 Концентрация хлористых солей, мг/дм ³ , не более	100	300	900
3 Массовая доля механических примесей, %, не более	0,05	0,05	0,05
4 Давление насыщенных паров, кПа (мм рт. ст.), не более	66,7 (500)	66,7 (500)	66,7 (500)
5 Массовая доля органических хлоридов во фракции, выкипающей до температуры 204 °С, ppm, не более	10	10	10

Группы нефти

Принципиальная блок-схема
подготовки нефти



Фракционный состав – содержание соединений нефти, выкипающих в определенных интервалах температур;

Нефтяная фракция – часть нефти, выкипающая в определенных температурных пределах. Общепринятые сокращения: н.к. – температура начала кипения (*заранее неизвестна*); к.к. – температура конца кипения.



Технические классификации нефти

• **Сырая нефть** - жидкая природная ископаемая смесь углеводородов широкого химического состава, которая содержит растворенный газ, воду, минеральные соли, механические примеси.

• **Товарная нефть** - нефть, подготовленная к поставке потребителю в соответствии с требованиями действующих нормативных и технических документов, принятых в установленном порядке.

В **товарной нефти** определяют следующие показатели:

- Плотность,
- Массовая доля серы
- Массовая доля воды
- Массовая доля механических примесей
- Концентрация хлористых солей.

Прочие важные физико-химические свойства:

Молекулярная масса

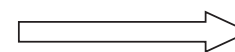
Вязкость

Температура застывания

Газосодержание (*газовый фактор*) + давление насыщенных паров

Плотность нефти

Плотность характеризует количество массы вещества, в единице объёма [**кг/м³**; **г/см³**]:



$$\rho = \frac{m}{V}$$

Плотность **газовых конденсатов**, как правило, менее 800 кг/м³

Плотность **дегазированной** нефти (из которой выделили растворенный попутный нефтяной газ), как правило, 830 – 870 кг/м³;

Классификация нефтей по плотностям:

- лёгкие (800–860 кг/м³)
- средние (860–900 кг/м³)
- тяжелые (900–940 кг/м³)

Нефтяной ареометр – приспособление для определения плотности жидкой смеси углеводородов

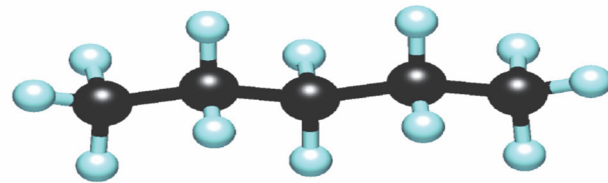


Молекулярная масса

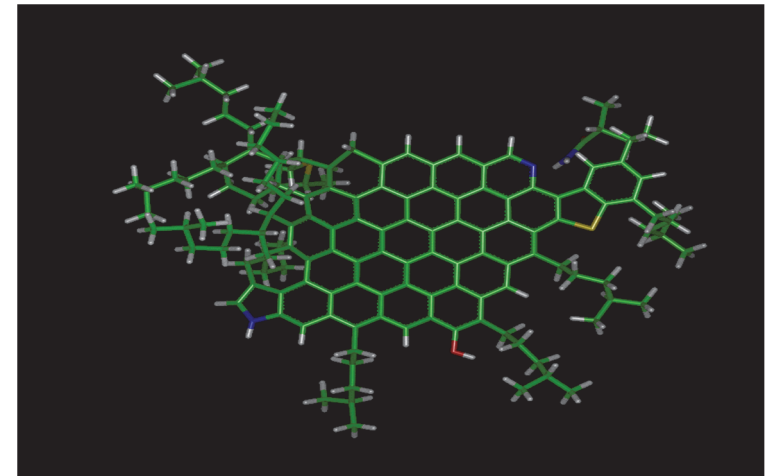
Молекулярная масса - важная характеристика нефти, которая используется при оценочных расчетах. Средняя молекулярная масса многих нефтей 250—300. Молекулярная масса – безразмерная величина.

Первый представитель жидких углеводородов нефти — пентан — имеет ММ 72.

У наиболее высокомолекулярных гетероатомных соединений нефти, смол и асфальтенов, ММ ~ 1200—2000 и выше.



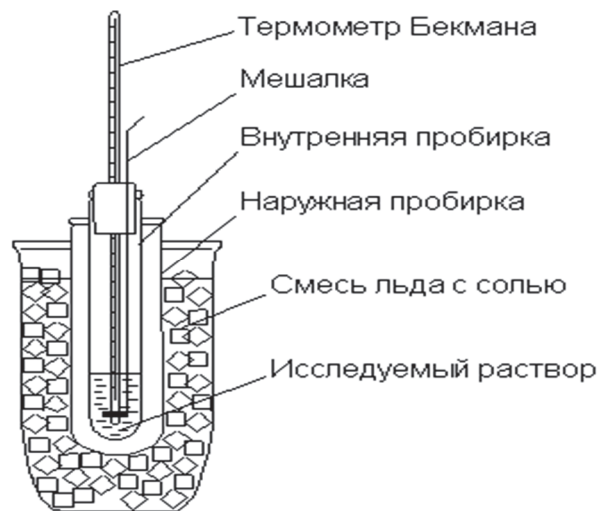
Ориентировочная структура асфальтенов нефти, составленная компьютерным моделированием



Молекулярная масса нефти и нефтепродуктов

Нефть/нефтепродукт	<i>M</i>
Западно-Крапивинская нефть (Западная Сибирь)	229
Арчинская нефть (Западная Сибирь)	248
Бензин (<i>усредненный</i>)	103
Лигроиновая фракция (140-200 °С) (<i>усредненная</i>)	130
Керосин (<i>усредненный</i>)	168
Машинное масло (<i>усредненное</i>)	387

Схема криостатической установки с термометром Бекмана для определения ММ



Вязкость

Вязкость используется при подсчете запасов нефти, выбора способа транспорта и схемы переработки нефти, в химмотологии.

Различают *динамическую вязкость* и *кинематическую вязкость*.

Динамическая вязкость η - это отношение действующего касательного напряжения к градиенту скорости при заданной температуре (в системе СИ - Па·с, на практике миллипаскаль секунда, мПа·с).

Величина, обратная динамической вязкости, называется **текучестью**.

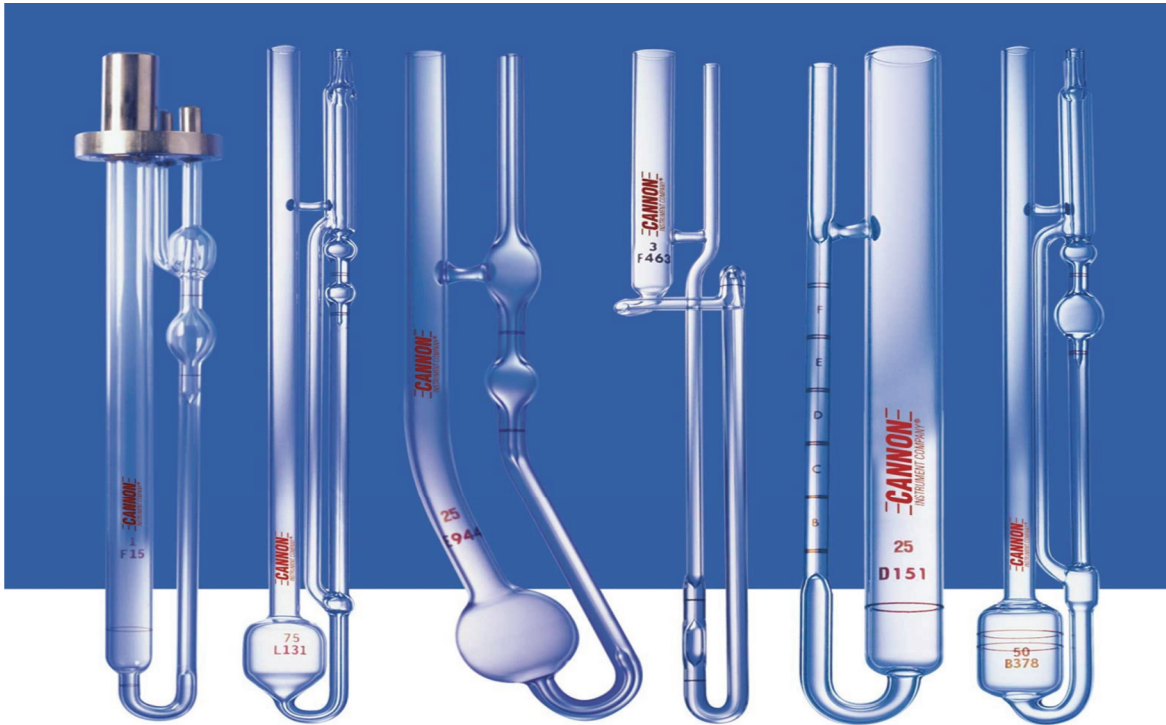
В технологических расчётах чаще используется **кинематическая вязкость ν** . Это отношение динамической вязкости жидкости к плотности при той же температуре:

$$\nu = \eta / \rho, \quad \left[\nu = \frac{1 \frac{\text{КГ}}{\text{М} \cdot \text{С}}}{1 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}} = 1 \text{М}^2/\text{с} \right]$$

(м²/с; мм²/с - соответствует 1сСт).

Устройства для определения вязкости

Капиллярные вискозиметры – U-образные стеклянные капилляры особой конструкции (разные формы для разных нефтепродуктов)



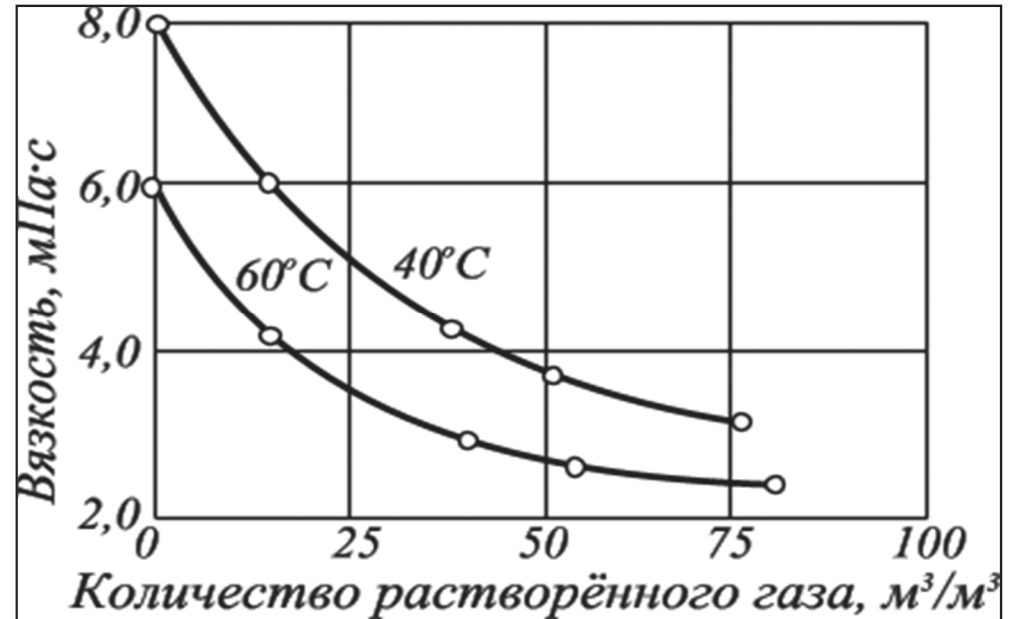
вязкость определяется по времени истечения заданного объема нефтепродукта, каждый вискозиметр откалиброван

Автоматический ротационный вискозиметр



Зависимость вязкости от других параметров

С повышением температуры вязкость нефти (как и любой другой жидкости) уменьшается. С увеличением количества растворенного газа в нефти вязкость нефти также значительно уменьшается.



Зависимость вязкости типовой нефти от количества растворенного газа и температуры

Вязкость нефтей, добываемых в России, в зависимости от характеристики и температуры изменяется от 1 до нескольких десятков мПа·с (0.1-0.2 Па·с) и более.

Температура застывания

Температура, при которой нефть в стандартных условиях теряет подвижность, называется *температурой застывания*.

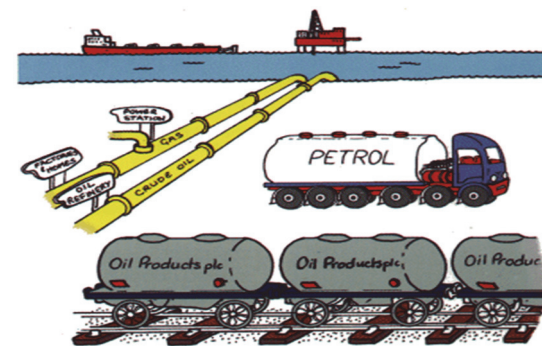
Согласно ГОСТ 20287-74, температура, при которой охлаждаемая в пробирке нефть не изменяет уровня при наклоне пробирки на 45°, считается температурой застывания. Точность определения составляет 2 °С.

Индивидуальные вещества характеризуются температурой кристаллизации. Как правило, температура застывания нефти зависит от содержания парафиновых углеводородов: чем их больше, тем «легче» (при более высоких температурах) застывает нефть.

Температура застывания

Температура застывания нефтей изменяется в широких пределах: от — 62 до +35 °С. Экстремальные значения температуры застывания имеют малопарафиновая эхабинская нефть (о. Сахалин) (—62°С) и высокопарафиновая тасбулатская нефть (Республика Казахстан) (+35 °С).

От температуры застывания нефтей и нефтепродуктов зависят условия их добычи, транспортировки, хранения и эксплуатации оборудования.



Газосодержание (газовый фактор)

Газосодержание – важная характеристика нефти при добыче и подготовке. Это объем газа, содержащийся в одном кубическом метре нефти.



Нефтегазовый сепаратор – устройство для отделения растворенного газа от нефти

Газосодержание (газовый фактор)

Газосодержание нефти определяют как отношение объема газа, выделяющегося из пластовой нефти в результате ее однократного разгазирования до атмосферного давления при температуре 20 °С, к объему оставшейся сепарированной нефти:

$$G_0 = \frac{V_r}{V_n},$$

где V_r – объем газа однократного разгазирования пластовой нефти при 20 °С, приведенный к стандартным условиям, м³; V_n – объем сепарированной нефти, остающейся после однократного разгазирования пластовой нефти при 20 °С, м³.

Например,

- *газовый фактор нефти **Снежного месторождения** (Томская область) составляет **260**, это означает, что из 1 м³ добытой нефти выделяется 260 м³ растворенного газа – это нефть, богатая бензиновой фракцией;*
- *газовый фактор нефти **Арчинского месторождения** (Томская область) составляет **1,1**, это означает, что из 1 м³ добытой нефти выделяется 1,1 м³ растворенного газа – это высоковязкая, тяжелая нефть, богатая мазутом;*

Газосодержание (газовый фактор)

Газосодержание обуславливает **давление насыщенных паров** нефти – ГОСТовский показатель.

Давление насыщенных паров – это давление, производимое паровой фазой, которая находится в равновесии с жидкостью при определенной температуре.



Бомба Рейда, помещенная в термостат, – прибор для определения давления насыщенных паров нефтепродуктов

Газосодержание (газовый фактор)

В зависимости от преобладания в нефтяных газах легких (метан, этан) или тяжелых (пропан и выше) углеводородов газы разделяются на ***сухие и жирные***.

Сухим газом называют природный газ, который не содержит тяжелых углеводородов или содержит их в незначительных количествах – подавляюще преобладает метан и возможно наличие небольшого количества этана.

Жирным газом называют газ, содержащий тяжелые углеводороды в таких количествах, когда из него целесообразно получать сжиженные газы или газовые бензины.

Нефти России

Основные параметры нефтей России

Нефтедобывающий район	Плотность, (ρ_{20}), кг/м ³	Кинематическая вязкость (ν_{20}), мм ² /с	Температура застыв., °С	Содержание парафина, %
Края: Краснодарский	771–938	1,6–310,3	-54–3	0,5–8,3
Ставропольский	803–862	5,3–11,7	4–29	6,5–23,6
Республики: Башкортостан	846–918	6,7–89,8	-21– -70	2,1–6,8
Дагестан	802–886	10,4–48,7	-24– -13	5,7–25,5
Коми	822–849	6,2–13,8	-10– -40	2,0–10,4
Татарстан	846–910	8,7–98,3	-30– -52	3,5–5,1
Чеченская	789–924	3,0–163,4	-4– -60	0,8–8,5
Области: Астраханская	762–879	1,3–13,6	-40–30	3,8–26,0
Волгоградская	798–923	3,0–163,4	-60– -4	0,8–8,5
Куйбышевская	790–882	2,5–27,1	-34–9	2,9–10,2
Оренбургская	808–933	4,2–57,4	-56– -15	1,8–7,1
Пермская	802– 960	4,2–161,8	-60– -13	2,0–10,4
Саратовская	819–847	5,3–36,3	0–16	6,6–10,4
Томская	839–860	5,3–12,6	-52– -4	1,2–4,4
Тюменская	855–880	9,1–25,5	-30– -9	2,5–7,2

Официальная классификация нефтей дается согласно ГОСТ Р 51858-2002 «Нефть. Общие технические условия»

Условное обозначение нефти состоит из четырех цифр, соответствующих обозначениям **класса, типа, группы и вида** нефти. При поставке нефти на экспорт к обозначению типа добавляется индекс «э». Структура условного обозначения нефти:

Нефть *класс.тип.группа.вид*. ГОСТ Р 51858-2022 (2002)

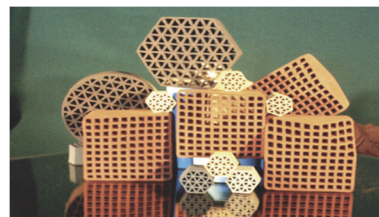
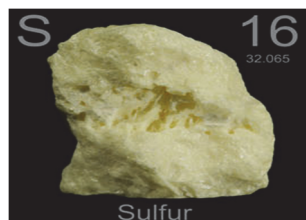
Данная классификация позволяет практически однозначно охарактеризовать нефть и удобна при взаимодействии добывающих, транспортирующих и перерабатывающих предприятий.



Официальная классификация нефтей

Классы нефтей

Класс	Наименование	Массовая доля серы, %
1	Малосернистая	до 0,60 включительно
2	Сернистая	от 0,61 до 1,80
3	Высокосернистая	от 1,81 до 3,50
4	Особо высокосернистая	св. 3,50



Наличие сернистых соединений в нефти крайне нежелательно:

- Образуются агрессивные среды;
- Образуются вредные дымовые выбросы (SO_2 , SO_3);
- Ухудшаются свойства катализаторов процессов нефтепереработки;

НО: сернистые соединения можно утилизировать и получать элементарную серу

Официальная классификация нефтей

Типы нефтей

По плотности, а при поставке на экспорт — дополнительно по выходу фракций и массовой доле парафина, нефть подразделяют на **пять типов** (приведены плотности при 20 °С, кг/м³):

- **0 - особо легкая – не более 830;**
- **1 – легкая – (830-850);**
- **2 – средняя – (850-870);**
- **3 – тяжелая – (870-895);**
- **4 – битуминозная (более 895).**



Больше выход газов и бензина

Больше выход мазута и гудрона

Плотность косвенно характеризует потенциал нефти по выходу продуктов.

Официальная классификация нефтей

Виды нефти

По массовой доле сероводорода и легких меркаптанов нефть подразделяют на виды

Параметр	Норма для нефти вида	
	1	2
1 Массовая доля сероводорода, млн, ⁻¹ (ppm), не более	20	50
2 Массовая доля метил- и этил меркаптанов в сумме, млн, ⁻¹ (ppm), не более	40	60

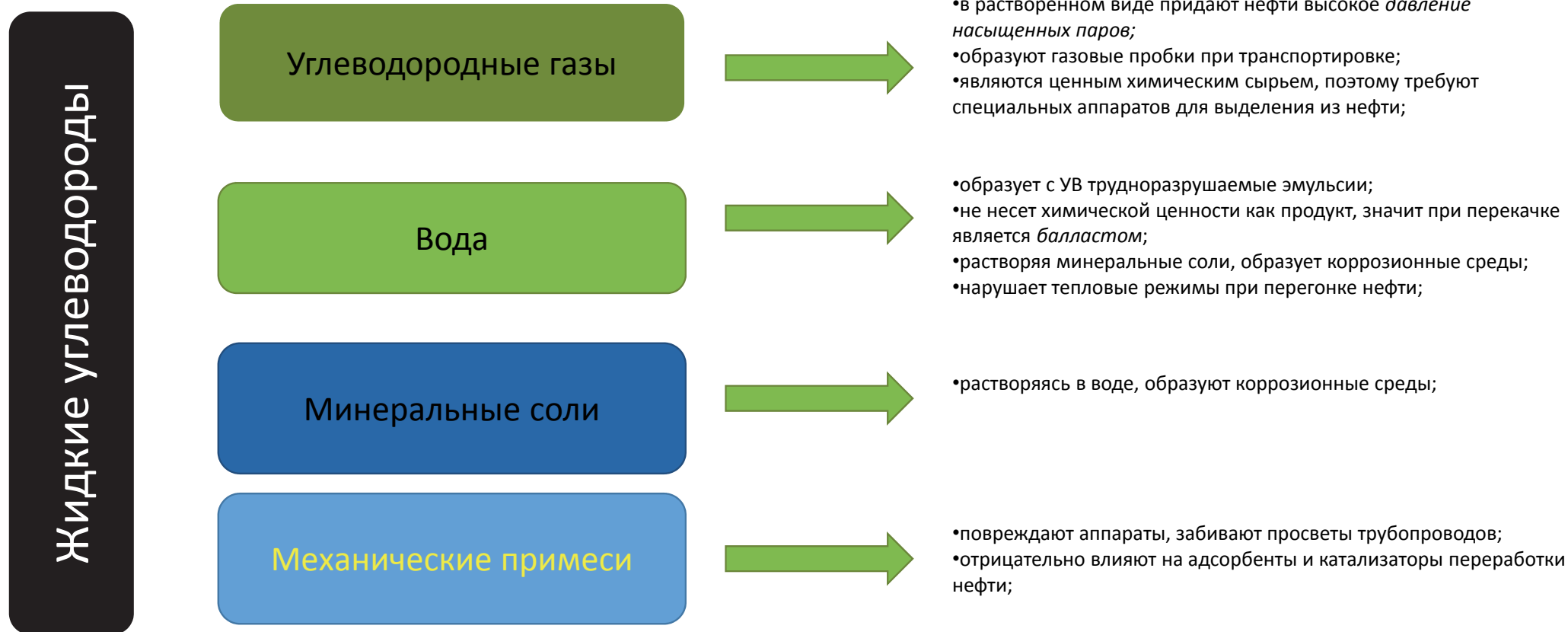
**Сероводород и меркаптаны –
яды и коррозионно-активные агенты**



Официальная классификация нефтей

Группы нефти

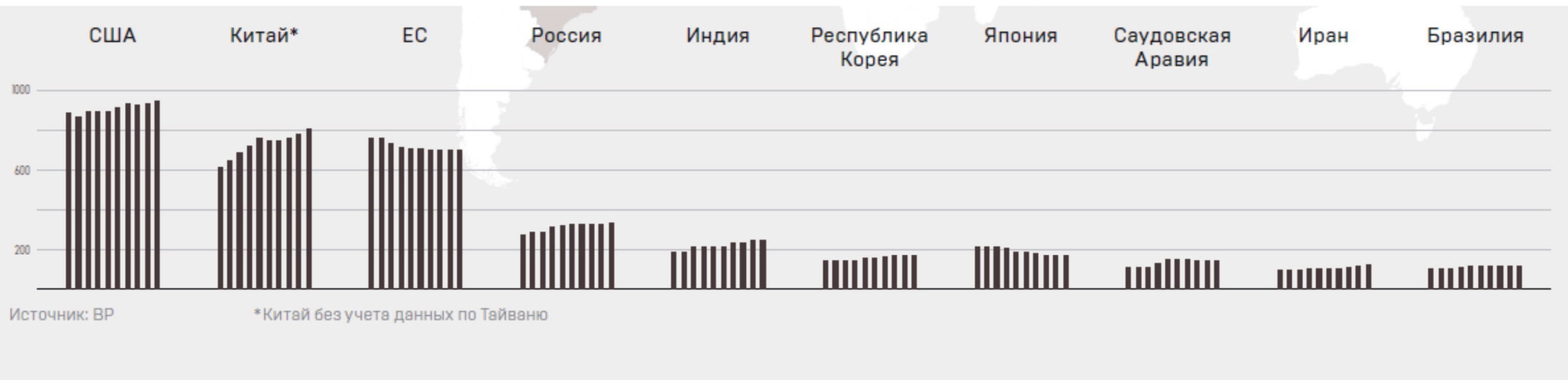
Степень подготовки определяет степень удаления из нефти нежелательных компонентов, добытых вместе с основной частью нефти – жидкими углеводородами.



Нефтяная отрасль России и мира

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЕ МОЩНОСТИ В СТРАНАХ-ЛИДЕРАХ, МЛН.Т



Мировые нефтеперерабатывающие мощности в 2019 г. достигли 101,3 млн. барт./день (около 5 млрд. т в год). Страны АТР (+2,3%), Северная Америка (+1,1%), Ближний Восток (+3,2%), СНГ (+1,7%). Доля России – 6,6%

Современное состояние ТЭК России и мира

Мощности мировой нефтепереработки

Показатель	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.
Общемировая мощность нефтепереработки, млн. т/год	3708,3	4078,0	4256,2	4370,3	4716,9
Количество НПЗ (ед.)	705	743	661	655	636
Средняя мощность завода, млн. т	5,26	5,49	6,44	6,67	7,42

**Факторы сокращения
числа НПЗ:
экологические и
экономические.**

Доля региона в общем объеме нефтепереработки, %				
Регионы мира	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.
Северная и Южная Америка	33,3	32,4	32,3	32,1
Западная и Восточная Европа	36,5	32,5	29,6	28,9
Ближний Восток и Африка	10,9	11,0	12,1	12,1
Азиатско-Тихоокеанский регион	19,4	24,1	26,0	26,9

Сопоставительные характеристики размещения НПЗ в промышленно-развитых странах и в РФ (2012 г.)

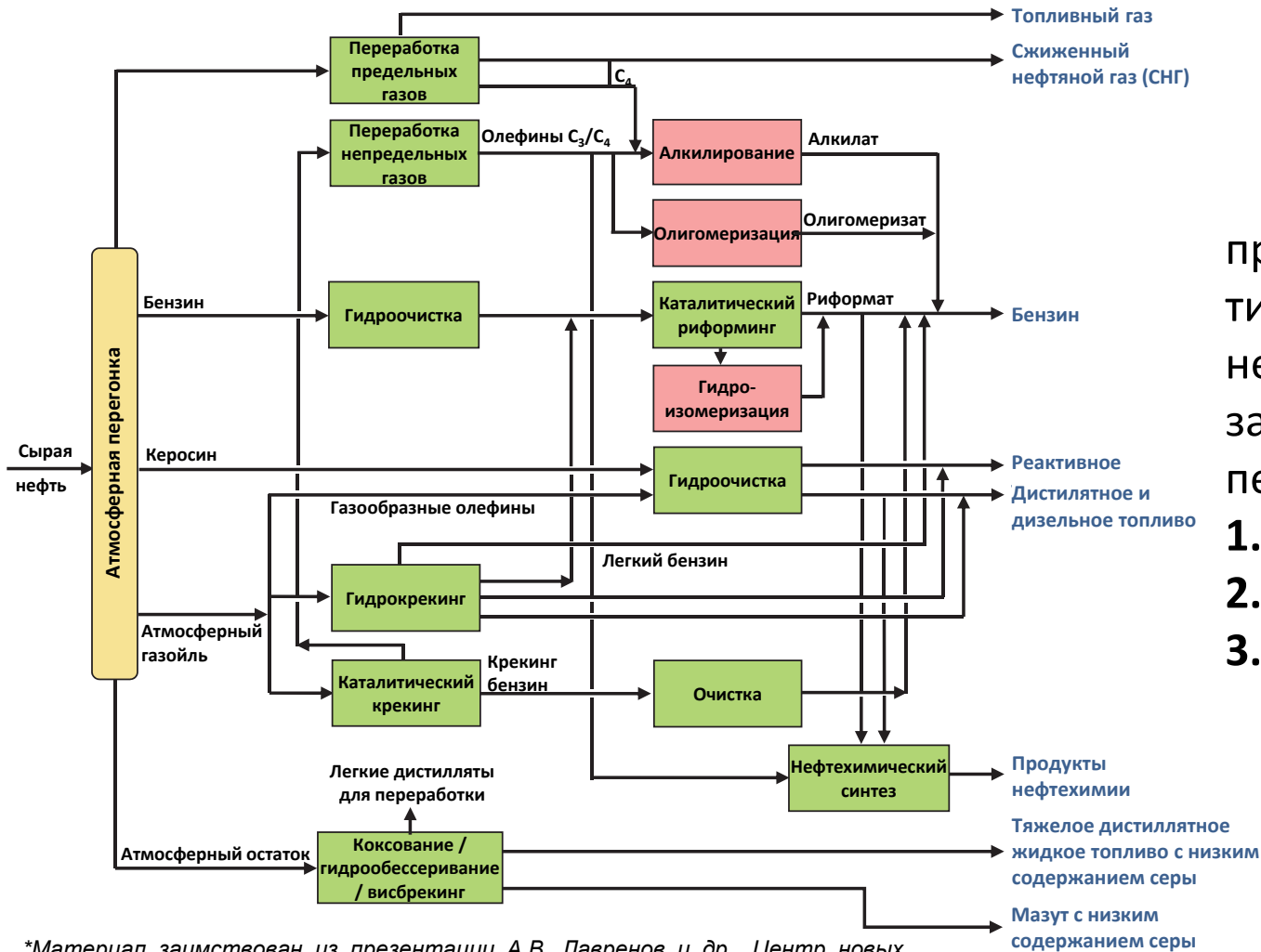
Показатель	США	Канада	Зап. Европа	Россия
Количество НПЗ	132	21	104	28
Общая мощность, млн. т/год	842,5	99,2	752	251,3
Средняя мощность НПЗ, млн. т/год	6,4	4,7	7,2	10,3
Средний размер территории, обслуживаемой одним НПЗ, тыс.км ²	70,9	474	42,9	609,8

Нерациональное размещение предприятий обуславливает **дальность перевозок нефтепродуктов (до 2 тыс. км).**

В Европе и США транспортное плечо составляет **менее 100 км.**

Россия занимает **4 место** в мире по мощности нефтепереработки, в то время, как по глубине переработки – **на 67 месте** из 122 стран.

СХЕМА СОВРЕМЕННОГО НПЗ



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

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

*Материал заимствован из презентации А.В. Лавренов и др., Центр новых химических технологий ИК СО РАН

Основные понятия

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 нефти – если есть процессы каткрекинга или гидрокрекинга;

Неглубокая переработка нефти – 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.**).

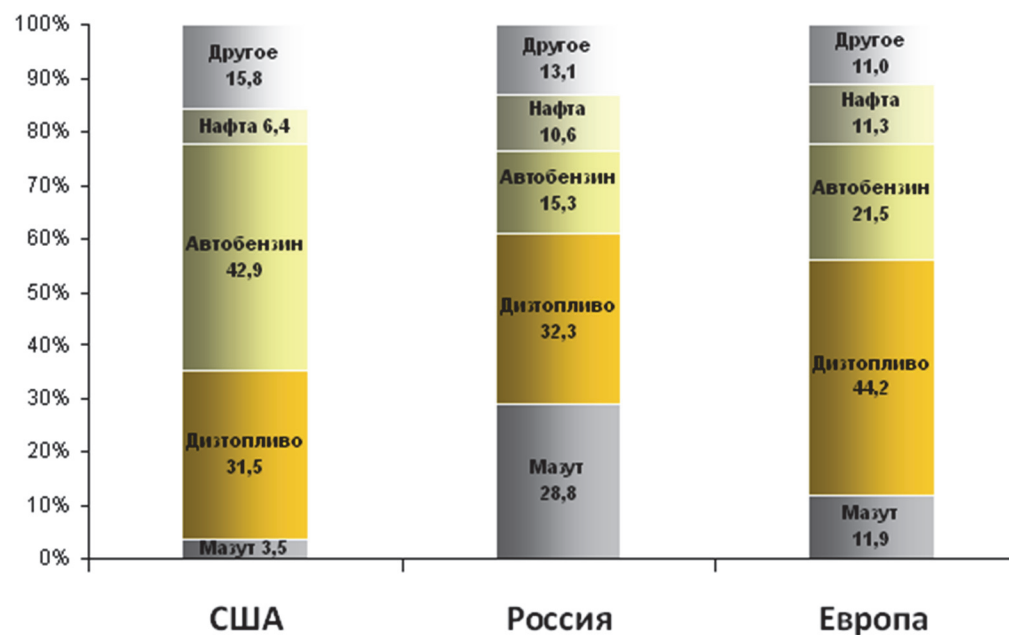
Примеры: Салаватнефтеоргсинтез; Уфанефтехим.

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

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 %



<http://www.energysupplylogistics.com/map/>

Технологические процессы на НПЗ и индекс Нельсона

Индекс (коэффициент) Нельсона (отражает в том числе кап.затраты на строительство):

В среднем:

Топливные НПЗ – 9-10 (глубокая), 5-7 (не глубокая), Нефтехимические НПЗ – 12-16

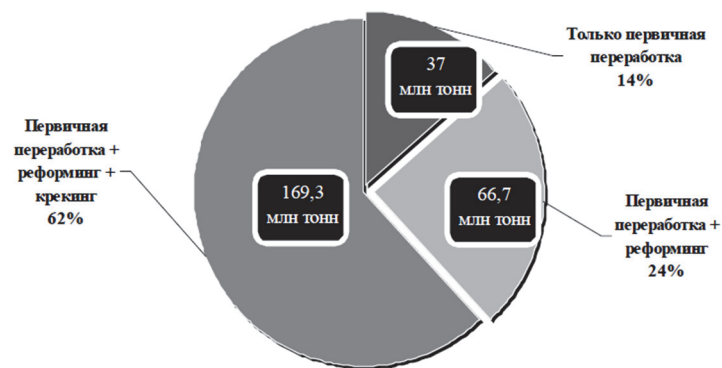


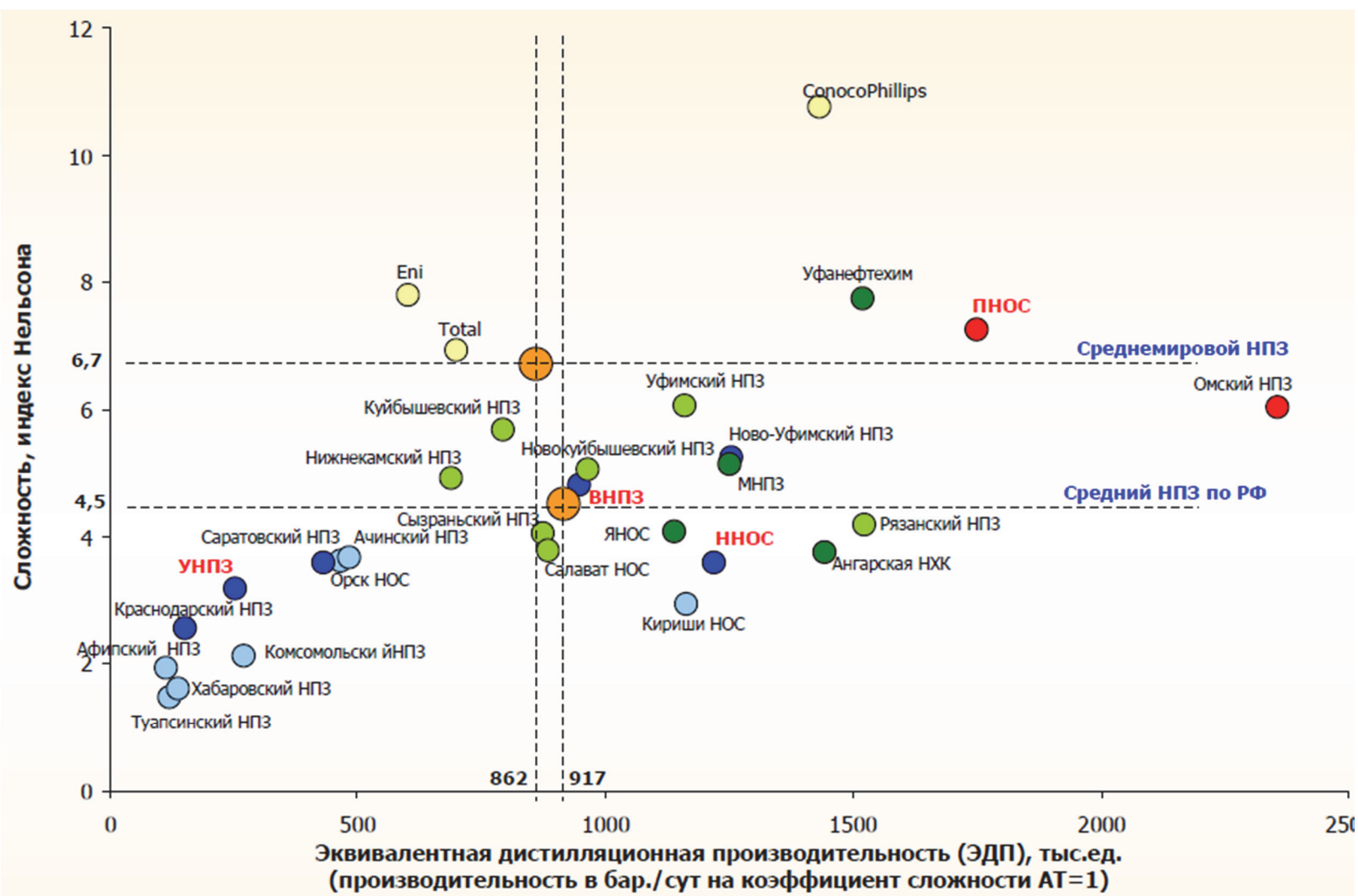
Рисунок III.17 Распределение НПЗ по наличию технологических процессов

1. PennEnergy, Worldwide Refinery Survey and Complexity Analysis, 2014.
2. <http://www.oilforum.ru>

Атмосферная перегонка	1,0
Вакуумная перегонка	1,3
Каталитическая гидроочистка	2,5
Каталитический риформинг	5,0
Термокрекинг / висбрекинг	2,75
Изомеризация ПГФ	3,0
Каткрекинг	6,0
Кат. гидрокрекинг	8,0
Коксование	7,5
Производство битумов	1,5
Производство асфальтов	2,0
Производство водорода	(1,0)
Алкилирование	10,0
производство олефинов	(10,0-20,0)
Олигомеризация / димеризация полимеризация	10,0 (10,0)
Производство ароматики	20,0
экстракция ароматики	(33,0)
Производство смазочных масел	60,0
Депарафинизация	1,5
Деасфальтизация	3,0
Производство оксигенатов (МТБЭ, ТАМЭ)	10,0
Производство серы	240,0

Индекс Нельсона для завода в целом

№ п/п	Установка	Мощность, млн. т	Относительная мощность	Индекс Нельсона (ИН)	«Вклад» в ИН завода
1	Атмосферная перегонка	10	$10/10 = 1$	1	$1*1 = 1$
2	Вакуумная перегонка	3	$3/10 = 0,3$	1,3	$0,3*1,3 = 0,39$
3	Каталитический риформинг	1	$1/10 = 0,1$	5	$0,1*5 = 0,5$
4	Коксование	0,3	$0,3/10 = 0,03$	7,5	$0,03*7,5 = 0,225$
...
...
				ИТОГО:	$1+0,39+0,5+0,225=2,115$



Из истории нефтепереработки

До 1917 г.

Регионы добычи нефти: Азербайджан и Северный Кавказ;

Объемы добычи – 0,4-10,1 млн т.

Ключевые даты:

1897 г. – создание дизельного двигателя;

1900 г. – создание распылительной форсунки для сжигания мазута;

1905-17 гг. – межреволюционный период в России;

Основные продукты: керосин, масла, светлые топлива, мазут;

1920-1941 гг.

Регионы добычи нефти: Азербайджан, Северный Кавказ и северный берег Каспийского моря; 1930 г. – Волго-Уральская НГП (Ишимбайское м.), Тимано-Печорская НГП (Ухтинское м.);

Объемы добычи – 3,9-31,1 млн т.; экспорт: нефти – 0,04-0,46 млн т., нефтепродуктов – 0,05-4,8 млн т. (до 14 % импорта в Европе);

Ключевые даты:

1920 г. – национализация нефтяной промышленности;

1921 г. – закон о концессиях;

1933-38 гг. – строительство заводов в Москве, Ухте, Саратове, Уфе, Орске;

Основные продукты: горючее и масла для военных и общегосударственных нужд;



Из истории нефтепереработки

1941-1960 гг.

Регионы добычи нефти: Кавказ, Волго-Уральская НГП (Ромашкинское м.) и др.

Объемы добычи – 21,7-59,3 млн т.; экспорт: нефти – 0,3-2,1 млн т., нефтепродуктов – 0,9-4,4 млн т.;

Новые заводы: Кстово, Сызрань, Волгоград, Пермь, Краснодар, Омск и т.д.;

Основные особенности плановой экономики в НП промышленности:

- Низкий ассортимент нефтепродуктов;
- Обеспечение нефтепродуктами на минимальном уровне;
- Низкое разнообразие процессов на заводах (копирование схем масляного и топливного профилей);
- Развитие сети магистральных нефтепроводов;

1960-1990 гг.

Новые регионы добычи нефти: Западно-Сибирская НГП (Самотлорское, Приобское м. и др.)

Объемы добычи – 113,2-624,3 млн т.; экспорт: нефти – 9,1-144,2 млн т., нефтепродуктов – 9,0-61,0 млн т.;

Новые заводы: Кириши, Ачинск и др. (в основном, за пределами РСФСР);

Из истории нефтепереработки

В 1920-40-х гг. при размещении НПЗ руководствовались:

- Близость к сырью (Ухта, Уфа, Грозный);
- Близость к районам потребления нефтепродуктов;
- Малое транспортное плечо между объектами добычи и НПЗ;

Таким образом:

- 40 % НПЗ (по мощности) сосредоточено в Поволжье;
- Большинство НПЗ этого времени размещено в районах добычи нефти;

В 1950-80-х гг.:

Новые заводы размещаются в регионах концентрированного потребления НП;

После «нефтяного бума» в Западной Сибири был предложен следующий принцип хозяйствования:

построить крупный НПЗ с низкой глубиной нефтепереработки:

- *светлые фракции (топливо) – рядовым потребителям (оборонное + гражданское назначение), частично, – на НХ-заводы;*
- *темные (мазут) – в энергетику.*

Таким образом:

- Большинство НПЗ появилось в периоды предыдущих технологических укладов развития: 11 заводов - в довоенный период, 14 заводов - в первые 20 лет после ВОВ;
- «Советские» НПЗ перерабатывают 98 % нефти.

Практическое задание № 1.

Задание 1. Расчет индекса Нельсона НПЗ

Задание 2. Расчет глубины переработки нефти.