# Нефть. Переработка нефти

# Свойства нефти

- Нефть — жидкость от светло-коричневого (почти бесцветная) до тёмно-бурого (почти чёрного) цвета (бывают образцы даже изумрудно-зелёной нефти). Плотность 0,65—1,05 (обычно 0,82—0,95) г/см³; нефть, плотность которой ниже 0,83, называется **лёгкой**, 0,831—0,860—**средней**, выше 0,860—**тяжёлой**.

# Свойства нефти

- Температура кристаллизации от −60 до +30 °C.
- Зависит преимущественно от содержания парафина (чем больше, тем температура кристаллизации выше) и лёгких фракций (чем их больше, тем эта температура ниже).
- ? Какая технологически целесообразнее

# Свойства нефти

- Вязкость определяется фракционным составом нефти и её температурой (чем она выше и больше количество лёгких фракций, тем ниже вязкость), а также содержанием смолисто-асфальтеновых веществ (чем их больше, тем вязкость выше)

# Свойства нефти

- Нефть — легковоспламеняющаяся жидкость; температура вспышки от −35 до +121 °C (зависит от фракционного состава и содержания в ней растворённых газов).
- Растворима в органических растворителях, в обычных условиях нерастворима в воде.
- Может образовывать с водой стойкие эмульсии. В технологии для отделения от нефти воды и растворённой в ней соли проводят обезвоживание и обессоливание.

# Происхождение

Версия:

- Образуется из органических остатков умерших организмов, оседающих на морском и речном дне. С течением времени вода и ил предохраняли вещество от разложения, и по мере накопления новых слоев давление на залегающие пласты усиливалось, что в совокупности с температурными и химическими условиями обуславливало образование нефти и природного газа.

# История использования

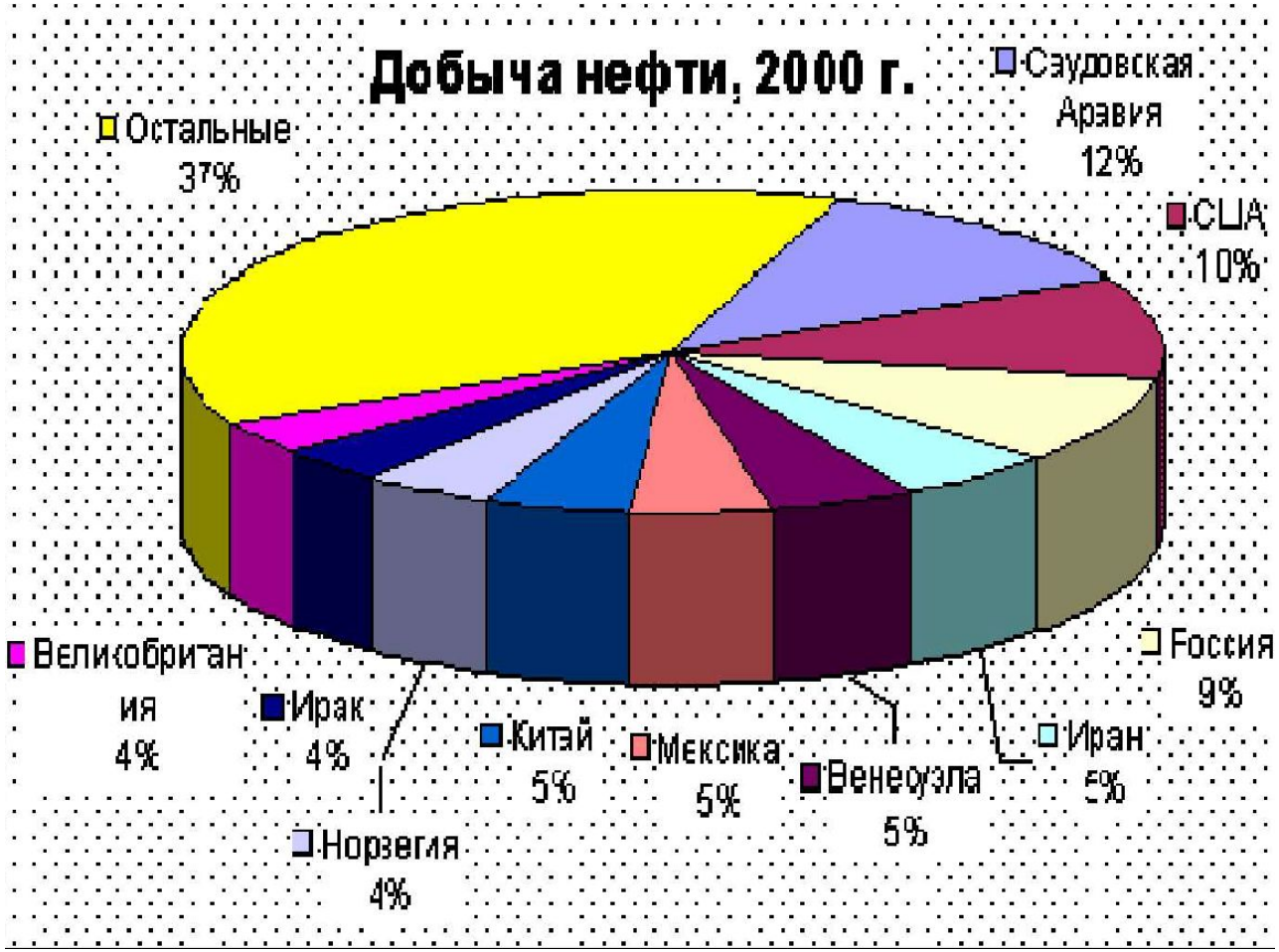
- Начало использования нефти относится к периоду 3000 лет до н.э., когда египтяне применяли ее в строительстве, для освещения и отопления жилища.
- Первая нефтяная скважина пробурена в 1859 г в Пенсильвании предпринимателями под руководством Эдвина Дрейка.
- Более тяжелые фракции нефти поначалу применялись наиболее активно в качестве топлива для осветительных приборов и смазочных средств. Легкие фракции, подобные бензину, поначалу считались отходами. Изобретение двигателя внутреннего сгорания предопределило использование нефти, в первую очередь, как источника топлива.
- Первое письменное упоминание о наличии нефти в России относится к XVI веку, она была обнаружена у берегов рек и Ухты, протекающей в северной части Тимано-Печорского района

# Запасы в мире

| Страна | Запасы, трлн. барр. | Доля от миро-вых запасов. % |
|---|---|---|
| Саудовская Аравия | 264,5 | 19,1 |
| Канада | 32,1 | 2,3 |
| Иран | 137,0 | 9,9 |
| Ирак | 115,0 | 8,3 |
| Кувейт | 101,5 | 7,3 |
| ОАЭ | 92,3 | 7,1 |
| Венесуэла | 211,2 | 15,3 |
| Россия | 77,4 | 5,6 |
| Ливия | 46,4 | 3,4 |
| Нигерия | 37,2 | 2,7 |
| США | 30,9 | 2,2 |
| Китай | 14,8 | 1,1 |

Доказанные мировые запасы нефти составляют 1383, 2 трлн барр.

# Распределение мировой добычи нефти по странам мира



# *Элементный состав нефти*

- В состав нефти входит **около тысячи индивидуальных веществ:**
- жидкие углеводороды (более 500 веществ, обычно составляющих 80—90% массы нефти);
- органические соединения, включающие другие элементы (4—5%):

  **серу** (около 250 веществ),

  **азот** (более 30 веществ),

  **кислород** (около 85 веществ),

  **металлоорганические** соединения (главным образом ванадиевые и никелевые),

- растворённые углеводородные газы ($C_1$-$C_4$, от десятых долей до 4 %),
- вода (от следов до 10 %),
- минеральные соли (главным образом хлориды, 0,1—4000 мг/л и более),
- растворы солей органических кислот
- механические примеси.

**Элементный состав нефти различных месторождений (в %)**

| Месторождение | Плотность, г/см$^3$ | C | H | S | N | O | Зола |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ухтинское (РФ) | 0,897 | 85,30 | 12,46 | 0,88 | 0,14 | - | 0,01 |
| Грозненское (РФ) | 0,850 | 85,95 | 13,00 | 0,14 | 0,07 | 0,74 | 0,10 |
| Сураханское (Азербайджан) | 0,793 | 85,34 | 14,14 | 0,03 | - | 0,49 | - |
| Калифорнийское (США) | 0,912 | 84,00 | 12,70 | 0,40 | 1,70 | 1,20 | - |

# Классы нефти

| Класс нефти | 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 сернистая | Более 3,50 |

# Парафиновые углеводороды

- *Газообразные алканы* ($C_1$ - $C_4$) растворены в нефти в условиях нефтеносного пласта и выделяются из нее при добыче в виде попутных газов
- *Жидкие алканы*($C_5$ - $C_{15}$), входящие в состав бензиновых ($C_5$ - $C_{10}$) и керосиновых ($C_{11}$-$C_{15}$) фракций нефти
- *К твердым алканам* относятся углеводороды $C_{16}$ и выше (присутствуют во всех нефтях в растворенном или взвешенном кристаллическом состоянии от 0, 5 до 20 мас. %)

# Классификация по парафиновой фракции

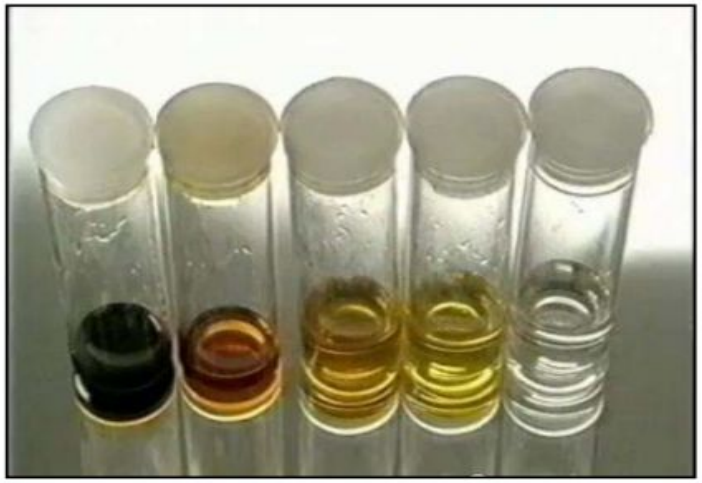
- Малопарафинистые до 1,5%
- Парафинистые 1,5- 6,0%
- Высоко парафинистые более 6,0 %

Растворенные в нефти твердые парафиновые углеводороды определяют ее температуру застывания: от плюс 11 °С до минус 20 °С.

Парафины и церезины являются нежелательными компонентами.

# Переработка нефти

- Разделение нефти на фракции относится к первичным процессам переработки нефти и осуществляется перегонкой на нефтеперерабатывающих заводах.
- При исследовании качества месторождений фракционный состав нефтей определяют при перегонке с последующим построением *кривой истинных температур кипения (ИТК*) – зависимость выхода фракции в % от температуры в °С.
- Каждый вид сырой нефти имеет свою ИТК, которая позволяет определить ее фракционный состав.



t110482 [RM] © www.visualphotos.com

Цвет различных фракций нефти (по данным http://brettchemistryblog.blogspot.com/2011/05/59-i-can-describe-trend-in-boiling.html; http://josephinechemblog.blogspot.com/2011/05/59-i-can-describe-trend-in-boiling.html)

# Перегонка

- Перегонка - процесс физического разделения нефти на фракции, которые отличаются друг от друга и от исходной нефти по температурным пределам выкипания.
- По способу проведения процесса различают:
  - **простую перегонку**
  - **сложную перегонку.**

# Перегонка

*К простой перегонке* относят

- перегонку с однократным испарением,
- многократным испарением,
- постепенным испарением.

Перегонку нефти *с постепенным испарением* в основном применяют в лабораторных условиях на установках периодического действия.

# Перегонка

- *При однократной перегонке* нефть нагревается до заданной температуры и образовавшиеся пары однократно отделяются от жидкой фазы. В этом случае при одинаковой температуре и давлении обеспечивается большая доля отгона.

# Перегонка

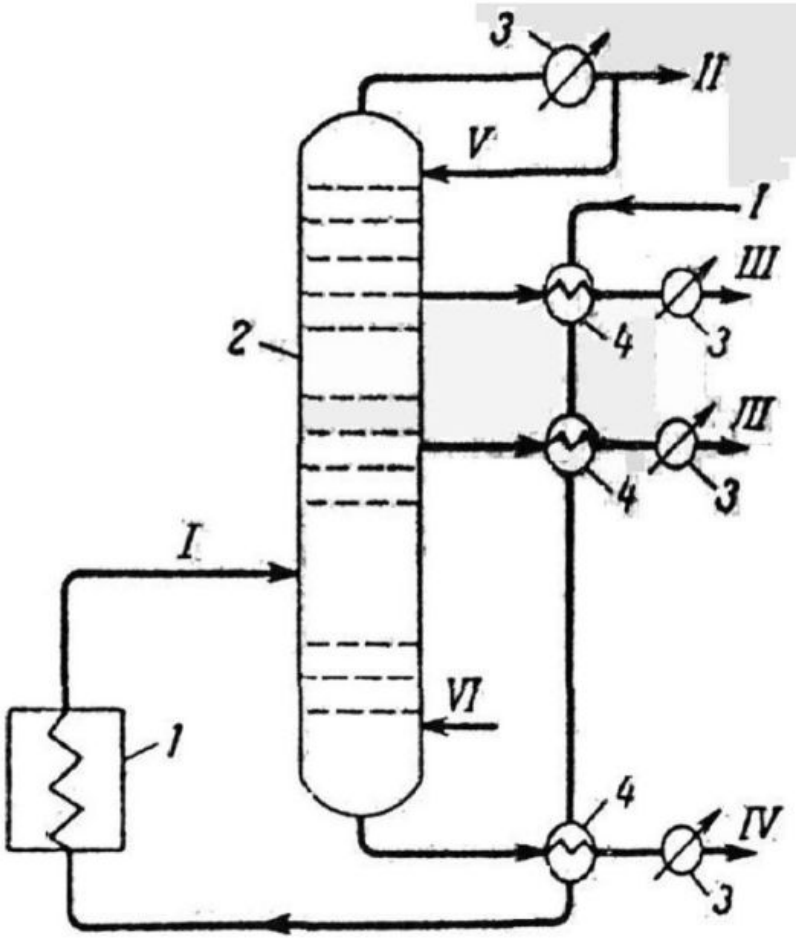
- *Перегонка с многократным испарением* включает два или более однократных процесса испарения, когда при каждом испарении образовавшиеся пары отделяются от жидкой фазы с последующей конденсацией, а жидкая фаза подвергается дальнейшему нагреву с конденсацией вновь образовавшихся паров.

# Перегонка

- *К процессам сложной перегонки* относят перегонку с **дефлегмацией** и перегонку с **ректификацией**.

- Наиболее широко в промышленных условиях используется непрерывный процесс перегонки с однократным испарением в сочетании с ректификацией, что позволяет обеспечить **четкое разделение нефти на фракции**.

# Принципиальная схема установки для перегонки нефти




*1*- трубчатая печь,
2 - ректификационная колонна,
3- конденсатор-холодильник,
4 - холодильники;

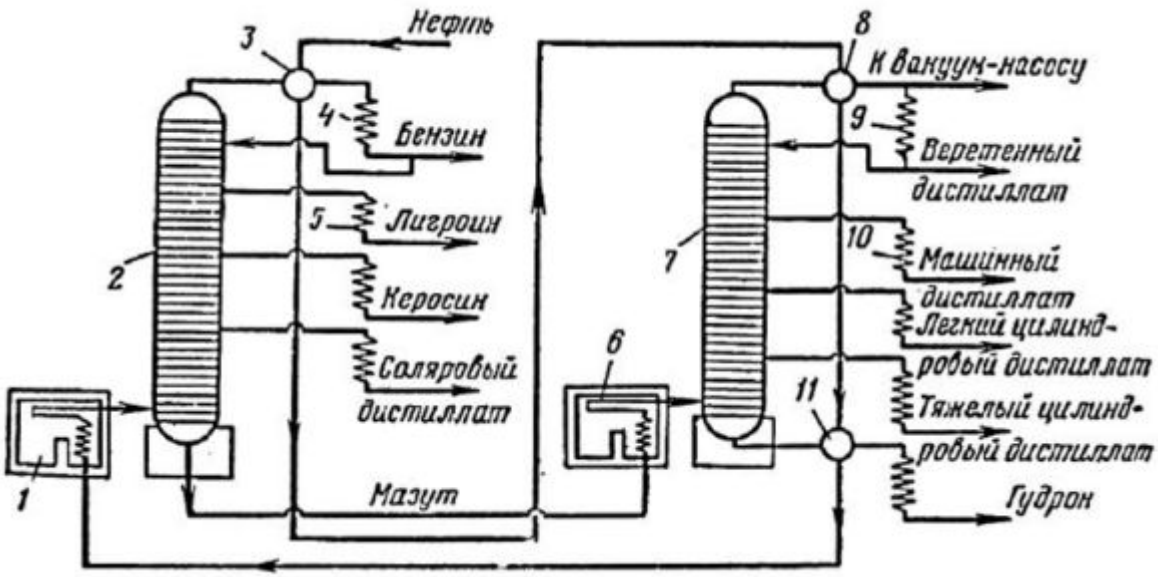
I - нефть,
II - верхний продукт,
III - боковые продукты,
IV - остаток от перегонки нефти, V - орошение,
VI - ввод тепла или испаряющего агента.

# Ректификационные колонны

Ректификационные колонны
(по данным http://www.12821-80.ru/tech/7-flantsy_pervichnaya_pererabotka_nefti)

В ректификационной колонне размещены ректификационные тарелки, на которых осуществляется контакт поднимающихся по колонне паров со стекающей жидкостью (флегмой).
Флегма создается в результате того, что часть верхнего продукта возвращается в жидком состоянии на верхнюю тарелку и стекает на нижележащие, обогащая поднимающиеся нары низкокипящими компонентами.

# Схема двухступенчатой установки для перегонки нефти




*1,6*- трубчатые печи;
*2,7* - ректификационные колонны;
*3, 8, 11*- теплообменники;
*4, 9* - конденсаторы;
5,*10* - холодильники

# Фракции нефти

- **Петролейная фракция** – смесь легких жидких углеводородов (пентанов и гексанов).
- Петролейную фракцию (или петролейный эфир) получают из попутных нефтяных газов, из газоконденсата и из легких фракций нефти. Т
- Температура кипения петролейного эфира – 40-70 °С (легкий) и 70—100 °С (тяжёлый).

# Фракции нефти

- **Бензиновая фракция нефтей и конденсатов** - сложная смесь углеводородов (до С11) различного строения.
- Примерно 70 компонентов этой смеси выкипают до 125°С
- В интервале 125-150°С — выкипает 130 углеводородных компонентов этой фракции.
- Используется в качестве компонента товарного автобензина и как сырье для установок каталитического риформинга.

# Фракции нефти

- **Лигроиновая фракция** (тяжелая нафта) нефти является высокооктановой - сложная смесь более тяжелых углеводородов,
- В промышленности используется как компонент товарных бензинов, осветительных керосинов и реактивных топлив, а также как органический растворитель и наполнитель жидкостных приборов.

# Фракции нефти

- **Керосиновая фракция** — это фракция прямой атмосферной перегонки нефти с границами кипения от 180 до 315°С.
- Температура начала кристаллизации минус 60°С.
- Обычно представлена углеводородами, имеющими от 9 до 16 атомов углерода.

- Керосиновые фракции - **высококачественные топлива для реактивных двигателей**

# Фракции нефти

- **Дизельная фракция** (соляровый дистиллят или атмосферный газойль), выкипающая в пределах 180 - 360°С
- Используется в качестве товарного топлива для быстроходных дизелей, а также как сырье для других процессов переработки нефтепродуктов.

# Фракции нефти

- **Мазут-** смесь углеводородов (молекулярная масса от 400 до 1000), нефтяных смол (молекулярная масса 500—3000 и более), асфальтенов, карбенов, карбоидов и органических соединений, содержащих различные микроэлементы — металлы и неметаллы (V, Ni, Fe, Mg, Na, Ca, Ti, Hg, Zn и другие).

# Фракции нефти

- Остаток после отгонки вакуумных дистиллятов из мазута называется ***гудроном***.
- Выход гудрона — от 10 до 45 % от массы нефти.
- Гудрон — вязкая жидкость или твердый асфальтоподобный продукт черного цвета с блестящим изломом.
- Гудрон используют для производства дорожных, кровельных и строительных битумов, малозольного кокса, смазочных масел, мазута и моторного топлива.

# Экология нефтепереработки

- http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/8611/201235.pdf?sequence=1

# Переработка нефти

# Глубина переработки нефти

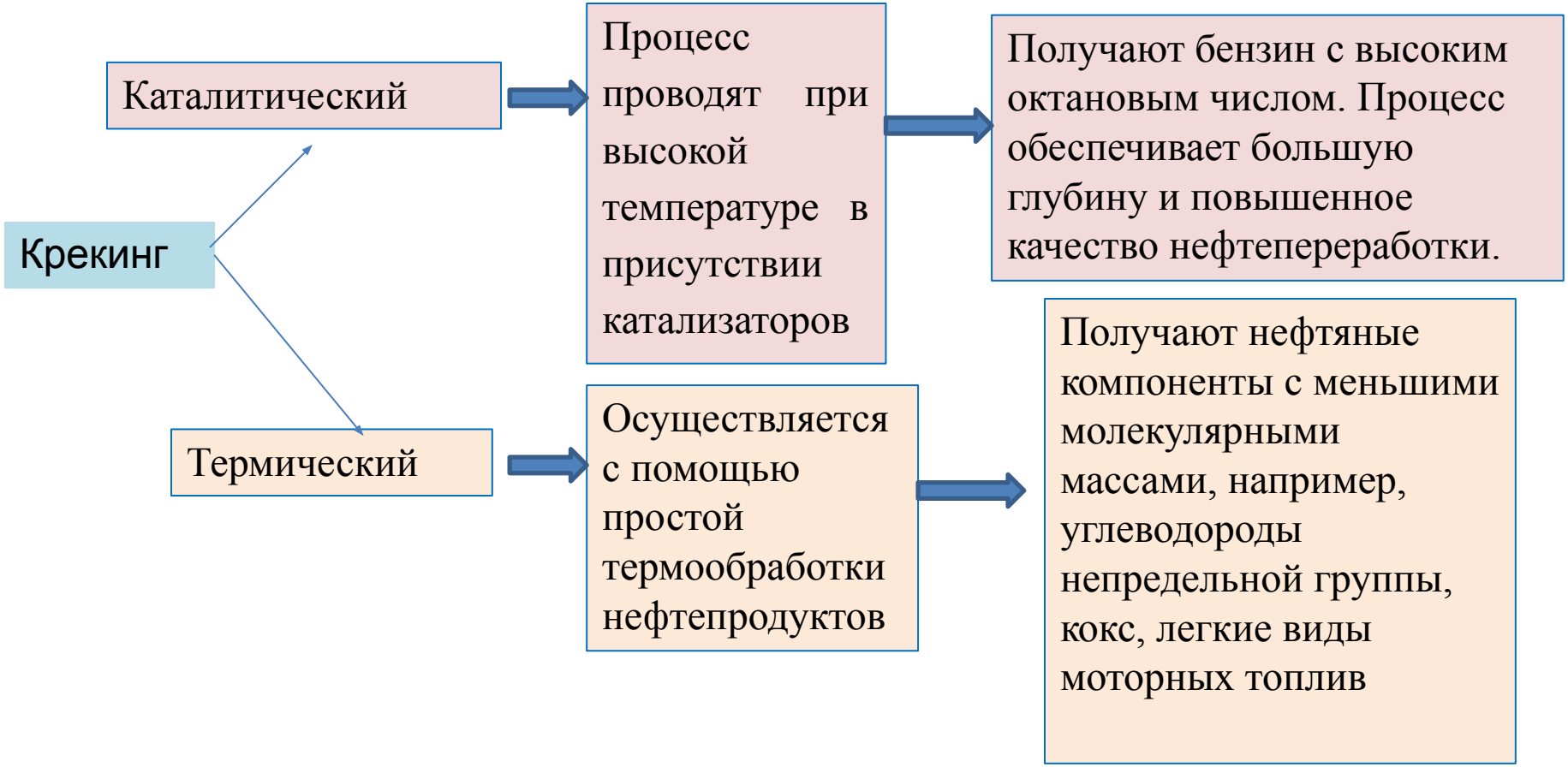
- Глубина переработки нефти **(ГПН) –** показатель, характеризующий эффективность использования сырья. По величине ГПН косвенно судят о насыщенности нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) вторичными процессами и структуре выпуска нефтепродуктов.
- НПЗ с высокой долей вторичных процессов располагает большей возможностью для производства из каждой тонны сырья большего количества более ценных, чем нефтяной остаток, нефтепродуктов и, следовательно, для более углубленной переработки нефти.
- В нефтепереработке РФ под глубиной переработки нефти подразумевается суммарный выход в процентах на нефть всех нефтепродуктов, кроме непревращенного остатка, используемого в качестве котельного топлива.
- За рубежом глубину переработки нефти определяют преимущественно как суммарный выход светлых нефтепродуктов от нефти, т. е. имеется в виду **глубина топливной переработки** нефти.

# Способы глубокой переработки нефти

- Крекинг
- Риформинг
- Пиролиз
- Дегидрирование
- Полимеризация и сополимеризация

# Крекинг

- Термин **крекинг** происходит от английского слова «**cracking**» - «**расщепление**».
- Суть: разделение сырья на отдельные фракции с меньшей молекулярной массой. Так получают моторное топливо, нефтяные масла, другие продукты, необходимые для нефтехимической и химической промышленности.



# Крекинг

- В некоторых случаях применяется ***окислительный*** крекинг, процесс проходит при участии кислорода.
- Применяется также ***электрический*** крекинг, с помощью которого, например, получают ацетилен (метан пропускают сквозь электризованную среду).

# Риформинг

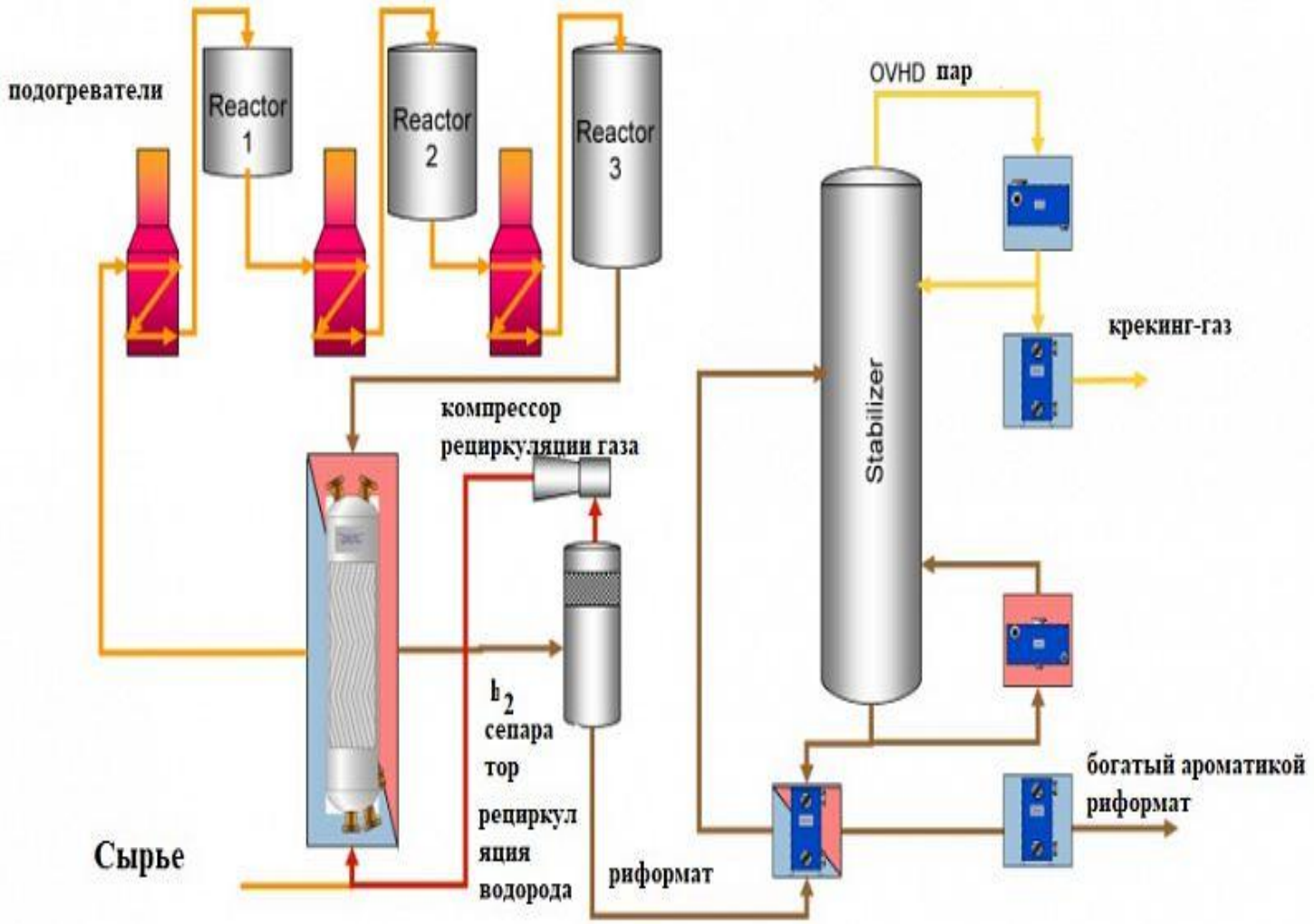
- Риформинг - способ переработки нефтепродуктов, в основном бензиновых и лигроиновых фракций нефти

Термический - сырье перерабатывается при высокой температуре

Каталитический - исходный продукт преобразуется при одновременном воздействии высокой температуры и катализатора

Получение высокооктанового автомобильного бензина ароматических углеводородов технического водорода

# Технологическая схема риформинга



# Риформинг

- **Термический риформинг** широко применяли только для производства высокооктановых бензинов.
- Переработку бензино-лигроиновых фракций (пределы выкипания 60-180 °С) проводили в трубчатых печах при 530-560 °С и 5-7 МПа.
- Недостаток процесса - невысокие выходы целевого продукта вследствие больших потерь сырья в виде газа и кокса, а также сравнительно высокое содержание непредельных углеводородов в бензине, что снижает его стабильность и приемистость к тетраэтилсвинцу.
- Несмотря на простоту аппаратурного оформления, такой процесс практически полностью вытеснен каталитическим риформингом.

- Процессы **каталитического риформинга** осуществляются в присутствии бифункциональных катализаторов - платины, чистой или с добавками рения, иридия, галлия, германия, олова, нанесенной на активный оксид алюминия с добавкой хлора.

# Пиролиз

- Пиролиз - термическое преобразование алканов в олефины.

✔ Только так получают самый востребованный материал **этилен**

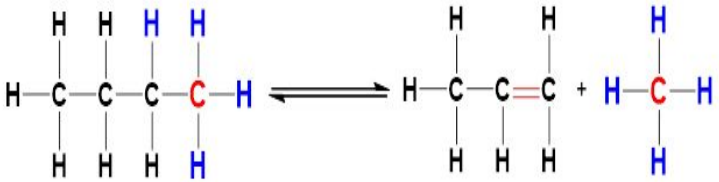
✔ Так получают пропилен

✔ Можно получать бутадиен

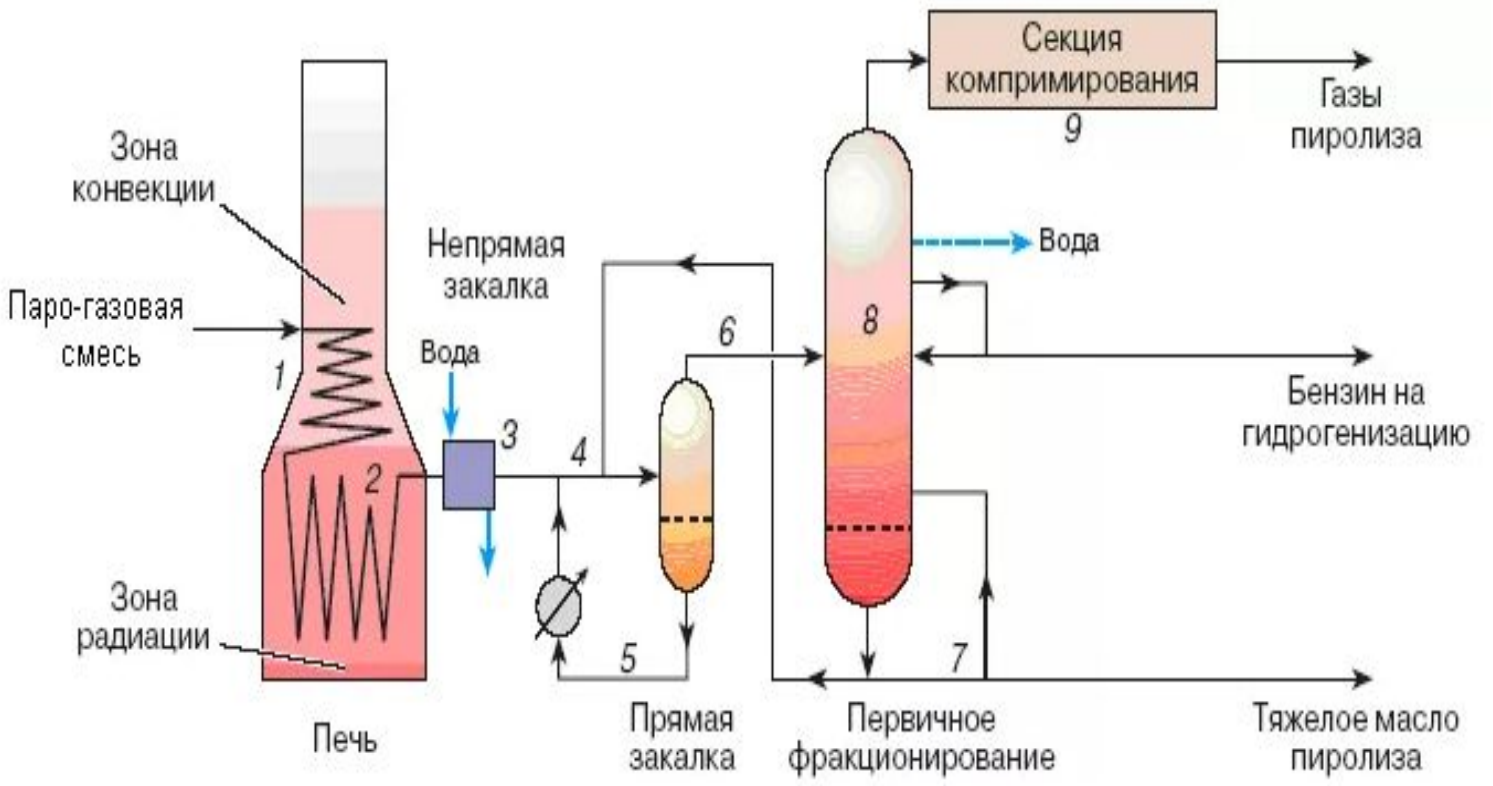
✔ Получают большое количество бензола (основное сырьем для многих нефтехимических предприятий)

Преимущества:

относительная простота,
универсальность
дешевизна.



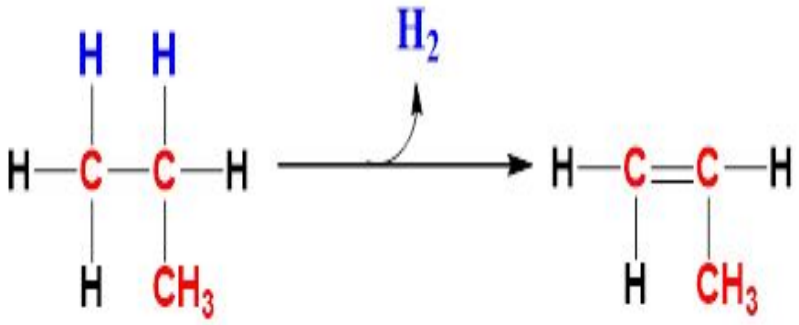
# Схема установки пиролиза



| Компоненты | Сырье пиролиза | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Этан | н-Бутан | Прямо-гонный бензин | Атмо-сфер-ный газойль |
| Водород | 3,5 | 1,3 | 1,0 | 0,7 |
| Метан | 4,3 | 21,6 | 16,1 | 11,5 |
| Ацетилен | 0,3 | 0,9 | 0,8 | 0,3 |
| Этилен | 48,0 | 37,8 | 30,3 | 25,0 |
| Этан | 39,4 | 5,1 | 3,5 | 3,4 |
| Пропилен | 1,3 | 17,3 | 14,9 | 14,5 |
| Дивинил | 1,1 | 3,6 | 5,2 | 5,1 |
| Бутены | 0,3 | 1,5 | 3,7 | 3,9 |
| Углеводороды $C_5$ | 0,3 | 0,3 | 3,2 | 3,4 |
| Бензол | 0,6 | 2,5 | 6,7 | 7,1 |
| Тяжелая смола | 0,1 | 0,6 | 5,2 | 9,1 |

# Дегидрирование

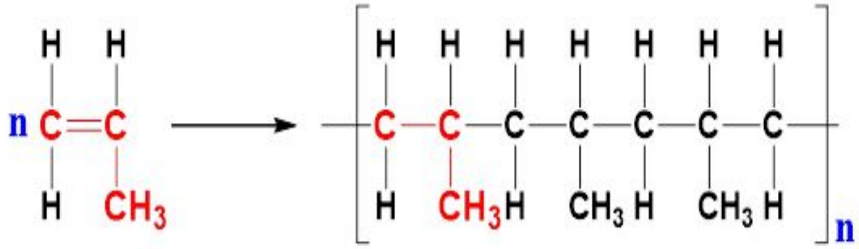
- Процесс дегидрирования не требует серьезных затрат энергии, больших производственных мощностей и т.д.
- Единственным ограничением для производства является чистота сырья: низшие олефины получаются из чистых алканов.
- Из сырьевого вещества удаляются «лишние» атомы водорода. Освободившиеся места занимают соседние атомы углерода, благодаря чему образовываются двойные и тройные связи между ними.



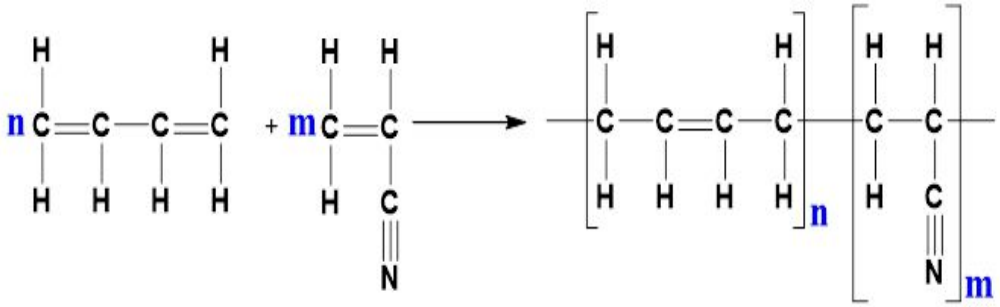

Пропан Пропилен

# Полимеризация и сополимеризация

- Молекулы олефинов способны соединяться между собой, создавая очень крепкие и длинные цепочки. Такой процесс называется **полимеризацией** и позволяет создавать молекулярные цепи из огромного количества звеньев.



Пропилен Полипропилен



Бутадиен Акрилонитрил Бутадиен-акрильный каучук

# Конверсия метана (природного газа)

# Что уже знаем (изучили)?

- Конверсия метана является основным промышленным методом получения водорода и технологических газов для синтеза аммиака (см. лекции Производство водорода, Производство аммиака), спиртов и других продуктов.
- Известны различные способы конверсии метана. От метода конверсии зависят технологическая и энергетическая схемы производства аммиака в целом.
- Природный газ бесцветен, не имеет запаха, значительно легче воздуха, горюч и взрывоопасен. При транспортировке по трубопроводам в природный газ добавляют меркаптаны, обладающие резким запахом, что позволяет легко обнаружить утечку газа, но создает дополнительные трудности при его переработке (меркаптаны — серосодержащие соединения, а сера является ядом для всех катализаторов).
- Состав природного газа в зависимости от месторождения содержит различное количество метана, этана, пропана и бутана, пентаны, азот, углекислый газ, сернистые соединения, гелий.
- Высокое содержание гелия в природном газе некоторых месторождений делает экономически целесообразным его выделение.

# Что уже знаем (изучили)?

Переработка природного газа включает следующие этапы:

- 1. Стандартные процессы осушки (для исключение газогидратных пробок) и выделения сероводорода и углекислого газа с последующей утилизацией сероводорода;
- 2. Выделение азота и гелия;
- 3. Получение чистого метана;
- 4. Производство $C_2$-$C_5$-углеводородов или широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ).

Что уже знаем?
Какое отношение Методы получения водорода имеют к сегодняшней теме?

**В промышленности**

- Конверсия метана с водяным паром при 1000 °С

$CH_4 + H_2O = CO + 3H_2$

- Каталитическое окисление кислородом природного газа:

$2CH_4 + O_2 = 2CO + 4H_2$

- Крекинг и риформинг углеводородов в процессе переработки нефти.

# Блок-схема получения водорода паровой конверсией метана с получением водорода

**Метан под давлением около 3 МПа подогревается, а затем в целях предотвращения дезактивации катализатора очищается от сернистых и галогенсодержащих соединений. Очистка сырья осуществляется в среде водорода на гетерогенном оксидном алюмокобальтмолибденовом катализаторе.**

**Далее очищенное сырье смешивается с водяным паром, подогревается с последующим проведением реакции паровой конверсии метана на никелевом катализаторе под давлением (2–3 МПа) и температуре 870 °С.**

**На выходе из реактора реакционные газы (CO, $H_2$ и $CO_2$) проходят котел-утилизатор, в котором охлаждаются до температуры около 345 °С, и затем направляются в конвертор оксида углерода.**

**Конверсия оксида углерода водяным паром осуществляется на железооксидном катализаторе при 370–440 °С, а далее на оксидном медно-цинк-хромовом катализаторе при 230–260 °С с образованием дополнительного количества водорода.**

**Сырой водород, полученный при конверсии оксида водорода, подвергается мокрой или сухой очистке от примесей, в частности от побочного продукта реакции – диоксида углерода.**

# Почему вернулись в новом разделе?

- Из метана получают хлорсодержащие растворители, сероуглерод, синильную кислоту, ацетилен и этилен.
- Конверсией метана получают синтез-газ.
- Синтез-газ может быть превращен в метанол, формальдегид, ацетальдегид, уксусную кислоту, этиленгликоль, олефины, индивидуальные углеводороды, моторные топлива и другие продукты.

# Процессы превращения метана:

- 1. Получение синтез-газа;
- 2. Прямое каталитическое превращение метана в этилен - окислительная конденсация метана;
- 3. Прямое каталитическое окисление метана в кислородсодержащие продукты - спирты и формальдегид.

## Разработка процесса прямого каталитического окисления метана в кислородсодержащие продукты началась в начале XX столетия.

Этот процесс возможен при атмосферном давлении и комнатной температуре, но до сих пор не подобраны эффективные катализаторы. Процесс проводят без катализатора при высоких давлениях, выходы полезных продуктов невелики. Процесс не является в настоящее время перспективным для промышленной реализации.

# *Методы получения синтез-газа*

- Паровая конверсия:

$$CH_4 + H_2O \Leftrightarrow CO + 3H_2 \qquad \Delta H = +226 \text{ кДж/моль};$$

- Углекислотная конверсия:

$$CH_4 + CO_2 \Leftrightarrow 2CO + 2H_2 \qquad \Delta H = +264 \text{ кДж/моль};$$

- Парциальное окисление:

$$CH_4 + 1/2\,O_2 \Leftrightarrow CO + 2H_2 \qquad \Delta H = -44 \text{ кДж/моль};$$

<u>Новое направление</u>: совмещение эндотермических процессов конверсии метана с экзотермическим парциальным окислением

# Паровая конверсия

***Условия процесса***:

Температура:

- Константа равновесия равна 1 при 780°С.
- При 800°С равновесная степень превращения достигает 90 – 92%.
- Понижение температуры благоприятствует протеканию обратной реакции метанирования СО:

Соотношения пар/метан:

- Увеличение соотношения пар/метан увеличивает степень превращения метана.
- На практике применяют отношение = 2 – 5.

Давление:

- давление не оказывает существенного влияния на протекание процесса, однако, паровую конверсию метана зачастую проводят при повышенном давлении, поскольку последующие этапы переработки синтез-газа требуют его применения.

# Паровая конверсия

***Катализаторы:***

- переходные металлы:

Rh~Ru>Ni>Ir>Pd~Pt>>Co~Fe.

- Активность родиевого катализатора в 13 раз выше чем никелевого, в промышленности используют именно последний, поскольку благородные металлы дороги, а кобальт и железо в условиях реакции быстро окисляются и дезактивируются.
- Для лучшего массопереноса катализатор используют в виде небольших гранул или колец.

***Носитель*** (развить поверхность катализатора):

- оксидная керамика

$$\alpha - Al_2O_3, MgO, MgAl_2O_4, ZnO_2$$

# *Углекислотная конверсия*

Катализатор:

Металлические катализаторы:

- благородные металлы VIII группы (менее подверженные зауглероживанию благородные металлы):

  Rh> Pt >Pd~Ir >Ru.

Носитель: Активность одного и то же металла в углекислотной конверсии метана уменьшается в ряду носителей . Этот ряд соответствует изменению кислотности этих носителей, что благоприятствует более прочному закреплению металлов на поверхности и образованию более мелких кристаллов.

$$Al_2O_3 > ThO_2 > SiO_2 > MgO$$

## *Паро-Углекислотная конверсия*

Совмещение паровой и углекислотной конверсии метана при использовании паро-углекислотной исходной газовой смеси позволяет варьировать отношение $H_2/CO$ в синтез-газе в широких пределах

Вследствие того, что конверсия метана является эндотермическим процессом, современные способы производства синтез-газа построены по энерго-технологическому принципу, то есть они предполагают максимальное использование теплоты протекающих химических реакций.

# *Парциальное окисление метана*

$$CH_4 + 1/2\,O_2 \Leftrightarrow CO + 2H_2$$

$\Delta H = -44$ кДж/моль

В разных слоях реактора наблюдается протекание различных процессов:

- В верхних слоях – экзотермическая реакция глубокого окисления

$$CH_4 + 2O_2 \Leftrightarrow CO_2 + 2H_2O \quad (\Delta H = -802 \text{ кДж/моль})$$

- В нижних слоях – эндотермическую реакця углекислотной конверсии

$$CH_4 + CO_2 \Leftrightarrow 2CO + 2H_2 \quad (\Delta H = +261 \text{ кДж/моль})$$

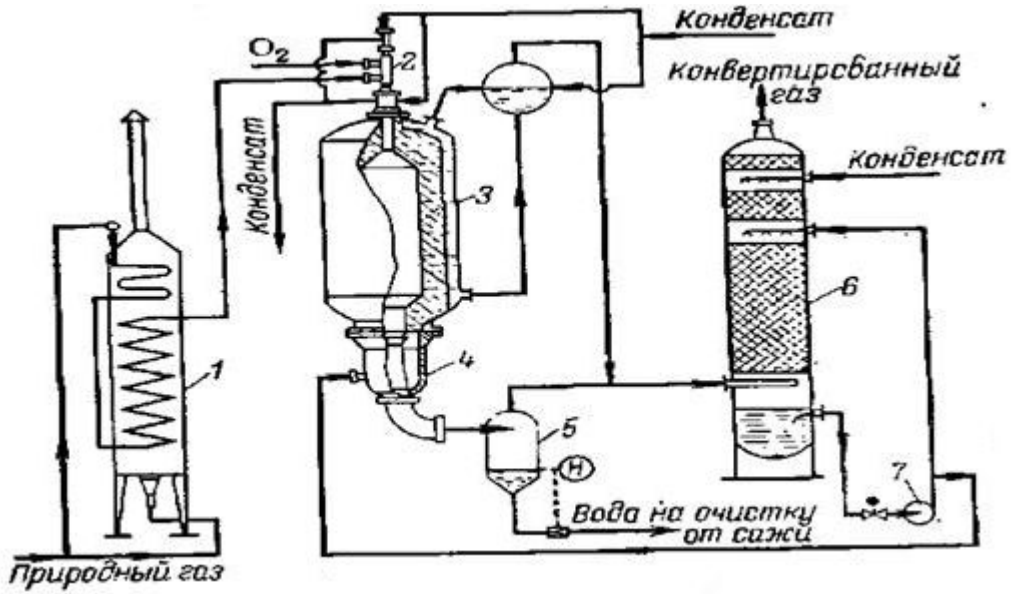
# *Технология конверсии метана*

- Наибольшее распространение получили реакторы со стационарным слоем катализатора. В этом случае чаще применяют сотовые катализаторы для организации больших скоростей потока и сохранения горячего участка внутри слоя.
- Преимуществом реактора с псевдоожиженным слоем катализатора является хороший теплоперенос, а также малый перепад давления.

***Наиболее распространенный метод получения синтез-газа - конверсия метана с водяным паром в присутствии кислорода на никелевом катализаторе.***

# Схема высокотемпературной (некаталитической) кислородная конверсия газов под давлением

- В основу процесса находится реакция неполного окисления метана и его гомологов кислородом, проводимая в отсутствие катализатора в свободном объеме.
- В промышленности этот процесс проводят под давлением 2 или 3 МПа Для окисления используют технический кислород (95 % $O_2$);
- Получаемый безазотистый газ подвергается тонкой очистке (после стадий конверсии CO и очистки от $CO_2$) от CO и $CH_4$ путем промывки жидким азотом.

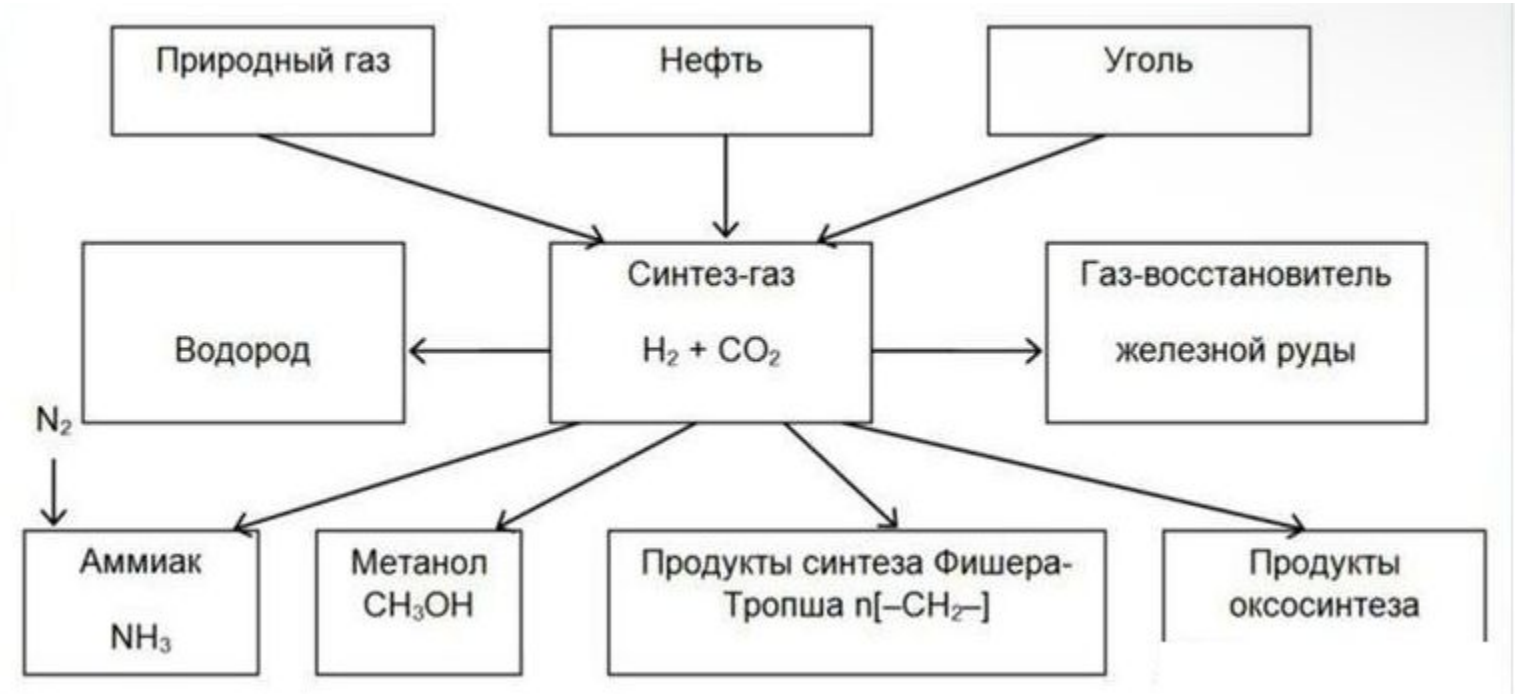



- *1 — подогреватель; 2 — горелка; 3 — конвертор; 4 —сатуратор; 5 — сепаратор;*6 *—скруббер; 7 — насос.*

Природный газ под давлением 2 или 3 МПа подогревается до 400 °С в газовом подогревателе ***1***. Кислород сжимается в турбокомпрессоре до давления, несколько превышающего 2 или 3 МПа. Затем оба потока поступают в горелку ***2***, смонтированную на верхнем штуцере высокотемпературного конвертора ***3***. Соотношение кислорода и метана в соответствии с уравнением реакции составляет 0,5: 1.

Пройдя горелку, потоки кислорода и газа поступают в конвертор метана ***3***, где в начальном участке реакционной зоны завершается их смешение и начинается процесс конверсии.

Нижняя часть конвертора конструктивно совмещена с турбулентным сатуратором ***4*** типа Вентури, куда подается конденсат, охлаждающий конвертированный газ до 300 °С и увлажняющий его. Затем конвертированный газ, пройдя сепаратор ***5***, дополнительно охлаждается в скруббере***6,*** орошаемым конденсатом до 205 °С.

При нарушении режима процесса конверсии метана образуется сажи, которая отмывается в аппаратах 4 и 5 и выводится с конденсатом. Для циркуляции конденсата установлен насос 7. Загрязненная вода отводится на очистку от сажи. Полученный газ поступает далее на конверсию СО.

# Применение синтез-газа