

# ЗАМЕДЛЕННОЕ КОКСОВАНИЕ ГУДРОНА

Выполнила :  
Студентка группы  
17-НБ-ХТ1  
Машкова Э.С

**Коксование — процесс переработки жидкого или твёрдого топлива нагреванием без доступа кислорода. При разложении топлива образуется твёрдый продукт — нефтяной или каменноугольный кокс и летучие продукты. Типы коксования по аппаратурному оформлению: замедленное коксование в необогреваемых камерах (для получения малозольного кокса) обогреваемых кубах (для получения электродного и специальных видов кокса) коксование в «кипящем слое» порошкообразного кокса (так называемый «термоконтактный крекинг») Наиболее часто в современной нефтепереработке и нефтехимии применяется технология замедленного коксования. Процесс замедленного коксования представляет собой процесс термического крекинга для переработки тяжелых фракций нефти в более легкие газообразные и жидкие продукты и твердый (сырой) кокс.**



В настоящее время в России по технологии замедленного коксования эксплуатируются 10 установок. Перечень установок замедленного коксования на НПЗ России представлен в таблице

| Предприятие   | Мощность по сырью,<br>тыс. т/г |             | Ввод в<br>эксплуатацию | Кол-во<br>установок |
|---|--------------------------------|-------------|------------------------|---------------------|
|   | Проектная                      | Достигнутая |                        |                     |
| ООО «Лукойл-<br>Волгограднефтепереработка»            | 1000                           | 1400        | 1982                   | 1                   |
|   | 400                            |             | 2012                   | 1                   |
| ООО «Лукойл-<br>Пермнефтеоргсинтез»                   | 600                            | 600         | 1970                   | 1                   |
|   | 2100                           | 1500        | 12.2015                | 1                   |
| АО «Новокуйбышевский<br>нефтеперерабаты-вающий завод» | 1500                           | 592         | 1985                   | 1                   |
| АО «Ангарская нефтехимическая<br>компания»            | 600                            | 640         | 1970                   | 1                   |
| ООО «РН-Комсомольский НПЗ»                            | 1000                           | 1000        | 2012                   | 1                   |
| АО «Газпромнефть-Омский НПЗ»                          | 600                            | 766         | 1971                   | 1                   |
| ОАО «НОВОЙЛ»  | 300                            | 700         | 1956                   | 1                   |
| ОАО «Уфанефтехим»                                     | 1200                           | 1600        | 2009                   | 1                   |
| Всего   | 9200                           | 9749        |                        | 10                  |

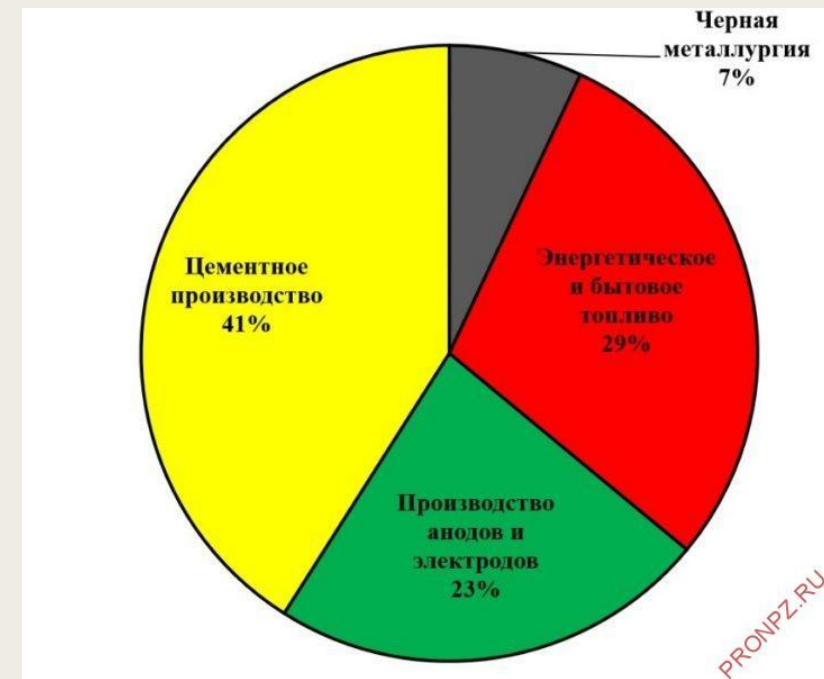


# Сырье и продукция

## Сырье:

- мазуты,
- гудроны,
- остатки производства масел (асфальты, экстракты),
- остатки термokatалитических процессов,
- тяжелая смола пиролиза,
- крекинг-остатки,
- тяжелый газойль каталитического крекинга.

- Сырье коксования может представлять собой смесь одного или нескольких видов сырья, таких как вакуумные остатки, атмосферные остатки или смолы. Эта смесь поступает на установку через резервуарный парк или напрямую с других технологических установок. Установка замедленного коксования предназначена для производства следующей продукции: отходящие газы коксования, пропан-пропилен, бутан-бутилен, нефтяной кокс, легкий газойль коксования (ЛГК), тяжелый газойль коксования (ТГК), топливный кокс. Нефтяной кокс привлекает внимание специалистов как перспективное технологическое топливо в производстве вяжущих материалов — цемента, извести и гипса. Кокс широко используется в качестве исходного сырья в производстве электродов для дуговых электропечей. Его применение в указанном качестве и в других производствах ограничивается содержанием серы. Нефтяной кокс используется в качестве топлива при сжигании которого на ТЭЦ вырабатывается электроэнергия. Характерной особенностью условий работы УЗК является использование в качестве сырья разнообразных смесей, остающихся на заводах в результате переработки нефти.
- Сырьем служат тяжелые фракции нефти образующиеся в результате атмосферной и вакуумной перегонки нефти (мазуты, полугудроны, гудроны), крекинг-остатки от термического крекинга мазутов и гудронов, тяжелые газойли каталитического крекинга, остатки масляного производства (асфальт пропановой деасфальтизации гудрона, экстракты фенольной очистки масел и др.).
- Из всех нефтяных остатков, склонных к образованию различных видов структур кокса, наиболее предпочтительными считаются ароматические концентраты (дистиллятный крекинг-остаток) и некоторые другие высокомолекулярные углеводороды. По этой причине дистиллятное сырье относят к перспективным видам сырья.

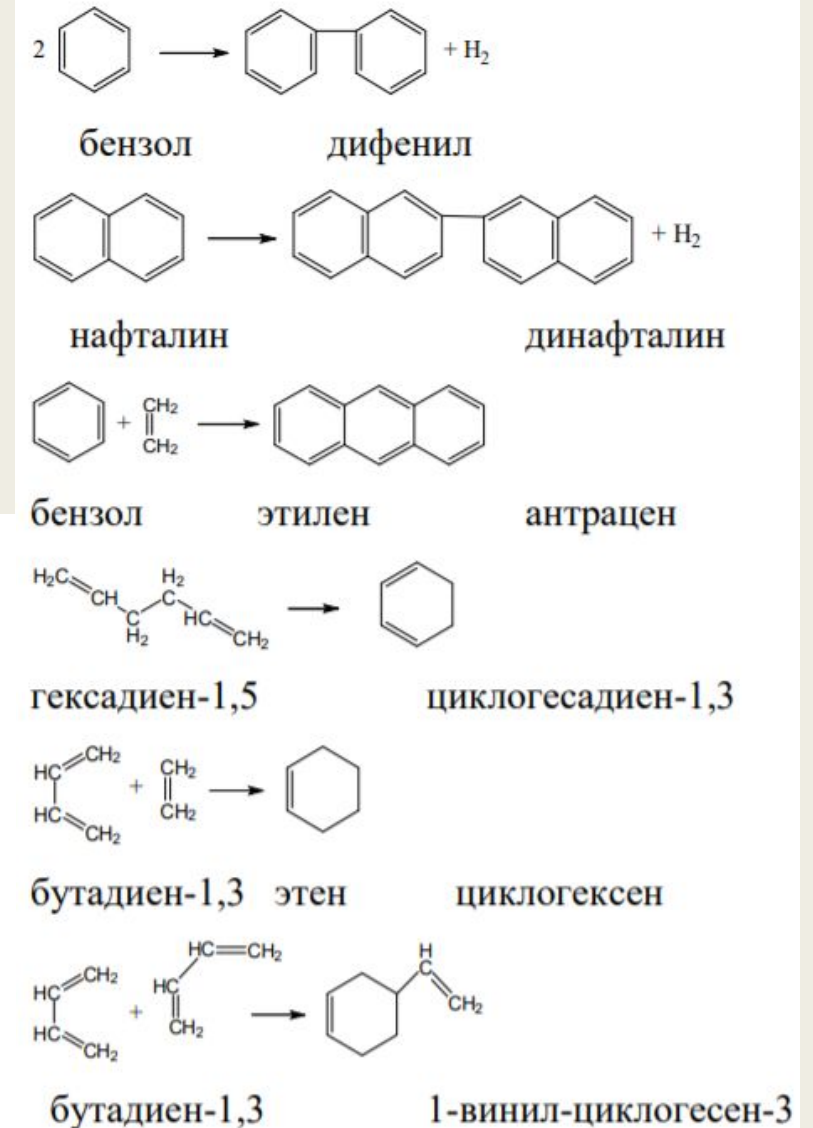
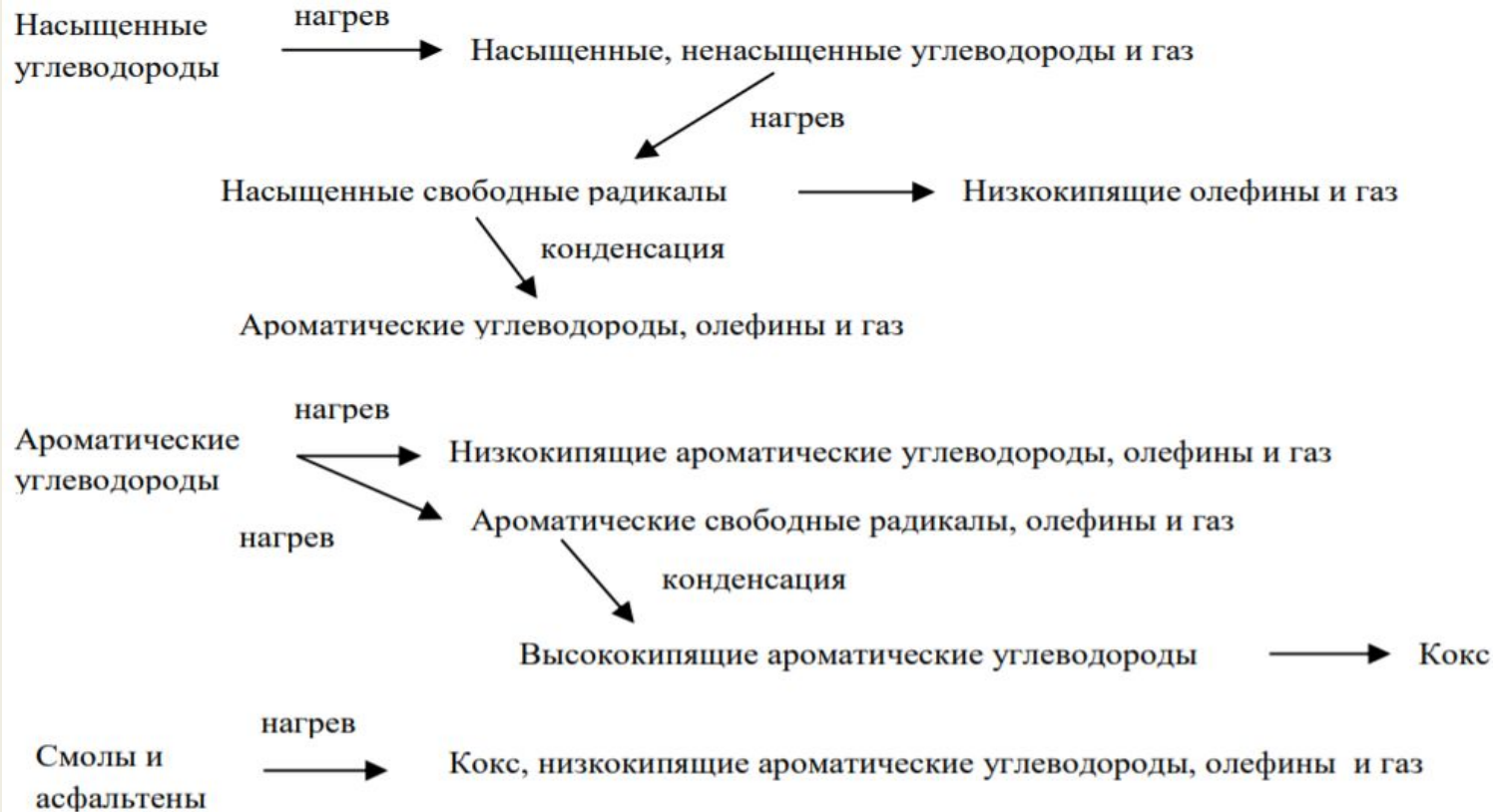


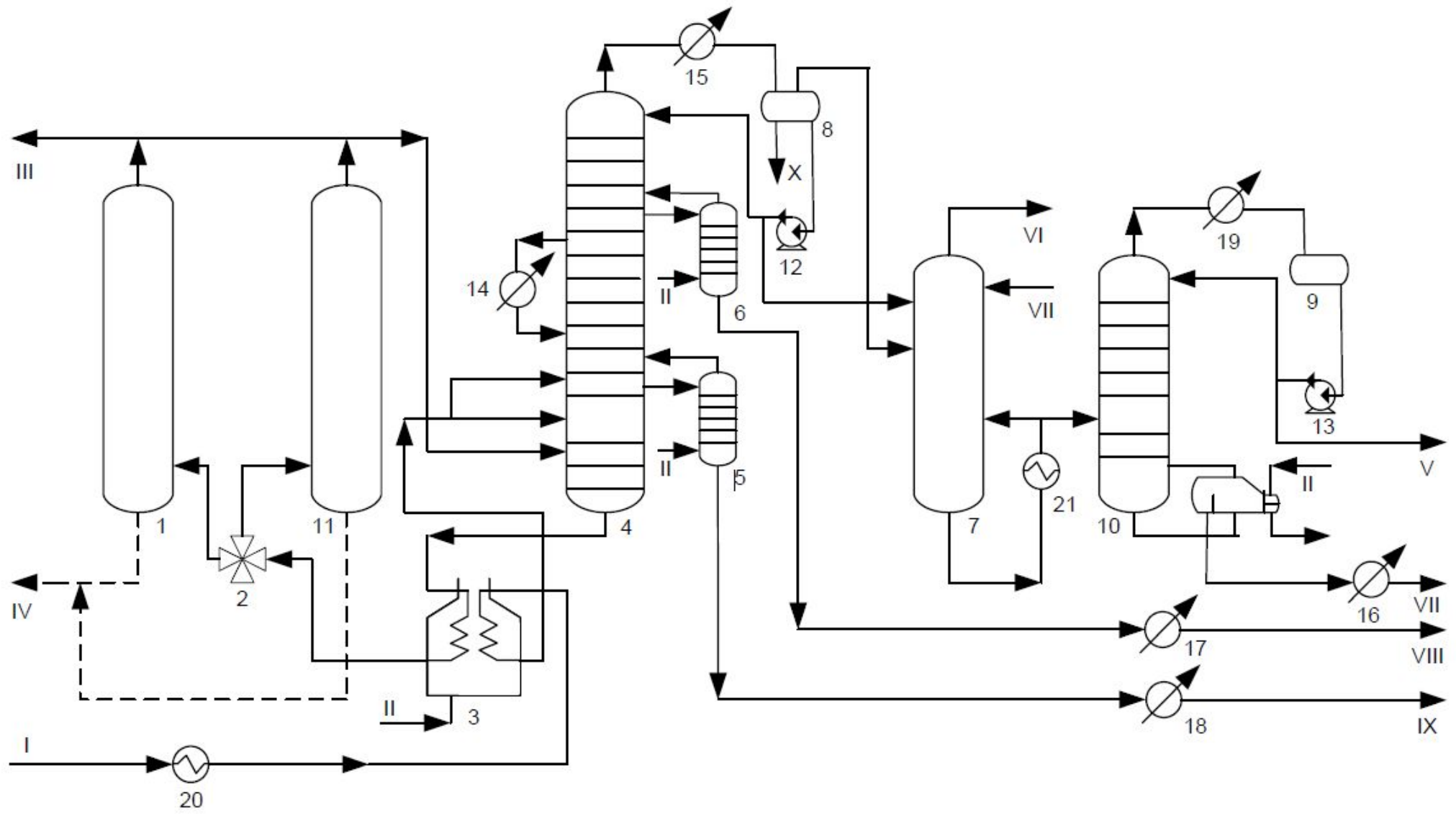
| Наименование показателей                 | Типичные показатели качества сырья для производства кокса |                    |                          |                                |
|--|---|--------------------|--------------------------|--------------------------------|
|  | Для алюминиевой промышленности                            | КНПС (изотропного) | Игольчатого (декантойль) | Топливного (добавка коксующая) |
| Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>   | 0,9818  | 1,1767             | 1,0652                   | 1,0342                         |
| Массовая доля серы, %                    | 1,20  | 0,23               | 0,56                     | 3,34                           |
| Коксующесть, % масс.                     | 11,5  | 21,1               | 5,7                      | 17,5                           |
| Групповой углеводородный состав, % мас.: |   |                    |                          |                                |
| – парафино-нафтеновые                    | 20,6  | -                  | 10,7                     | 7,6                            |
| – ароматические, в т.ч.:                 | 62,2  | 64,9               | 84,4                     | 55,2                           |
| – легкие                                 | 15,2  | -                  | 0,7                      | 6,0                            |
| – средние                                | 10,5  | -                  | 14,8                     | 5,4                            |
| – тяжелые                                | 36,5  | 64,9               | 68,9                     | 43,8                           |
| – смолы                                  | 15,4  | 18,1               | 4,9                      | 27,6                           |
| – асфальтены                             | 1,8-  | 11,4               | отс.                     | 9,4                            |
| – карбоиды                               |   | 5,6                | Отс.                     | 0,2                            |
| Содержание металлов, ppm (V/Ni)          | 40/15   | -                  | 5/1                      | 230/100                        |

| Показатели качества   | Бензин                      | Легкий газойль                | Тяжелый газойль               |
|---|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1   | 2                           | 3                             | 4                             |
| Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>  | 0,72-0,76                   | 0,83-0,89                     | 0,91-0,98                     |
| Массовая доля серы, %   | 0,1-0,7                     | 0,3-2,0                       | 0,7-3,0                       |
| Иодное число, г I <sub>2</sub> /100г.   | 80-120                      | 50-70                         | -                             |
| Коксуемость, % масс.  | -                           | -                             | 0,15-2,0                      |
| Фракционный состав:<br>– температура начала кипения, °С<br>– температура конца кипения, °С<br>– 50 % об. Выкипает при температуре, °С | 35-50<br>170-190<br>115-125 | 190-200<br>340-360<br>270-300 | 280-340<br>460-520<br>380-420 |
| Кинематическая вязкость, сСт:<br>– при 20 °С<br>– при 50 °С<br>– при 80 °С  |                             | 4,5-7,0<br>2,0-3,0            | 5-10                          |
| Температура вспышки, °С   |                             | 70-90                         | >200                          |
| Групповой углеводородный состав, % масс.:<br>– парафиновые<br>– олефиновые<br>– нафтеновые  | 50-60<br>19-20<br>14-15     |                               | }30-60                        |
| – ароматические<br>– смолы  | 8-10                        |                               | 30-60<br>10-20                |
| Коксуемость 10% остатка, % масс.  | -                           | 0,1-0,4                       | -                             |
| Цетановый индекс  | -                           | 30-35                         | - Активация                   |



Коксование тяжелых нефтяных остатков можно рассматривать как процесс глубокого термического крекинга, который осуществляется обычно при температурах 450 – 550 °С и давлении 0,1-0,6 МПа. Процесс коксования является суммой параллельно-последовательных реакций, протекающих, главным образом, по радикальному механизму. Химические реакции, в которые вступают углеводороды сырья в процессе замедленного коксования весьма разнообразны и сложны, их можно разделить на две основные группы: 1) реакции крекинга, при которых молекулы исходного сырья расщепляются на более мелкие молекулы и выделяются в газовую и жидкую фазы; 2) реакции полимеризации продуктов крекинга с образованием высокомолекулярных продуктов, обедненных водородом (смола, асфальтены, карбены, карбоиды, кокса). Наиболее склонны к реакциям уплотнения и образования кокса ароматические углеводороды. Парафиновые углеводороды не вступают в реакции уплотнения, а преимущественно подвергаются распаду. Непредельные углеводороды, вследствие высокой реакционной способности, реагируют с ароматическими УВ, в результате чего способствуют процессу коксообразования.





1, 11 – реакционные камеры; 2 – четырехходовой кран; 3 – печь; 4 – ректификационная колонна; 5, 6 – отпарные колонны; 7 – фракционирующий абсорбер; 8, 9 – сепаратор; 10 – колонна стабилизации бензина; 12, 13 – насосы; 14, 15, 16, 17, 18, 19 – холодильники; 20, 21 – теплообменники;  
 I – сырье; II – водяной пар; III – пары отпарки камер; IV – кокс; V – головка стабилизации; VI – газ; VII – стабильный бензин; VIII – легкий газойль; IX – тяжелый газойль; X – конденсат

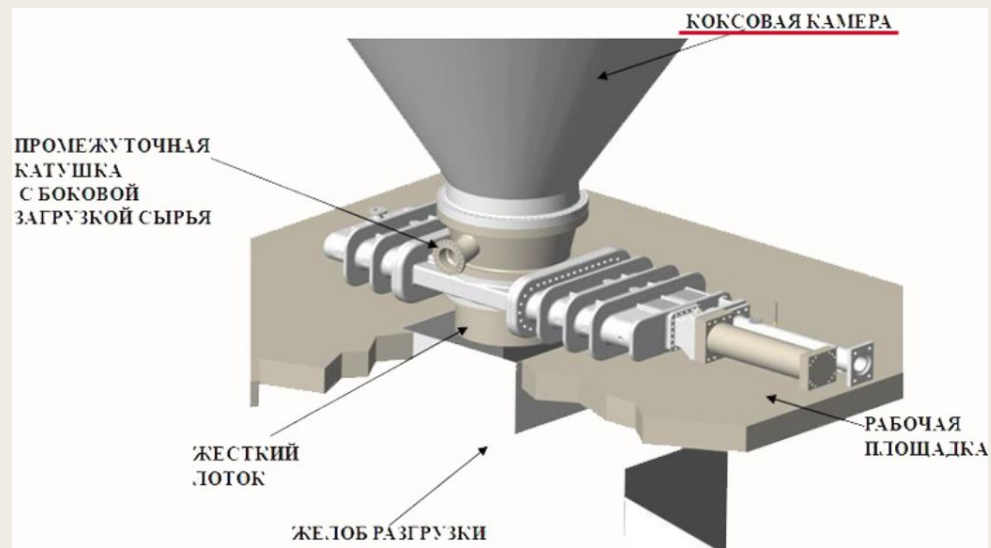
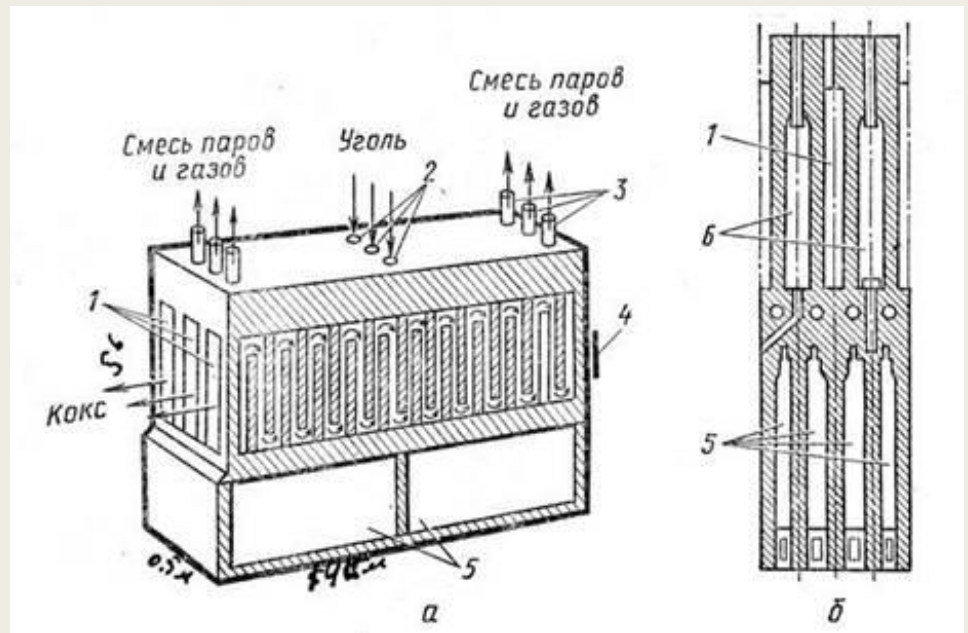


## Печь

Печь коксования работает на топливном газе. Каждая печь оборудована независимой системой подогрева воздуха (включающей в себя вытяжной вентилятор, нагнетательные вентиляторы, подогреватель пара и подогреватель воздуха) и дымовой трубой, установленной в верхней части каждой печи. Поток рециркуляции дистиллята способствует испарению в процессе коксования. В печи повышенное испарение также увеличивает скорость в трубах, что, в свою очередь, уменьшает общее время пребывания сырья внутри печи. Цель состоит в том, чтобы уменьшить общее время в печи выше этой температуры, чтобы ограничить отложения кокса внутри труб, тем самым увеличивая длину межремонтного пробега. Сырье выходит из печи с приблизительной температурой 500 °С и давлением 3,5 кг/см<sup>2</sup> (изб.)

## Реакционные камеры

Нагретое в печи сырье поступает в коксовые камеры, где происходит его крекинг с образованием кокса и продуктов крекинга. В результате протекания реакций крекинга, циклизации, ароматизации, дегидрирования, поликонденсации и уплотнения образуется сплошной слой кокса. Заполнение каждой коксовой камеры коксом до безопасного эксплуатационного уровня производится в течение 18 часов. Продукты крекинга выходят из верхней части коксовых камер в виде потока пара с приблизительной температурой 449 °С и давлением 1,05 кг/см<sup>2</sup> (изб.). Рабочее давление в коксовой камере поддерживается как можно более низким для снижения количества образующегося кокса и увеличения выхода дистиллята. Горячий поток паров из коксовой камеры немедленно охлаждается до температуры 429 °С или менее при теплообмене с ТК для прекращения реакций крекинга и полимеризации, вследствие чего коксообразование в линии паров с верха коксовой камеры к фракционирующей колонне установки коксования сводится к минимуму.



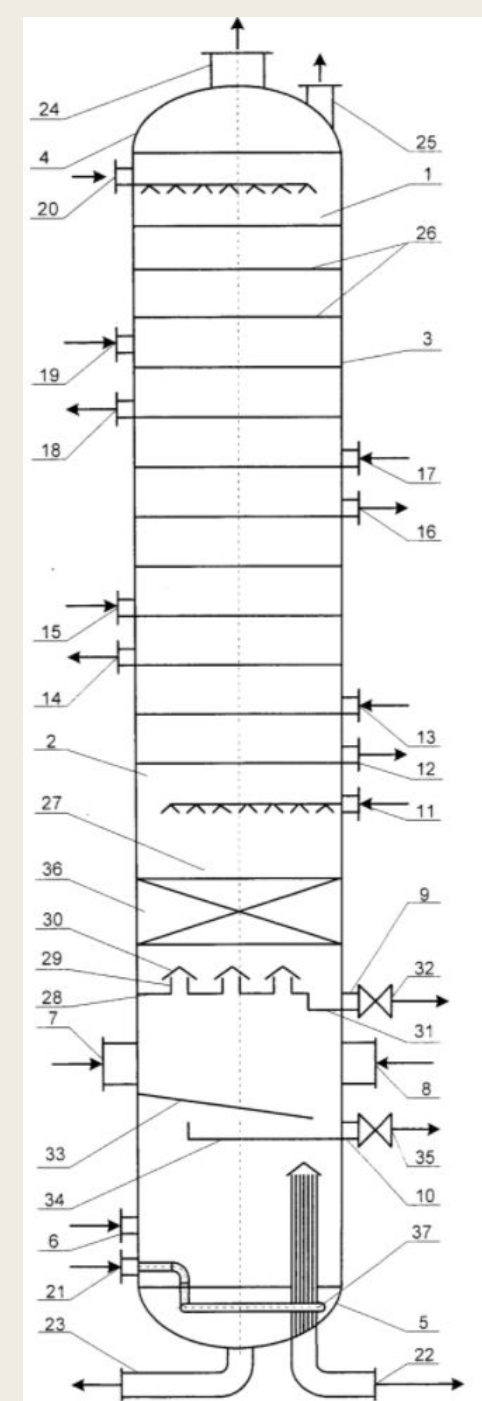
## Ректификационная колонна

Во фракционирующей колонне установки коксования происходит разделение потока паров из коксовой камеры на:

- жирный газ коксования
- нафту коксования
- легкий газойль коксования
- тяжелый газойль коксования
- внутренний рецикловый продукт

Колонна разделена на две основные секции тарелкой для отвода ТГК. В верхней части установлены ректификационные тарелки клапанного типа; в нижней части размещены два уровня распылительных распределителей для повышения качества ТГК. Охлажденные пары из коксовой камеры поступают вверх через распределительное устройство паров и через зону распыления, при этом пары охлаждаются при соприкосновении со стекающим вниз жидким ТГК, который распыляется в верхней части зоны распыления. Тяжелая рецикловая жидкость образуется в нижней части распылительной камеры. После охлаждения этот поток используется в качестве орошения для поддержания температур в кубе колонны ниже температур начала коксования. Пары из верхней части фракционирующей колонны установки коксования охлаждаются и конденсируются в воздушном конденсаторе и конечном холодильнике верхнего продукта фракционирующей колонны. Часть жидких углеводородов из приемника подается на верхнюю тарелку в качестве флегмы. Сконденсированная кислая вода перекачивается насосом на границу технологической установки.

Ректификационная колонна для установки замедленного коксования включает укрепляющую часть (1) с ректификационными тарелками (26) и отгонную часть (2), в которой размещены струйная промывочная камера (27) и наклонная перегородка (33) с карманом (34), оснащенный штуцером (10) для отвода сверхтяжелого газойля коксования, расположенная между штуцерами ввода исходного сырья (6) и ввода паров из камеры коксования (7, 8). Между струйной промывочной камерой (27) и наклонной перегородкой (33) с карманом (34) установлена промежуточная перегородка (28), снабженная патрубками (29) с отбойными пластинами (30) и карманом (31) для отвода загрязненного после промывки тяжелого газойля



### **Пропарка/продувка коксовой камеры**

Коксование представляет собой полунепрерывный процесс с 18-часовым циклом коксования в коксовых камерах при эксплуатации. Каждая камера должна быть включена в процесс в течение 18 часов для заполнения и исключена из процесса на 18 часов для декоксования. Таким образом, суммарная продолжительность цикла между последовательными подачами нефтепродуктов в камеру составляет 36 часов. По завершении цикла заполнения одной камеры поток из печи коксования переводится в другую (пустую) камеру посредством входного клапана переключения. Затем в нижнюю часть заполненной коксом камеры в течение 30 минут подается пар, а летучие легкие углеводороды отводятся во фракционирующую колонну установки коксования. На протяжении следующих 60 минут расход пара увеличивается, а полученные пары (в основном водяной пар) направляются в нижнюю часть колонны продувки.

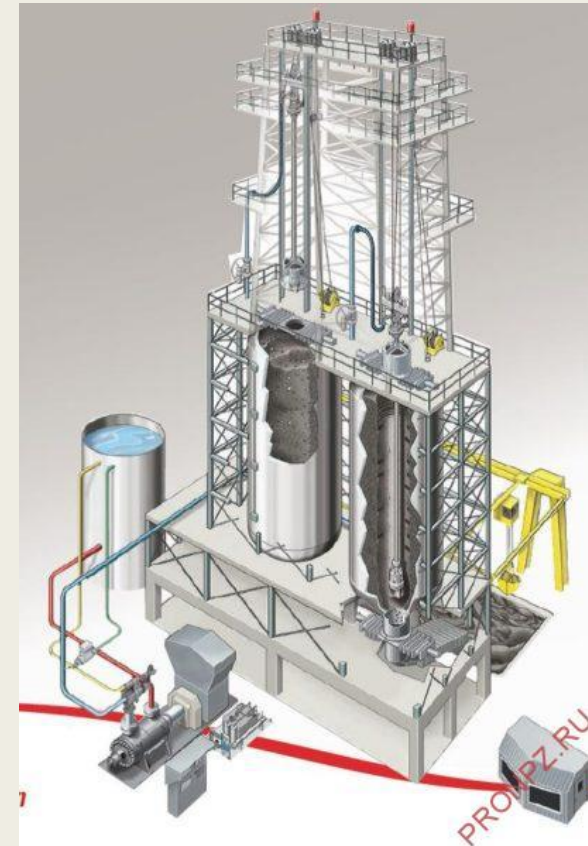
### **Раскоксовывание**

Кокс удаляется из коксовых камер путем гидравлического декоксования за два этапа. Сначала в слое кокса проделывают отверстие диаметром около 915 мм. На втором этапе кокс разрезается на слои по мере опускания инструмента оператором. Гидравлические режущие инструменты монтируются на конце полой ударной штанги, которая подвешена на поворотном соединении. Ударная штанга вращается посредством электродвигателя. Лебедка на площадке поднимает и опускает ударную штангу в пределах конструкции вышки, построенной над коксовыми камерами. Вода для резки подается насосом для резки кокса под давлением приблизительно 270 кг/см<sup>2</sup> (изб.). Чтобы избежать частых пусков и остановов насоса, применяется специальный гидравлический байпасный регулирующий клапан. После удаления кокса обеспечивается повторная установка крышки на неработающую камеру, продувка паром для удаления воздуха и опрессовка паром. После этого в сборник подаются пары из работающей коксовой камеры, которая заполняется в данный момент. Парожидкостная смесь, образовавшаяся в результате конденсации пара в неработающем сборнике, поступает в колонну продувки. После достаточного прогрева коксовой камеры она готова к работе в целях ее заполнения.

### **Система выгрузки кокса**

Система выгрузки кокса (СВК) предназначена для переработки кокса, образовавшегося в установке замедленного коксования (УЗК) и является надежной и безопасной системой с отсутствием выбросов. СВК способна дробить кокс и затем направлять его в виде суспензии (смеси частиц раздробленного кокса с водой) из коксовых камер в бункер обезвоживания и затем на участок хранения. Система обеспечивает высокоэффективное отделение кокса от воды и производит чистую воду для повторного использования в процессе декоксования. СВК состоит из следующих технологических стадий:

охлаждение сточной воды из коксовых камер  
дробление кокса и транспортировка суспензии





| Показатель  | Значение                     |
|---|------------------------------|
| Тепловой поток в <u>радиантной</u> секции печи      | 31,6-37,9 кВт/м <sup>2</sup> |
| Скорость ( <i>холодного</i> ) сырья в трубах печи   | 1,8 м/с                      |
| Длительность пробега печи между остановами          | 9-12 мес.                    |
| Температура сырья на входе в К-1, °С                | 370–375                      |
| Температура сырья на выходе из К-1, °С              | 380–400                      |
| Температура сырья на входе в Р, °С                  | 480–520                      |
| Температура продуктов коксования на выходе из Р, °С | 420–430                      |
| Давление в коксовых камерах, кгс/см <sup>2</sup>    | 1,7–6,1                      |
| Давление воды на резку кокса, кгс/см <sup>2</sup>   | 150                          |

# Материальный баланс

Один из вариантов материального баланса установки замедленного коксования.

| <b>Сырье</b>                     | <b>%</b>   |
|----------------------------------|------------|
| Гудрон                           | 45         |
| Остатки масляного производства   | 13         |
| Остатки висбрекинга              | 42         |
| <b>ИТОГО</b>                     | <b>100</b> |
| <b>Получено</b>                  |            |
| Сухой газ                        | 4,1        |
| H <sub>2</sub> S+NH <sub>3</sub> | 0,9        |
| ППФ                              | 0,9        |
| ББФ                              | 1,5        |
| Нафта (30-150°C)                 | 10,0       |
| Легкий газойль коксования        | 37,5       |
| Тяжелый газойль коксования       | 18,6       |
| Кокс                             | 26,5       |
| <b>ИТОГО</b>                     | <b>100</b> |

| Наименование показателей  | Технология                 |      |                            |       |                            |
|---|----------------------------|------|----------------------------|-------|----------------------------|
|   | Foster Wheeler             |      | Conoco Phillips            |       | УГНТУ                      |
| Качество сырья<br>– плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup><br>– содержание серы, % мас.<br>– коксуемость, % мас.<br>– содержание металлов (V/Ni), ppm<br>– вязкость | 1,0074                     |      | 0,980                      |       | 1,0753                     |
|   | 3,5                        |      | 1,29                       |       | 3,46                       |
|   | 15,0                       |      | 15,4                       |       | 26,0                       |
|   | 112/37                     |      | 54/27                      |       | 290/130                    |
|   | V <sub>80</sub> – 2080 сСт |      | V <sub>100</sub> – 356 сСт |       | ВУ <sub>140</sub> -17,7 °Е |
| Материальный баланс<br>Выход продуктов, % мас.:   | 1,86                       |      | 1,84                       |       | 1,44                       |
| – H <sub>2</sub> S  | 1,1                        |      | 0,4                        |       |                            |
| – топливный газ   | 3,8                        | }9,5 | 5,5                        | }12,5 | }13,2                      |
| – сжиженный углеводородный газ  | 4,6                        |      | 6,6                        |       |                            |
| – нефтя   | 14,8                       |      | 15,8                       |       | 5,0                        |
| – легкий газойль  | 31,8                       |      | 34,6                       |       | 22,2                       |
| – тяжелый газойль   | 14,0                       |      | 8,7                        |       | 22,0                       |
| – кокс  | 29,9                       |      | 28,4                       |       | 37,6                       |