

- официальный представитель и сервисный партнер

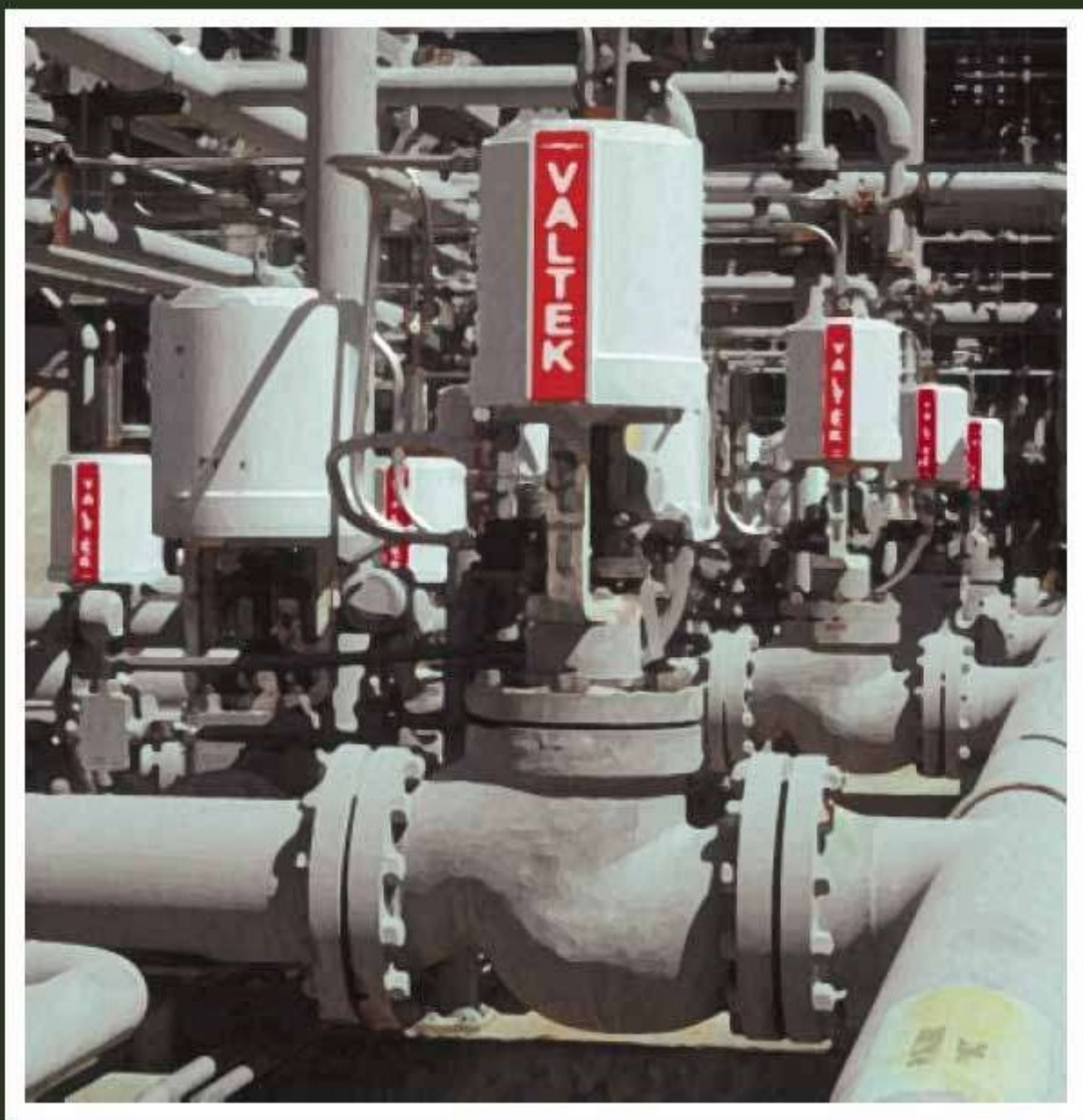
[www.promhimtech.ru](http://www.promhimtech.ru)

[zakaz@promhimtech.ru](mailto:zakaz@promhimtech.ru)

тел. 8 800 250 01 54



Отделение запорно-регулирующей арматуры



**Технология нефтепереработки**  
**Отраслевое справочное пособие**

*Регулирующие клапаны FLOWSERVE*

# Технология нефтепереработки

## Отраслевое справочное пособие

### Оглавление

<b>Введение в переработку нефти</b> .....	<b>5</b>
<b>Установка атмосферной перегонки сырой нефти</b> .....	<b>6</b>
Характеристики сырой нефти .....	6
Введение в дистилляцию .....	7
Рекомендации по применению регулирующих клапанов .....	9
<b>Алкилирование</b> .....	<b>11</b>
Введение в алкилирование .....	11
Общие сведения о химии процесса .....	11
Процесс алкилирования .....	11
Процесс алкилирования в присутствии плавиковой кислоты .....	12
Указания по выбору регулирующих клапанов (системы алкилирования плавиковой кислотой) .....	12
Процесс алкилирования серной кислотой .....	12
Указания по выбору регулирующих клапанов (системы сернокислотного алкилирования) .....	13
<b>Каталитический риформинг</b> .....	<b>15</b>
Введение в каталитический риформинг .....	15
Оборудование риформинга .....	15
Регенерация .....	16
Рекомендации по применению регулирующих клапанов .....	17
<b>Гидроочистка</b> .....	<b>19</b>
Введение в гидроочистку .....	19
Установка получения элементарной серы .....	20
Извлечение серы .....	20
Сжигание .....	20
Каталитическая реакция .....	21
Рекомендации по применению регулирующих клапанов .....	21
<b>Вакуумная перегонка</b> .....	<b>23</b>
Явление крекинга .....	23
Низкое давление .....	24
Вакуумная отгонка .....	24
Рекомендации по применению регулирующих клапанов .....	25

## Оглавление (продолжение)

<b>Установка изомеризации</b> .....	<b>26</b>
Введение в изомеризацию .....	26
Изомеризация бутана .....	26
Изомеризация C <sub>5</sub> /C <sub>6</sub> .....	27
Рекомендации по применению регулирующих клапанов .....	27
<b>Установки разделения газов</b> .....	<b>29</b>
Введение в установки разделения газов .....	29
Установка разделения насыщенных газообразных углеводородов .....	29
Установка разделения крекинг-газов .....	30
Рекомендации по применению регулирующих клапанов .....	30
<b>Олефиновая установка</b> .....	<b>32</b>
Этиленовые установки .....	32
Взаимодействие с НПЗ .....	32
Процесс получения олефинов .....	33
Линия компримирования олефиновой установки .....	33
Рекомендации по применению регулирующих клапанов .....	34
<b>Установка каталитического крекинга</b> .....	<b>36</b>
Введение в каталитический крекинг .....	36
Процесс каталитического крекинга .....	36
Реакционная секция .....	37
Регенератор .....	37
Фракционирующая (ректификационная) колонна .....	38
Технологические параметры .....	39
Качество сырья .....	39
Температура реактора .....	39
Расход сырья и кратность циркуляции .....	39
Время суток и температура .....	39

## Оглавление (продолжение)

<b>Установка гидрокрекинга</b> .....	<b>41</b>
Введение в гидрокрекинг .....	41
Процесс гидрокрекинга .....	41
Рекомендации по применению регулирующих клапанов .....	42
<b>Установка термического крекинга</b> .....	<b>44</b>
Введение в термический крекинг .....	44
Рекомендации по применению регулирующих клапанов .....	45
<b>Установка коксования</b> .....	<b>47</b>
Введение в коксование .....	47
Процесс коксования .....	47
Кокс.....	48
Рекомендации по применению регулирующих клапанов .....	48
<b>Номенклатура регулирующих клапанов серии Valtek</b> .....	<b>50</b>
<b>Глоссарий</b> .....	<b>53</b>
<b>Заимствования</b> .....	<b>55</b>

# Нефтеперерабатывающая отрасль

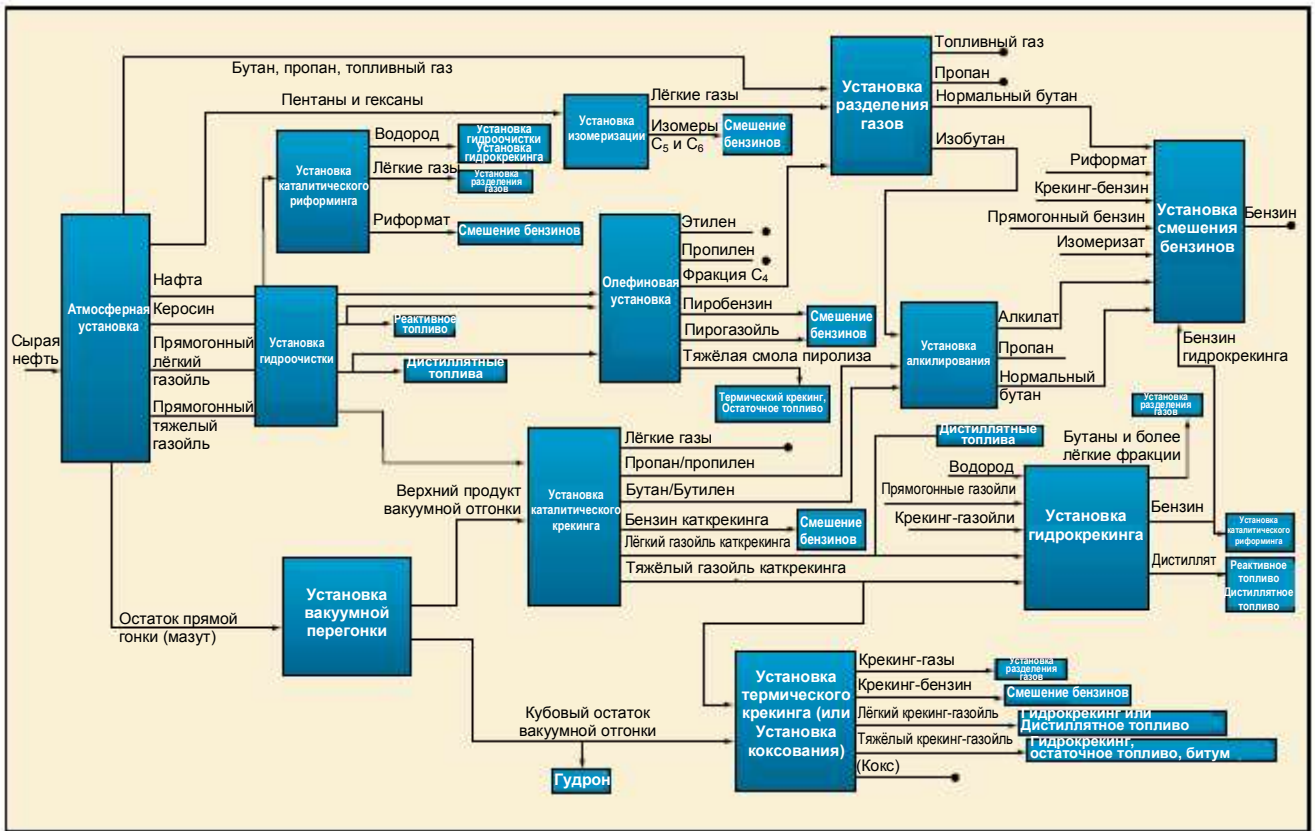


Рис. 1. Блок-схема процессов переработки нефти

## Введение в переработку нефти

Современный нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) предназначен для получения из обычной сырой нефти различных ценных продуктов посредством реализации последовательных процессов разделения и химических превращений. Процессы переработки нефти используются, например, для производства бензина, керосина, лёгких масел, смазочных масел и газов.

По своей природе, многие процессы переработки нефти характеризуются тяжёлыми условиями: высокой температурой, наличием эрозии, коррозии и большими перепадами давления. С учетом жёстких требований по охране окружающей среды,

дополнительным требованием к технологическому оборудованию является приемлемо низкий уровень неорганизованных выбросов.

Целью данного пособия является дать общее представление об упомянутых процессах и одновременно предложить рекомендации по выбору подходящих регулирующих клапанов для того или иного конкретного процесса на НПЗ.

Как показано на рис. 1, типовой НПЗ состоит из нескольких технологических секций, или установок.



# Установка атмосферной перегонки сырой нефти

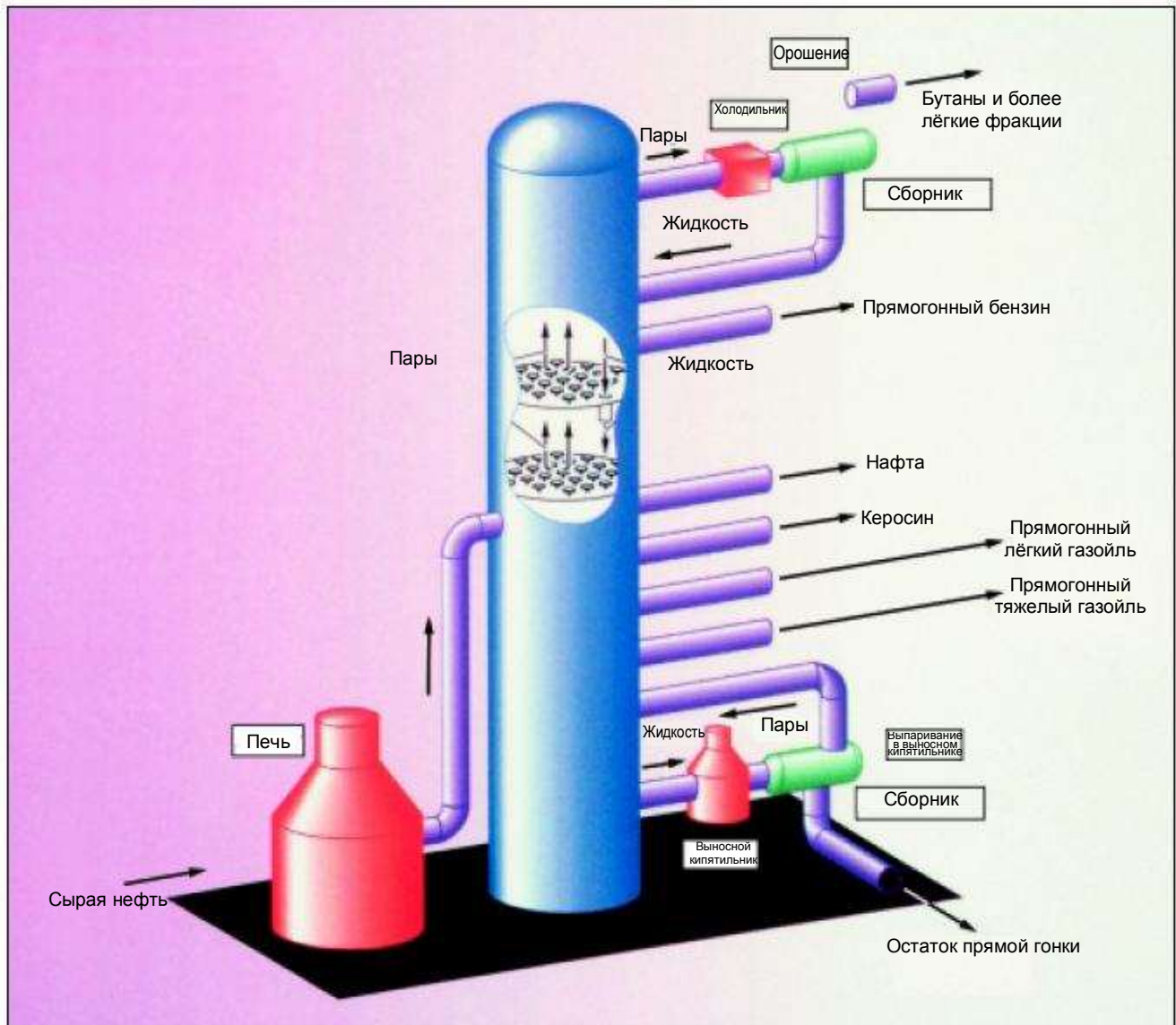


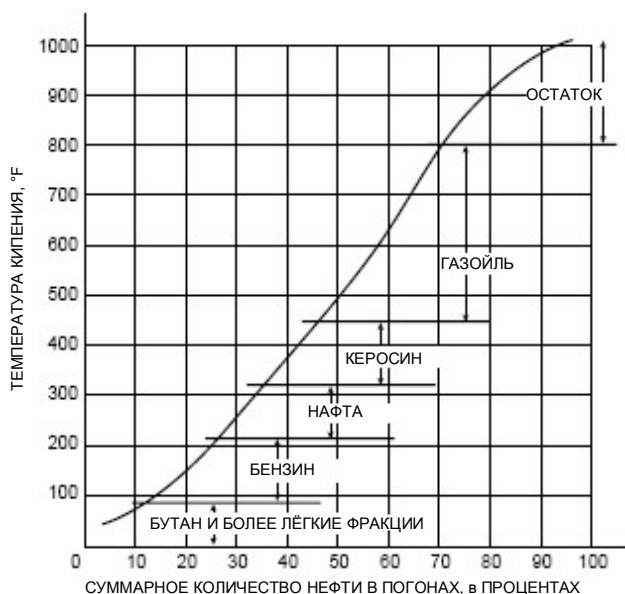
Рис. 2. Установка атмосферной перегонки

## Характеристики сырой нефти

Нефть представляет собой жидкое полезное ископаемое, содержащее углеводороды и используемое для производства нефтепродуктов. Она является не индивидуальным химическим соединением, а смесью химических веществ, что становится очевидным при нагревании нефти. Нефть, нагретая до кипения, испаряется не полностью, при этом остается некоторое количество не испарившейся жидкости. В отличие от нефти, вода (являющаяся индивидуальным соединением), нагретая до температуры кипения, при условии поддержания этой температуры продолжает кипеть до полного выкипания. Согласно показаниям термометра, на протяжении всего процесса кипения температура воды остаётся равной 212°F при давлении 14,7 фунт/кв. дюйм абс. (100°C при 1 бар).

В отличие от воды, нефть представляет собой не индивидуальное химическое соединение, а смесь многих тысяч различных химических соединений. Некоторые из этих соединений являются такими простыми как, например, метан ( $\text{CH}_4$ ), другие – более сложными как, например, изооктан ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ). Следует иметь в виду, что каждое из этих соединений имеет собственную температуру кипения. Например, если сосуд, заполненный нефтью средней плотности, нагреть до температуры около 150°F (66°C), то нефть начнёт кипеть. Если подводить тепло в количестве, достаточном для поддержания в сосуде температуры 150°F (66°C), то кипение в сосуде вскоре прекратится. Если же продолжать подводить тепло и поднять температуру продукта до 350°F (177°C), то кипение в сосуде возобновится, но через какое-то время вновь прекратится.

Этот процесс можно повторять многократно, каждый раз отгоняя еще некоторое количество сырья и затем поднимая температуру. На первом этапе испаряются соединения, кипящие при температуре ниже 150°F (66°C), на втором этапе – соединения, кипящие в интервале между 150 и 350°F (66 и 177°C), и так далее. Для графического отображения этого процесса можно построить кривую дистилляции (разгонки), откладывая по одной оси температуру, а по другой – долю испарившейся нефти в процентах. Каждому типу нефти отвечает своя кривая дистилляции, по которой можно определить, какие химические соединения содержатся в нефти (рис. 3).



**Рис. 3. Кривая дистилляции и фракции нефти**

Можно также характеризовать нефть, сгруппировав определённые соединения по фракциям. Типичная сырая нефть содержит следующие фракции:

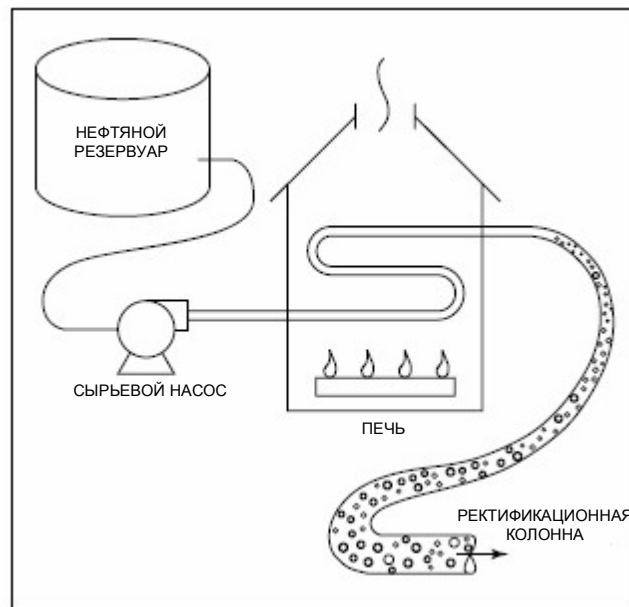
**Таблица 1. Температурные фракции нефти**

Температура	Фракция
Менее 90°F (32°C)	Бутаны и более лёгкие фракции
90 – 220°F (32 – 104°C)	Бензин
220 – 315°F (104 – 157°C)	Нафта
315 – 450°F (157 – 232°C)	Керосин
450 – 800°F (232 – 427°C)	Газойль
800°F (427°C) и выше	Остаток

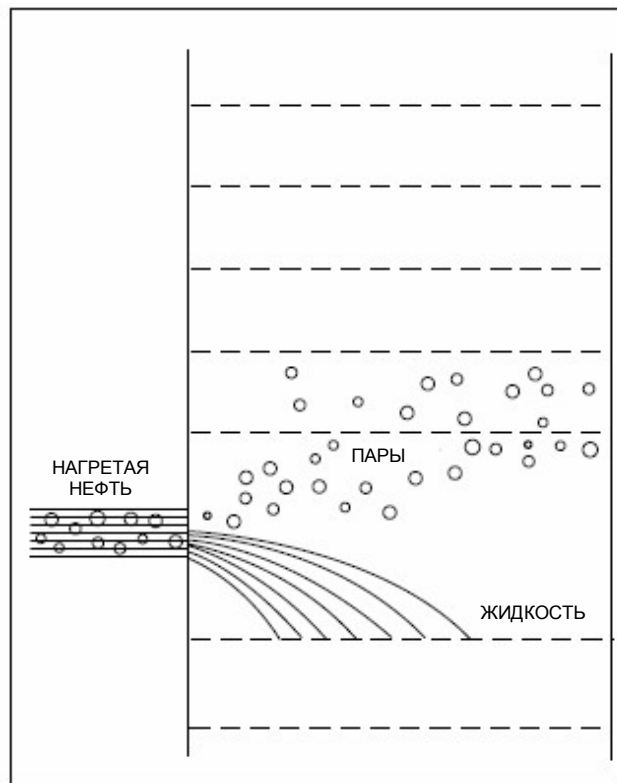
Составы нефтей могут изменяться в широких пределах. Обычно лёгкая нефть содержит больше бензина, нафты и керосина, а тяжёлая нефть содержит больше газойля и остатка. Как правило, чем тяжелее соединение (больше его молекулярная масса), тем выше его температура кипения.

## Введение в дистилляцию

*Дистилляция* (разгонка) представляет собой процесс, в котором для разделения нефти на лёгкие и тяжёлые фракции используется нагревание. Для того чтобы начать процесс дистилляции, нефть подогревают до температуры около 800°F (426°C) и подают в нижнюю часть основной ректификационной колонны (рис. 4).



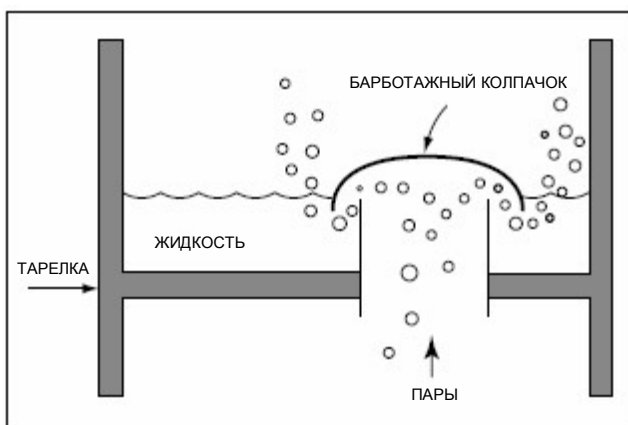
**Рис. 4. Подача нефти на разгонку**



**Рис. 5. Вход сырья в ректификационную колонну**

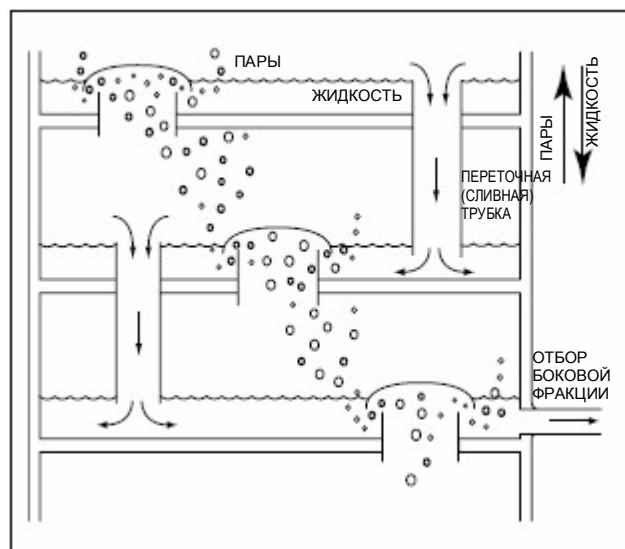
Жидкость, кипящая при температуре выше 800°F (427°C), не испаряется и выходит из куба колонны (рис. 5). Внутри ректификационной колонны находятся перфорированные тарелки. Через отверстия в тарелках пары поднимаются по колонне. Когда смешанное (пары с жидкостью) нефтяное сырьё попадает во внутреннюю часть ректификационной колонны, более плотная фаза (жидкость) под действием силы тяжести опускается к кубу колонны, а менее плотная фаза (пары) проходит через тарелки вверх.

Отверстия тарелок снабжены устройствами, называемыми *барботажными колпачками* (рис. 6). Эти колпачки заставляют пары, проходящие через тарелки, барботировать через слой жидкости на тарелке, высота которого составляет несколько дюймов. Такого рода барботаж необходим для протекания процесса разгонки. Пузырьки горячих паров проходят через жидкость, и во время этого контакта жидкости передается тепло. При охлаждении паров в пузырьках часть углеводородов в них конденсируется. В процессе передачи тепла от паров к жидкости пары охлаждаются. Более холодная жидкость заставляет часть соединений, находящихся в газообразной фазе, конденсироваться в жидкость.



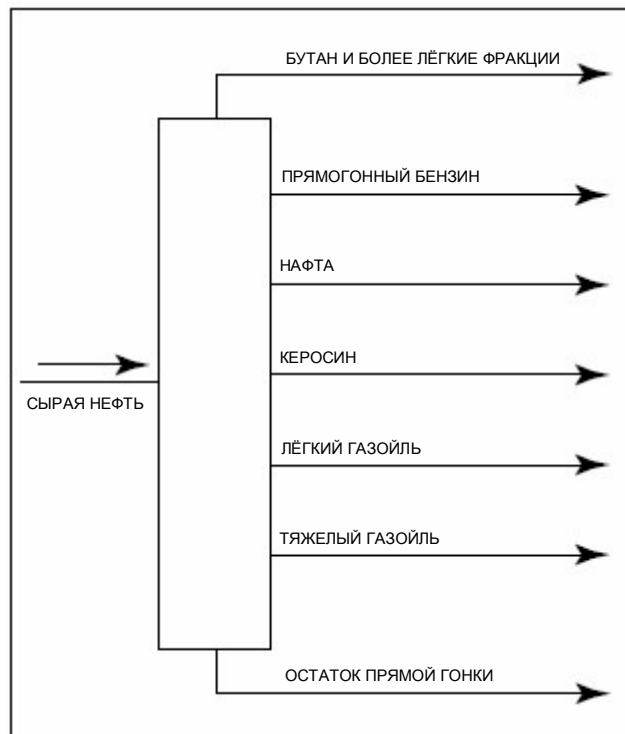
**Рис. 6. Барботажный колпачок на тарелке ректификационной колонны**

После того, как газовая фаза прошла через жидкость и сбросила в нее некоторое количество более тяжёлых углеводородов, пары поступают к следующей тарелке, где этот процесс повторяется. На каждой тарелке количество жидкости растёт, так как некоторое количество углеводородов из паров конденсируется. На тарелке имеется *переточная (сливная) трубка*, по которой избыток жидкости перетекает на предыдущую тарелку. Описанный цикл является непрерывным и многократным. Часть молекул совершает несколько кругооборотов: поднимаются на две-три тарелки вверх вместе с парами, затем конденсируются и в виде жидкости по переточным трубкам опускаются на несколько тарелок вниз (рис. 7). Такое перемешивание жидкости с парами обеспечивает разделение фракций.



**Рис. 7. Переточные трубки и отборы боковых фракций**

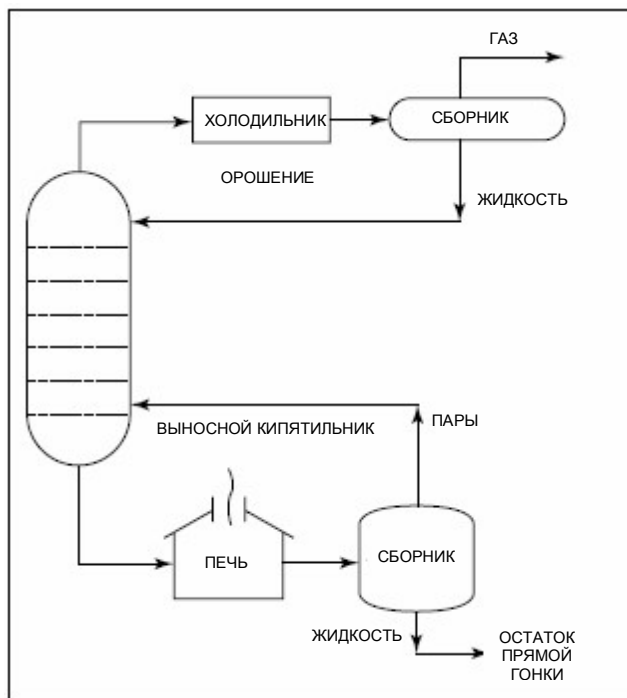
На нескольких уровнях по высоте колонны устроены карманы или переливы для бокового отбора жидких фракций (погонов): более лёгкие фракции (с меньшей температурой кипения) в верхней части колонны, а более тяжёлые (с большей температурой кипения) – ближе к кубу (см. рис. 8).



**Рис. 8. Боковой отбор фракций**



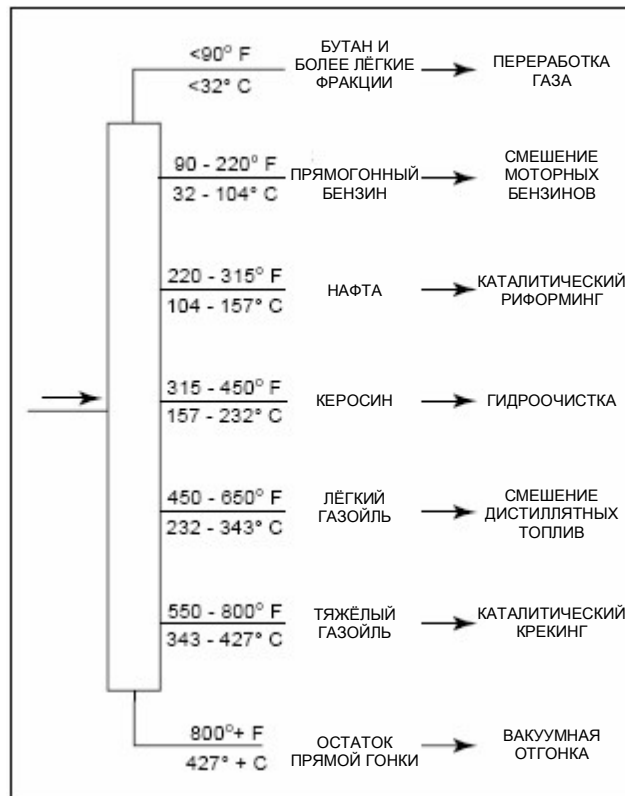
В целях облегчения процесса некоторые операции проводят вне ректификационной колонны. Для обеспечения чистоты продукта и исключения капельного уноса, часть паров пропускают через холодильник. Полученный жидкий конденсат подают в верхнюю часть колонны, откуда он проваливается на нижнюю тарелку (этот приём называется "орошение"), а остальные пары выводят из колонны в качестве продукта. (рис. 9).



**Рис. 9. Выпаривание в выносном кипятильнике и орошение**

В кубе колонны некоторое количество лёгких углеводородов может быть унесено с тяжёлыми углеводородами. Часть кубового продукта обычно подвергают рециркуляции, возвращая в колонну через кипятильник для выпаривания оставшихся лёгких углеводородов. Этот прием называют "выпаривание в выносном кипятильнике" (рис. 9).

Ректификационная колонна является первичным фракционирующим устройством на НПЗ. В ректификационной колонне получают исходные продуктовые фракции, которые затем направляют на другие установки НПЗ для дальнейшей переработки (рис. 10).



**Рис. 10. Перегонка нефти и места дальнейшей переработки продуктов**

### Рекомендации по применению регулирующих клапанов

Корпуса клапанов для установки атмосферной перегонки обычно изготавливают из углеродистой стали (WCB). Материалом деталей затвора, как правило, служит нержавеющая сталь марки 316. Выбор материала определяется температурой и давлением процесса. Коррозия, как правило, не является проблемой. В тех местах, где требуется арматура с диаметром условного прохода не более 4 дюймов (Ду 100), обычно используются проходные вентили с позиционерами (например, проходные клапаны/вентили Valtek Mark One). Там, где требуются клапаны условным проходом 6 дюймов (Ду 150) и более, обычно используется арматура поворотного типа (например, Valtek MaxFlo - клапан с поворотным эксцентриковым затвором), так как они заведомо более дешёвые. Арматура поворотного типа отличается также меньшими протечками через сальник, так что целесообразность их использования следует рассматривать в тех случаях, когда действуют жёсткие экологические нормы.



**Таблица 2. Принятие решения по выбору регулирующих клапанов Valtek для атмосферных установок**

Модель клапана Valtek	Применение на атмосферной установке	Номер страницы для ссылки
Проходной клапан (вентиль) Mark One	Обессоливание нефти, атмосферная перегонка	50
Клапан с поворотным эксцентриковым затвором MaxFlo	Обессоливание нефти, атмосферная перегонка	50
Проходной клапан/вентиль Flow Top	Обессоливание нефти, атмосферная перегонка	51
Дисковая поворотная заслонка Valdisk 150	Атмосферная перегонка	51

# Алкилирование

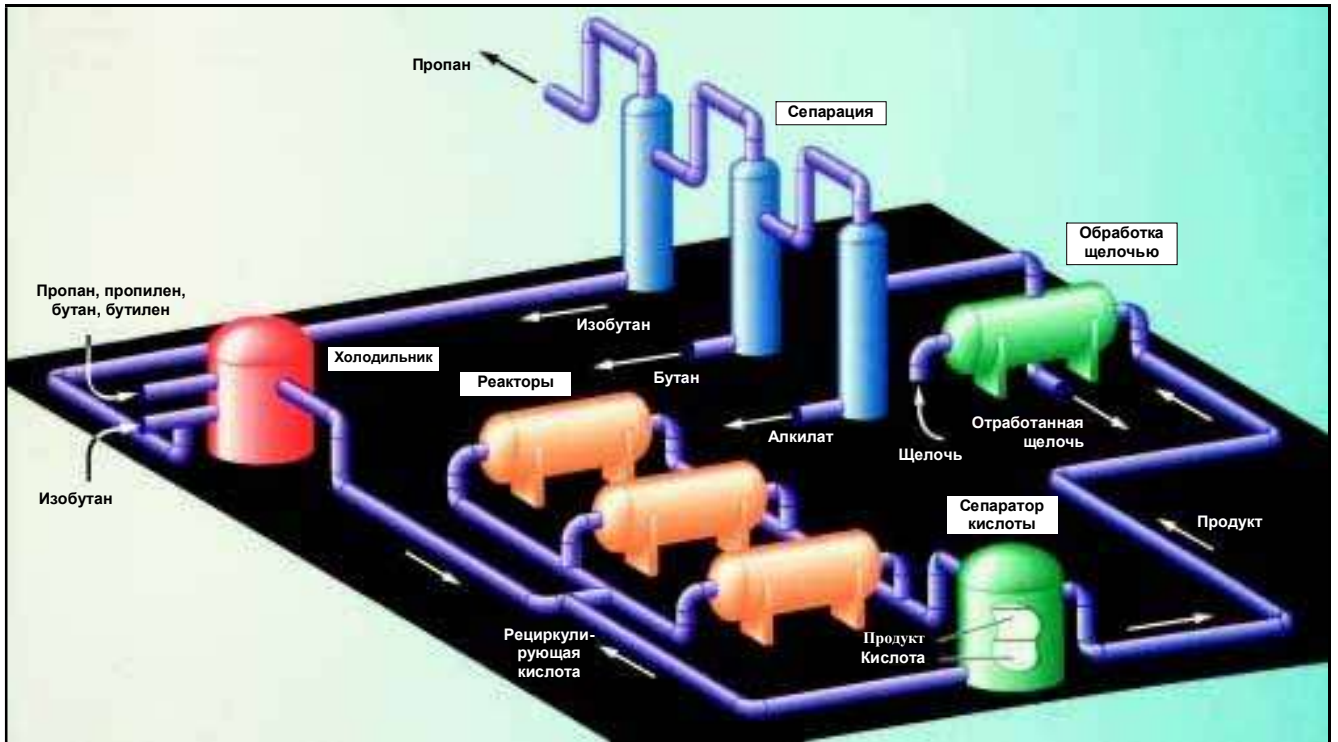


Рисунок 11: Установка алкилирования

## Введение в алкилирование

Алкилирование относится к важнейшим процессам нефтепереработки и заключается в превращении легких олефинов (например, пропилена и бутилена, получаемых в установках каталитического крекинга и коксования) в более ценные компоненты бензина. Алкилаты являются важнейшими компонентами бензина, получаемыми на НПЗ, так как они имеют высокое октановое число и низкое давление паров.

## Общие сведения о химии процесса

Процесс алкилирования заключается в превращении пропилена ( $C_3H_6$ ), бутилена ( $C_4H_8$ ), пентена ( $C_5H_{10}$ ) и изобутана ( $C_4H_{10}$ ) в жидкие алканы, например, изогептан ( $C_7H_{16}$ ) и изооктан ( $C_8H_{18}$ ) (рис.12).

## Процесс алкилирования

Химическая реакция алкилирования изобутана и олефинов протекает при очень высоком давлении и, следовательно, требует очень дорогостоящего оборудования. Поэтому при ее проведении используются катализаторы – фтористоводородная (плавиковая) или серная кислота – позволяющие уменьшить температуру и давление, а также сократить затраты, отказавшись от применения дорого оборудования. При использовании любой из этих кислот протекают практически идентичные процессы: в обоих случаях реакция осуществляется при значительном избытке изобутана, так как молекула олефина будет реагировать в первой же молекулой, с которой она столкнется.

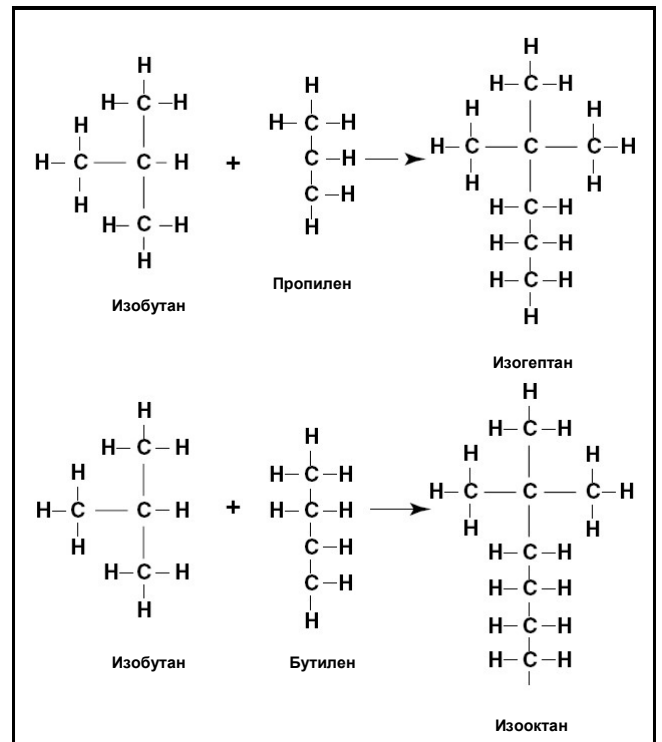


Рисунок 12: Процесс алкилирования

Таким образом, увеличение избытка изобутана позволяет подавить нежелательные побочные реакции, в частности, образование полимеров. Однако при использовании серной кислоты процесс необходимо проводить при относительно низкой температуре – примерно 40-50° F (10° C). Плавиковая кислота позволяет вести реакцию при комнатной температуре. Преимущества серной кислоты: продукт имеет более высокое октановое число и расход кислоты при его получении меньше. С учетом этих факторов, а также по соображениям безопасности на большинстве нефтеперерабатывающих заводов сегодня используется серная, а не плавиковая кислота. Именно это решение применяется и в данном случае, не смотря на дополнительные затраты, связанные с охлаждением, необходимым для реализации процесса с серной кислотой.

### Процесс алкилирования в присутствии плавиковой кислоты

Процесс алкилирования заключается в превращении пропилена (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>), бутилена (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>), пентана (C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>) и изобутана (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) в жидкие алканы, например, изопентан (C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>) и изоктан (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>). Этот процесс называется процессом алкилирования в присутствии безводной плавиковой кислоты. (рис. 12).

Сырье, содержащее олефины (бутилен, пропилен и пентен) подается в комбинированный реактор с зоной отстаивания конструкции Phillips. Гидрогенизированная фаза, образовавшаяся в этом реакторе, направляется в главную фракционирующую колонну, в которой продукты реакции разделяются на продукты алкилирования (изопентан и изоктан), пропан и изобутан, возвращаемый в цикл. Небольшие количества растворенной HF отделяются от пропана в отпарной колонне и возвращаются в цикл (рис. 13).

А н-бутан удаляется из полученного алкилата путем отвода бокового потока паров из главной фракционирующей колонны. В другом варианте в системе дополнительно предусматривается дебутанизатор для полной очистки алкилатов от н-бутана. (рис. 13).

### Указания по выбору регулирующих клапанов (системы алкилирования плавиковой кислотой)

Обычно в системах алкилирования с плавиковой кислотой применяются проходные регулирующие клапаны. Эти клапаны имеют корпуса из углеродистой стали или монеля, а внутренкорпусные детали – и-монеля или к-монеля. Прокладки и набивка сальников должны быть изготовлены из чистого фторопласта (без армирования стекловолокном). Клапаны с поворотным затвором также хорошо подходят для этих условий эксплуатации.

### Процесс алкилирования серной кислотой

Упрощенная блок схема процесса алкилирования с самоохлаждением, разработанная научно-исследовательским отделом компании Exxon, показана на рис. 14. Олефиновое сырье вначале смешивается с рециркулирующим изобутаном, отводимым из верхней секции деизобутанизатора, и после охлаждения поступает в реактор. Нерастворенная вода, которая сконденсировалась при пониженной температуре, удаляется в коалесцаторе. Смесь изобутана и олефинов вместе с циркулирующей кислотой и хладагентом подается в реактор. Реагенты и кислотный катализатор смешиваются. В присутствии серной кислоты реакция взаимодействия олефинов и изобутана протекает очень быстро с образованием

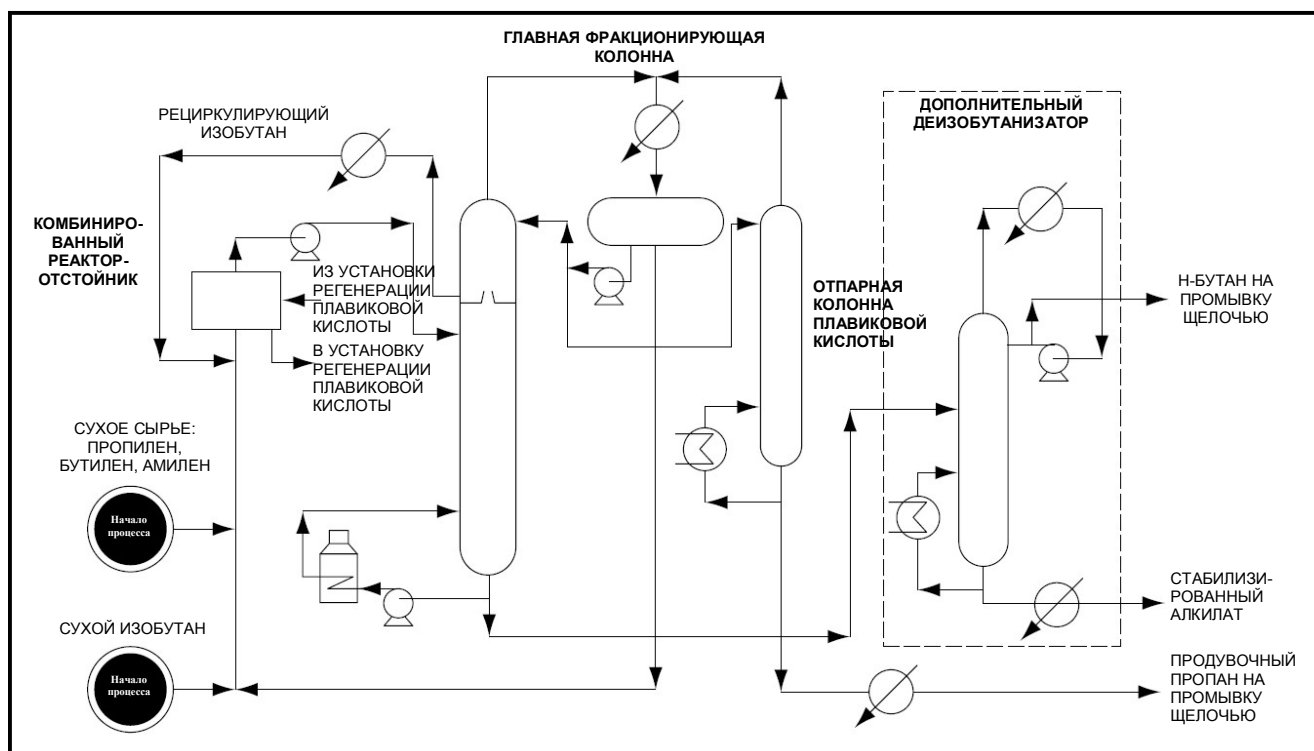
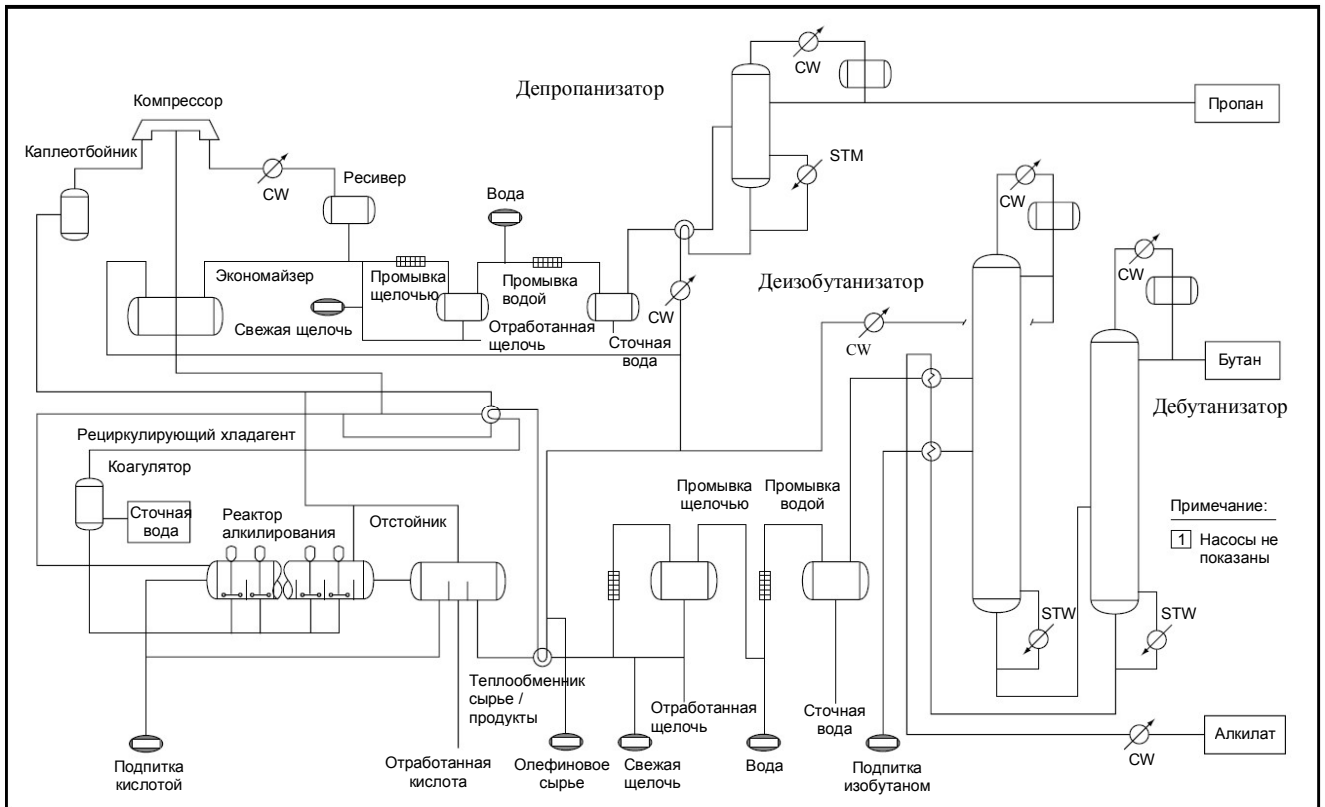


Рисунок 13: Процесс алкилирования плавиковой кислотой



**Рисунок 14: Упрощенная технологическая блок-схема процесса алкилирования с самоохлаждением, разработанная ER&E**

алкилата и выделением тепла реакции. В системе с самоохлаждением тепло реакции отводится за счет испарения некоторого количества изобутана из реагирующей смеси. Пары, уходящие из реактора, направляются в холодильную секцию, где они сжимаются, конденсируются и через экономайзер возвращаются в реактор. Таким образом, в реакторе поддерживается оптимальная температура около 40° F (4° C). Пропан, поступивший вместе с сырьем, концентрируется в холодильной секции и должен выводиться из установки алкилирования. Поэтому после промывки щелочью и водой для очистки от SO<sub>2</sub> небольшая часть потока хладагента направляется на удаление пропана. Пропан, отводимый из верхней секции колонны, направляется на хранение, и кубовый продукт с высоким содержанием изобутана возвращается в технологическую линию. Таким образом, депропанализатор исключает накопление пропана в установке алкилирования.

Перед возвращением в реактор продукт проходит через отстойник, в котором в результате отстаивания кислота отделяется от углеводородов и возвращается в реактор. Углеводородная часть продукта реактора (содержащего алкилаты, избыток изобутана и нормальный бутан) промывается щелочью и водой для очистки от кислых компонентов и затем поступает к деизобутанизатору. Подпиточный изобутан, который расходуется при реакции алкилирования, обычно добавляется в эту же колонну. Верхний продукт колонны, имеющий высокое содержание изобутана, возвращается в реактор, а кубовый продукт (содержащий нормальный бутан и алкилаты) направляется в дебутанизатор. Бутан отводится с верха этой колонны, а алкилат (кубовый остаток), находящийся нижней секции и давление паров которого отвечает требованиям ТУ, охлаждается и

направляется в хранилище алкилата. Эти колонны могут быть рассчитаны для работы при достаточно низком давлении, позволяющем использовать пар низкого давления.

#### **Указания по выбору регулирующих клапанов (системы сернокислотного алкилирования)**

Процесс сернокислотного алкилирования связан с использованием концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, обуславливающей необходимость применения углеродистой стали или нержавеющей стали 316 вследствие их высокой коррозионной стойкости. Обычно указываются именно эти материалы. Согласно особенностям конструкции температура в технологическом контуре остается достаточно низкой, что также способствует предотвращению коррозии. Другие компоненты технологической жидкости имеют нейтральную основу и не являются агрессивными. Корпуса клапанов обычно изготавливаются из углеродистой стали или нержавеющей стали 316. В тех случаях, когда в процессе применяется разбавленная кислота, в качестве конструкционных материалов можно использовать сплавы Alloy 20 или Hastelloy C. В процессе риформинга легкий нефтяной дистиллят (нафта) реагирует на платиновом катализаторе при повышенных температурах водорода и давлениях от 50 до 500 psi(изб.) (от 3,5 до 34,5 бар(изб.)). Продуктом риформинга является высокооктановая жидкость с высоким содержанием ароматических соединений. Побочными продуктами реакции являются водород, легкие газы и сжиженный нефтяной газ (СНГ). В системах с использованием кислоты не допускается использование графитовых набивок и прокладок. Клапаны с поворотным затвором также хорошо подходят для этих систем.



**Таблица 3: Регулирующие клапаны Valtek для установок алкилирования**

Модель клапана Valtek	Тип установки алкилирования	См. стр.
Прходной клапан (вентиль) Mark One	Установка алкилирования в присутствии серной кислоты	50
Клапан Mark One в исполнении для контакта с плавиковой кислотой	Установка алкилирования в присутствии плавиковой кислоты	52

# Каталитический риформинг

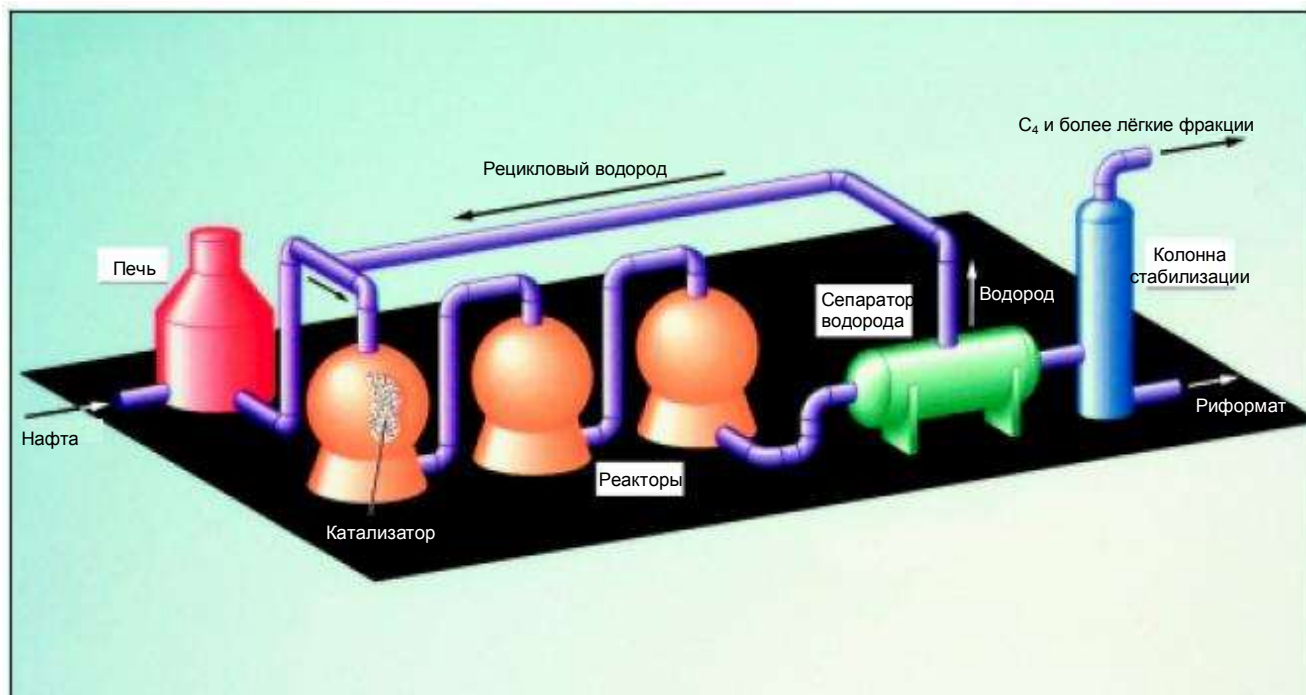


Рис. 15. Каталитический риформинг

## Введение в каталитический риформинг

В процессе *каталитического риформинга* низкооктановая нефтя облагораживается до риформата, который используется в качестве высокооктанового компонента бензина. Первоначально этот процесс был разработан для облагораживания низкооктановой прямогонной нефти в высокооктановое моторное топливо; его также использовали для получения сжиженного углеводородного газа и ароматических углеводородов высокой чистоты. Широкий ассортимент платиновых катализаторов позволяет разрабатывать индивидуальные технологические схемы, оптимальные для конкретного процесса. Благодаря новым разработкам удалось увеличить выходы продукта и повысить октановые числа при незначительном отложении кокса на катализаторе. Путь к повышению выходов и октановых чисел лежит через реализацию процесса при низком давлении и высокой температуре. Однако высокая температура и низкое давление приводят к образованию кокса с последующим его отложением и деактивацией катализатора. Каталитический риформинг обычно приводит к следующим изменениям в составе нефти:

Таблица 4. Изменения в составе нефти в процессе каталитического риформинга

	Сырьё, % об.	Продукт
Парафины	50%	35%
Олефины	0%	0%
Нафтены	40%	10%
Ароматика	10%	55%

При каталитическом риформинге протекают следующие нужные реакции:

1. Парафины превращаются в изопарафины.
2. Парафины превращаются в нафтены.
3. Нафтены превращаются в ароматические соединения.

Однако в этом процессе протекают и нежелательные реакции:

1. Часть парафинов и нафтенов расщепляется с образованием бутана и его изомеров, а также более лёгких газов.
2. В молекулах нафтенов и ароматических соединений разрывается часть боковых цепей, что ведет к образованию с образованием бутана и его изомеров, а также более лёгких газов.

Главной целью процесса каталитического риформинга является превращение парафинов и нафтенов в ароматические соединения и в некоторые изомеры (рис. 16).

## Оборудование риформинга

Водород является важным побочным продуктом каталитического риформинга. Большая часть реакций риформинга ведет к образованию свободного водорода. Это объясняется тем, что ароматические молекулы содержат меньше водорода, чем нафтены, вводимые с сырьём. Реакции с образованием свободного водорода являются *эндотермическими*, поэтому процесс необходимо вести постадийно, устанавливая при этом на каждой ступени последовательно реактор и печь, как показано на рисунке. В процессе *риформинга* водород также используется в реакторах.

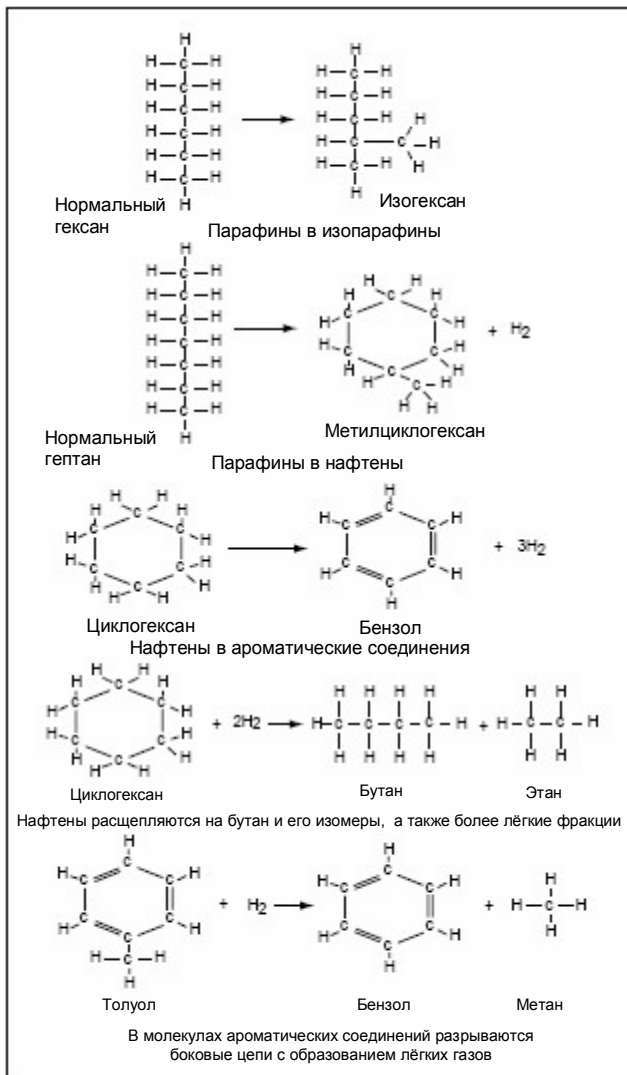


Рис. 16. Реакции риформинга

Для поддержания высокой концентрации водорода в паровой фазе реакторов водород необходимо смешивать с сырьём. Благодаря этому предотвращается отложение атомарного углерода на катализаторе, что имеет место в каталитическом крекинге. Вместо этого, углерод реагирует с водородом, образуя углеводородные газы. Как показано на рис. 17, часть водорода из его общего потока возвращают в сырьё, а другую часть направляют на установку разделения газов. Жидкий продукт из нижней части сепаратора направляют в колонну вторичной перегонки (называемую стабилизатором), которая работает подобно дебутанизатору. Кубовый продукт колонны вторичной перегонки является так называемый риформат, а бутаны и более лёгкие газы направляются на установку разделения насыщенных газов.

### Регенерация

Существуют три типа установок риформинга: 1) для полурегенеративного риформинга, 2) для полностью регенеративного риформинга (рис. 17) и 3) для риформинга с непрерывной регенерацией (рис. 18). Первые установки риформинга в начале 1950-х гг. были *полурегенеративными*. Когда катализатор терял активность из-за образования кокса,

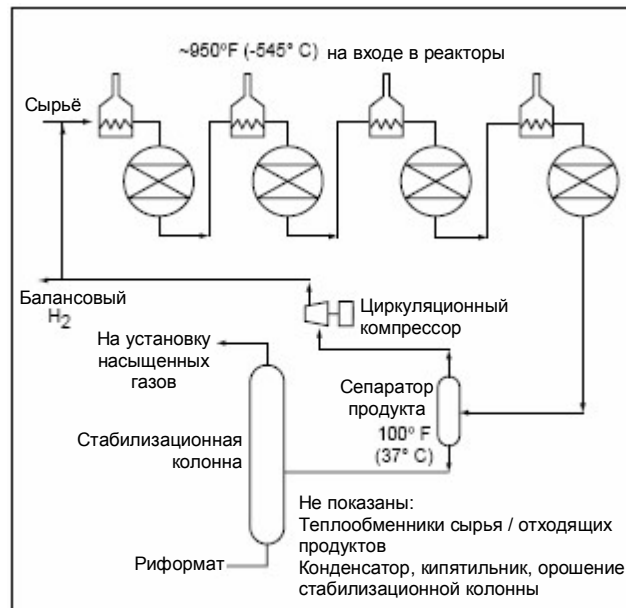


Рис. 17. Типовая установка риформинга – реакторная секция

установку останавливали на регенерацию. Следовательно, срок службы катализатора должен был составлять не менее 6 месяцев. Для сдерживания образования кокса приходилось работать при высоком давлении (до 500 фунт/кв. дюйм изб./34,5 бар изб.) и при невысоких температурах, благодаря чему скорость деактивации катализатора была минимальной. В этих условиях получали продукт с октановым числом чуть выше 90. Установки риформинга с *полной регенерацией* имеют пять реакторов. В каждый данный момент времени четыре реактора работают в режиме риформинга, а один находится на регенерации, и реактор со свежим катализатором переводится на риформинг через каждые 20-30 ч. В схеме с полной регенерацией можно работать при давлении порядка 100 фунт/кв. дюйм изб. (6,9 бар изб.) и вырабатывать продукт с октановым числом около 100. Установки риформинга с *непрерывной регенерацией* катализатора аналогичны установкам с полной регенерацией в том отношении, что ежедневно регенерируется около 20-30% катализатора (рис. 18). Однако в установках с непрерывной регенерацией это обеспечивается системой из реакторов, состыкованных со шлюзами-бункерами катализатора, что делает возможной циркуляцию катализатора в системе.

Процесс регенерации имеет ключевое значение для процесса каталитического риформинга. Секция регенерации установки с полной регенерацией показана на рис. 19. Из показанных на этом рисунке ступеней важнейшей является ступень хлорирования. Активным дегидрирующим компонентом катализатора является платина, частицы которой обычно имеют тенденцию к агломерации в течение рабочего цикла. Хлор вызывает повторное диспергирование платины на поверхности катализатора. Кроме того, для поддержания кислотности катализатора, необходимой для его эффективности в процессе изомеризации, на катализатор необходимо наносить небольшое количество соли соляной кислоты. Таким образом, каталитический риформинг является важным процессом облагораживания низкооктановой нефти в риформат – высокооктановый компонент бензина. К сожалению, чем выше октановое число риформата, тем меньше его выход и тем больше количество образующихся лёгких фракций.



## Рекомендации по применению регулирующих клапанов

Жидкие углеводороды, с которыми работает установка каталитического риформинга, обычно не являются агрессивными. До температуры 450°F (232°C) можно, как правило, применять арматуру с корпусами из углеродистой стали и с компонентами затвора, выполненными из нержавеющей стали марки 316. При температурах выше 450°F (232°C) необходимо рассмотреть целесообразность применения арматуры с корпусами из нержавеющей стали марки 316 и с компонентами затвора, выполненными из нержавеющей стали марки 316 с плакировкой из Alloy 6. В тех

случаях, когда требуется арматура условным проходом не более 4 дюймов (Du 100), как правило, используются проходные клапаны (вентили) с позиционерами (например, проходные клапаны (вентили) Valtek Mark One). Если же требуется арматура с условным проходом 6 дюймов (Du 150) и более, целесообразно использовать арматуру поворотного типа с упрочнёнными деталями затвора (например, клапан с поворотным эксцентриковым затвором Valtek MaxFlo). Арматура поворотного типа, как правило, дешевле более крупных проходных клапанов (вентилей). Поскольку для арматуры поворотного типа характерны меньшие протечки через шпindel и (или) сальник, она является более предпочтительной в тех случаях, когда действуют жёсткие экологические нормы.

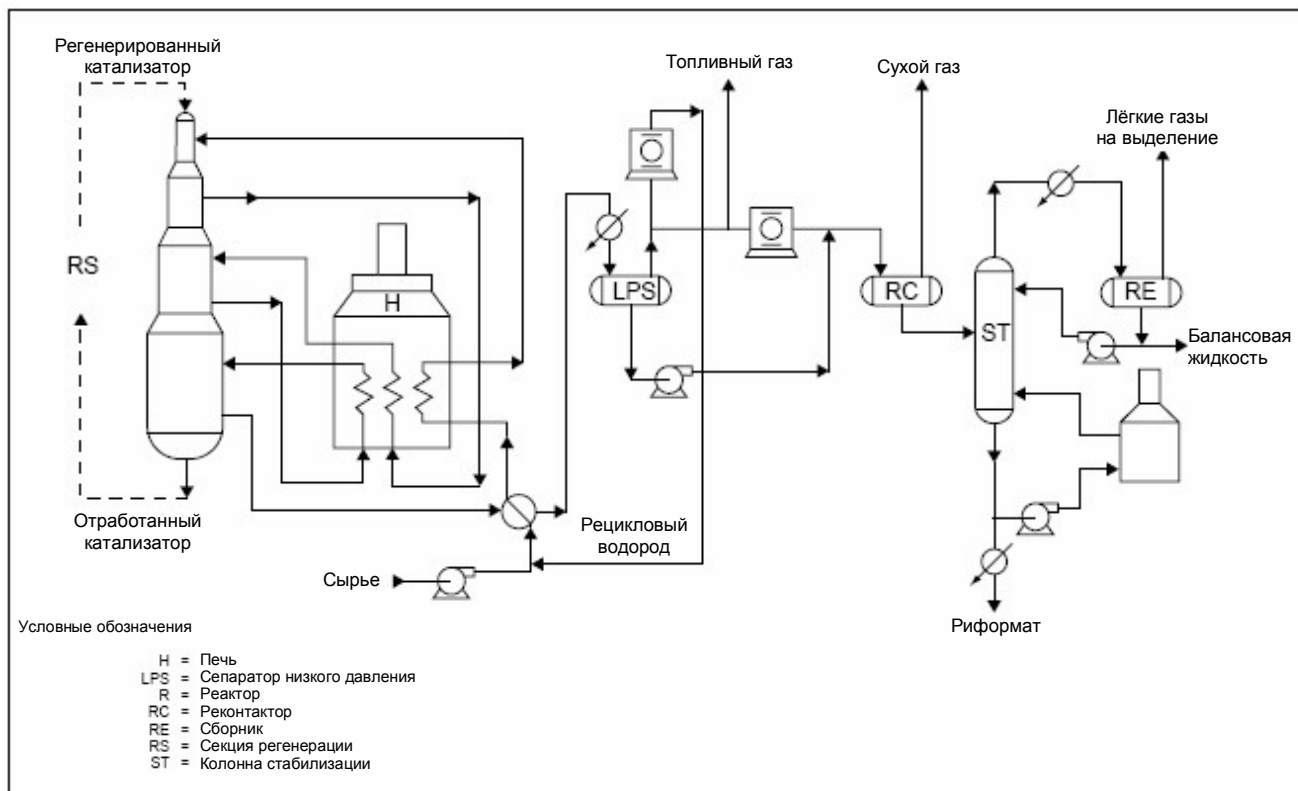


Рис. 18. Непрерывная регенерация

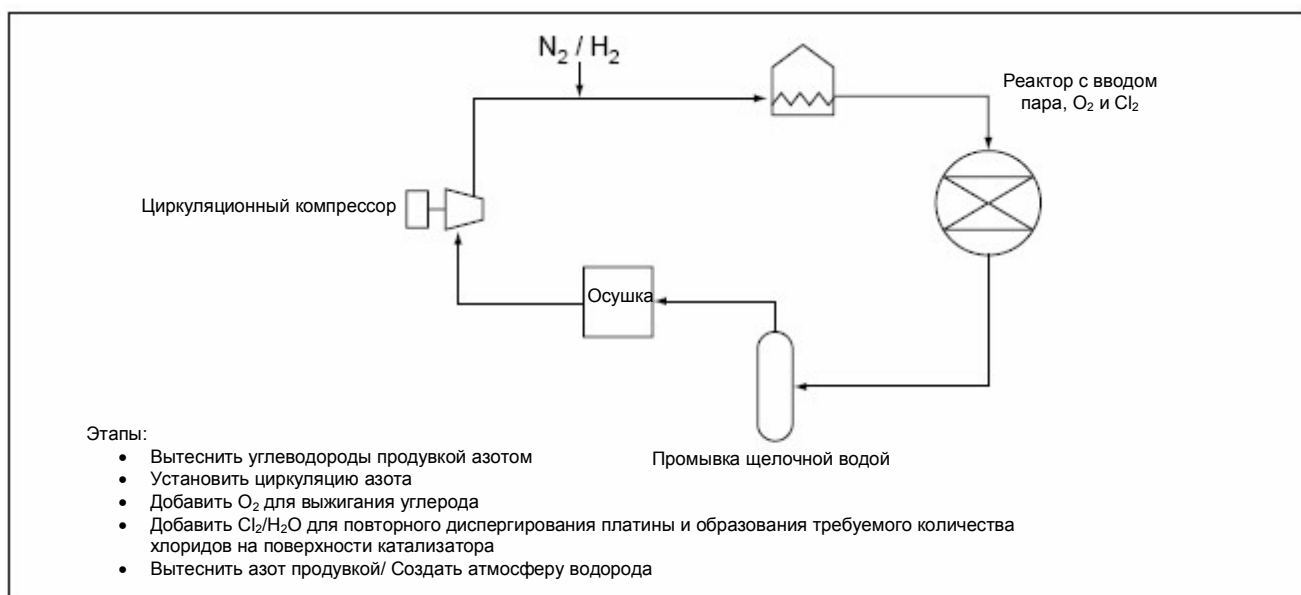


Рис. 19. Регенерация на установке риформинга

Для нефтеперерабатывающей отрасли арматура Mark One в стандартном исполнении (корпус из углеродистой стали – затвор из нержавеющей стали марки 316) изготовлена из материалов, удовлетворяющих требованиям стандарта NACE (Национальной ассоциации инженеров-коррозионистов США). Конструкция Mark One допускает установку взаимозаменяемых узлов, вставляемых в затвор в том числе таких, как узлы для уменьшения шума и кавитации, а также затворов с высокими или низкими значениями пропускной способности  $C_v$ . Для предотвращения контакта направляющих поверхностей с потоком рабочей среды используется конструкция с двумя

верхними направляющими шпинделя, позволяющая отказаться от применения затвора с направляющей клеткой, который заедает или истирается при работе на загрязненных средах. Для обеспечения герметичности сальникового уплотнения и точного ведения движущихся частей в конструкции Mark One применяются запорные элементы со штоками большого диаметра. Высокоэффективный поршневой привод Mark One с возвратной пружиной допускает изменение направления на месте установки. Кроме того, он компактен, имеет небольшую массу и прост в обслуживании.

**Таблица 5. Принятие решения по выбору регулирующих клапанов Valtek для установок каталитического риформинга**

Модель клапана Valtek	Применение на установке каталитического риформинга	Номер страницы для ссылки
Проходной клапан (вентиль) Mark One	Непрерывная регенерация, рециркуляция водорода	50
Клапан с поворотным эксцентриковым затвором MaxFlo	Непрерывная регенерация, рециркуляция водорода	50



# Гидроочистка

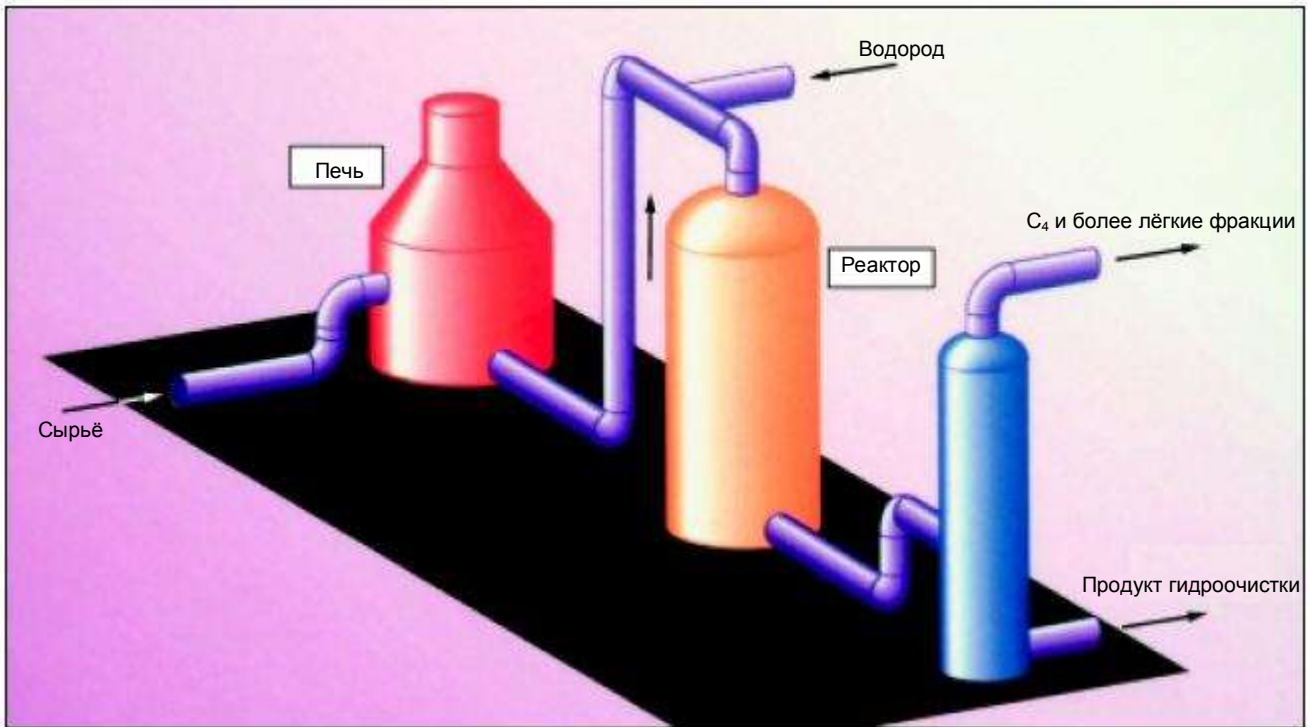


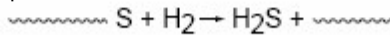
Рис. 20. Установка гидроочистки

## Введение в гидроочистку

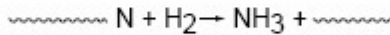
В процессе *гидроочистки* из технологических потоков удаляют большое количество загрязняющих примесей. Неотъемлемым исходным компонентом для проведения гидроочистки является водород. В технологических потоках НПЗ, содержащих  $C_6$  и более тяжёлые углеводороды, обычно присутствуют некоторые соединения серы. Сера может быть адсорбирована или входить в состав молекулы и поэтому являться химическим компонентом, присутствующим в потоке. С помощью гидроочистки можно успешно отделить серу и вывести её из продукта.

В процессе гидроочистки (рис. 20) поток, имеющий температуру  $500^{\circ}\text{F}$  ( $260^{\circ}\text{C}$ ), смешивают с водородом и подогревают до температуры  $800^{\circ}\text{F}$  ( $427^{\circ}\text{C}$ ). Затем нефть в смеси с водородом подают в сосуд, заполненный гранулами катализатора. С участием катализатора протекают следующие реакции (рис. 21):

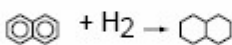
Обессеривание



Очистка от азота



Деметаллизация



Гидрирование



Адсорбирован  
в порах  
катализатора

- Водород соединяется с атомами серы, образуя сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ );
- Некоторые соединения азота превращаются в аммиак;
- Все металлы, вовлеченные в состав сырой нефти, оседают на катализаторе;
- В некоторых олефинах, ароматических соединениях или нафтенах химические становятся насыщенными (атомами водорода); при этом некоторые связи разрываются, что ведет к образованию газов: метана, этана, пропана и бутана

Поток, вышедший из реактора, поступает в сепаратор, где большая часть пропана и более лёгких продуктов (включая  $\text{H}_2\text{S}$  и следовые количества аммиака) уходят с верхним продуктом. Для полного отделения этих лёгких фракций, как правило, устанавливают небольшую колонну вторичной перегонки, называемую стабилизатором (рис. 22).

Рис. 21. Реакции гидроочистки

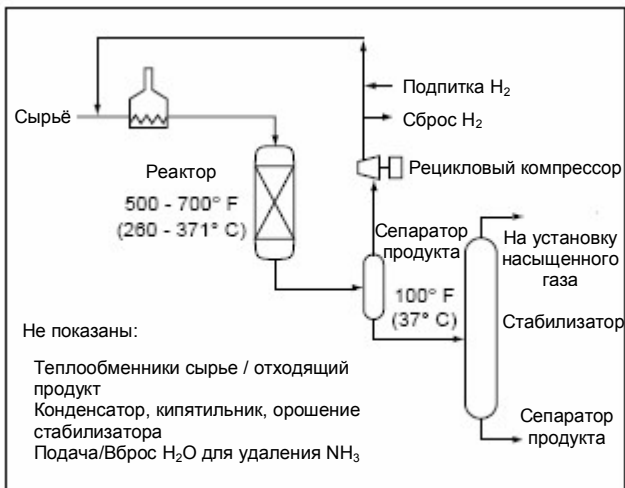


Рис. 22. Типовая установка гидроочистки

На протяжении многих лет роль гидроочистки постепенно возросла, что обусловлено двумя факторами:

- Необходимостью удаления серы и металлов для защиты катализаторов каталитического риформинга, каталитического крекинга и гидрокрекинга.
- Непрерывным снижением допустимого содержания серы в топливе, согласно нормативам по качеству воздуха, что требует обессеривания дистиллятов и авиационного топлива.

### Установка получения элементарной серы

В процессе гидроочистки образуются потоки, содержащие сероводород ( $H_2S$ ), представляющий собой смертельно опасный токсичный газ, который необходимо утилизировать. Обычно это осуществляется в две ступени: на первой удаляют  $H_2S$  из потоков углеводородов, а на второй превращают смертельно опасный  $H_2S$  в элементарную серу (являющуюся полезным и нетоксичным химикатом).

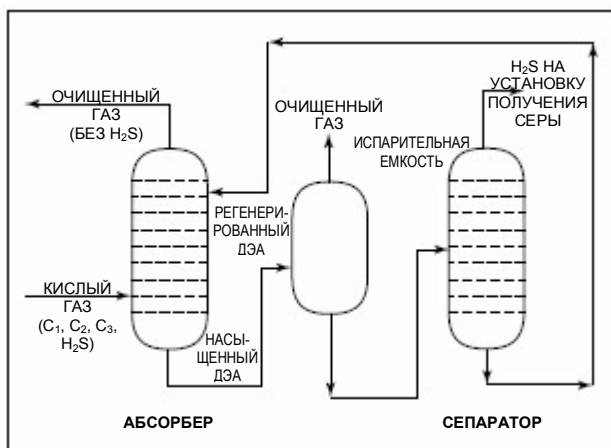


Рис. 23. Установка очистки газа диэтаноломином (ДЭА)

Примерно до 1970 г. большую часть  $H_2S$ , вырабатываемого на НПЗ, использовали (вместе с другими лёгкими газами) в качестве нефтезаводского топлива. При сгорании  $H_2S$  в печах образуется диоксид серы ( $SO_2$ ). Современные нормативы по качеству воздуха ограничивают выброс  $SO_2$  до такой величины, что большую часть  $H_2S$  нельзя подавать в топливные системы.

Извлечение  $H_2S$  можно осуществить с использованием различных химических процессов. Наибольшее распространение получила экстракция растворителем – диэтаноломином (ДЭА). Раствор ДЭА в воде подают в колонну с тарелками или насадкой. Газ, содержащий  $H_2S$ , вводят в нижнюю часть этой колонны. ДЭА избирательно поглощает  $H_2S$  из газа. Из насыщенного ДЭА отгоняют  $H_2S$ , который направляют на установку получения серы. ДЭА после извлечения из него  $H_2S$  возвращают в цикл (рис. 23 и 24).

Таблица 6. Процессы с участием серы

• <b>Абсорбция</b>	$ДЭА + H_2S = \text{Комплекс ДЭА/Абсорбированный } H_2S$
• <b>Десорбция</b>	$\text{Комплекс ДЭА/}H_2S + \text{тепло} = ДЭА + H_2S$
• <b>Сжигание части <math>H_2S</math></b>	$H_2S + O_2 = SO_2 + H_2O$
• <b>Реакция Клауса</b>	$H_2S + SO_2 = S + H_2O$
• <b>SCOT-процесс</b>	$\text{Остаточный } SO_2 + H_2 = H_2S + H_2O$

### Извлечение серы

Превращение  $H_2S$  в серу проводят на *установке Клауса* (процесс был впервые разработан в 1885 г. немецким ученым Клаусом). В настоящее время известно много разновидностей этого процесса для разных соотношений  $H_2S$ /углеводороды, но все они сводятся к двухступенчатой технологии с разделением потока (рис. 24).

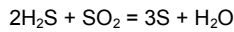
### Сжигание

Часть  $H_2S$  сжигают в печи с образованием  $SO_2$ , воды и серы. Образование серы обусловлено недостатком в реакционной смеси кислорода: подача кислорода (с воздухом) в печь ограничена  $\frac{1}{3}$  стехиометрического количества, необходимого для превращения всего сероводорода в  $SO_2$  (табл. III).



## Каталитическая реакция

Оставшийся  $H_2S$  смешивают с продуктами сгорания и пропускают над катализатором.  $H_2S$  реагирует с  $SO_2$  с образованием элементарной серы (см. табл. III).



Серу выделяется из реакционного аппарата в виде расплава. На большинстве НПЗ хранят и отгружают серу в расплавленном состоянии, но на некоторых заводах хранят серу, выливая её в установленные на земле формы для затвердевания. В таком твердом состоянии (в *штабелях*) серу можно хранить сколь угодно долго.

На установках Клауса в элементарную серу превращается 90-93%  $H_2S$ . В зависимости от местных требований по охране природы, остальной сероводород можно либо сжечь в топливной системе НПЗ, либо переработать хвостовой газ установки Клауса, для более полного извлечения  $H_2S$ , в процессе SCOT (Shell Claus Off-gas Treating – рис. 24), в котором остаточный  $SO_2$  восстанавливается в  $H_2S$ , проходя через слой катализатора. Затем  $H_2S$  извлекают раствором ДЭА на описанной выше установке очистки раствором ДЭА, после чего  $H_2S$  возвращают на установку Клауса. Аппарат дожигания хвостовых газов служит для того, чтобы малые количества серы, выбрасываемые в атмосферу, присутствовали в отходящих газах в виде  $SO_2$ , а не высокотоксичного  $H_2S$ .

## Рекомендации по применению регулирующих клапанов

Регулирующие клапаны на установке гидроочистки контактируют с потоком среды, содержащим углеводороды, газообразный водород и сероводород ( $H_2S$ ). Для работы при температуре ниже  $450^\circ F$  ( $232^\circ C$ ), как правило, выбирают клапаны, изготовленные из углеродистой стали, с затвором из нержавеющей стали марки 316. При температурах выше  $450^\circ F$  ( $232^\circ C$ ) рекомендуется применять клапаны с корпусами из нержавеющей стали марки 316, 347 или 321 и деталями затвора из нержавеющей стали марки 316 с плакировкой из Alloy 6. На установке получения серы через клапаны проходит кислый газ ( $H_2S + CO_2 + SO_2$ ). Если имеется возможность поддерживать температуру газа выше точки росы, которая равна приблизительно  $225^\circ F$  ( $107^\circ C$ ), то в этом случае подходят клапаны из углеродистой стали с затвором из стали марки 316. Для регулирования потоков с температурой ниже точки росы следует применять клапаны с корпусом и затвором из нержавеющей стали марки 316. Для работы с расплавленной серой рекомендуются клапаны из углеродистой стали с рубашкой и с затвором из нержавеющей стали марки 316. В тех местах, где требуются клапаны с условным проходом не более 4 дюймов (Ду 100), как правило, используются проходные клапаны (вентили) с позиционерами (например, проходные клапаны (вентили) Valtek Mark One). В тех случаях, когда требуются клапаны с условным проходом не менее 6 дюймов (Ду 150) и более, используется арматура поворотного типа (например, клапан с поворотным эксцентриковым затвором Valtek MaxFlo). Для такого рода арматуры поворотного типа обычно выбирают упрочнённый затвор и коррозионно-стойкие материалы. Арматура поворотного типа, как правило, дешевле более крупных проходных клапанов (вентилей). Поскольку поворотные клапаны отличаются меньшими протечками через уплотнение шпинделя или сальник, они являются более предпочтительными в случаях, когда действуют строгие экологические нормы.

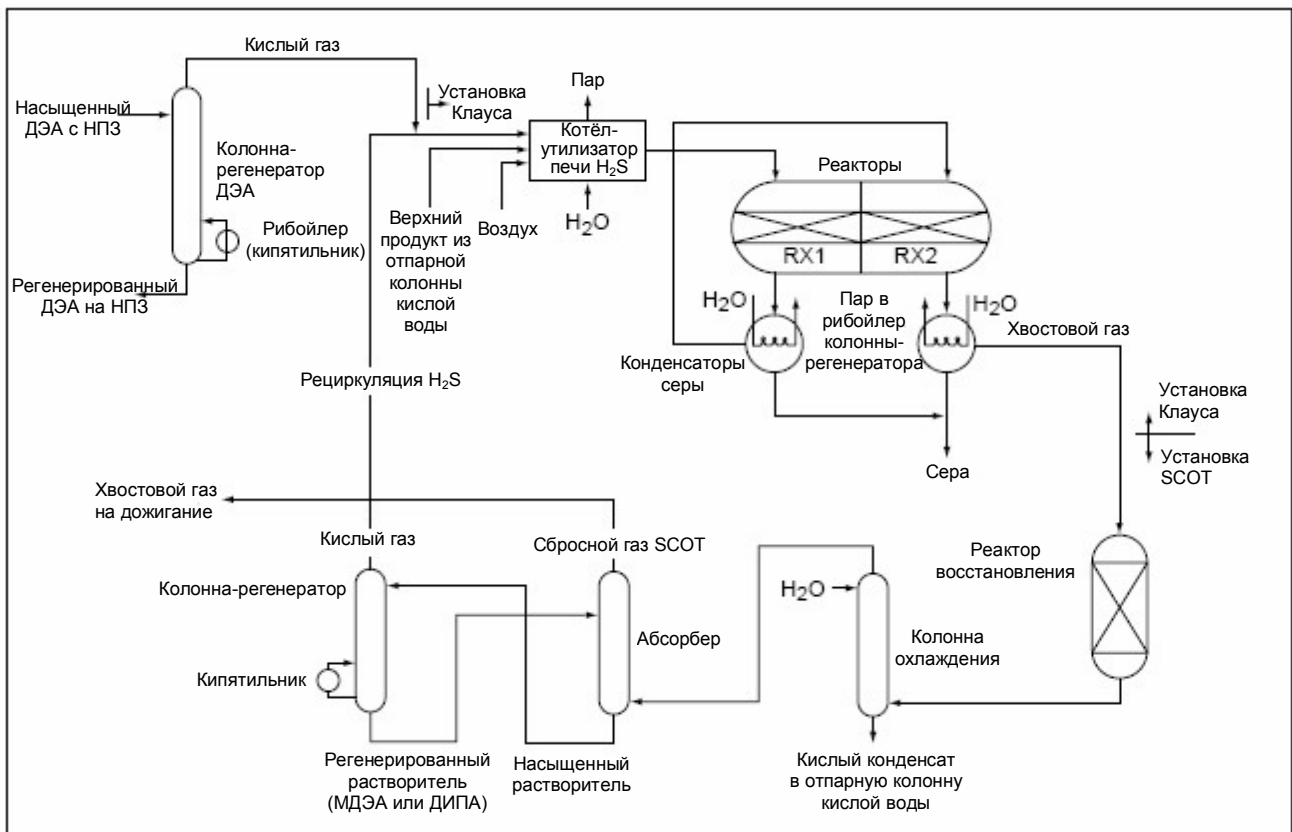
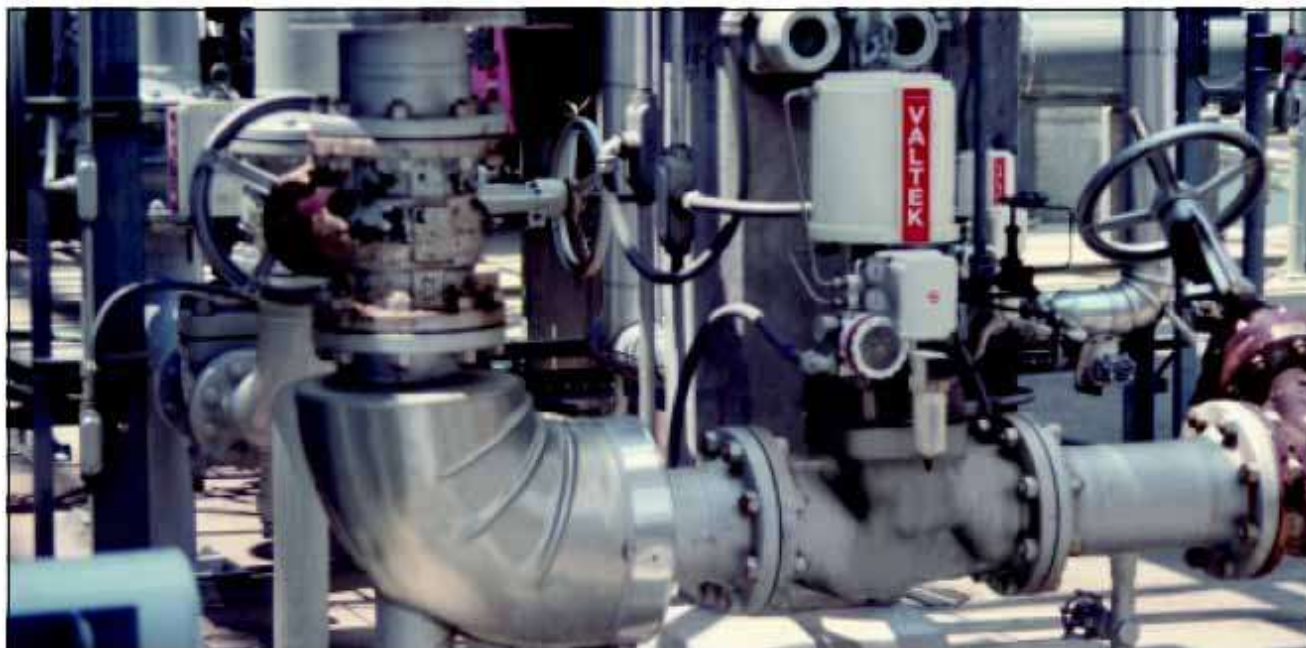


Рис. 24. Типовая установка получения серы



**Таблица 5. Принятие решения по выбору регулирующих клапанов Valtek для установок гидроочистки**

Модель клапана Valtek	Применение на установке гидроочистки	Номер страницы для ссылки
Проходной клапан (вентиль) Mark One	Кислая вода, отпарная колонна/регенератор, рибойлер, растворитель	50
Клапан с поворотным эксцентриковым затвором MaxFlo	Кислая вода, отпарная колонна/регенератор, рибойлер, растворитель	50
Проходной клапан (вентиль) Flow Top	Кислая вода, отпарная колонна/регенератор, рибойлер, растворитель	51

# Вакуумная перегонка

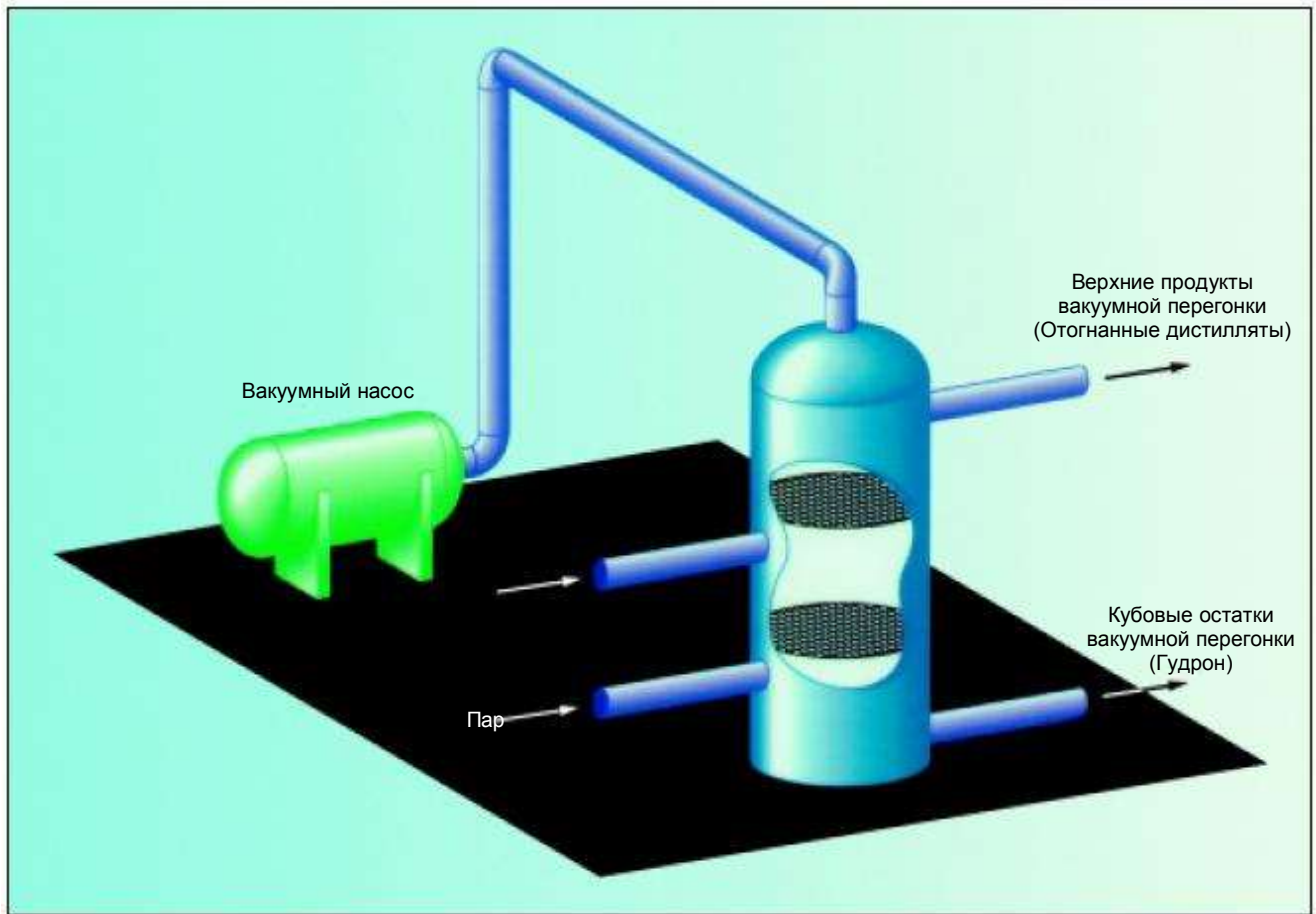


Рис. 25. Установка вакуумной перегонки

## Явление крекинга

При рассмотрении кривых дистилляции и ректификационных колонн в разделе "Установка атмосферной перегонки" рабочую температуру технологической жидкости сознательно поддерживали ниже 900°F (482°C). При температуре выше 900°F (482°C) начинается явление, известное как крекинг (расщепление). Когда углеводороды с крупными и сложными молекулами, не испарившиеся при 900°F (482°C), нагревают до более высокой температуры, подводимой тепловой энергии достаточно для расщепления молекулы на две или более молекул меньшего размера. Например, молекула  $C_{16}H_{34}$  может расщепиться на три части:  $C_8H_{18}$ ,  $C_6H_{12}$  и  $C_2H_4$  (рис. 26). Этот процесс следует подавлять. В разделе "Каталитический крекинг" будет выполнено более подробное рассмотрение явления крекинга.

Углеводороды с молекулами меньшего размера кипят при гораздо более низкой температуре, чем углеводороды с более крупными молекулами. Возникая в результате крекинга, первые легко отгоняются из нефти, нагретой до высокой температуры. Кроме того, в результате крекинга увеличивается объем продукта, так как молекулы меньшего размера суммарно занимают больший объем, чем плотно упакованная более крупная молекула. У вещества с меньшими молекулами

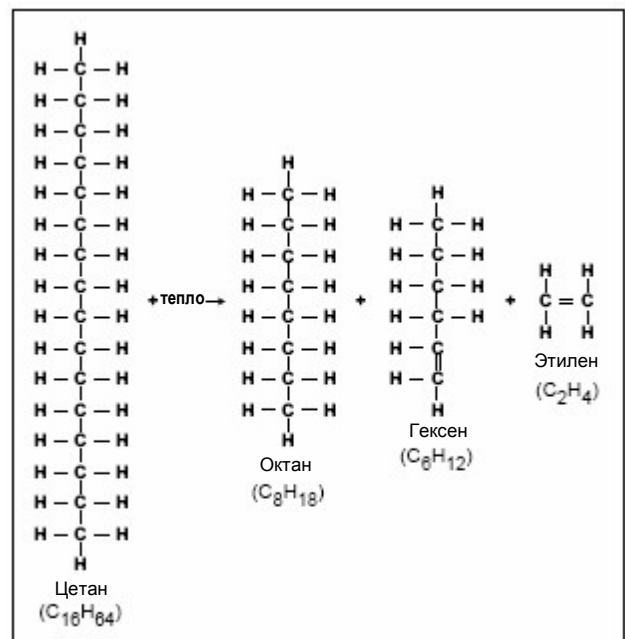


Рис. 26. Расщепление молекулы

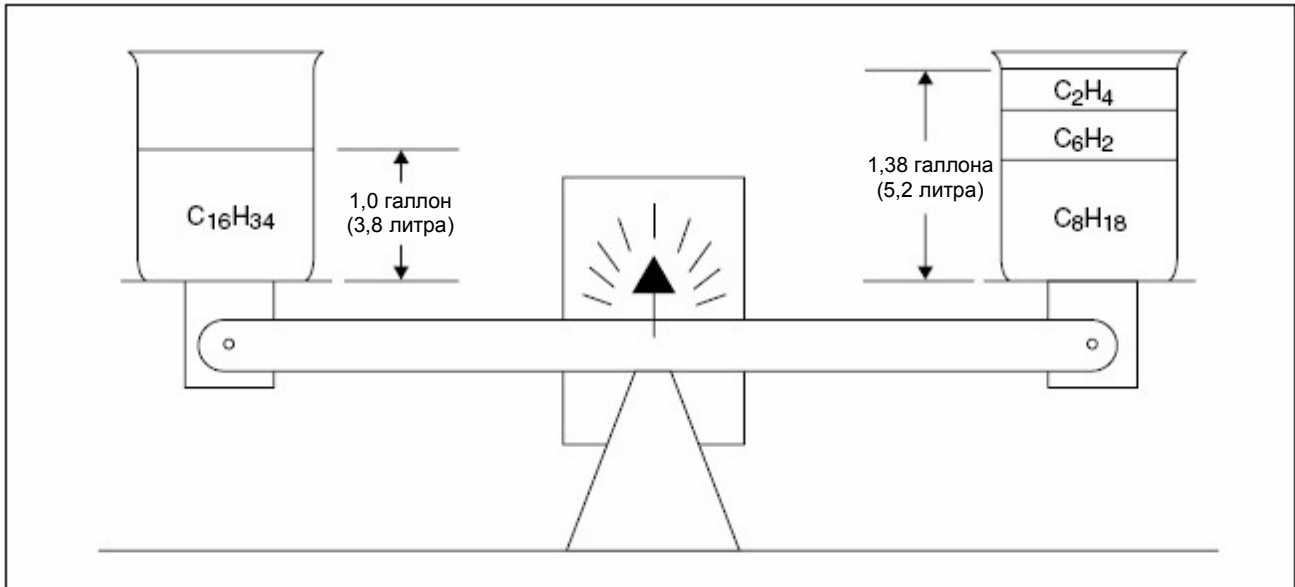


Рис. 27. Вес продуктов крекинга

на единицу массы приходится больший объём, чем у вещества с более крупными молекулами. Углеводород  $C_{16}H_{34}$  имеет плотность 7,2 фунт/галл. (0,86 кг/л), а углеводороды  $C_8H_{18}$ ,  $C_6H_{12}$  и  $C_2H_4$ , соответственно 5,9, 5,6 и 3,1 фунт/галл. (0,71, 0,67 и 0,37 кг/л\*\*). Следовательно, 7,2 фунта (3,3 кг)  $C_{16}H_{34}$  занимают объём 1 галлон (3,8 л), а 7,2 фунта (3,3 кг) трёх компонентов занимают объём 1,38 галлона (5,2 л), или на 38% больше (рис. 27).

Крекинг является экономически выгодным процессом, но только в том случае, если им управляют. Обычный перегонный аппарат не приспособлен для управления крекингом, так что в традиционном процессе перегонки избегают температур, при которых возможен крекинг. Самая тяжёлая фракция, которую отгоняют в колонне атмосферной перегонки, имеет температуру конца кипения около 750°F (399°C). Тем не менее, в остатке прямой гонки остаётся большое количество углеводородов, которые нужно выделить. Для решения этой задачи используется вакуумная отгонка.

### Низкое давление

Вода кипит при температуре 212°F (100°C) на уровне моря, но при значительно меньшей температуре [около 202°F (94°C)] на высоте 1 мили (1609 м) над уровнем моря. Этот перепад температур отражает влияние изменения атмосферного давления при подъёме на высоту. Когда атмосферу на большей высоте называют «разреженной», этим обозначают её меньшую плотность.

Связь между давлением и температурой кипения проста. Подвод тепла помогает молекулам накопить достаточное количество энергии, чтобы они могли выйти из жидкой фазы. Скорость, с которой молекулы покидают жидкость, зависит от скорости подвода к ним тепла и от атмосферного давления над жидкостью. Чем ниже давление, тем меньше требуемое количество передаваемой энергии и тем ниже температура, при которой над жидкостью начинают образовываться пары (т.е. жидкость кипит). Иными словами, чем ниже давление, тем ниже температура кипения.

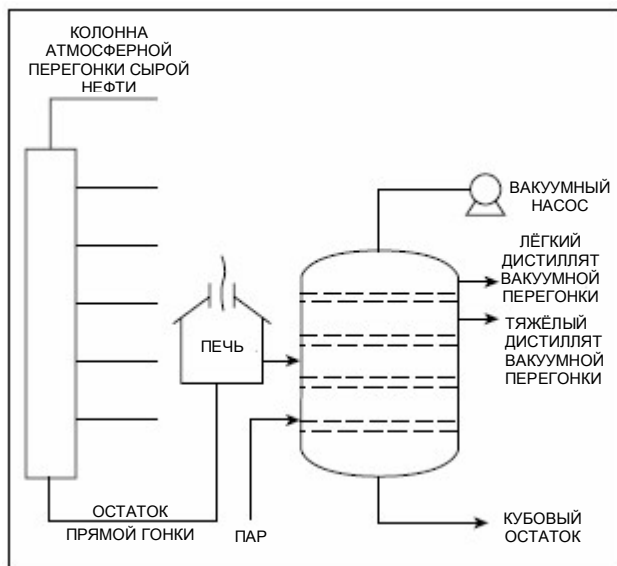
### Вакуумная отгонка

Если соотношение между давлением и температурой кипения учесть с целью проведения крекинга нефти, то при достаточно высоких температурах остаток прямой гонки будет расщепляться. Этот остаток необходимо разделить на несколько фракций. Эта задача решается путём проведения разгонки при пониженном давлении. Остаток прямой гонки откачивают из ректификационной колонны непосредственно в колонну вакуумной перегонки. Этот остаток нагревают до *температуры начала кипения* (плюс несколько градусов на компенсацию охлаждения). Остаток вводят в невысокую колонну большого диаметра, давление внутри которой понижено. Атмосферное давление на уровне моря равно 14,7 фунт/кв. дюйм абс. (1 бар). Примерно такое же давление поддерживается в обычной колонне прямой перегонки нефти. Давление в колонне вакуумной перегонки составляет приблизительно 4,5-5,5 фунт/кв. дюйм абс. (0,3-0,4 бар). При столь низком давлении лёгкие фракции остатка начинают кипеть, т.е. мгновенно испаряются (рис. 28).

Мгновенное испарение сопровождается охлаждением. Для нейтрализации охлаждения в колонну вводят перегретый пар. Тепло от пара передаётся остатку прямой гонки, благодаря чему поддерживается заданная температура продукта и облегчается процесс перегонки. Ещё одним назначением пара является регулирование вакуума. Давление в колонне поддерживается на очень низком уровне вакуумным насосом, откачивающим пары из её верхней части.

Из вакуумной колонны может быть отобрано несколько фракций (рис. 28). Иногда отогнанные лёгкие и тяжёлые дистилляты разделяют. И те, и другие можно использовать в качестве сырья для получения смазочных масел. Но часто их не разделяют, а отбирают вместе как *верхний продукт вакуумной перегонки*.





**Рис. 28. Вакуумная перегонка**

Тяжёлый продукт из куба колонны, называемый *кубовым остатком вакуумной перегонки*, используют в качестве сырья битумной установки или установки термического крекинга либо как компонент остаточных топлив.

Вакуумная перегонка равноценна перегонке остатка прямой гонки при температуре границы кипения фракций между 1000-1100°F (539-593°C). Большинство кривых дистилляции построено в расчёте на теоретические условия перегонки. Поскольку даже вакуумная перегонка имеет практические ограничения, температура конца кипения остатка прямой гонки (или, другими словами, температура конца кипения сырой нефти) никогда не достигается. Для контроля качества остатка вакуумной перегонки используется не температура кипения, а другие характеристики (например, плотность и вязкость).

### Рекомендации по применению регулирующих клапанов

Корпуса клапанов для установки вакуумной перегонки обычно изготавливают из углеродистой стали (WCB). Материалом деталей затвора, как правило, служит нержавеющая сталь марки 316. Выбор материала определяется температурой и давлением процесса. Коррозия, как правило, не является проблемой. В тех местах, где требуется арматура с условным проходом не более 4 дюймов (Du 100), как правило, используются проходные клапаны (вентили) (например, Проходной клапан (вентиль) Valtek Mark One). Там же, где требуется арматура с условным проходом не менее 6 дюймов (Du 150), используется арматура поворотного типа (например, клапан с поворотным эксцентриковым затвором Valtek MaxFlo).

**Таблица 8. Принятие решения по выбору регулирующих клапанов Valtek для вакуумной перегонки**

Модель клапана Valtek	Применение на установке вакуумной перегонки	Номер страницы для ссылки
Проходной клапан (вентиль) Mark One	Дистиллят, пар, кубовый остаток вакуумной перегонки	50
Клапан с поворотным эксцентриковым затвором MaxFlo	Дистиллят, пар, кубовый остаток вакуумной перегонки	50
Проходной клапан (вентиль) Flow Top	Дистиллят, пар, кубовый остаток вакуумной перегонки	51

# Установка изомеризации

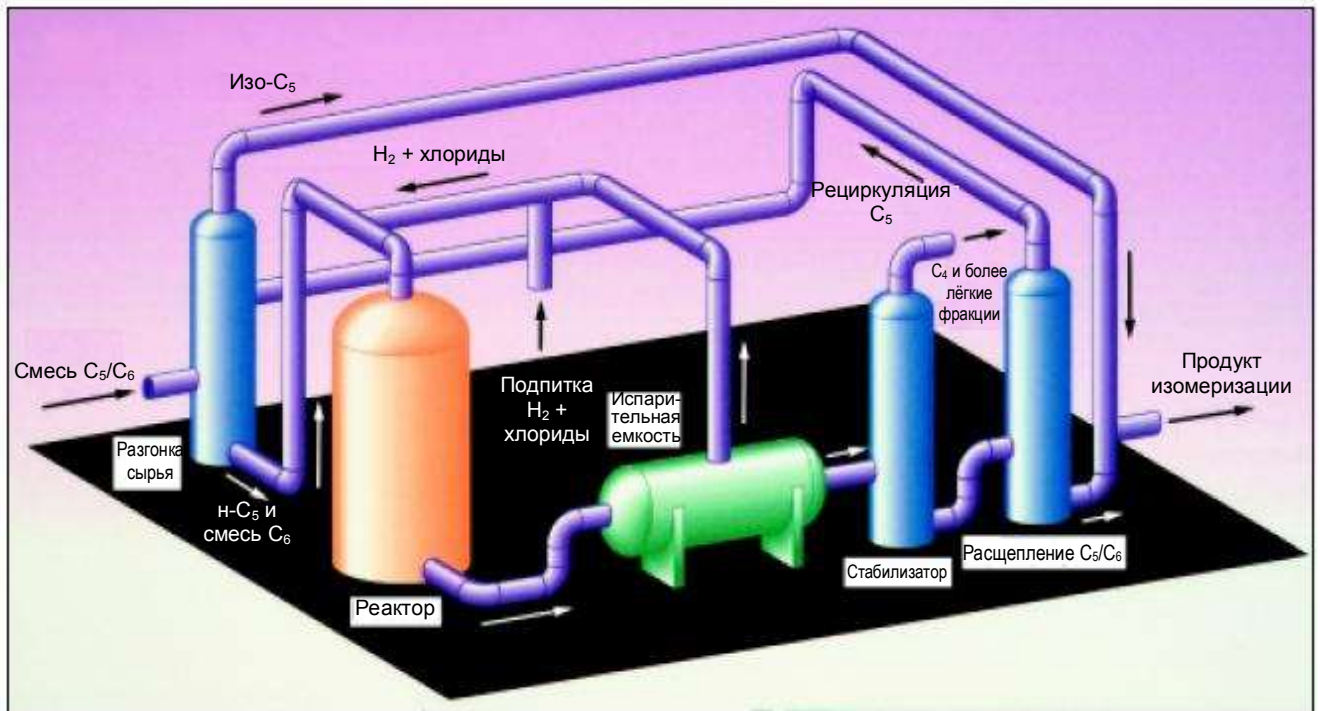


Рис. 29. Установка изомеризации

## Введение в изомеризацию

На установке изомеризации (рис. 29) проводят перегруппировку молекул, как в каталитическом риформинге (см. раздел "Каталитический крекинг"), с той, однако, разницей, что здесь имеет место только превращение насыщенных углеводородов нормального строения (парафины) в разветвлённые насыщенные углеводороды (изопарафины – см. рис. 30 и 31).

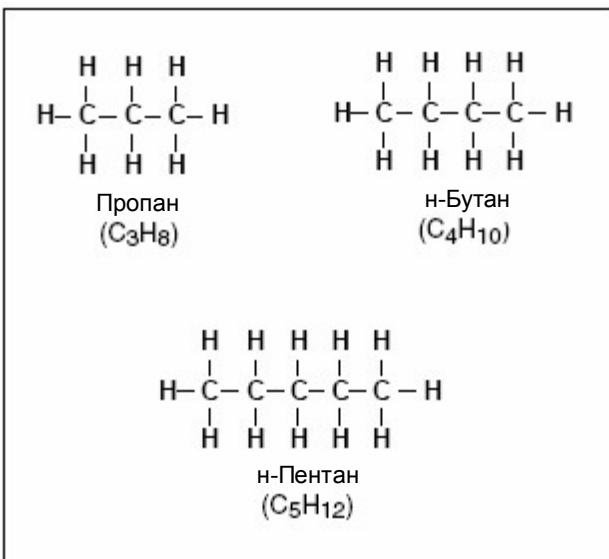


Рис. 30. Нормальные насыщенные углеводороды

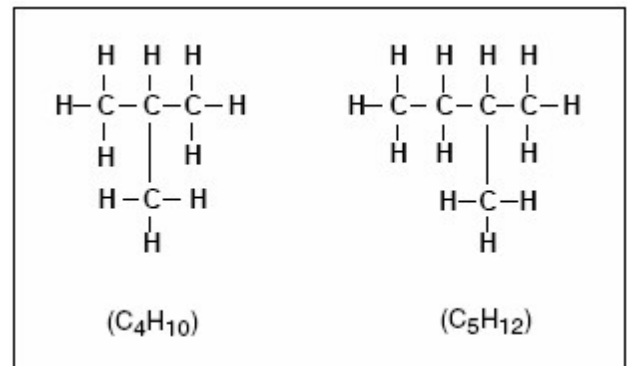


Рис. 31. Разветвлённые насыщенные углеводороды

## Изомеризация бутана

На НПЗ с установкой алкилирования ресурсов изобутана, видимо, недостаточно для превращений пропилена и бутилена. Если на НПЗ имеется установка гидрокрекинга, то на этом НПЗ будет избыток изобутана, который, скорее всего, подмешивают в бензин. Если же на НПЗ нет установки гидрокрекинга, то ресурсы изобутана требуется пополнять. Обычно это делают одним из двух способов: покупают изобутан на стороне или получают его на установке изомеризации бутана (см. рис. 32).

Сырьём установки изомеризации бутана для выработки изобутана является н-бутан или смесь бутанов (нормального и изо-бутана), которую иногда называют "промышленные бутаны",

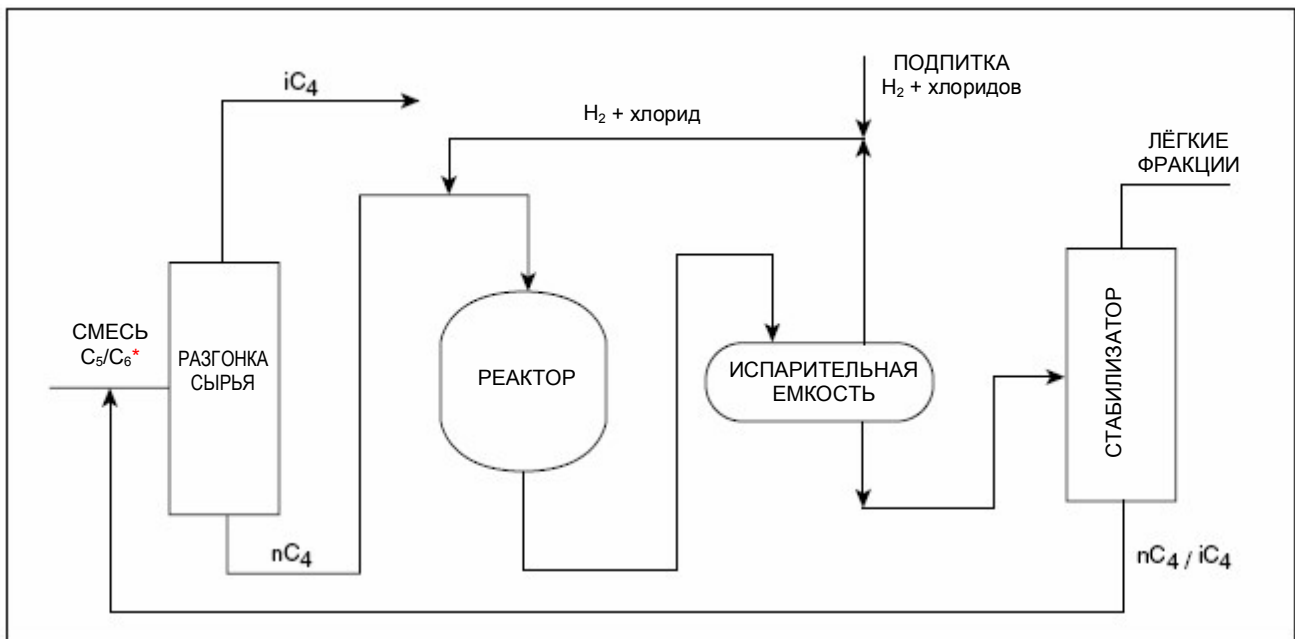


Рис. 32. Установка изомеризации бутана

если она поступает с газоперерабатывающей установки. В бутанах не должно быть никаких следов олефинов, которые отравляют катализатор.

Бутаны подают в колонну подготовки сырья, в которой отгоняется изобутан. Затем н-бутан высокой чистоты смешивают с небольшим количеством водорода и хлоридов и подают в реактор, в который загружен платиновый катализатор. На катализаторе происходит перестройка скелета н-бутана в его изомер (изобутан).

Поток, выходящий из реактора, содержит около 60% изобутана, 40% н-бутана и небольшое количество пропана и более лёгких фракций. В ректификационной колонне отгоняют пропан и более лёгкие фракции, которые направляют в топливную систему. Бутаны возвращаются в колонну фракционирования сырья, откуда н-бутан возвращается на переработку. Иными словами, на установку поступает н-бутан, а на выходе получают изобутан (рис. 32).

### Изомеризация $C_5/C_6$

На НПЗ, который не может выпускать бензин с заданным октановым числом и имеет ресурсы прямогонного бензина, экономически выгодным является процесс изомеризации  $C_5/C_6$ . Нормальный пентан, у которого исследовательское октановое число (ОЧ/И) равно 62, можно превратить в изопентан с ОЧ/И 92. У гексанов ОЧ/И возрастает с 25 до 75, а у типичной смеси пентанов и гексанов нормального и изо-строения ОЧ/И можно поднять с 73 до 91.

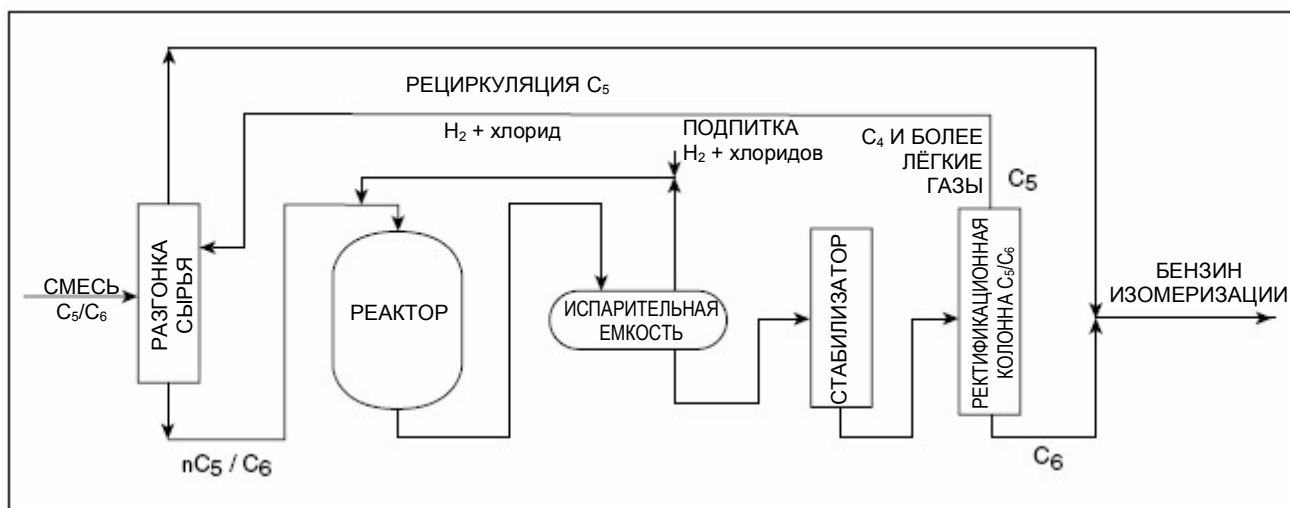
В составе установки изомеризации  $C_5/C_6$  может находиться колонна фракционирования сырья, которая концентрирует н-пентан и н-гексан, отгоняя из этой смеси изомеры (подобно такой же колонне на установке изомеризации бутана). Нормальные парафины смешивают с небольшими количествами водорода и органических хлоридов и подают

в реактор. На катализаторе около половины сырья превращается в изомеры (изомеризат), после чего продукт реакции разгоняют для возвращения н-пентана в процесс до полного превращения. Поскольку гексаны кипят при более высокой температуре, чем н-пентан, а изопентан кипит при более низкой температуре, затраты на дополнительную колонну разделения гексанов иногда слишком велики, чтобы рециркуляция н-гексана оказалась экономически оправданной (рис. 33).

Изомеризация  $C_5/C_6$  представляет собой более сложный процесс, чем изомеризация бутана ( $C_4$ ), поэтому в данном процессе образуется 2-3% бутана и более лёгких газов. В зависимости от объёма рецикла, ОЧ/И бензина изомеризации может колебаться в пределах от 80 до 91. Учитывая энергозатраты (фракционирование и перекачка), связанные с изомеризацией, которые возрастают с ростом заданного октанового числа, изомеризацию бутана обычно проводят для удовлетворения потребности установки алкилирования в изобутане. Изомеризация  $C_5/C_6$  является способом повышения октанового числа лёгких компонентов бензина (н-пентана и н-гексана), которые в избытке присутствуют в лёгком прямогонном бензине.

### Рекомендации по применению регулирующих клапанов

Установка изомеризации, как правило, работает с неагрессивными потоками (углеводороды плюс небольшие количества водорода и хлоридов). При температуре ниже 450°F (232°C) обычно используются клапаны с корпусами из углеродистой стали и затвором из нержавеющей стали марки 316. При более высоких температурах часто используются клапаны с корпусами из хромомолибденовой стали или нержавеющей стали марки 316, с затвором из нержавеющей стали марки 316. В тех местах, где требуется арматура с условным проходом не более 4 дюймов (Ду 100), обычно



**Рис. 33. Установка изомеризации C<sub>5</sub>/C<sub>6</sub>**

используются проходные клапаны (вентили) с позиционерами (например, регулирующие клапаны Mark One). Там же, где требуется арматура с условным проходом не менее 6 дюймов (Ду 150), используется арматура поворотного типа (например, клапан MaxFlo с эксцентриковым поворотным затвором). Арматура поворотного типа имеет дополнительные

преимущества: она дешевле сопоставимых с нею проходных вентилях, для неё характерны меньшие протечки через уплотнение шпинделя или сальник, что может оказаться выигрышным в тех случаях, когда действуют жёсткие экологические нормы.

**Таблица 9. Принятие решения по выбору регулирующих клапанов Valtek для установок изомеризации**

Модель клапана Valtek	Применение на установке изомеризации	Номер страницы для ссылки
Проходной клапан (вентиль) Mark One	Фракционирование сырья, H <sub>2</sub> + хлориды, нижний остаток (кубовая жидкость) из испарительной емкости	50
Клапан с поворотным эксцентриковым затвором MaxFlo	Фракционирование сырья, H <sub>2</sub> + хлориды, нижний остаток из испарительной емкости	50
Шаровой клапан ShearStream	Фракционирование сырья, нижний остаток из испарительной емкости	52
Проходной клапан (вентиль) Flow Top	Фракционирование сырья, H <sub>2</sub> + хлориды, нижний остаток из испарительной емкости	51

# Установки разделения газов

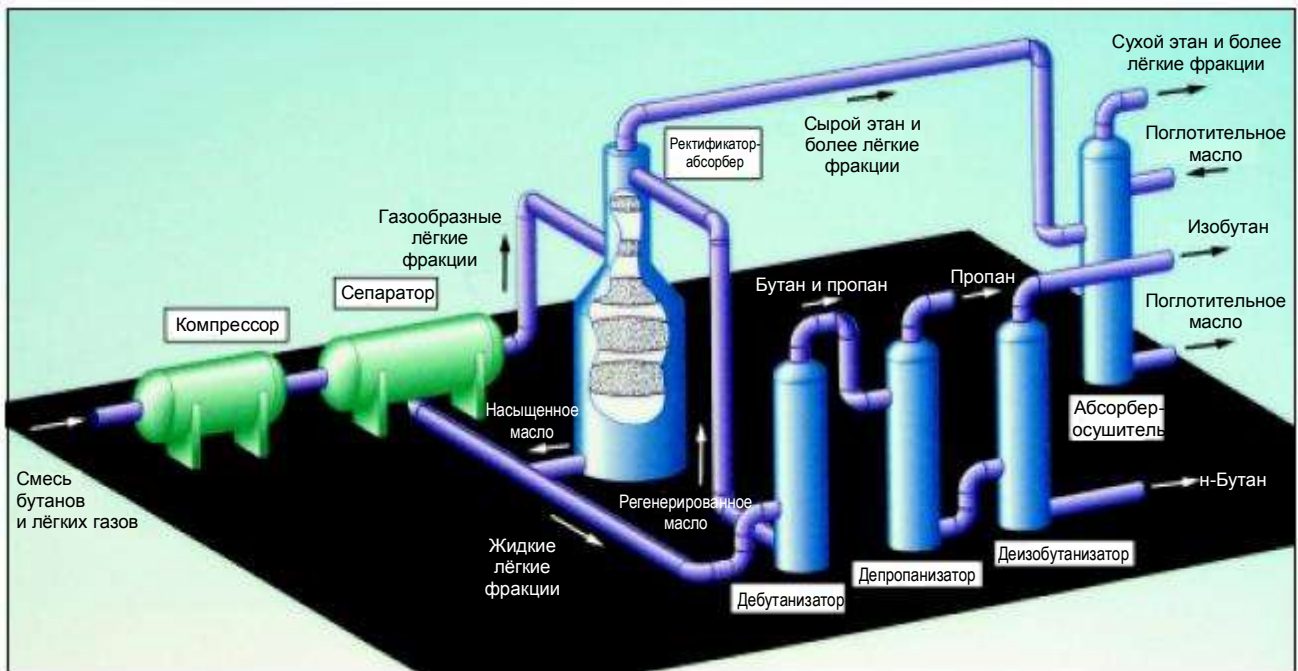


Рис. 34. Типовая установка разделения газов

## Введение в установки разделения газов

Обычно на НПЗ могут действовать два типа установок разделения газов: для насыщенных газообразных углеводородов и крекинг-газов. На них разделяют смеси летучих компонентов на соответствующие товарные продукты. Установка разделения насыщенных углеводородов собирает газы с установок переработки в присутствии водорода (гидрокрекинг, гидроочистка и риформинг), где в условиях избытка водорода все газы становятся насыщенными углеводородами (парафинами). Что же касается установки разделения крекинг-газов, то на ней перерабатываются углеводороды с установок, где получают продукты, обогащенные углеродом (каталитический крекинг и коксование); эти газы содержат значительные количества олефинов, что обусловлено недостатком водорода.

### Установка разделения насыщенных газообразных углеводородов

Ключевым элементом технологического оборудования установки разделения насыщенных газообразных углеводородов является колонна ректификации-абсорбции (РА), предназначенная для деэтанзации исходной смеси и подачи этана ( $C_2$ ) и более лёгких углеводородов в топливную систему, а также для извлечения пропана ( $C_3$ ) и более тяжёлых компонентов для их последующего использования в производстве и в качестве товарного продукта. Газы, включая этан, легко отделяются в колонне РА и выводятся в качестве её верхнего продукта. Главная трудность в осуществлении этого процесса заключается в том, чтобы не допустить наличия пропана в верхнем продукте. Эта проблема решается посредством ректификации. Абсорбентом для проведения абсорбции служит более тяжёлая жидкость (в данном случае – кубовая жидкость дебутанизатора). На рис. 35 показано, какие компоненты обычно выделяются на установке разделения насыщенных газообразных углеводородов. Принципиальная технологическая схема процесса показана на рис. 37.

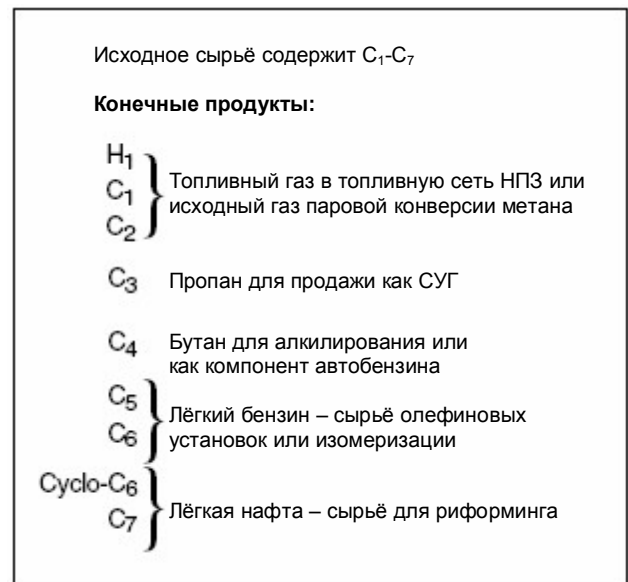


Рис. 35. Разделение насыщенных газообразных углеводородов

- Топливный газ -  $H_2$ ,  $C_1$ ,  $C_2$
- Пропилен/Пропан на алкилирование, на димеризацию пропилена или химическое сырьё
- Бутилен/Бутан на алкилирование
- Крекинг-бензин в продукт

### Требования к очистке

- Топливный газ – ДЭА-очистка от  $H_2S$
- $C_3$  – очистка от  $H_2S$  и меркаптанов ДЭА и щёлочью
- $C_4$  – очистка от меркаптанов щёлочью
- Бензин
  - Очистка от меркаптанов щёлочью
  - Тонкая очистка от меркаптанов и дисульфидов воздухом или процессом Meerox
  - Очистка прямогонного бензина на установке Solutizer

Рис. 36. Разделение крекинг-газов

### Установка разделения крекинг-газов

Продукты разделения крекинг-газов показаны на рис. 36, а принципиальная технологическая схема процесса – на рис. 38. Основное различие между установками разделения насыщенных и крекинг-газов состоит в том, что на установке разделения крекинг-газов нет деизогексанизатора. На установке разделения крекинг-газов перерабатывают газы из тех установок, в которых протекают превращения, ведущие к обогащению продуктов углеродом. Как правило, эти продукты уже имеют ароматическую природу (продукты с ненасыщенными кольцами типа, например, бензола) и не нуждаются в риформинге. Поскольку риформинг не требуется, нет необходимости в деизогексанизаторе (DIN).

### Рекомендации по применению регулирующих клапанов

Как правило, на установках разделения газов применяют клапаны с корпусами из углеродистой стали и затвором из нержавеющей стали марки 316. При температуре ниже  $350^\circ F$  ( $177^\circ C$ ) коррозия не является проблемой. Для работы при температурах выше  $350^\circ F$  ( $177^\circ C$ ) выбирают клапаны с корпусами из нержавеющей стали и затвором из нержавеющей стали марки 316. В тех местах, где требуется арматура с условным проходом не более 4 дюймов (Du 100), обычно используются проходные клапаны (вентили) с позиционерами (например, регулирующие клапаны Mark One). В тех же случаях, когда требуется арматура с большим условным проходом, используется арматура поворотного типа (например, с клапан с поворотным эксцентриковым затвором MaxFlo).

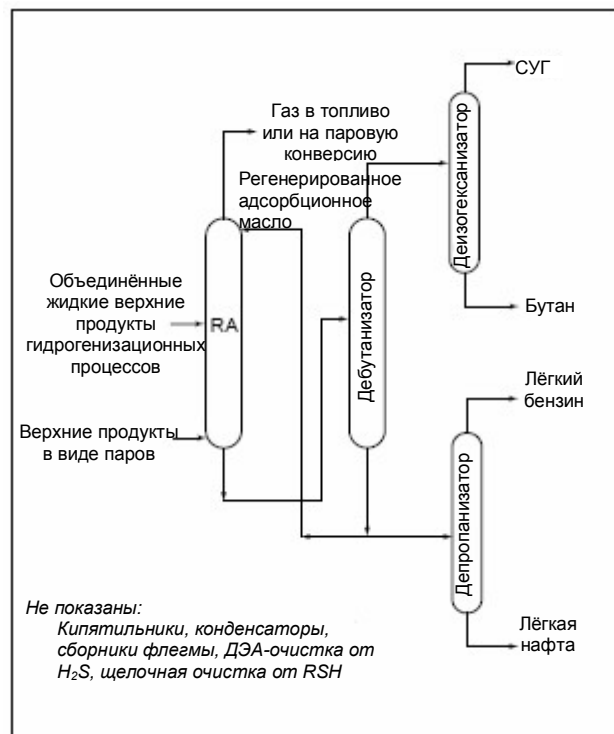


Рис. 37. Установка разделения насыщенных газообразных углеводородов

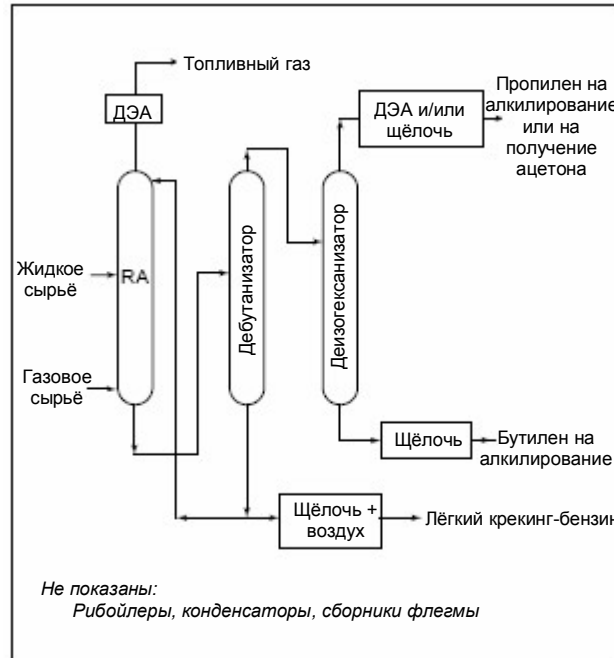
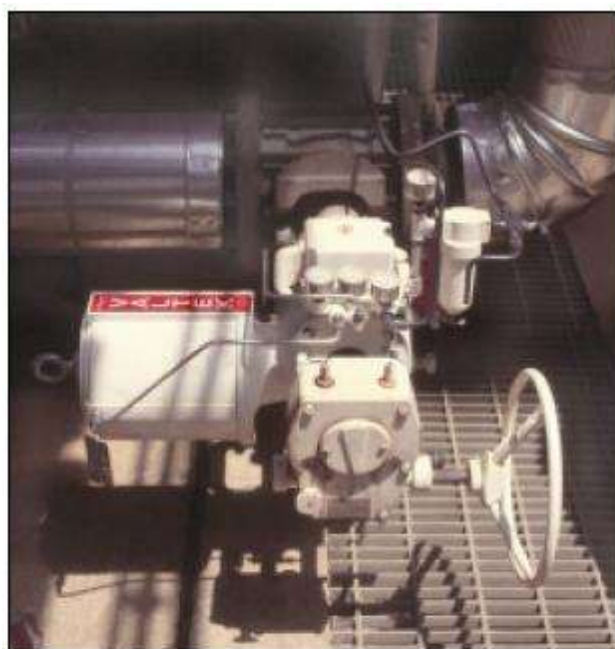


Рис. 38. Типовая установка разделения крекинг-газов

**Таблица 10. Принятие решения по выбору регулирующих клапанов Valtek для установок разделения газов**

Модель клапана Valtek	Применение на установке разделения газов	Номер страницы для ссылки
Проходной клапан (вентиль) Mark One	Кубовая жидкость RA, топливный газ, СУГ, ДЭА	50
Клапан с поворотным эксцентриковым затвором MaxFlo	Кубовая жидкость RA, топливный газ, СУГ, ДЭА	50
Проходной клапан (вентиль) Flow Top	Кубовая жидкость RA, ДЭА, СУГ, щёлочь	51



# Олефиновая установка

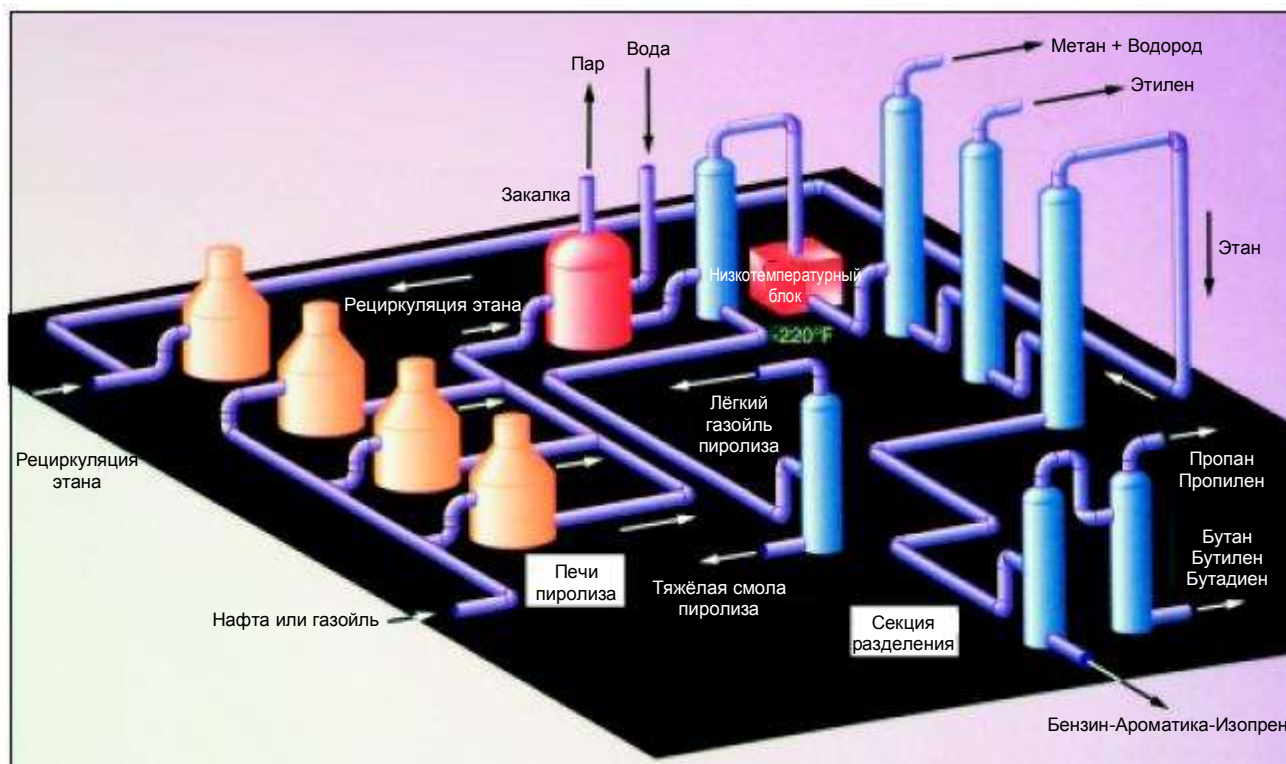


Рис. 39. Типовая олефиновая установка

## Этиленовые установки

Производители химической продукции зачастую занимаются переработкой нефти на своих этиленовых установках. Именно этим объясняется, почему так много крупных этиленовых установок построено компаниями, эксплуатирующими нефтехимические комбинаты. Этиленовые установки называются «олефиновыми установками» (ОУ), но иногда их называют «установки пиролиза этилена» (что является неточным термином), «установки пиролиза с водяным паром» (поскольку пар смешивают с сырьём) или «установки пиролиза» (без указания сырья, как это имеет место, например, в случае пиролиза этана).

Олефиновые установки предназначены для пиролиза многих видов сырья, которым может быть этан, смесь этана и пропана, пропан-бутан-нафта и газойль.

Первоначально олефиновые установки строились для получения этилена, потребность в котором для химической промышленности непрерывно возрастала. Пропилен представлял меньший интерес, поскольку на заводских установках алкилирования можно было получать широкий ассортимент углеводородов. Поэтому многие первые олефиновые установки предназначались для пиролиза этана или этана и пропана (поскольку выход этилена из этана очень высок).

Дальнейшее развитие технологии привело к использованию более тяжёлого сырья, поскольку оно более доступно, а также

потому, что на олефиновых установках при пиролизе нефти и газойля вырабатывается высокооктановый компонент бензина. Росло число гигантских олефиновых установок, по мощности сопоставимых со средним НПЗ. Многие из них интегрированы в схему НПЗ и вырабатывают значительное количество бензина.

## Взаимодействие с НПЗ

Олефиновые установки являются «приёмником» для многих потоков производственных отходов НПЗ. Например, сухой газ каталитического крекинга обычно направляют в топливную систему, хотя он содержит этан, этилен, какое-то количество пропана и пропилена. В то время как на олефиновой установке можно выделить эти компоненты и тем самым увеличить их ценность.

Некоторые виды нефти (например, рафинат извлечения бензола) имеют низкое октановое число и не представляют ценности в качестве компонента бензина. Эти потоки являются перспективным сырьём олефиновых установок не только из-за своей дешевизны, но и благодаря возможности получения высокооктанового компонента – побочного продукта производства этилена. На другом конце этиленовой установки бутилены и более тяжёлые продукты могут найти применение в процессах, осуществляемых на НПЗ.



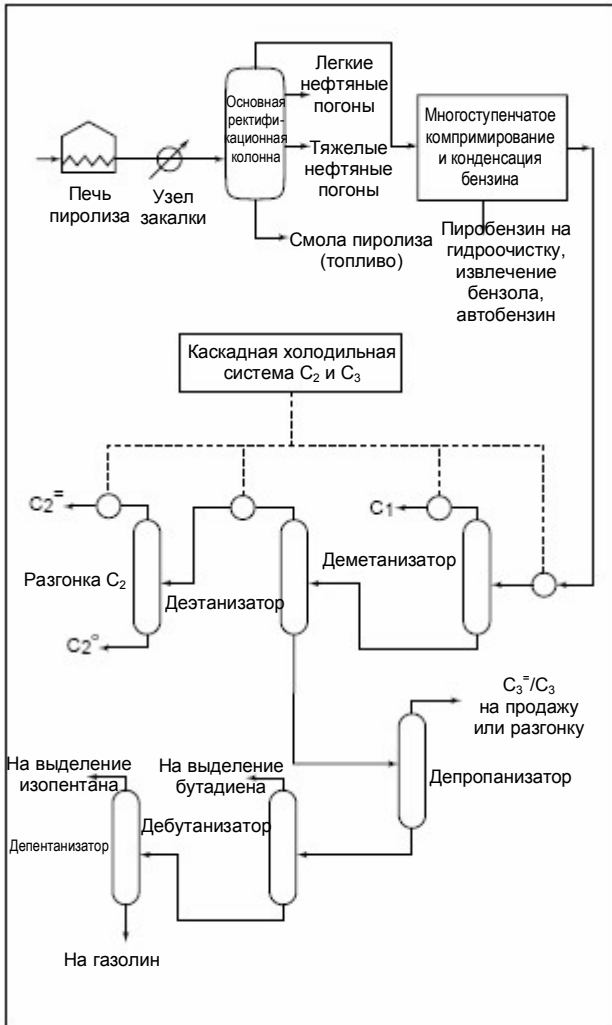


Рис. 40. Обзор олефиновой установки

### Процесс получения олефинов

Реакция получения олефинов представляет собой термический пиролиз. Температура процесса составляет от 1400 до 1650°F (от 760 до 899°C), время контакта от 0,3 до 0,8 с. Сырьё подогревают приблизительно до 900°F (482°C) и вводят в секцию радиационного нагрева печи пиролиза. В печных трубах протекает реакция, а поток на выходе из печи подвергают быстрой закалке до температуры ниже температуры реакции. Поскольку при пиролизе возрастает доля углерода в молекулах, получаемые продукты имеют либо олефиновую (лёгкие фрагменты), либо ароматическую (тяжёлые фрагменты) природу. Номенклатура используемого сырья – от этана до газойля с температурой конца кипения около 750°F (399°C). Чем легче сырьё, тем жёстче условия пиролиза, так что для разного сырья необходимы различные условия пиролиза. Гибкость в отношении сырья возможна только в ограниченной степени. Например, в летние месяцы, в период высокого спроса на бензин и малого спроса на топливное масло, олефиновые установки переводят на более тяжёлое жидкое сырьё; иногда в качестве сырья используют даже печное топливо (мазут). Зимой, когда спрос на печное

топливо возрастает, олефиновые установки переводят на более лёгкое сырьё (например, на газовый конденсат, а иногда на нефть). На рис. 40 показана олефиновая установка, которая фактически представляет собой комплекс из трёх установок: секции пиролиза, линии компримирования пирогаза/выделения бензина и линии фракционирования/охлаждения до низких температур.

На рис. 41 показана схема секции пиролиза олефиновой установки. В ректификационной колонне установки пиролиза, являющейся одним из вариантов аппарата для разгонки, разгоняется многокомпонентная смесь. Показаны два способа заковки: прямая заковка с выработкой пара в закалочном аппарате и непрямо́й заковка, впрыском сравнительно холодного потока пиролизного масла.

Узел прямой заковки в виде котла работает при температуре, при которой может быть выработан пар сверхвысокого давления (1200 фунт/кв. дюйм изб., или 82,8 бар изб.). В системе впрыска масла тепло рекуперировуется в контуре циркуляционного орошения ректификационной колонны. Рабочая температура в ректификационной колонне является достаточной только для выработки пара давлением 200 фунт/кв. дюйм изб. (13,8 бар изб.). Преимущество выработки пара давлением 1200 фунт/кв. дюйм изб. (82,8 бар изб.) в котле прямой заковки состоит в том, что этот пар можно использовать в приводе турбины, получая большую механическую мощность. Из турбины можно отобрать пар давлением 200 фунт/кв. дюйм изб. (13,8 бар изб.). Котёл прямой заковки имеет высокий энергетический КПД, но при работе на тяжёлом сырьё он периодически загрязняется (рис. 41). Котлы прямой заковки современной конструкции можно использовать на тяжёлом сырьё типа керосина.

После узла заковки следует основная ректификационная колонна, верхние пары из которой идут на компримирование (рис. 42). Кубовым продуктом колонны является тяжёлая смола пиролиза, а из середины колонны отбирается газойль.

### Линия компримирования олефиновой установки

В линии компримирования олефиновой установки сжимаются (как правило, в несколько ступеней) верхние пары из главной ректификационной колонны. В результате компримирования температура газов в каждой ступени возрастает примерно до 120°F (49°C). Компрессоры снабжены промежуточными холодильниками, имеющими двойное назначение: во-первых, не допускают нагрева газов до температуры, при которой возможно загрязнение оборудования (нагар) и крекинг продукта; во-вторых, охлаждают сжатый газ, а это приводит к конденсации части его компонентов. Сконденсированный продукт не нуждается в дальнейшем компримировании, что снижает затраты энергии.

Газ с последней ступени компримирования, имеющий давление порядка 500 фунт/кв. дюйм изб. (34,5 бар изб.) и температуру окружающей среды, необходимо охладить для разделения на продукты. Охлаждение проводят в холодильной секции олефиновой установки (рис. 43). В этой секции газ охлаждается за счёт *расширения по методу Джоуля-Томпсона*, т.е. процесса, аналогичного тому, который происходит в холодильной системе автомобиля, где рабочей

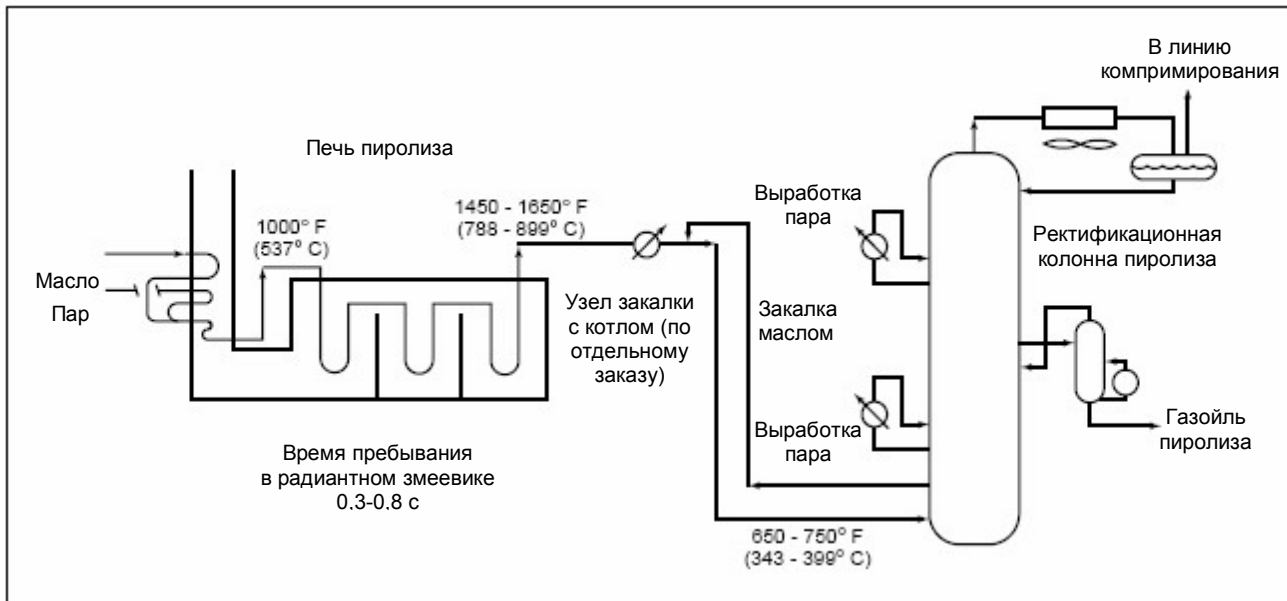


Рис. 41. "Горячая" часть олефиновой установки

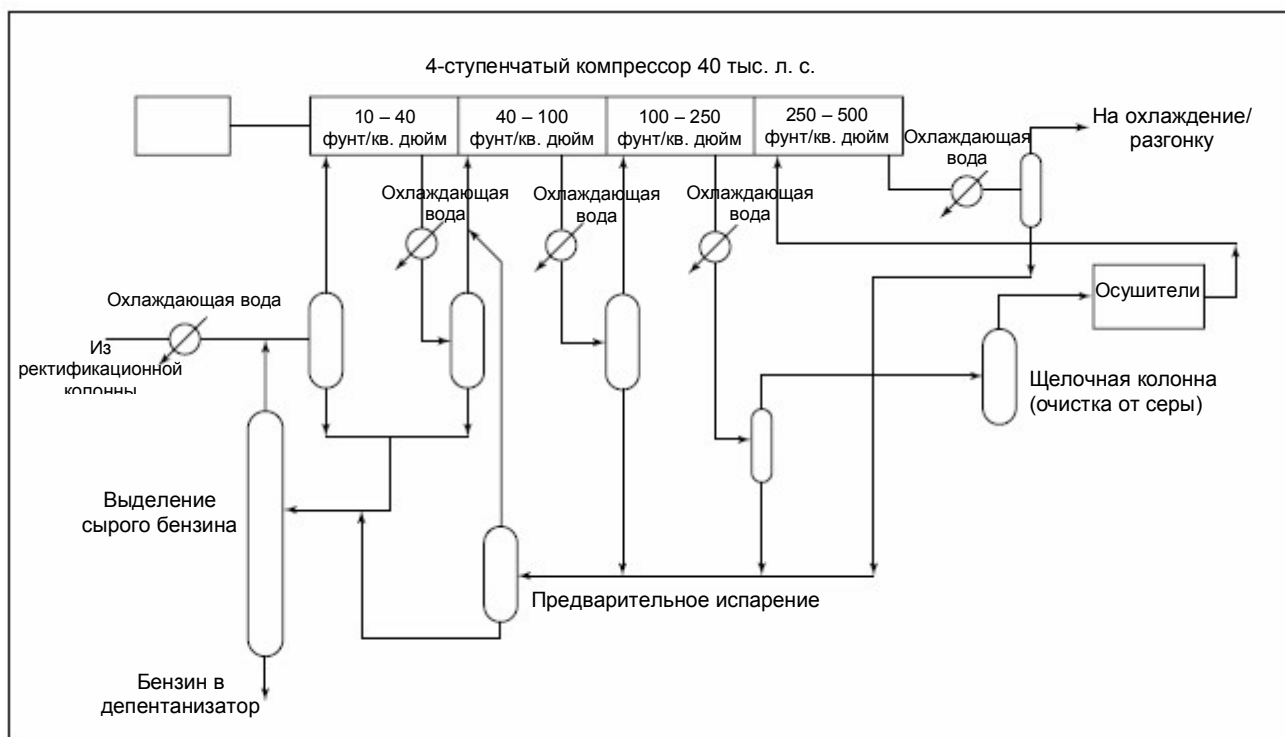
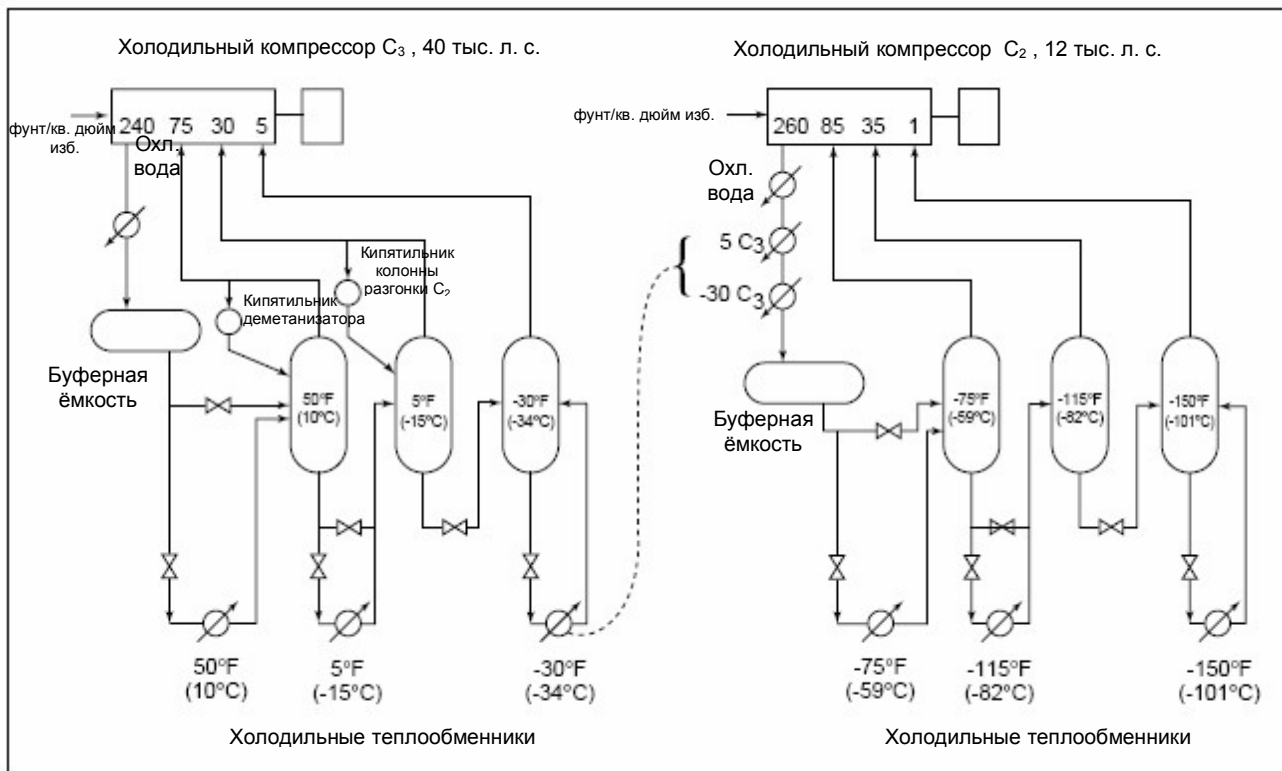


Рис. 42. Линия компримирования олефиновой установки

жидкостью является фреон. В холодильной секции олефиновой установки хладагентами служат газы  $C_2$  и  $C_3$ . К концу процесса выделяют метан, этан, этилен, пропан, пропилен, бутан, бутилен и другие продукты. Пропан и этан возвращают в печи пиролиза, где они превращаются в этилен и пропилен.

### Рекомендации по применению регулирующих клапанов

Потоки на олефиновой установке характеризуются разнообразием условий, определяющим выбор конструкции и исполнения клапана. Регулирующие клапаны, которые стоят перед печами пиролиза, работают при температуре 900°F (482°C) и выше. В этих условиях следует использовать



**Рис. 43. Холодильная система олефиновой установки**

клапаны с корпусами из нержавеющей стали (марки 316 или 347) и затвором также из нержавеющей стали, поверхность деталей которого должна быть упрочнена Alloy 6 или Comopou. Направляющие или подшипники также должны быть выполнены из Alloy 6 или Comopou. Для защиты сальниковой набивки от высокой температуры верхние крышки клапанов выполняются удлиненными, а сама набивка, как правило, имеет в своей основе графит. Химическая коррозия обычно не является проблемой, и поэтому при температурах ниже 500°F (260°C) и выше -20°F (-29°C) допускается использование арматуры из углеродистой стали с затвором из нержавеющей стали марки 316. В криогенной секции олефиновой установки, при температуре ниже -20°F (-29°C), необходимо

использовать арматуру из нержавеющей стали марки 316 с удлиненными верхними крышками, рассчитанными на работу при низких температурах. Для высоких температур (выше 800°F / 427°C) и при условном проходе не более 4 дюймов (Ду 100) рекомендуются, как правило, проходные клапаны (вентили) типа Mark One. Там же, где условный проход составляет не менее 6 дюймов (Ду 150), рекомендуется использовать арматуру поворотного типа (например, клапан с поворотным эксцентриковым затвором MaxFlo), как более дешёвую. Арматура поворотного типа характеризуется меньшими протечками через уплотнение шпинделя или сальник, и она вполне пригодна в тех случаях, когда действуют жёсткие экологические нормы.

**Таблица 11. Принятие решения по выбору регулирующих клапанов Valtek для олефиновых установок**

Модель клапана Valtek	Применение на олефиновой установке	Номер страницы для ссылки
Проходной клапан (вентиль) Mark One	Узел закалки, пар, вода, кипятильник, низкотемпературный теплообменник	50
Клапан с поворотным эксцентриковым затвором MaxFlo	Узел закалки, пар, вода, низкотемпературный теплообменник	50
Клапан ShearStream для олефиновой печи	Печь	50
Проходной клапан (вентиль) Flow Top	Узел закалки, пар, вода, рибойлер	51

# Установка каталитического крекинга

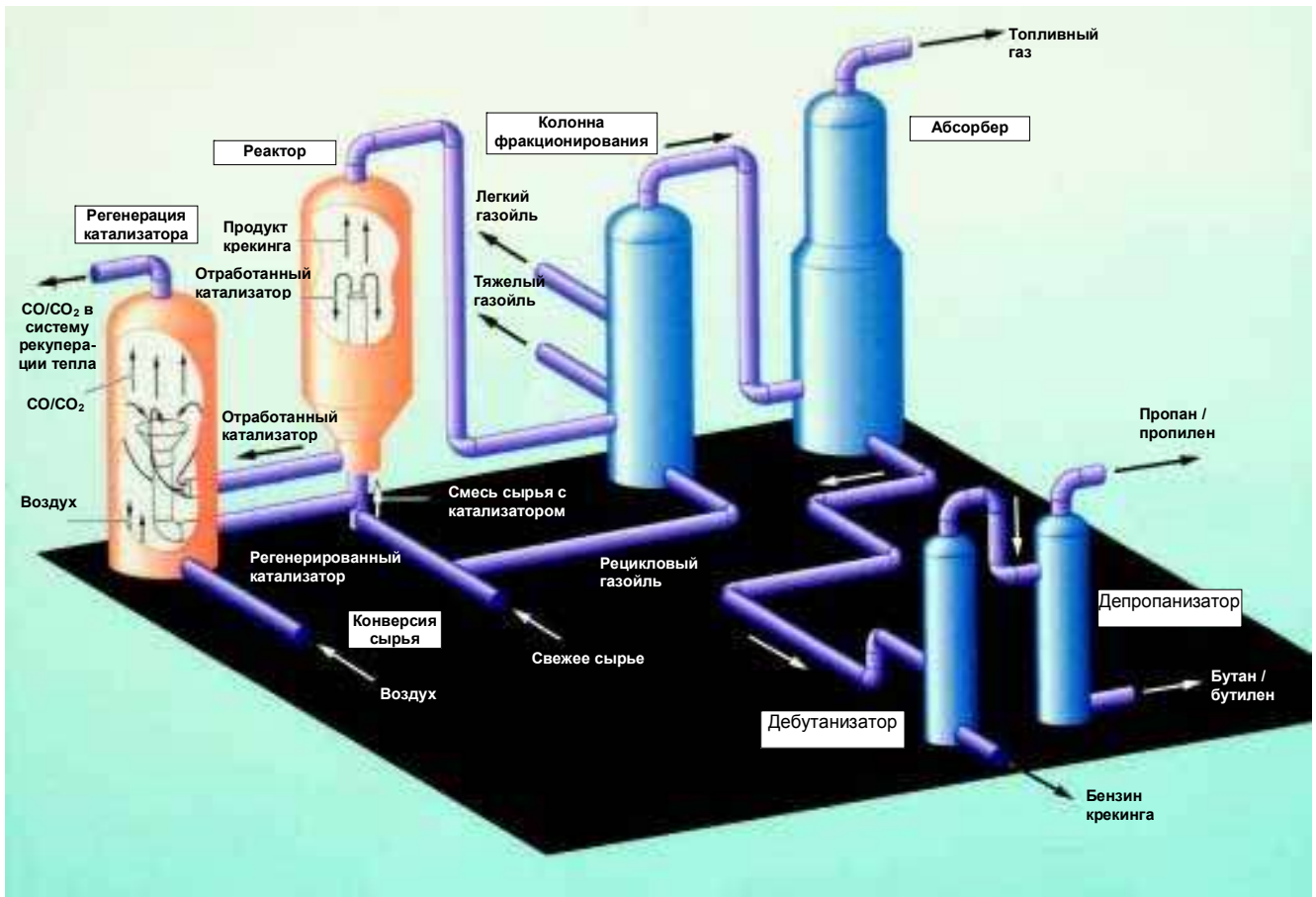


Рисунок 44: Установка каталитического крекинга

## Введение в каталитический крекинг

В самом начале развития нефтяной промышленности доля сырой нефти, которую потребители хотели получить в форме бензина, росла быстрее, чем доля топочного мазута. Скоро стало очевидным, что производство прямогонного бензина в количестве, достаточном для удовлетворения потребностей рынка, приводит к заговариванию рынка топочным мазутом. Экономическим признаком этой ситуации стало увеличение цены бензина и снижение стоимости тяжелых фракций. Для решения этой физической и экономической проблемы инженеры-разработчики технологий разработали несколько методик крекинга, наиболее популярной из которых стал каталитический крекинг.

## Процесс каталитического крекинга

При каталитическом крекинге тяжелые прямогонные газойли подвергаются нагреву при высоком давлении на катализаторе, ускоряющем реакцию крекинга.

Катализатор – это вещество, добавляемое к реагирующим веществам для ускорения химической реакции, но после ее завершения катализатор удаляется. Другими словами, катализатор остается химически неизменным, он вызывает реакцию, но не участвует в ней. Катализатор снижает энергию активации реакции, способствует ее протеканию.

Сырьем процесса каталитического крекинга обычно является тяжелый прямогонный газойль и верхний продукт колонны вакуумной дистилляции. Температура кипения сырья для каталитического крекинга может иметь любое значение в диапазоне от 650° до 1100°F (от 343° до 593°C). Для процесса требуется подвод тепла. Каталитический крекинг протекает при температуре около 900°F (482°C).

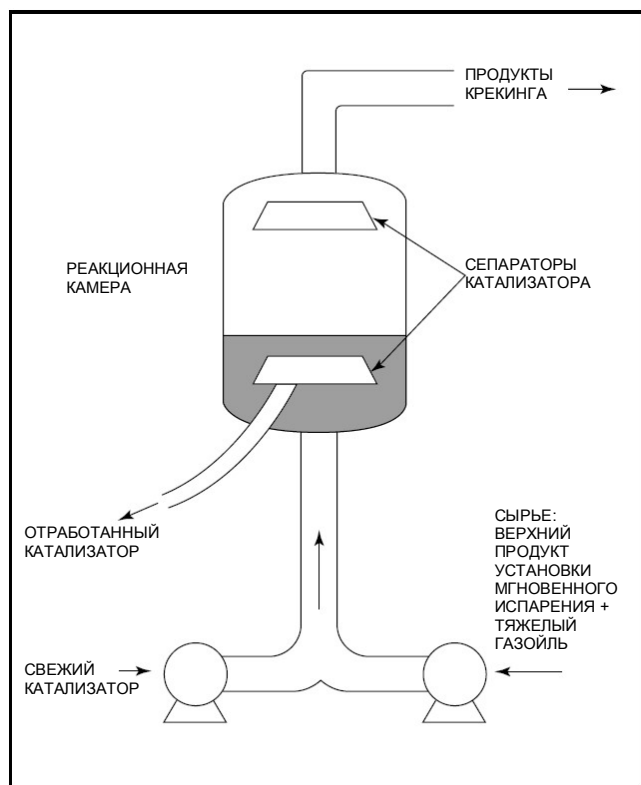
Процесс разработан для создания специфических условий, способствующих крекингу. Целью является превращение тяжелых фракций в бензин. В идеальном варианте все получаемые продукты должны быть фракциями бензина, но технология не является столь совершенной. В процессе крекинга имеют место несколько явлений. При разрушении больших молекул из-за недостатка водорода для насыщения всех углеродных связей образуются небольшие количества углерода в форме кокса, который состоит практически только из связанных между собой атомов углерода в виде вязкой массы. При разрушении больших молекул образуется полный набор молекул меньшего размера, включая метан. Из-за недостатка водорода многие молекулы являются олефинами. В тех случаях, когда большие молекулы в сырье содержат несколько ароматических или нафтеновых колец, образуются ароматические или нафтеновые соединения и некоторое

количество олефинов. И, наконец, крекинг больших молекул, состоящих из нескольких ароматических или нафтеновых колец и имеющих боковые цепи, будет, скорее всего, происходить в местах присоединения боковых цепей. Получаемое вещество, хотя его молекулы и имеют меньшее количество атомов углерода, обладает большей плотностью и имеет более высокую температуру кипения. Особо интересно то, что эти молекулы образуют продукт более тяжелый, чем сырье. Продукты каталитического крекинга охватывают весь спектр углеводородов (от метана до тяжелых остатков), а также включают кокс.

Тремя основными секциями установки каталитического крекинга являются: реакционная секция, секция регенерации и секции фракционирования.

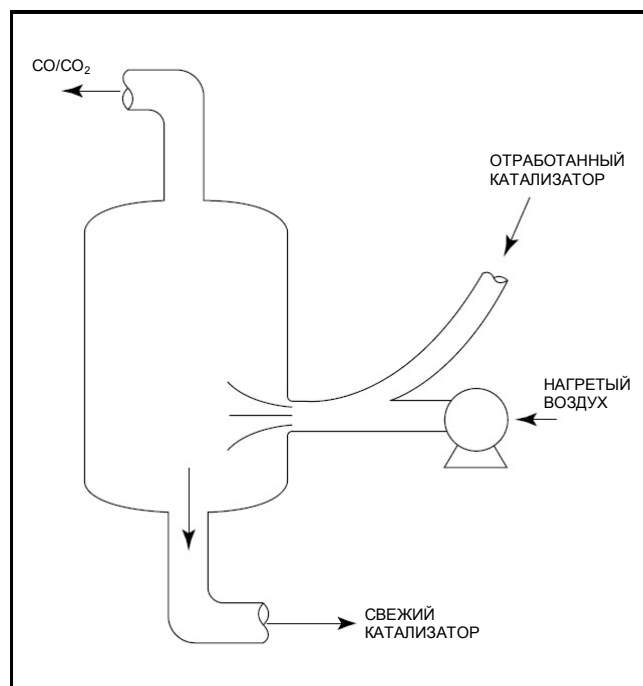
### Реакционная секция

Основным элементом установки каталитического крекинга является реакционная секция (см. рис. 45). Сырье установки крекинга прокачивается через печь, смешивается с катализатором, который подается самотеком, в линию, называемую лифт-реактором, которая подводится снизу к крупногабаритному аппарату, называемому реакционной камерой. К моменту входа сырья в камеру процесс крекинга уже в самом разгаре. Поэтому сырье находится в камере всего несколько секунд. Фактически, в самых современных установках каталитического крекинга весь процесс протекает в лифт-реакторе. Реактор используется только для разделения катализатора и углеводородов с помощью циклона, в котором для разделения используется центрифугирование.



**Рисунок 45: Реакционная камера установки каталитического крекинга**

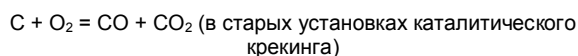
Обычно применяется катализатор одного из двух типов: в форме гранул (шариков) или в форме частиц. Гранулы имеют диаметр от 0,125" до 0,25" (от 3 до 6 мм), тогда как частицы гораздо мельче (они по внешнему виду напоминают порошок талька). В настоящее время гранулы используются не часто в связи со связанными с ними ограничениями. С другой стороны, частицы более распространены благодаря двум особенностям. При встряхивании или наклоне контейнера находящиеся в нем частицы ведут себя подобно жидкости. Поэтому процесс иногда называют флюид-каталитическим крекингом. Вторая особенность характерна как для гранул, так и для частиц, но ее невозможно обнаружить невооруженным глазом. При рассмотрении под микроскопом становится очевидно, что и гранулы и частицы имеют большое количество пор и, следовательно, очень большую удельную поверхность. Так как эффективность действия катализатора зависит от площади его контакта с сырьем, наличие большой межфазной поверхности играет важную роль в технологическом процессе.



**Рисунок 46: Регенератор катализатора**

### Регенератор

Во время крекинга из углеводородов, помимо прочего, образуется кокс, который откладывается на поверхности катализатора, делая его неактивным (отработанным или «отравленным»). Рассматриваемый катализатор обладает эродирующим действием и для него требуются каналы с огнеупорной футеровкой. Для удаления углерода отработанный катализатор вместе с воздухом поступает в аппарат, называемый регенератором (рис. 46). Нагретый воздух (1100°F/593°C) смешивается с отработанным катализатором, при этом протекают следующие реакции:



Этот процесс окисления кокса аналогичен процессу горения угля или брикетов в том смысле, что углерод соединяется с кислородом с образованием диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ), иногда оксида углерода ( $\text{CO}$ ) в случае неполного сгорания, и выделением большого количества тепла. Тепло, заключенное в нагретых  $\text{CO}/\text{CO}_2$  обычно используется в другом технологическом оборудовании, например, для нагрева сырья в теплообменнике. В старых установках каталитического крекинга смесь  $\text{CO}/\text{CO}_2$  направлялась в печь дожига  $\text{CO}$ , где оставшийся  $\text{CO}$  окислялся до  $\text{CO}_2$ , а затем выбрасывался в атмосферу.

Из нижней секции регенератора выходит свежий катализатор, готовый для смешения с сырьем, направляемым в реакционную камеру. Таким образом, катализатор непрерывно проходит через цикл крекинга и регенерации.

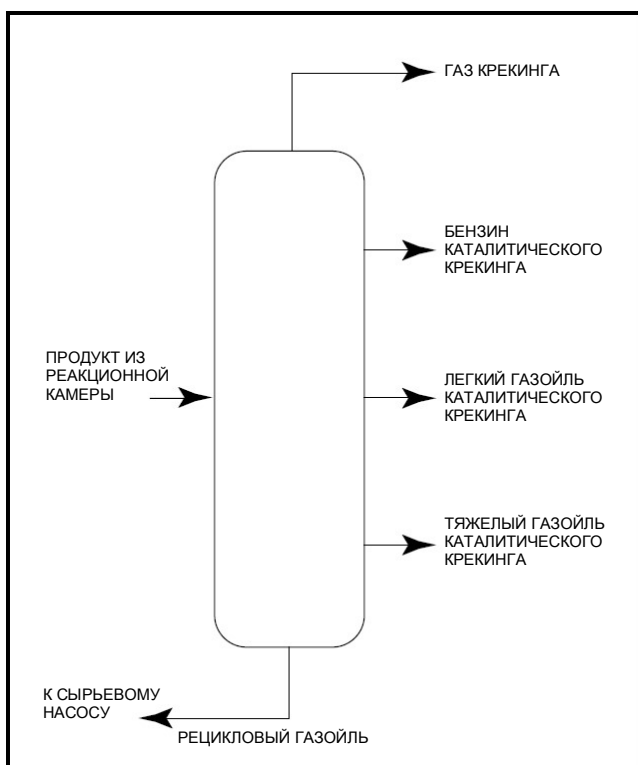


Рисунок 47: Фракционирование

### Фракционирующая (ректификационная) колонна

Продукты крекинга, уходящие из реакционной камеры, под давлением поступают во фракционирующую колонну, предназначенную для их разделения. При этом обычно получают газы ( $\text{C}_4$  и более легкие), бензин каталитического крекинга, легкий газойль каталитического крекинга, тяжелый газойль каталитического крекинга и кубовый продукт, называемый рецикловым газойлем. Он может использоваться самыми разными способами, но чаще всего смешивается со свежим сырьем и снова подвергается реакции крекинга. Часть рециклового газойля подвергается крекингу при каждом прохождении через реактор. Путем рециркуляции можно заставить прореагировать весь рецикловый газойль. Процесс называется рециркуляцией до полной переработки (рис. 47).

Тяжелый газойль каталитического крекинга можно использовать в качестве сырья установки термического крекинга или компонента тяжелых топлив. Легкий газойль является хорошим компонентом компаундирования для дистиллятного топлива, а бензин каталитического крекинга является одним из компонентов моторного бензина.

НПЗ может менять в определенных пределах соотношение получаемых бензина и легкого газойля по границе температур кипения фракций. Это позволяет регулировать производство бензина и дистиллятного топлива с учетом сезонных потребностей. С началом отопительного сезона многие НПЗ переходят в режим максимального производства дистиллятного топлива. Для этого изменяют температуру конца кипения бензина крекинга с целью увеличения объема получаемого легкого газойля. Летом, при максимальном производстве бензина, сдвиг осуществляется в противоположном направлении.

Легкие фракции колонны фракционирования отличаются по составу от легких фракций колонны дистилляции сырой нефти. Процесс крекинга приводит к образованию олефинов, так что поток  $\text{C}_4$  и более легких углеводородов, содержит не только метан, этан, пропан и бутаны, но и водород, этилен, пропилен и бутилены. Из-за присутствия этих дополнительных компонентов, этот поток разделяется на компоненты на установке переработки газов крекинга в отличие от газов, образующихся при работе установок типа дистилляционных, которые содержат в качестве компонентов только предельные углеводороды и направляются на установку переработки предельных газообразных углеводородов. Изобутан, пропилен и бутилены из установки каталитического крекинга иногда направляются на установку алкилирования для превращения олефинов в компоненты компаундирования бензина.

Из рис. 48 следует, что установка каталитического крекинга имеет два замкнутых контура циркуляции. В левом контуре катализатор вводится в технологический контур, участвует в реакции, регенерируется и снова вводится в реакционную камеру. Правый контур включает потоки входящих и уходящих углеводородов, но полнота превращения рециклового газойля требует постоянной циркуляции определенных компонентов.

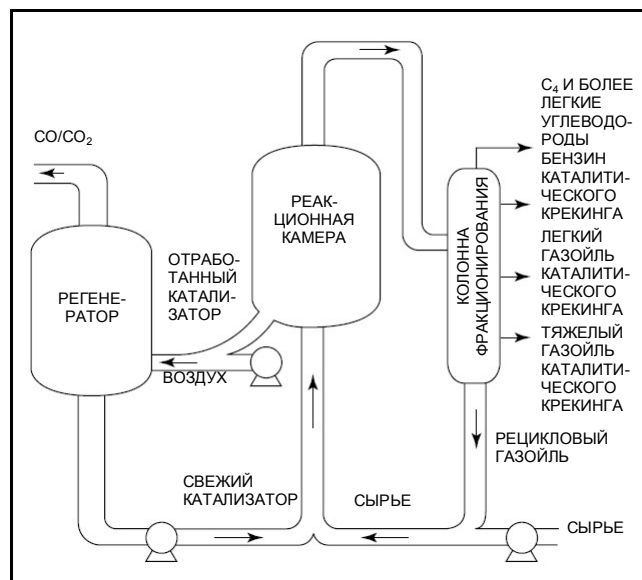


Рисунок 48: Установка каталитического крекинга

## Технологические параметры

Обычно установка каталитического крекинга работает в режиме максимального выжига кокса. Максимального выжига можно достичь разными способами, но при этом становится очевидным, что при снижении выхода бензина, начинает расти выход либо тяжелого газойля, либо C4 и более легких углеводородов. Среди параметров, от которых зависит выход продуктов установки каталитического крекинга, качество сырья, температура в реакторе, расход сырья, кратность циркуляции, время суток и температура окружающего воздуха.

## Качество сырья

Реакция крекинга является очень сложной. В настоящее время имеются данные по выходу продуктов из сырья с разными характеристиками. Показатель плотности сырья и содержание в нем парафина, нафтена и ароматических соединений играют важную роль с точки зрения качества готового продукта.

## Температура реактора

Чем выше температура, тем глубже крекинг. Однако при определенной температуре количество образующихся газов значительно возрастает за счет бензина и легкого газойля каталитического крекинга. Оптимальная температура реактора зависит от требуемого рынком продукта в соответствии с экономической ситуацией.

## Расход сырья и кратность циркуляции

Высокие расходы сырья негативно влияют на выход продуктов. Поэтому контролируется соотношение расхода сырья и объема кубового продукта колонны фракционирования, который направляется на рециркуляцию или остается в тяжелом газойле каталитического крекинга.

## Время суток и температура

Для регенерации отработанного катализатора в регенератор непрерывно подается свежий воздух. При снижении температуры плотность воздуха возрастает. Так как подающие воздух воздуходувки работают с постоянной частотой вращения, в регенератор поступает больше кислорода при снижении температуры окружающего воздуха, чем при ее повышении. При увеличении поступления кислорода увеличивается выжиг кокса из катализатора. Чем меньше «отравлен» катализатор, тем больше глубина превращения; чем больше глубина превращения, тем больше выход бензина. По журналам эксплуатации можно построить график суточного изменения выхода продуктов, из которого следует, что при снижении температуры ночью выход продуктов растет. При увеличении температуры в середине дня выход падает. Зима и лето оказывают такое же влияние. Выход растет зимой и уменьшается летом.

С технологической точки зрения, установку каталитического крекинга можно включить в состав НПЗ. Ее расположение относительно других установок НПЗ показано на рис. 49.

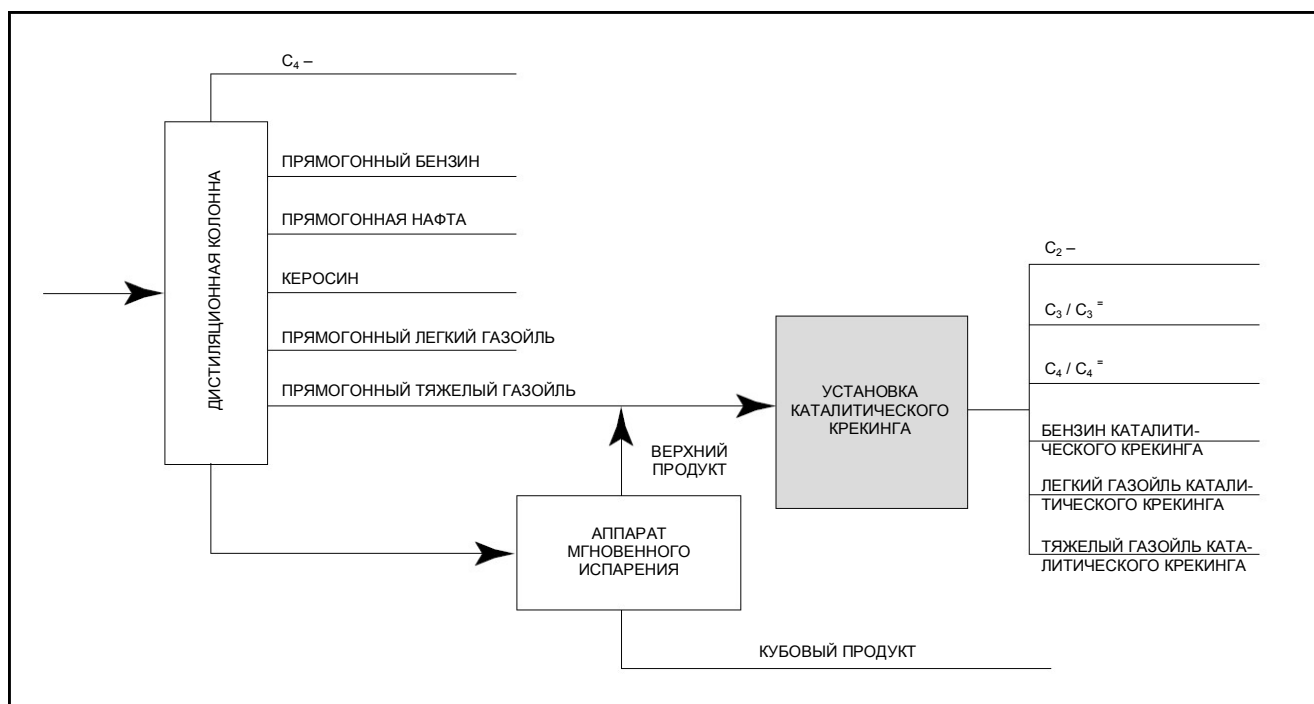


Рисунок 49: Блок-схема НПЗ



**Таблица 12: Регулирующие клапаны Valtek для установок каталитического крекинга**

Модель клапана Valtek	Система установки каталитического крекинга	См. стр.
Проходной клапан (вентиль) Mark One	Реактор, сырье, вода, рецикловый газойль	50
Клапан MaxFlo с эксцентриковым затвором	Сырье, реактор, топливный газ	50
Угловой клапан Survivor Sweep	Система перемещения катализатора	52
Поворотная заслонка Valdisk 150	Подача воздуха	51
Проходной регулирующий клапан FlowTop	Пар, вода, воздух, бензин каталитического крекинга	51



# Установка гидрокрекинга

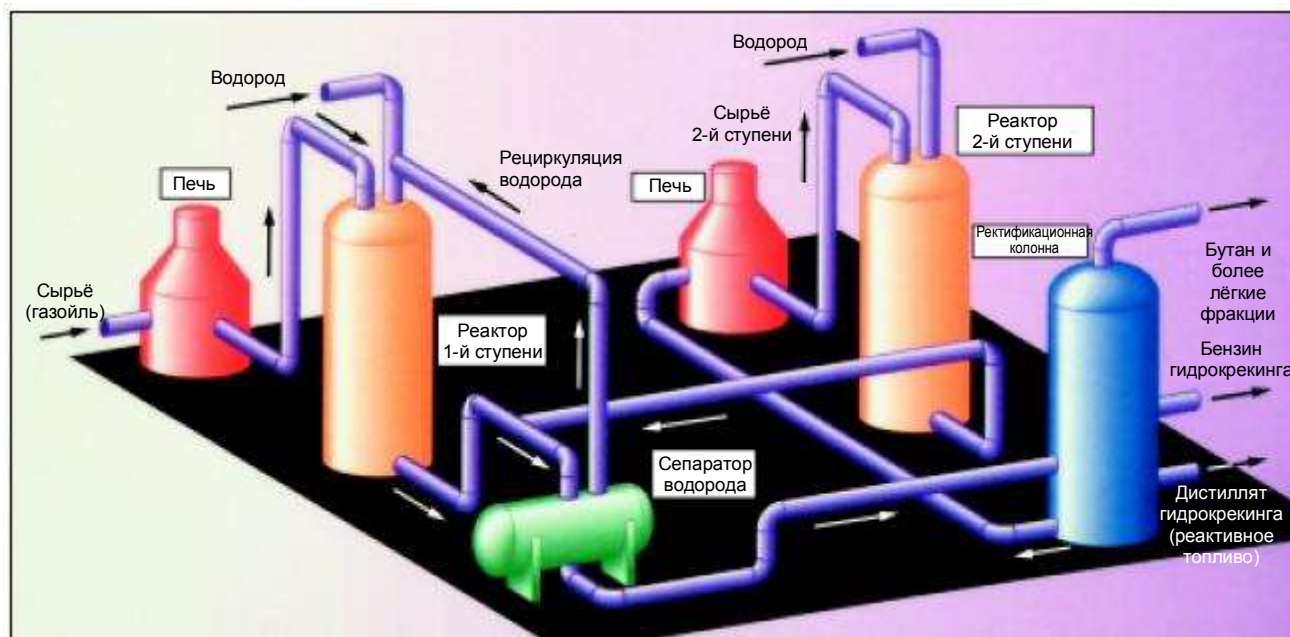


Рис. 50. Установка гидрокрекинга

## Введение в гидрокрекинг

Гидрокрекинг, являющийся процессом более позднего поколения, чем каталитический крекинг или каталитический риформинг, предназначен для достижения более существенных результатов, чем в двух процессах более ранней разработки. Благодаря гидрокрекингу, можно увеличить выход бензиновых компонентов – как правило, за счёт газойлевых фракций. Бензины гидрокрекинга имеют качество, которое не обеспечивается при рециркуляции газойлей в том процессе крекинга, в котором они получены. Гидрокрекинг можно также использовать для получения лёгких дистиллятов (реактивного топлива и дизельного топлива) из тяжёлых газойлей. Важным преимуществом гидрокрекинга является отсутствие остаточных продуктов (кокса, смолы или остатка). Все продукты гидрокрекинга являются лёгкими маслами.

## Процесс гидрокрекинга

*Гидрокрекинг* представляет собой каталитический крекинг в присутствии водорода. Сочетание водорода (катализатора) и заданных условий процесса позволяет расщеплять низкокачественные лёгкие газойли с других установок крекинга, которые в противном случае стали бы дистиллятным топливом. При гидрокрекинге образуется бензин хорошего качества и с высоким выходом.

Важнейшим достоинством гидрокрекинга является возможность менять структуру ассортимента топлив, выпускаемых на НПЗ, в пределах от высокой выработки бензина (при работе гидрокрекинга) до высокой выработки дистиллятов (при остановленном гидрокрекинге). Гидрокрекинг позволяет улучшить качество компонентов, как бензина, так и дистиллятных топлив. Он принимает худшие дистиллятные

фракции и вырабатывает бензиновый компонент, качество которого выше среднего. В процессе гидрокрекинга вырабатывается сравнительно большое количество изобутана, что благотворно сказывается на балансировании сырья, поступающего на установку алкилирования.

Катализаторы гидрокрекинга дешевле катализаторов риформинга и обычно содержат сульфиды кобальта, молибдена или никеля на активном оксиде алюминия. На установках гидрокрекинга катализатор находится в неподвижном слое, что отличает их от установок каталитического крекинга и сближает с установками риформинга. Как и каталитический риформинг, гидрокрекинг проводят в двух и более реакторах (рис. 51).

Сырьё сжимают до 1200-2000 фунт/кв. дюйм изб. (82,8-137,9 бар изб.), смешивают с газообразным водородом, подогревают до 550-750°F (288-399°C) и подают в реактор 1-й степени. Проходя через слой катализатора, сырьё на 40-50% расщепляется на углеводороды бензиновой фракции.

Водород и катализатор дополняют друг друга несколькими путями. Сначала на катализаторе происходит крекинг, который представляет собой эндотермический процесс, требующий подвода тепла. Потом водород насыщает молекулы, полученные при крекинге, а присоединение водорода (гидрирование) происходит с выделением тепла. Таким образом, гидрирование генерирует тепло, необходимое для продолжения крекинга.

Другим способом, которым водород и катализатор дополняют друг друга, является образование изопарафинов. При крекинге образуются олефины, которые могут соединиться в молекулы нормальных парафинов. Гидрирование вызывает быстрое насыщение всех двойных связей, зачастую с образованием

изопарафинов, и предотвращает соединение олефинов в менее ценные продукты (изопарафины имеют более высокие октановые числа, чем нормальные парафины).

После выхода смеси из реактора 1-й ступени её охлаждают, частично конденсируют и вводят в сепаратор водорода. Из него водород возвращают на смешение с сырьём, а жидкость подают в ректификационную колонну. В зависимости от заданного набора продуктов (компоненты бензина, реактивное топливо или газойль), из ректификационной колонны выводят часть продуктов, вышедших из реактора 1-й ступени. Керосин может быть либо отобран как отдельная боковая фракция, либо включён в кубовый продукт ректификационной колонны вместе с газойлем.

Кубовый продукт ректификационной колонны снова смешивают с водородом и подают на 2-ю ступень. Поскольку этот продукт частично уже подвергся крекингу, гидрированию и другим изменениям на 1-й ступени, процесс на 2-й ступени проводят при более высокой температуре и более высоком давлении. Как и после 1-й ступени, продукт из 2-й ступени отделяют от водорода и вводят в ректификационную колонну.

Для работы в жёстких условиях процесса [температура 750°F (399°C) и давление 2000 фунт/кв. дюйм изб. (138 бар изб.)] требуется прочный и очень дорогой аппарат. Стенки стального реактора иногда имеют толщину 6 дюймов (15 см). Особое беспокойство эксплуатационников вызывает возможность разгона реакции крекинга. Поскольку в целом процесс является экзотермическим, не исключена возможность форсированного роста температуры, который опасно ускоряет крекинг. Для

предотвращения разгона реакции на большинстве установок гидрокрекинга имеется встроенная система быстрого охлаждения.

Для переработки остатка прямой гонки или кубового остатка вакуумной перегонки разработано несколько установок гидрокрекинга, большая часть которых работает как установки гидроочистки.

Включение установки гидрокрекинга в технологическую схему НПЗ становится очевидным условием обеспечения комплексной работы завода. В каком-то смысле установка гидрокрекинга становится определяющей установкой на НПЗ, так как она позволяет менять в широких пределах номенклатуру продукции НПЗ, меняя соотношение между бензином, дистиллятным топливом и реактивным топливом.

### Рекомендации по применению регулирующих клапанов

На установке гидрокрекинга, при температуре ниже 550°F (288°C), как правило, используются клапаны с корпусами из углеродистой стали и затвором, выполненным из нержавеющей стали марки 316. При более высоких температурах используются клапаны с корпусами из нержавеющей стали марки 316 или 347 и с затвором из нержавеющей стали марки 316. Детали этого затвора должны плакироваться Alloy 6. При столь высоких температурах присутствие газообразного H<sub>2</sub> в углеводородной среде может усилить тенденцию к воздействию со стороны водорода и к обезуглероживанию стали, что может вызвать

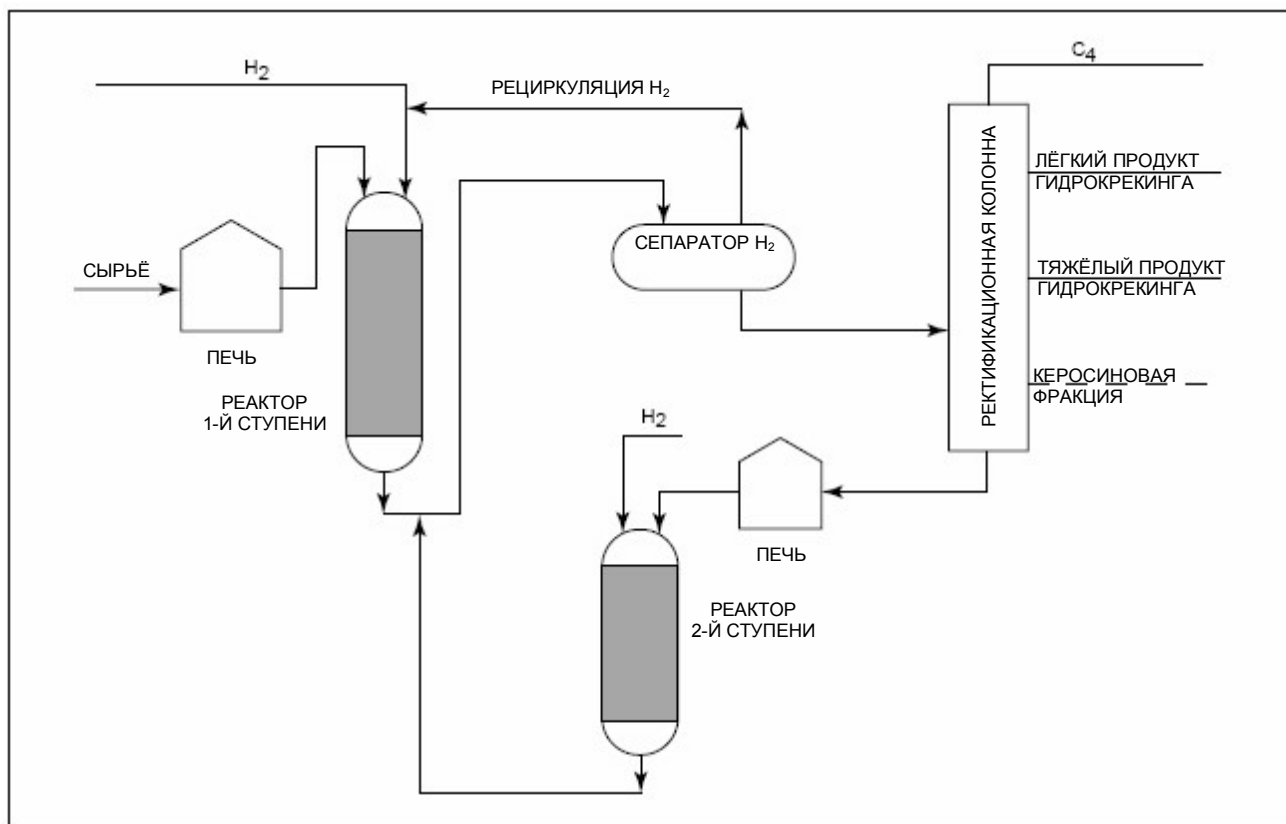


Рис. 51. Установка двухступенчатого гидрокрекинга

преждевременный выход из строя корпуса клапана. При диаметрах условного прохода не более 4 дюймов (Ду 100) рекомендуются, как правило, проходные клапаны (вентили) (например, Valtek Mark One). В тех случаях, когда диаметр условного прохода составляет не менее 6 дюймов (Ду 150), рекомендуется применять арматуру поворотного типа (например, клапан с поворотным эксцентриковым затвором

Valtek MaxFlo). Арматура поворотного типа характеризуется меньшими протечками через уплотнение шпинделя или сальник, чем у сопоставимых с ними клапанов с прямолинейным перемещением штока, и поэтому такая арматура наиболее подходит в тех случаях, когда действуют жёсткие экологические нормы.

**Таблица 13. Принятие решения по выбору регулирующих клапанов Valtek для гидрокрекинга**

Модель клапана Valtek	Применение на установке гидрокрекинга	Номер страницы для ссылки
Проходной клапан (вентиль) Mark One	Сырьё, водород, реактор	50
Клапан с поворотным эксцентриковым затвором Max Flo	Ректификационная колонна, вспомогательные среды	50
Проходной клапан (вентиль) Flow Top	Пар, вода, воздух, вспомогательные среды	51



# Установка термического крекинга

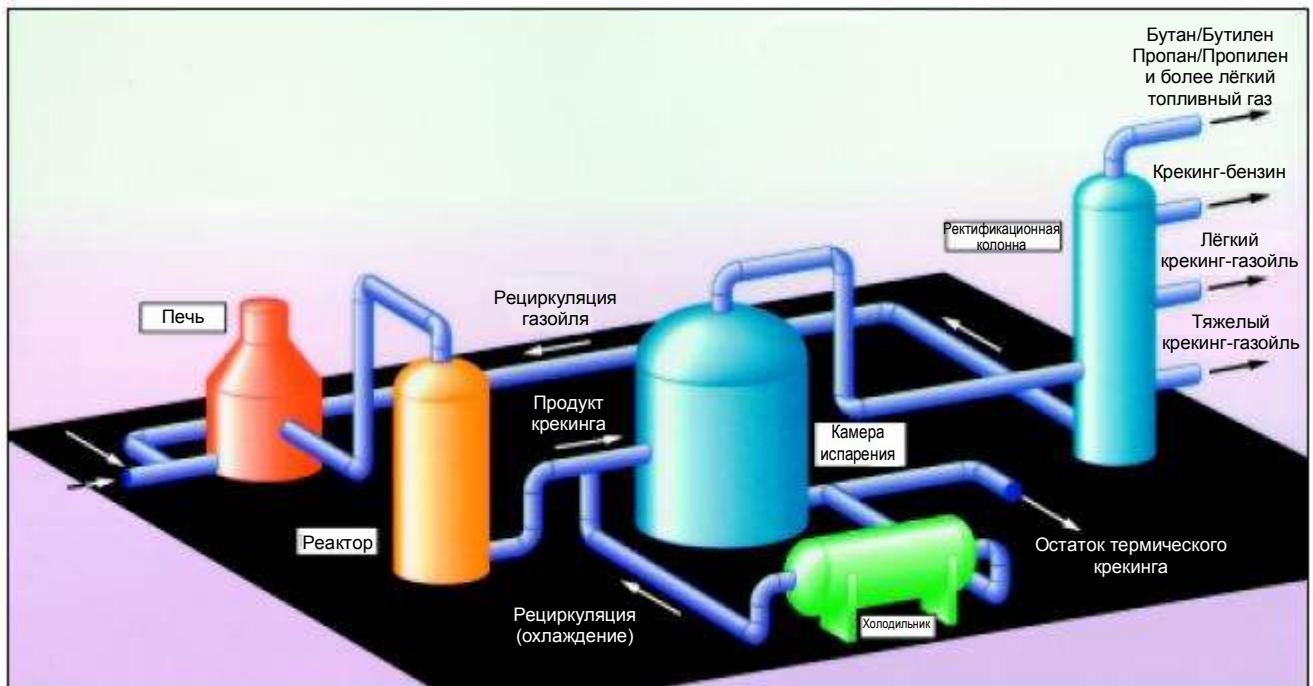


Рис. 52. Установка термического крекинга

## Введение в термический крекинг

Термический крекинг является процессом, в котором углеводородные молекулы расщепляются на молекулы меньшего размера (обычно олефиновые – вследствие отсутствия избытка водорода). Длинные цепи молекул парафинов могут рваться в любом месте. Для циклических

соединений разрыв обычно происходит в точке присоединения линейной боковой цепи. Как следствие, более тяжёлые продукты крекинга имеют повышенное содержание олефинов, нафтенов и ароматических соединений.

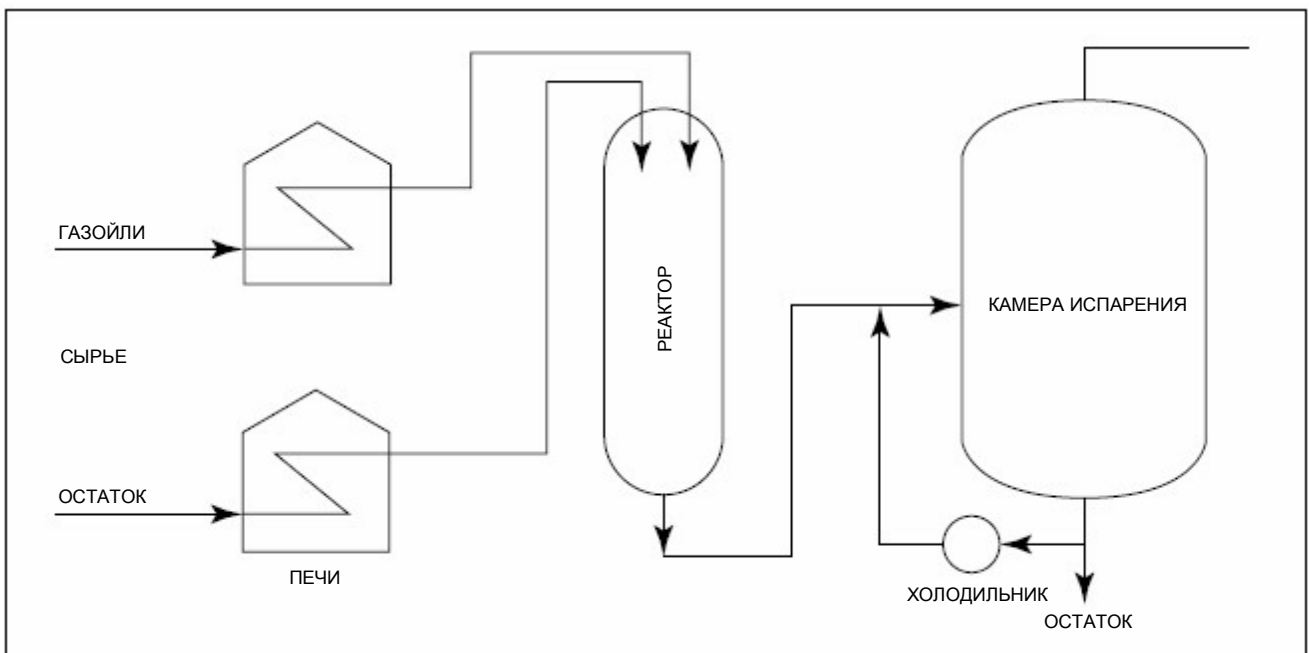


Рис. 53. Реакторная секция установки термического крекинга

Сырьём термического крекинга обычно служит остаток вакуумной перегонки (гудрон), но иногда в качестве сырья используются тяжёлый газойль каталитического крекинга и рецикловый газойль каталитического крекинга. Если на термический крекинг подают сравнительно широкую номенклатуру потоков, то более лёгкие дистиллятные фракции подаются отдельно от более тяжёлых. Хотя на рис. 53 эти потоки показаны вместе, на практике каждый из них подаётся в отдельную печь, так как для расщепления более лёгкого сырья необходима более высокая температура (и более жёсткие условия). В печах сырьё нагревается до температуры 950-1020°F (510-549°C). Для того чтобы уменьшить крекинг сырья в печных трубах, необходимо поддерживать короткое время пребывания сырья в печи, поскольку в противном случае, в трубах будет откладываться кокс, что приводит к быстрой закупорке труб и вынужденному останову. Из печи подогретое сырьё поступает в реакционную камеру, в которой поддерживается достаточно высокое давление (около 140 фунт/кв. дюйм изб. / 9,7 бар изб.), для того чтобы протекал процесс крекинга, но не коксования.

На выходе из реакционной камеры продукт смешивают с более холодным циркулирующим потоком с целью прекращения процесса крекинга. Оба потока поступают в камеру испарения, где более лёгкие продукты вскипают из-за снижения давления, по аналогии с тем, как это происходит при вакуумной отгонке. Нижним продуктом является тяжёлый остаток, часть которого возвращают на вход из реакционной камеры. Остальной продукт обычно подмешивают в остаточное топливо.

Более лёгкие продукты сверху камеры дросселирования поступают в ректификационную колонну (рис. 54). Из колонны

C<sub>4</sub> и лёгкие фракции направляются на установку разделения газов крекинга. Бензин термического крекинга и нефтя используются в качестве компонента бензина или могут быть поданы на риформинг. Газойли можно использовать в качестве дистиллятного топлива или вернуть на крекинг до полного превращения, как и кубовый продукт ректификационной колонны.

### Рекомендации по применению регулирующих клапанов

На установке термического крекинга при температуре ниже 650°F (343°C), как правило, используются регулирующие клапаны с корпусами из углеродистой стали и затвором, выполненным из нержавеющей стали марки 316. Для более высоких температур обычно выбираются клапаны с корпусами из нержавеющей стали марки 316 или 347 и с затвором из нержавеющей стали марки 316. Детали этого затвора должны быть плакированы Alloy 6. На установке термического крекинга коррозия обычно не является проблемой. При диаметре условного прохода не более 4 дюймов (Du 100) обычно рекомендуется применять проходные клапаны (вентили) с позиционерами (например, регулирующие клапаны Valtek Mark One). В тех случаях, когда диаметр условного прохода составляет 6 дюймов (Du 150) и более, рекомендуется арматура поворотного типа (например, клапан с поворотным эксцентриковым затвором Valtek MaxFlo), как более дешёвая. Кроме того, арматура поворотного типа характеризуется меньшими протечками через сальник, так что она становится более предпочтительной в тех случаях, когда действуют жёсткие экологические нормы.

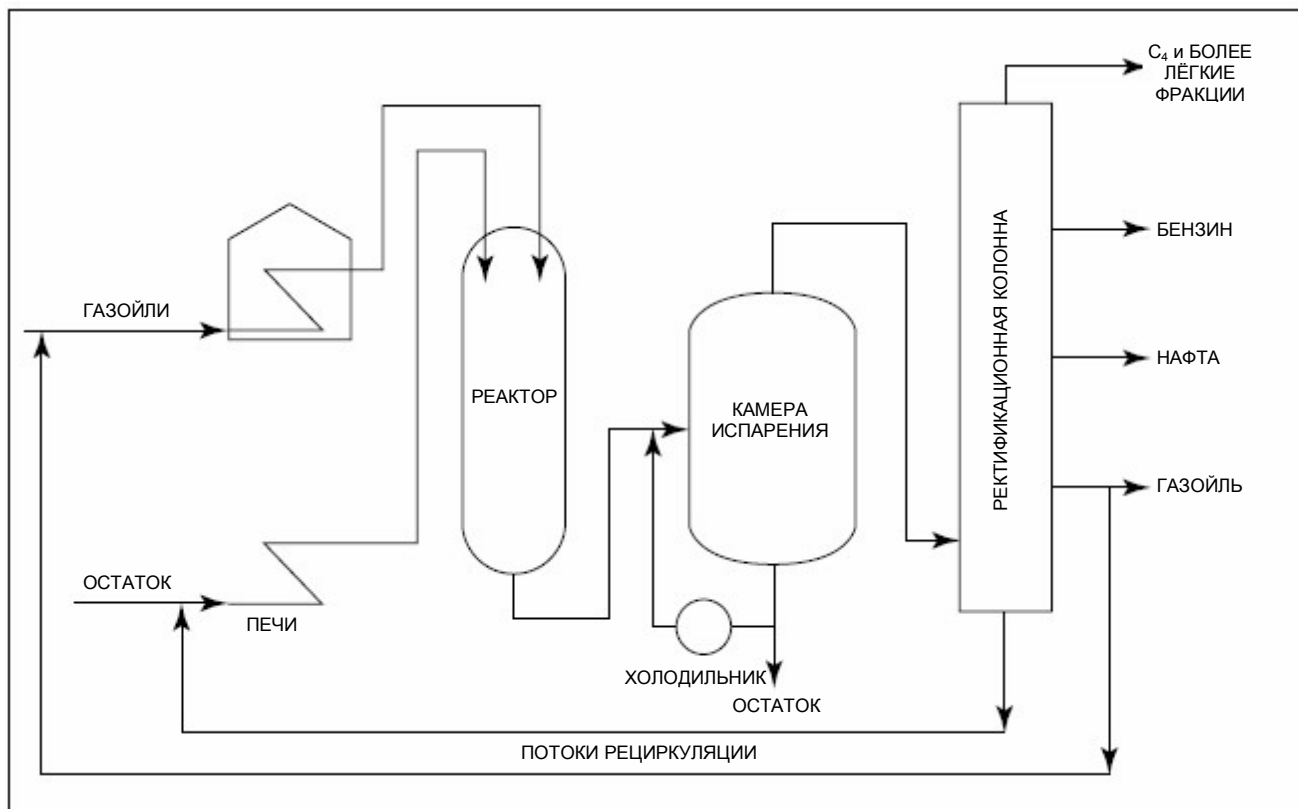


Рис. 54. Установка термического крекинга

**Таблица 14. Принятие решения по выбору регулирующих клапанов Valtek для термического крекинга**

Модель клапана Valtek	Применение на установке гидрокрекинга	Номер страницы для ссылки
Проходной клапан (вентиль) Mark One	Реактор, ректификационная колонна	50
Клапан с поворотным эксцентриковым затвором MaxFlo	Ректификационная колонна, камера испарения	50
Поворотный угловой клапан Survivor Sweep	Остаток	52
Проходной клапан (вентиль) Flow Top	Пар, вода, воздух, вспомогательные среды	51 стр. 50



# Установка коксования

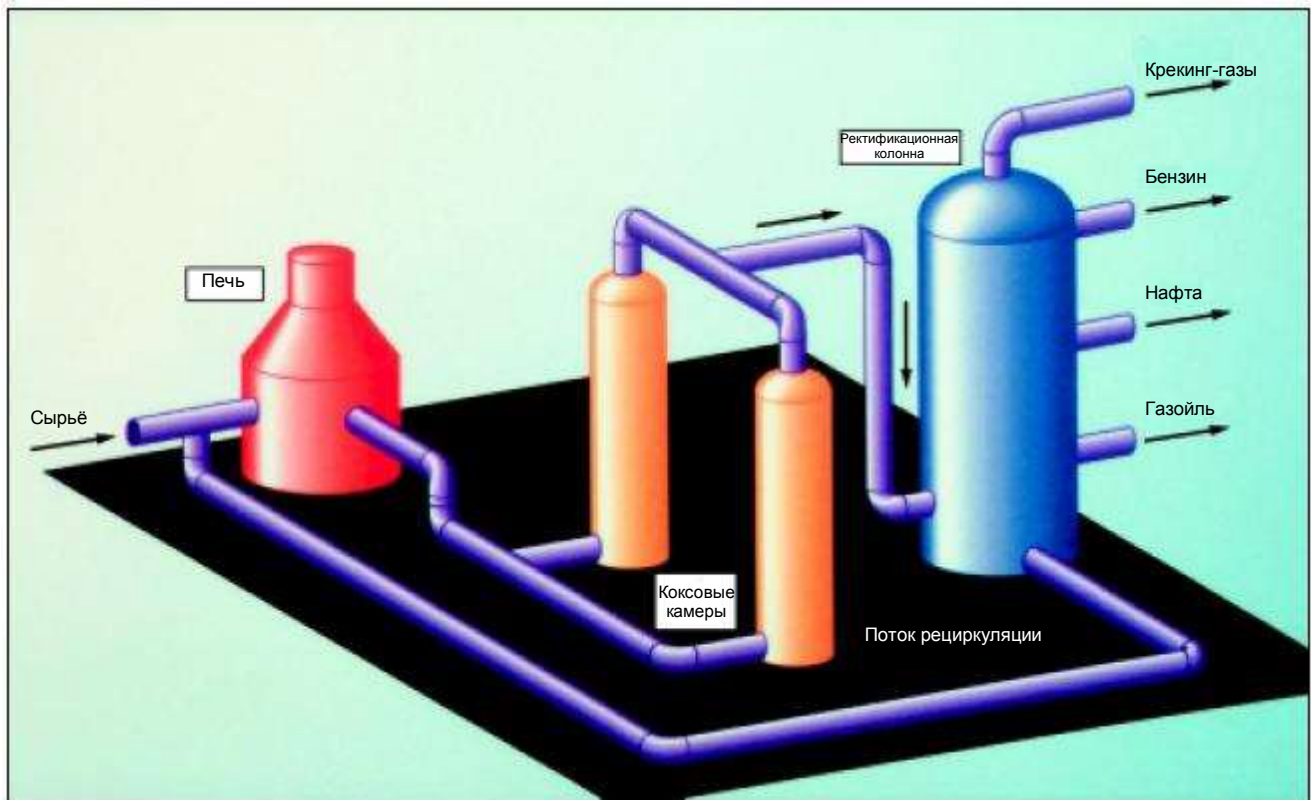


Рис. 55. Установка коксования

## Введение в коксование

Коксование представляет собой жёсткий термический крекинг. По мере распространения процесса термического крекинга он подвергался всестороннему изучению. Эти исследования показали, что при высокой температуре и при очень высоких линейных скоростях в трубах печи образование кокса можно задержать до того момента, пока смолистый продукт не выйдет из печных труб в крупную накопительную камеру. Задержка углеводородов в этом теплоизолированном сосуде, называемом коксовой камерой, позволяет провести глубокий и управляемый крекинг и коксование. С течением времени эту технологию усовершенствовали, получив возможность эффективно проводить процесс при непрерывной подаче сырья. Хотя идея коксования проще идеи термического крекинга, оборудование для его реализации, с механической точки зрения, сложнее, так как требуется наличие оборудования для обработки кокса. Поскольку кокс является твёрдым продуктом, возникает много проблем по его выгрузке, транспортировке, хранению и пр.

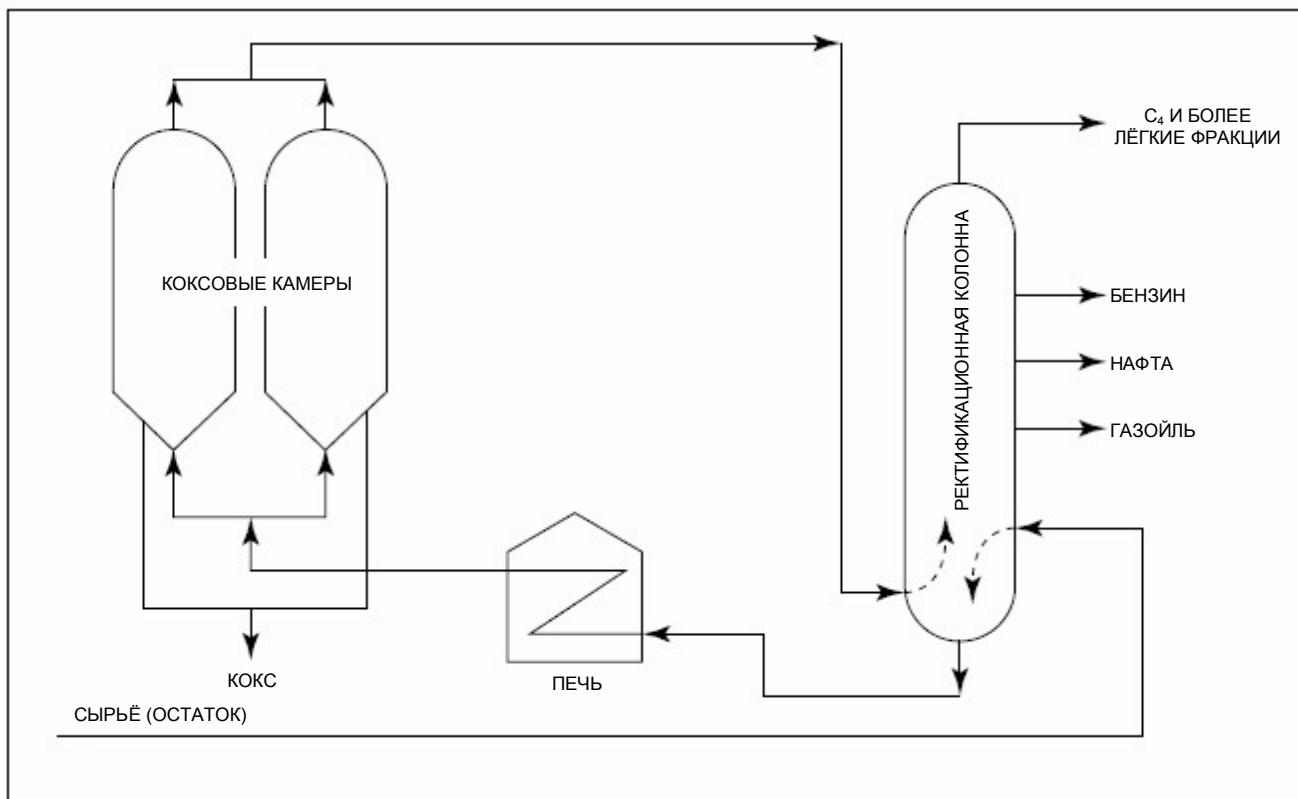
## Процесс коксования

Сырьё коксования (аналогичное сырьё термического крекинга) нагревают до 1000°F (538°C) и затем вводят в нижнюю часть коксовой камеры (рис. 56). Лёгкие продукты крекинга поднимаются в верхнюю часть камеры и выходят из неё. Более тяжёлые продукты остаются в камере и под воздействием высокой температуры расщепляются до кокса (твёрдого вещества, похожего на уголь и состоящего почти целиком из

углерода). Пары из верхней части камеры поступают на разделение в ректификационную колонну, как это имеет место в процессе термического крекинга.

Отдельной проблемой является выгрузка кокса из камеры, так как он представляет собой твёрдое вещество. Если в реакционной камере термического крекинга возникает сбой и реакционная камера закоксовывается, то единственный способ выгрузить кокс заключается в том, чтобы послать в камеру рабочих в кислородных масках с отбойными молотками. На установке же коксования образование кокса является обычным повседневным явлением, с той, однако, разницей, что выгрузка кокса носит плановый характер и поэтому механизирована. Выгрузку осуществляют с помощью воды, подаваемой под высоким давлением (около 2000 фунт/кв. дюйм, или 138 бар). Сначала в слое кокса на всю его глубину пробуривают канал. Затем в канал опускают вращающийся инструмент, из которого в боковом направлении вырываются струи воды. Высоконапорная струя воды режет кокс на куски, которые вываливаются снизу камеры в грузовики или железнодорожные вагоны для отгрузки или доставки в коксовый склад.

Обычно камеры работают по 48-часовому циклу. Около 24 ч занимает заполнение камеры коксом. Переключение, охлаждение, резка и выгрузка кокса и опорожнение камеры занимают около 22 ч, в течение которых которых заполняется другая камера.



**Рис. 56. Схема установки коксования**

В процессе термического крекинга используется около 80% остатков, в то время как при коксовании они используются на 100%, однако при этом вырабатывается 30% кокса, которому нужно найти сбыт. И при термическом крекинге, и при коксовании образуются бензин, нефтя и газойли низкого качества. Нефту часто перерабатывают на установке каталитического риформинга, а газойль направляют на гидрокрекинг. Однако в этом процессе отсутствует остаточный продукт, что и являлось его главной целью.

### Кокс

Кокс используется в качестве нефтезаводского топлива, подобно углю. Большая часть кокса вырабатывается на НПЗ в виде губчатого кокса. Основной областью применения *губчатого кокса* является изготовление электродов, в частности, анодов, а также получение карбидов и графита. Прочность губчатого кокса является недостаточной для использования его в доменных печах при выплавке чугуна или в литейном деле.

Другая форма кокса (так называемый *игольчатый кокс*) получила свое название из-за его микроструктуры, состоящей из вытянутых кристаллов. Для получения игольчатого кокса требуются особое сырьё и более жёсткие условия процесса. Игольчатый кокс по своему качеству предпочтительнее губчатого кокса при изготовлении электродов, и поэтому его ценность выше, чем у губчатого кокса.

Кокс обычно содержит некоторое количество воды и жидких углеводородов и перед использованием нуждается в высушивании. Раскалывание и нагревание кокса для удаления этих веществ называется *"прокалкой"*.

### Рекомендации по применению регулирующих клапанов

Условия процесса коксования сходны с условиями процесса термического крекинга. Поэтому в большинстве случаев применяемые регулирующие клапаны являются аналогичными. До температуры порядка 650°F (343°C) обычно используются клапаны с корпусами из углеродистой стали и с затвором, выполненным из нержавеющей стали марки 316. У клапанов, работающих выше этой температуры, корпуса изготавливаются из нержавеющей стали марки 316 или 347, а детали затвора должны быть выполнены из нержавеющей стали марки 316, причём их рекомендуется плакировать Alloy 6. Для линий, по которым проходит кокс или углеводородные потоки с унесённым коксом, должны поставляться специальные клапаны с корпусами и затвором, стойкими к истиранию. Для этого применения особенно подходят клапаны Valtek Survivor™ с керамическим затвором. Можно использовать шаровые клапаны с V-образным вырезом в шаровом запорном элементе и керамическим или упрочнённым затвором. Успешное применение находят также клапаны с упрочнённым или керамическим эксцентриковым затвором.





**Таблица 15. Принятие решения по выбору регулирующих клапанов Valtek для коксования**

Модель клапана Valtek	Применение на установке гидрокрекинга	Номер страницы для ссылки
Проходной клапан (вентиль) Mark One	Ректификационная колонна, подача остатка	50
Клапан с поворотным эксцентриковым затвором MaxFlo	Ректификационная колонна, подача остатка	50
Угловой вентиль Survivor Sweep	Кокс, остаток	52
Проходной клапан (вентиль) Flow Top	Вспомогательные среды, вода, пар, воздух	51

# Номенклатура регулирующих клапанов серии Valtek

## Высокоэффективный регулирующий клапан Mark One типа проходного вентиля

Регулирующий клапан Mark One™ является весьма универсальным, поскольку он выпускается в широком диапазоне условных проходов (0,5 – 42 дюйма/Ду15 – Ду1000) и на разные классы давлений (класс 150 – 2500 по ANSI / Py 16 – 400). Корпус клапана может быть изготовлен из углеродистой стали или нержавеющей стали марки 316, Hastelloy C, Alloy 20 или других сплавов, в зависимости от конкретных требований. С целью соответствия условиям эксплуатации, характерным для процесса гидроочистки, стандартное материальное исполнение Mark One (корпус из углеродистой стали и затвор из нержавеющей стали марки 316) составляют материалы, удовлетворяющие требованиям стандарта NACE. Конструкция Mark One допускает установку многих вариантов затвора, включая конструкции затвора, нацеленные на снижение шума, кавитации, с высокими или низкими коэффициентами расхода  $C_v$ . Стандартным является наличие двойной верхней направляющей штока. Для предотвращения контакта направляющих поверхностей с потоком рабочей среды используется конструкция с двумя верхними направляющими штока, позволяющая отказаться от применения затвора с направляющей клеткой, который при работе на загрязненных средах характеризуется заеданием или абразивным износом. Для обеспечения надёжного уплотнения в сальнике и качественного направляющего действия в конструкции Mark One применяются запорные элементы со штоками большого диаметра. Компактный прямоходный поршневой привод Mark One с возвратной пружиной, имеющий небольшую массу и отличающийся простотой в обслуживании, создаёт большое осевое усилие, допускает изменение направления на месте установки и легко разбирается.



## Регулирующий клапан MaxFlo с эксцентриковым поворотным затвором

Клапан MaxFlo™ имеет широкий диапазон регулирования, границы которого относятся как 200:1, и может быть выполнен с неполнопроходным затвором, что достигается простой заменой кольцевого седла. Регулирующий клапан MaxFlo выпускается в разнообразном материальном исполнении корпуса и затвора, что позволяет применять его при температурах от криогенных до 800°F (427°C). Затвор может быть изготовлен по стандарту NACE, с мягким седлом, твёрдым седлом и с покрытием из Alloy 6. Сальниковая камера клапана MaxFlo допускает использование набивки с малыми неконтролируемыми утечками. Клапан MaxFlo снабжён поршневым поворотным приводом Valtek с возвратной пружиной, который развивает большой крутящий момент, компактен, имеет малую массу и прост в обслуживании.



## Клапан Valtek ShearStream для печей олефиновых установок

Регулирующий клапан ShearStream™ сконструирован специально для работы на печах олефиновых установок. Этот модифицированный клапан ShearStream представляет собой шаровой секторный кран с затвором, выполненным из неплакированной или плакированной Alloy 6 нержавеющей стали марки 316. Особенностью его конструкции является удлинённый корпус и шпиндель, выполненный из сплава Inconel. Клапан надёжно и эффективно работает на сырье для получения этилена при температурах до 900°F (482°C). Клапан ShearStream, имеющий широкий рабочий диапазон (отношение границ 300:1), высокие значения коэффициента расхода  $C_v$  и способен противостоять зауглероживанию, снабжён поршневым поворотным приводом Valtek с возвратной пружиной, который развивает большой крутящий момент, компактен, имеет малую массу и прост в обслуживании.



## Регулирующий клапан Tiger-Tooth с антикавитационным и шумоподавляющим действием

Регулирующий клапан Valtek Tiger-Tooth™ (Tiger-Tooth – “зуб тигра”) существенно подавляет шум газового потока и гидродинамические шумы, а также устраняет разрушающее действие кавитации. Выпускаемый в широком диапазоне типоразмеров (1,5 – 42 дюйма / Ду 40 – 1000) и на разное давление (класс 150 – 4500 по ANSI / Py 16 – 700), клапан Tiger-Tooth имеет затвор в виде собранных в пакет круговых дисков, на лицевой поверхности каждого из которых проточены концентрические канавки (или зубья). Поток проходит от оси пакета дисков вдоль лицевой поверхности дисков, испытывая серию расширений и сжатий. При этом давление постепенно снижается вдоль лицевой поверхности дисков, без резких перепадов давления и последующего нарастания давления, что обычно имеет место в затворе обычной конструкции с одной точкой дросселирования. Затвор клапана Tiger-Tooth, который может иметь исполнение проходного, углового и прямоходного клапана, а также вентиля с расширяющимся выходом, выполняется из таких конструкционных материалов, как углеродистая или нержавеющая сталь, хромомолибденовая сталь, Alloy 20, Hastelloy B или C, никель, титан или бронза. Широкое применение клапана Tiger-Tooth для управления промышленными процессами подтверждает его способность эффективно подавлять шум и уменьшать кавитацию.



# Номенклатура регулирующих клапанов серии Valtek

## Поворотный регулирующий клапан с эксцентриковым дисковым затвором Valdisk

Поворотный регулирующий клапан Valtek Valdisk® имеет в конструкции эксцентриковый диск, который сочетает высокий коэффициент расхода с плотной отсечкой. Рабочие давления клапана имеют диапазон от вакуума до 6000 фунт/кв. дюйм изб. (414 бар изб.), а диапазон температур составляет –223 до 1200°F (от –253 до 650°C). Клапан Valdisk выпускается с лёгким бесфланцевым корпусом из углеродистой или нержавеющей стали, хромомолибденовой стали, Alloy 20, Hastelloy B или C, сплава Monel, никеля, титана или бронзы. Рабочее давление способствует закрыванию клапана в седле с помощью зажимного коленчатого рычага, чем достигается плотное, без проскока пузырьков газа, запираение в обоих направлениях при малом крутящем моменте для отрыва диска от седла. Каждый корпус снабжён стопором диска для предотвращения избыточного хода и повреждения седла. Диск отходит от седла сразу при начале открывания, что способствует лучшему дросселированию и минимизирует износ седла. Поворотный поршневой привод англогичен исполнительному приводу регулирующего клапана Mark One с прямоходного действия. У этих двух приводов многие детали являются взаимозаменяемыми. Привод соединяется со штоком диска шарниром, что минимизирует холостой ход.



## Поворотный регулирующий клапан с эксцентриковым диском Valdisk 150

Высокоэффективный поворотный клапан Valtek Valdisk™ 150 предназначен для управления процессами, давление в которых соответствует классу 150 по ANSI. Клапан выпускается с корпусом без фланцев или с приливами для болтов; в качестве материала корпуса используется углеродистая или нержавеющая сталь марки 316, Hastelloy C, Alloy 20, Inconel, Monel или никель. Поворотные клапаны Valdisk 150 выпускаются с диаметром условного прохода от 2 до 12 дюймов, а их рабочие температуры имеют диапазон от –100 до 400°F (от –75 до 205°C). Средний коэффициент восстановления давления жидкости ( $F_L$ ) у поворотного клапана Valdisk 150 лучше, чем у большинства поворотных дисковых клапанов, что снижает риск кавитации или запираения. В клапане Valdisk 150 имеется диск с эксцентриковым зажимом, который при открывании поворачивается, отходя от седла. Эта конструкция двустороннего диска позволяет снизить изнашивание седла и уменьшить протечки через седло, а также отрывать диск от седла с малым крутящим моментом. Плавающее самоцентрирующееся седло удерживается на месте внутренним держателем седла, что повышает уплотняющую способность, так как оно соосно с диском.



## Антикавитационный регулирующий клапан ChannelStream

Регулирующие клапаны Valtek ChannelStream® исключают кавитационные повреждения и гидродинамические шумы даже в самых тяжёлых условиях работы на потоке жидкости. Патрон устройства ChannelStream создаёт заданный перепад давления без кавитации в какой-либо точке. В патроне имеется два или более плотно подогнанных цилиндров с просверленными расширительными отверстиями. В каждом цилиндре имеется серия периферических ограничительных каналов, выточенных на его наружной поверхности и пересекающихся с расширительными отверстиями. Клапаны ChannelStream выполняются из углеродистой или нержавеющей стали, хромомолибденовой стали, Alloy 20, Hastelloy B или C, сплава Monel, никеля, титана или бронзы и выпускаются с диаметром условного прохода от 1 до 42 дюймов (Ду 25 – 1000) на классы давления 150 – 2500 по ANSI (Py 16 – 400).



## Прозодной регулирующий клапан (вентиль) общего назначения FlowTop

Регулирующий клапан FlowTop™ компании Flowserve является высокоэффективным клапаном общего назначения, соединённым с пневматическим мембранным приводом FlowAct, развивающим большое осевое усилие. Рассчитанный на классы давления 150 или 300 по ANSI (Py 16 или 40), регулирующий клапан FlowTop способен работать в интервале температур от –50 до 800°F (от –46 до 427°C). Регулирующий клапан FlowTop выпускается с диаметрами условного прохода от 0,5 до 4 дюймов (Ду 15 – 100), с корпусом из углеродистой или нержавеющей стали. Привод FlowAct компактен и допускает изменение направления на месте установки, работает при давлении питающего воздуха до 90 фунт/кв. дюйм изб. (6 бар изб.), обеспечивая отсечку клапаном потока при больших перепадах давления. Пневматический мембранный привод может работать в интервале температур от –40 до 176°F (от –40 до 80°C). Клапан FlowTop отличается также самым быстрым – среди промышленных клапанов – вводом в эксплуатацию. Полустроенный позиционер имеет простой местный интерфейс пользователя, с помощью которого пользователь может установить, настроить и откалибровать этот регулирующий клапан менее чем за 60 с. Регулирующий клапан FlowTop является удачным решением для большинства установок общего назначения.



## Угловой регулирующий клапан Survivor Sweep

Компания Flowserve предлагает регулирующий клапан Valtek Survivor™ для сред, содержащих механические примеси в виде твердых частиц и имеющих высокое давление или высокие скорости. Его корпус со стреловидным углом (sweep-angle) ослабляет разрушающее действие твердых частиц, способных истирать поверхность. Для противодействия этим абразивным частицам, головка запорного элемента и седло в виде сопла Вентури изготавливаются из титана, сплава Inconel, Hastelloy, сплава UNS 2507, углеродистых или нержавеющей сталей, карбида вольфрама или упрочнённого керамического материала. Клапан Survivor (“выживающий”) выпускается с диаметрами условного прохода от 1 до 14 дюймов (Du 25 – 350) и с разным номиналом по давлению (классов 150-1500 по ANSI, или Ру 16 – 250).



## Регулирующий клапан Valtek ShearStream в виде шарового крана

Регулирующий клапан Valtek ShearStream (“срезает поток”) представляет собой мощный дроссельный шаровой кран, рассчитанный на работу в особо тяжёлых условиях, с большими скоростями потока и малыми перепадами давления. Особенностью этого клапана является неразъёмный корпус, благодаря чему уменьшается риск протечек и обеспечивается герметичность в седле. Проточка в шаре имеет V-образную форму, что снижает опасность закупоривания и увеличивает полноту отсечки. Конструкция уплотнения без прокладки обеспечивает исключительно надёжную плотность при минимальном техобслуживании и работает как с мягкими, так и с металлическими уплотнениями. Клапан выпускается с диаметрами условного прохода от 1 до 6 дюймов и классами давления 600 по ANSI (от 1 до 12 дюймов) и 300 по ANSI (до 16 дюймов). В качестве материала корпуса используется углеродистая сталь или нержавеющая сталь марки 316, а материала шара – нержавеющая сталь марки 317 с твёрдым покрытием (хромирование или Alloy 6). Мягкое уплотнение можно выполнять из полиэфирэфиркетона (PEEK) и тефлона, армированного стекловолокном, а твёрдое уплотнение (поясковое кольцо) – из нержавеющей стали марки 316 или Alloy 6. Компактный поворотный привод выполняется в виде подпружиненного цилиндра с высоким осевым усилием и может работать при давлении подаваемого воздуха до 150 фунт/кв. дюйм (10,3 бар).

## Регулирующий клапан Valtek Mark One для фтористоводородного алкилирования

Прходной клапан (вентиль) Valtek Mark One (стр. 50) может выпускаться в специальном исполнении, одобренном компанией UOP (Union Oil Products) для алкилирования в присутствии плавиковой кислоты. Этот специальный клапан Mark One имеет корпус и крышку из углеродистой стали, затвор (пробка, седло и держатель седла) – из сплава K-Monel, а сальниковую набивку и направляющие – из графита. Его можно также заказать с корпусом, крышкой, пробкой, седлом и держателем седла из сплава K-Monel, а сальниковой набивкой и направляющими – из графита. Все остальные характеристики корпуса и привода сопоставимы с показателями для стандартного клапана Mark One.



# Глоссарий

**Алкилирование** Процесс, в котором под сравнительно высоким давлением и в присутствии катализатора лёгкие олефины превращаются в компоненты бензина.

**Ароматические соединения** Тяжёлые компоненты сырья с повышенным содержанием углерода.

**Барботажный колпачок** Устройство, устанавливаемое на перфорированных тарелках (внутри колонн), которое заставляет пары кипящих нефтяных фракций барботировать через жидкость, что необходимо для осуществления разгонки.

**Прокалка** Процесс дробления и нагревания кокса для удаления воды и жидких углеводородов.

**Каталитический крекинг** Процесс, в котором тяжёлые газойли под воздействием тепла и давления расщепляются с образованием дополнительного количества бензиновых фракций.

**Катализатор** Недорогой продукт, который позволяет снизить температуру и давление переработки углеводородов. К числу обычных катализаторов относятся фтористоводородная (плавиковая) или серная кислота. Обычной формой катализатора могут быть шарики и гранулы.

**Каталитический риформинг** Процесс облагораживания низкооктановой нефти, т.е. превращения ее в высокооктановый компонент (риформат). В ходе этого процесса получают также сжиженный углеводородный газ (СУГ) и ароматические углеводороды высокой чистоты.

**Реакция Клауса** Процесс, в котором сероводород ( $H_2S$ ) посредством сжигания в присутствии катализаторов превращается в элементарную серу.

**Кокс** Твёрдый остаток процесса коксования, используемый в качестве нефтезаводского топлива. Он применяется также для изготовления электродов, в частности, анодов.

**Коксование** Жёсткая разновидность термического крекинга, при которой для проведения глубокого и управляемого крекинга требуются высокие температуры и скорости жидкости.

**Конденсат** Жидкость, возникающая из паров при их охлаждении и (или) снижении давления.

**Установка риформинга с непрерывной регенерацией** Установка риформинга, на которой ежедневно регенерируется часть (обычно 30%) катализатора, загруженного в реакторы.

**Регулирующий клапан** Дроссельный клапан, снабжённый приводом или системой привода для отклика на входной сигнал, поступающий от контроллера. В технологической системе регулирующие клапаны используются для управления расходом, температурой или давлением. Эти клапаны называют также *автоматическими регулирующими клапанами*.

**Установка разделения крекинг-газов** Газовая установка НПЗ, предназначенная для переработки углеводородов с установок каталитического крекинга и коксования, содержащих значительные количества олефинов, что обусловлено дефицитом водорода.

**Крекинг** Процесс, в котором сложная углеводородная молекула расщепляется на две или более молекул меньшего размера.

**Сырая нефть** Природное полезное ископаемое, содержащее углерод и водород и используемое для получения нефтепродуктов.

**Циркулирующее масло** Термин, которым обозначается сырьё – кубовый продукт ректификационной колонны.

**Ректификационная колонна** Первичное разделяющее устройство на НПЗ, в котором получают фракции для последующей переработки.

**Кривая дистилляции** График, связывающий температуру и долю отгона нефти.

**Дистилляция** Процесс, в котором для разделения лёгких и тяжёлых нефтепродуктов используется тепло.

**Переточная (сливная) трубка** Особое устройство в виде трубки внутри колонны, через которое избыток углеводородов перетекает с данной тарелки на нижнюю тарелку.

**Эндотермический процесс** Процесс, в котором для поддержания высокой концентрации водорода в парах внутри реакторов избыток водорода отбирается с целью смешивания его с сырьём.

**Испарение** Изменение агрегатного состояния, заключающееся в переходе жидкости в пар.

**Природные бутаны** Нормальный бутан или смесь бутанов с газодиффузионной установкой, используемая в качестве сырья установки изомеризации бутана.

**Кубовый остаток вакуумной перегонки** Тяжёлый продукт из куба вакуумной отгонной колонны, обычно используемый в качестве сырья для получения битума.

**Верхний продукт вакуумной перегонки** Часть вскипевшего дистиллята, отбираемая из верхней секции колонны вакуумной перегонки.

**Вскипание, мгновенное испарение** Процесс, в котором путём изменения давления внутри сосуда различные количества жидкости доводят до кипения и отделяют.

**Колонна вторичной перегонки (ректификационная колонна)** Технологический аппарат, предназначенный для приёма жидкости из нижней части сепаратора и выделения из неё риформата. Известна также как *стабилизатор*.

**Неконтролируемые утечки/неорганизованные выбросы** Часть технологического продукта, которая уносится в атмосферу через неплотности между компонентами неподвижного соединения или между подвижными частями оборудования. Объём неконтролируемых утечек/неорганизованных выбросов, который может быть допустимым или недопустимым, нормируется и контролируется государственными органами.

**Полностью регенеративный риформинг** Установка риформинга, на которой 4 из 5 реакторов риформинга остаются в работе, пока пятый реактор отключён от основного процесса на регенерацию катализатора в нём. Регенерация занимает 20-30 ч, после чего этот реактор возвращают в работу.

**Тяжёлая сырая нефть** Нефть определенного состава, из которой получают топливное масло и газойль.

**Гидрокрекинг** Процесс каталитического крекинга в присутствии водорода для расщепления низкокачественного лёгкого газойля.

**Гидроочистка** Процесс удаления примесей из технологического продукта, с использованием

катализаторов, высокой температуры и водорода, вводимого в жидкость/флюид.

**Изомеризация** Процесс превращения парафинов нормального строения в изопарафины.

**Изопарафины** Термин, которым обозначаются разветвлённые насыщенные углеводороды.

**Расширение Джоуля-Томпсона** Процесс на олефиновой установке, в котором в качестве хладагента для отделения некоторых нефтепродуктов используются газы  $C_2$  и  $C_3$ .

**Лёгкая сырая нефть** Нефть определенного состава, из которой получают бензин, нефть и керосин.

**Режим максимальной выработки дистиллята** Регулирование баланса между бензином и дистиллятом, в зависимости от сезонного спроса на топлива.

**Нафтенy** Алкилциклогексаны и алкилцклопентаны, присутствующие в нефти.

**Игольчатый кокс** Кокс определённой кристаллической структуры, который является предпочтительным сырьём для изготовления электродов.

**Октановое число** Число, выражаемое эквивалентной долей (об. %) изооктана в топливе.

**Олефиновые** Лёгкие фракции с повышенным содержанием углерода.

**Олефины** Ненасыщенные углеводороды с одной двойной связью, имеющие молекулярную формулу  $C_nH_{2n}$ . Олефины могут считаться производными этилена.

**Парафины** Насыщенные алифатические углеводороды.

**Штабель** Хранилище для сухой серы.

**Рафинат** Часть очищенного потока, которая осталась неудалённой.

**Циркуляция до полного превращения** Постоянный возврат циркулирующего масла до его практически полного превращения.

**Нефтеперерабатывающий завод (НПЗ)** Технологический комплекс, на котором нефть перерабатывают в нефтепродукты.

**Переработка нефти** Процесс, имеющий целью получение нефтепродуктов из нефти посредством сочетания последовательных операций разделения и химического превращения.

**Орошение** Жидкость, полученная из паров, пропущенных через холодильник, и возвращённая на нижнюю тарелку для обеспечения чистоты продукта и предотвращения капельного уноса.

**Риформинг** Превращение нефти в продукты повышенной летучести и с более высоким октановым числом путём одновременного проведения реакций полимеризации, крекинга, дегидрирования и изомеризации.

**Регенерация** Процесс удаления отложений кокса из катализатора для повторного использования катализатора.

**Регенератор** Специальный сосуд, в котором для проведения регенерации используют нагретый воздух.

**Установка разделения насыщенных газообразных углеводородов** Газовая установка НПЗ, собирающая газы с установок гидрокрекинга, гидроочистки и риформинга.

**Полурегенеративный риформинг** Установка риформинга, на которой катализатор служит около 6 месяцев, после чего он теряет активность и требует регенерации (для которой требуется останов установки).

**Тяжёлые условия** Процесс, характеризуемый одним или несколькими следующими факторами: высокая температура, эрозия, коррозия, большой перепад давления, высокие скорости, кавитация и вскипание.

**Переливы/карманы для отбора боковых фракций** Особая трубная обвязка, по которой отогнанные продукты отводятся из секций колонны.

**Губчатый кокс** Обычный вид кокса, используемого для изготовления электродов (в частности, анодов), а также для производства графита и карбидов.

**Стабилизатор** Технологический аппарат, предназначенный для приёма жидкости из нижней части сепаратора и выделения из неё риформата. Известен также как колонна вторичной перегонки или *ректификационная колонна*.

**Пиролиз в присутствии водяного пара** Процесс на этиленовой установке, в котором водяной пар смешивают с сырьём для стимулирования пиролиза.

**Термический крекинг** Процесс, в котором молекулы углеводородов разрушаются на молекулы меньшего размера, обычно олефиновые по своей природе.

**Вакуумная перегонка** Процесс, в котором разгоняют углеводородный остаток прямой гонки.



Компания Flowserve Corporation заняла лидирующее положение в отрасли в конструировании и производстве своих изделий. При правильном выборе изделия Flowserve мы гарантируем, что его конструкция в течение всего срока службы обеспечит безопасное выполнение своих функций. Однако, покупатель или пользователь изделий Flowserve должен знать, что изделия Flowserve могут использоваться в различных областях, характеризуемых самыми разнообразными условиями промышленной эксплуатации. Хотя компания Flowserve может обеспечить общие указания (и часто так и делает), она не может предоставить конкретные данные и предупреждения для всех возможных областей применения. Поэтому покупатель/пользователь несет полную ответственность за правильный выбор типоразмера изделий Flowserve, их монтаж, эксплуатацию и техническое обслуживание. Покупатель/пользователь должен прочитать и понять содержание инструкций по монтажу, эксплуатации и техническому обслуживанию, которые включены в комплект поставки изделия. Покупатель/пользователь должен обучить своих работников и подрядчиков приемам безопасного использования изделий Flowserve, с учетом условий конкретного применения.

Несмотря на то, что информация и технические характеристики, содержащиеся в этой публикации, являются точными, они предоставляются только для ознакомления, и при всем доверии к ним не должны рассматриваться как сертифицированные, или как гарантия получения удовлетворительных результатов. Никакая часть данной публикации не должна рассматриваться как гарантия, прямая или косвенная, в отношении любого вопроса, касающегося данного изделия. Поскольку компания Flowserve постоянно совершенствует и модернизирует свои изделия, их технические характеристики, размеры и сведения, содержащиеся здесь, могут быть изменены без уведомления. При возникновении любых вопросов, касающихся положений этой публикации, покупатель/пользователь должен обращаться в компанию Flowserve Corporation, на любое из ее производственных предприятий или представительств.

Для получения дополнительной информации обращайтесь:

**ООО ПромХимТех - официальный  
представитель и сервисный партнер**  
[www.promhimtech.ru](http://www.promhimtech.ru)  
[zakaz@promhimtech.ru](mailto:zakaz@promhimtech.ru)  
тел. 8 800 250 01 54

Более подробную информацию о корпорации Flowserve можно найти на сайте [www.flowserve.com](http://www.flowserve.com).

или позвонив в США по телефону 972 443 6500

**Московское  
представительство  
корпорации «Флоусерв»**  
Россия, 115191 Москва,  
Гамсоновский пер, 2/1,  
офис 212  
Телефон: +7 495 781-5977  
+7 495 781-5979  
Факс: +7 495 781-5979

#### **Заводы-производители**

Valtek Control Valves  
1350 N. Mt. Springs Prkwy.  
Springville, UT 84663  
Тел.: 801 489 8611  
Факс: 801 489 4719

Valtek-Kammer Valve  
1300 Parkway View Drive  
Pittsburgh, PA 15205 USA  
Тел.: 412 787 8803  
Факс: 412 787 1944

Valtek-Kammer Ventile  
Manderscheidstr. 19  
45141 Essen, Germany  
Тел.: (49) 2 01 89 19 05  
Факс: (49) 01 891 9600

Valtek-Kammer Vannes  
Allée du Quartz 1  
CH-2300 La Chaux-de-Fonds  
Switzerland  
Тел.: (41) 32 925 9700  
Факс: (41) 32 926 5422

#### **Центры оперативной технической поддержки**

Valtek Houston  
5114 Railroad Street  
Deer Park, TX 77536 USA  
Тел.: 281 479 9500  
Факс: 281 479 8511

Valtek Philadelphia  
104 Chelsea Parkway  
Boothwyn, PA 19061 USA  
Тел.: 610 497 8600  
Факс: 610 497 6680