РЕАКЦИОННЫЕ ПЕЧИ

В промышленности органического синтеза печи применяются для проведения различных химических процессов при высокой температуре.

Основными процессами, осуществляемыми в реакционных печах, являются:

пиролиз и термокрекинг

- нефтяных фракций
- попутных газов нефтепереработки
- природных газов

-с целью получения непредельных углеводородов, имеющих самостоятельное значение или являющихся исходными продуктами для синтеза.

Аппараты для термических процессов могут быть разбиты на следующие группы:

1) аппараты с внутренним теплообменом — ***регенеративные***

- с неподвижной насадкой,
- с движущимся инертным теплоносителем,
- с псевдоожиженным инертным теплоносителем аппараты гомогенного типа (смешение реагентов с перегретым водяным паром или дымовыми газами)

2) аппараты с внешним теплообменом (трубчатые печи)

3) аппараты окислительного пиролиза

4) аппараты плазменного типа.

Важнейшие из них относятся к группам 2 и 3.

ТРУБЧАТЫЕ ПЕЧИ

Трубчатые печи широко применяются в качестве нагревательных устройств и термических реакторов.

При пиролизе температура в трубчатых печах зависит от природы перерабатываемого сырья и задач процесса. Она может достигать 900 °С (например, при пиролизе углеводородов до ацетилена).

Время реагирования в трубчатых печах 0,5—8,5 с. Оптимальная массовая скорость газов 130—160 кг/(м^{2}ч).

При увеличении времени реагирования усиливается образование кокса.

Так как процессы пиролиза идут с увеличением объема, их желательно проводить при малом давлении.

На практике давление на входе в печь доходит приблизительно до 0,4 МПа.

Скорость движения газов в конце трубчатого змеевика может
достигать 180—200 м/с.

Такая высокая скорость необходима для

- увеличения производительности,
- улучшения теплоотдачи при турбулентном движении газов
- уменьшения коксообразования, поскольку при турбулентном движении тоньше ламинарный слой газа у стенки ,а следовательно, меньше объем, в котором происходит интенсивное коксообразование.

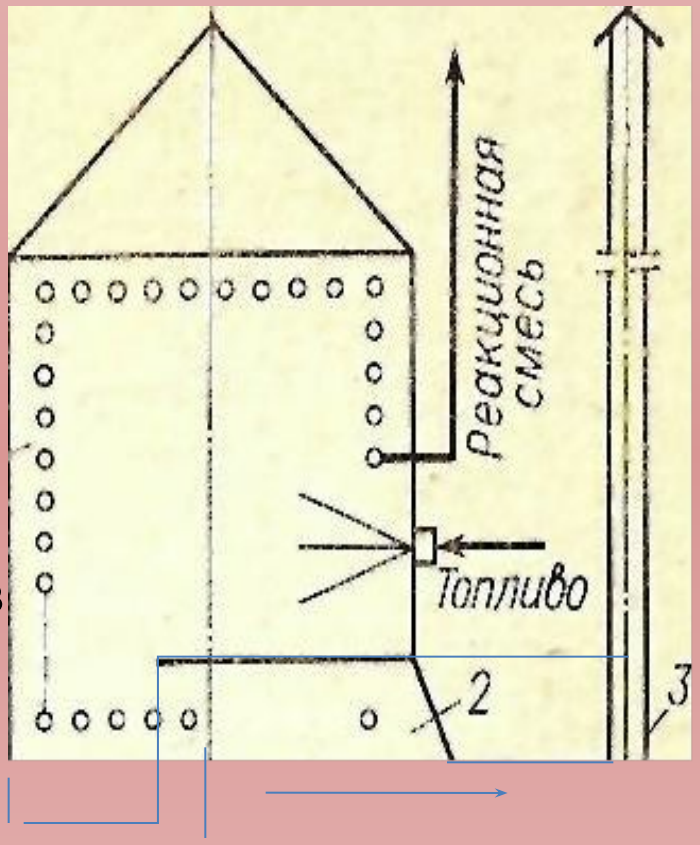
Конструктивно трубчатая печь состоит из двух камер — радиантной и конвекционной.

В *конвекционной камере*, служащей для подогрева сырья, 65 % всей теплоты передается конвекцией и 35% излучением от дымовых газов.

Радиантная камера практически выполняет роль реакционной части печи. В ней 90 % теплоты передается излучением и 10 % конвекцией.

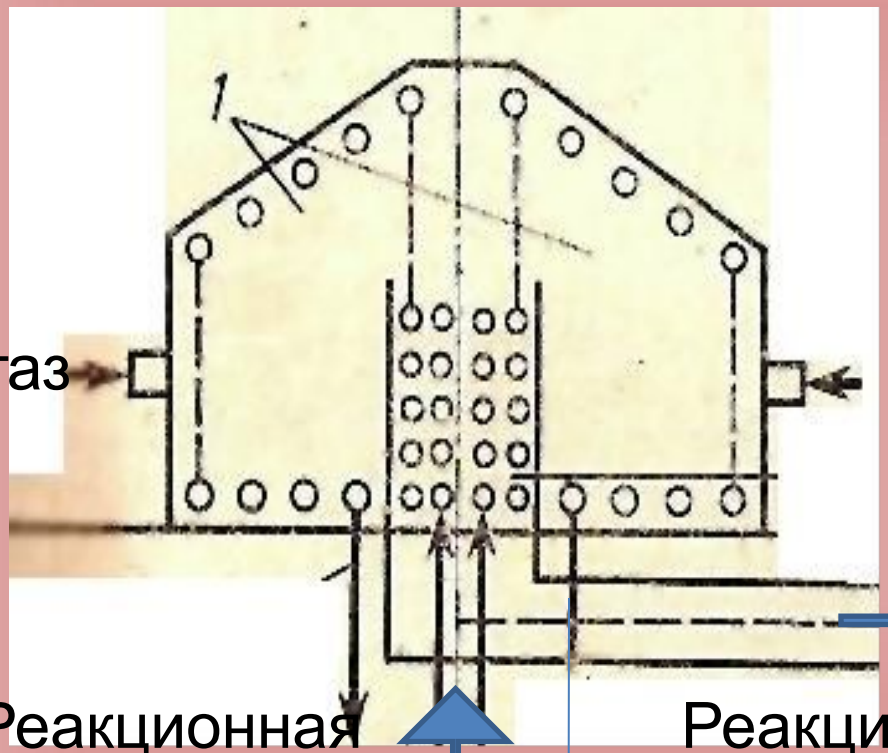
Однокамерная трубчатая печь одностороннего облучения представлена на рисунке.

Сырье проходит последовательно конвекционную и радиантную камеры, противотоком движутся дымовые газы. Факел имеет температуру 1300—1600 °С, дымовые газы на входе в конвекционную камеру
700—800 °С, выходящий из конвекционной камеры
газ 350— 500 °С.
Такая высокая температура отходящих газов необходима для поддержания высокого температурного напора в конвекционной камере и для создания необходимой тяги дымовой трубы.



1 — радиантная камера
2 — конвекционная камера
3 — дымовая труба.

Двухкамерная печь показана на рисунке.



Топливный газ

Топливный газ

Дымовой газ

Реакционная смесь

Реакционная смесь

Сырье

В настоящее время эта печь широко распространена и принята в качестве типовой.

Печь имеет две радиантные камеры и общую конвекционную камеру.

Сырье движется двумя параллельными потоками.

Печи *одностороннего облучения* имеют экраны

- потолочные
- подовые
- боковые

Одностороннее облучение труб обусловливает неравномерность прогрева их по окружности и, как следствие, выход труб из строя в результате прогара.

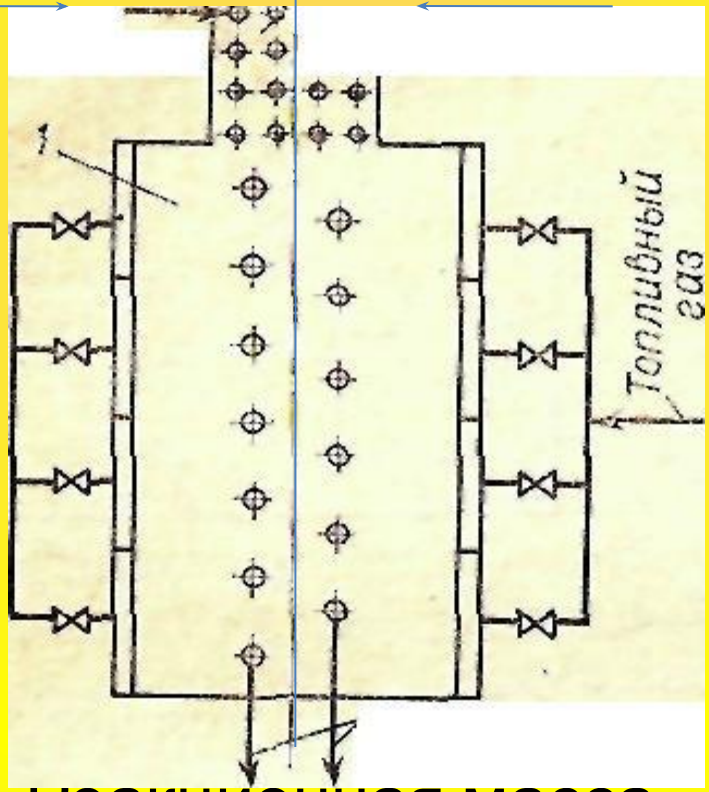
Этот недостаток частично преодолен в печи двухстороннего облучения

Печи двухстороннего облучения

Дымовой газ

сырье

сырье



Реакционная масса

Многокамерные печи двухстороннего облучения

Для увеличения производительности могут иметь любое число камер,

при этом по сравнению с увеличен

количества печей экономится

занимаемая производственная

площадь.

Печь собирается из нормализован

элементов.

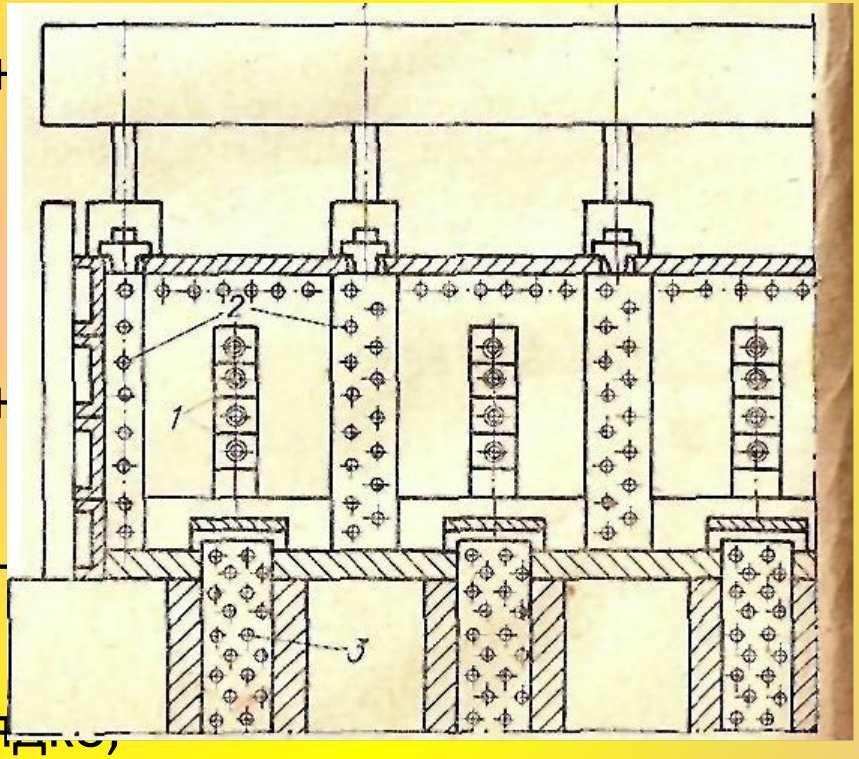
Соседние камеры отделяются одн

от другой двумя рядами труб,

установленных в шахматном поря

что обеспечивает двухстороннее

облучение этих труб.



1 — форсунки; 2 — трубы радиантной камеры;

Конвекционная камера отделена от радиантной камеры железобетонной плитой, предохраняющей трубы конвекционной камеры от нагрева излучением факела.

Для повышения температуры процесса необходимо исключить провисание труб и обеспечить прочность наиболее подверженных воздействию высоких температур элементов печи, таких как трубные подвески и опоры.

Этого удается достигнуть при вертикальном расположении труб.

Печи с вертикальными трубами содержат секции вертикальных трубчатых змеевиков, размещенных в центре радиантной камеры и обогреваемых с двух сторон беспламенными горелками, расположенными в боковых стенках на расстоянии 0,9—1,0 м от змеевиков.

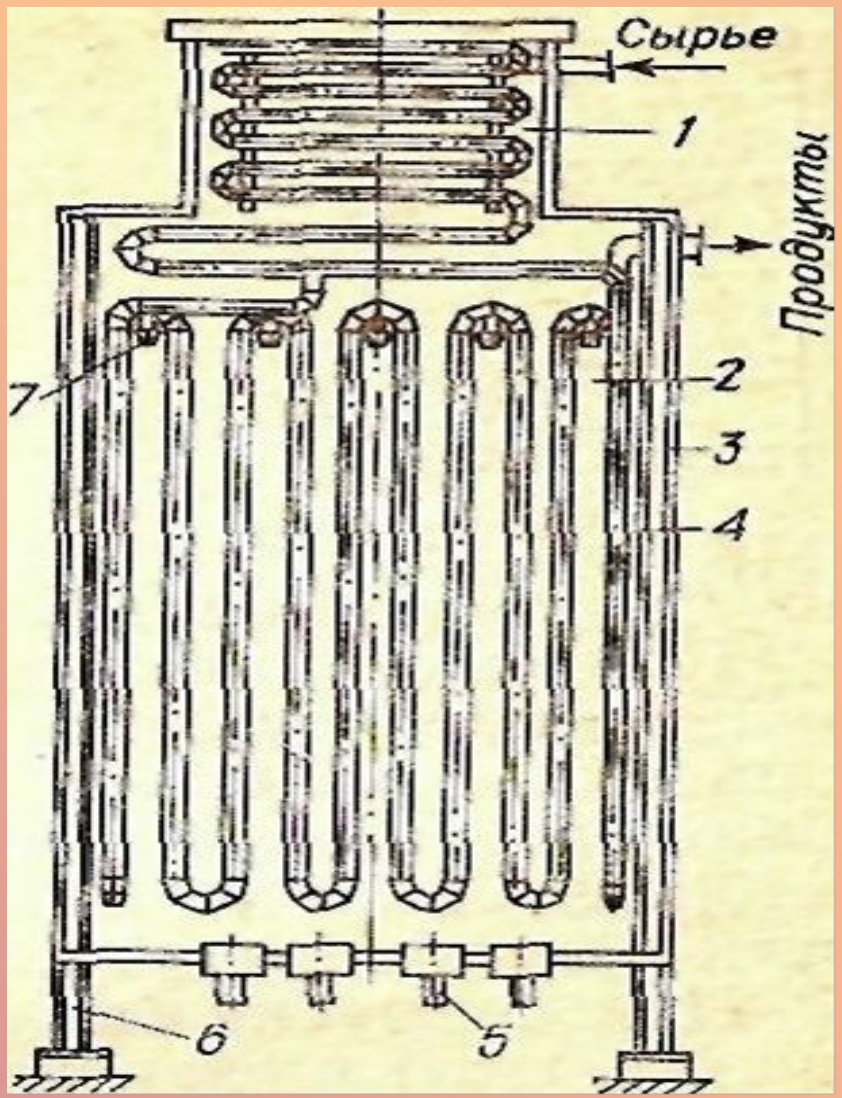
В конвекционной камере трубы располагаются горизонтально. При вертикальном расположении удается повысить теплонапряженность труб с 40 до 70 кВт/м^2.

Вертикальное расположение труб имеет следующие преимущества:

- исключается прогиб труб из-за температурных удлинений
- трубы имеют возможность свободно расширяться вниз
- трубные опоры (подвески) находятся в верхней части в зоне низких температур, так как расположены далеко от горелок, и поэтому могут изготовляться из недорогих материалов
- печь имеет малые теплопотери

Недостатком является сложность удаления кокса и опорожнения печей при остановке на ремонт.

Вертикально-секционная трубчатая печь.



- состоит из нескольких унифицированных секций одинакового размера.

Каждая секция имеет радиантную и конвекционную камеры. Необходимая производительность печи обеспечивается набором секций, объединяемых общим дымовым трактом.

Секция представляет собой камеру коробчатой формы, футерованную изнутри жаропрочными бетонными панелями на базе легковесного материала — вспученного вермикулита

По стенам радиантной камеры располагаются вертикальные трубы продуктового змеевика. Форсунки монтируются в поду.

Радиантные камеры соседних секций отделяются одна от другой только двумя рядами труб змеевика, которые получают двухстороннее облучение.

Основные показатели работы трубчатых печей

1) *Теплопроводность* – это теплота, передаваемое сырью в печи (2000-20000 кВт).
2) *Теплонапряженность поверхности нагрева* - это теплота, предаваемое через 1 $м^2$ поверхности нагрева труб.
3) *КПД печи* - это отношение количества тепла, полезно используемого печью к общему теплу, выделенному при сгорании топлива.

Конструктивные элементы трубчатой печи.

Основным элементом печи является *трубчатый змеевик*, состоящий из труб длиной 6; 12; 18 м и соединительных элементов.

Чем длиннее трубы, тем ниже гидравлическое сопротивление печи и меньше сварных швов, являющихся слабым местом трубчатого змеевика.

Трубы могут быть из:

- углеродистых сталей 10 и 20,
- низколегированных сталей типа Х5М
- высоколегированных сталей Х18Н9Т, Х23Н18, Х25Н20 и т.д.

Основными характеристиками материала труб являются

жаростойкость и жаропрочность

Жаростойкость (окалиностойкость) — способность в нагретом состоянии сопротивляться химическому поверхностному разрушению,

Жаропрочность — способность работать под нагрузкой при повышенной температуре при обязательном сохранении жаростойкости.

Трубы из стали Х23Н18 допускают нагрев до 930 °С при максимальной температуре сырья 800-830 °С,

Трубы из стали Х25Н20 — до 1050 °С при максимальной

температуре сырья 850—950 °С.

Диаметр труб 60—200 мм. Трубы меньшего диаметра имеют большую удельную поверхность теплоотдачи. Поэтому в необходимых случаях вместо увеличения диаметра труб применяются многопоточные печи (от 4 до 24

При переработке в печах неагрессивных продуктов разрушение змеевиков может быть вызвано агрессивностью топочных газов.

Разрушение печных деталей происходит не из-за окалинообразования, а вследствие насыщения поверхности детали азотом, что придает металлу хрупкость.

Азот образует с хромом хрупкие соединения. Хромистые стали сильнее подвержены азотированию, чем хромоникелевые, и чем выше содержание никеля, тем выше стойкость стали.

При температуре до 650 °С агрессивная коррозия металла отсутствует.

При 900—1100 °С во избежание насыщения поверхности деталей азотом применяются стали с более высоким содержанием никеля.

В качестве топлива для печей используются метано-водородная фракция, получаемая как побочный продукт производства, природный газ и различные газообразные топлива, мазут.

Агрессивность топочных газов проявляется в образовании «оспин» — местных разрушений металла труб (от поверхностных до сквозных).

Особенно тяжелые условия создаются при использовании в качестве топлива мазута.

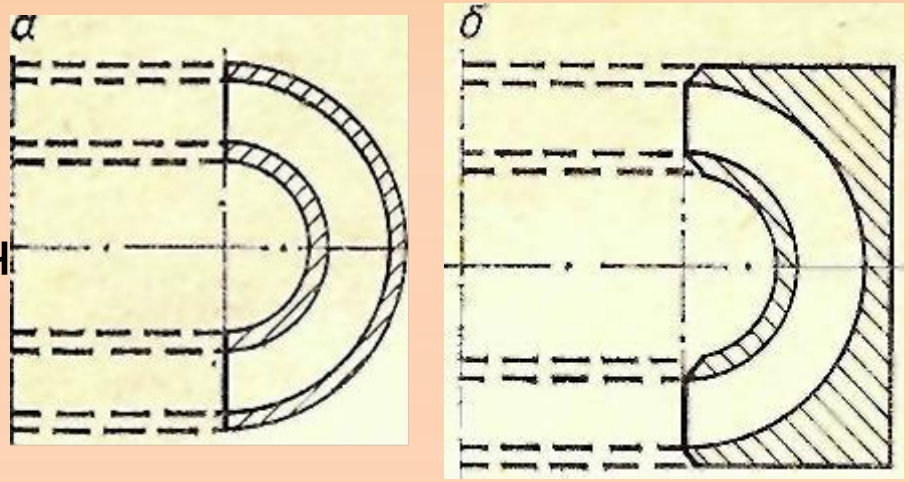
При использовании мазута стандартные жаростойкие стали могут применяться до температуры 650 °С.

- при 650—800 °С могут использоваться ферритные стали Х17Т, Х25Т и др.,
- при 800—950 °С необходимо применение специальных хромоникелевых сплавов Х50Н50, Х40Н60, Х60Н40.
- при температуре более 950 °С надежная работа печи обеспечивается только при использовании газового топлива

Приварные калачи надежны и герметичны,

поэтому применяются в реакционных печах, когда возможна чистка труб от кокса без применения механических способов.

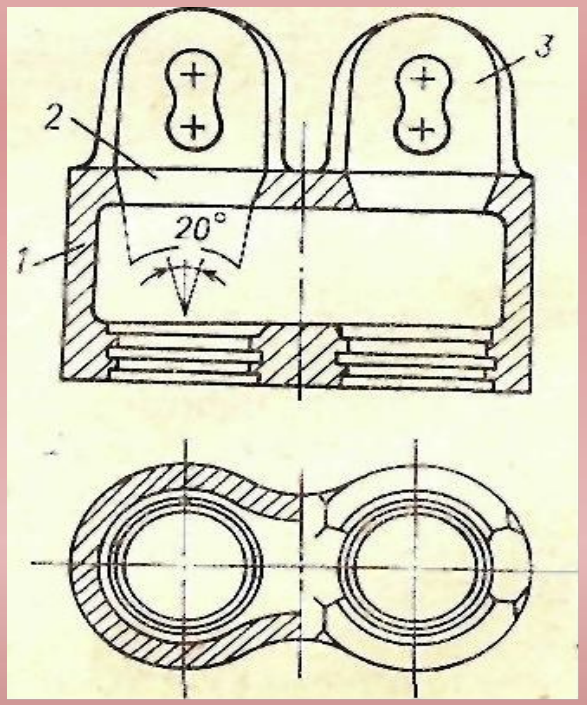
В нагревательных печах также используются приварные калач поскольку для этих печей нет необходимости в чистке труб. Калачи могут иметь более значительную толщину стенки,

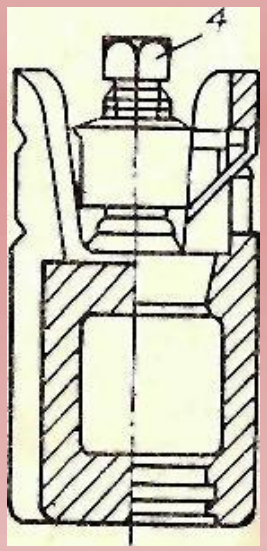


Соединение труб:
а — штампованным калачом;
б — литым калачом.

так как испытывают больший эрозионный износ, чем трубы.

Наибольшее распространение получили ретурбенды позволяющие легко осуществлять чистку труб от кокса.





Ретурбенды бывают

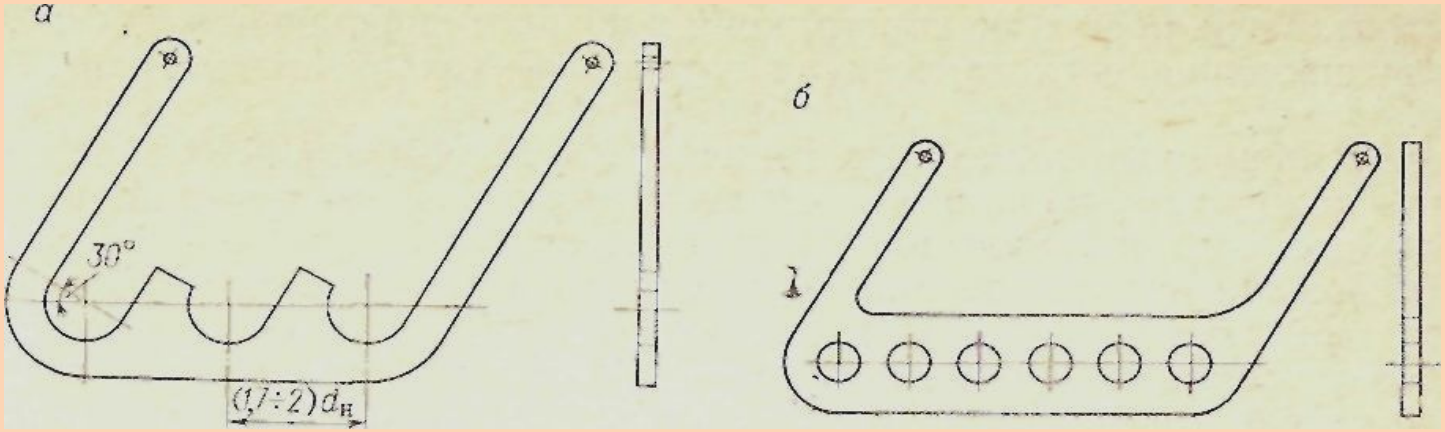
- **кованые**
- **литые.**

Для возможности вальцовки и чистки труб устанавливаются съемные пробки 2. Гнезда для развальцовки труб имеют одну или две канавки для повышения плотности и прочности соединения ретурбенда с трубой. Габариты ретурбенда зависят от диаметра соединяемых труб.

Ответственным местом ретурбенда является поверхность прилегания пробки к корпусу 1.

Эту поверхность необходимо предохранять от повреждений. Она не должна иметь выбоин, рисок и т. д.

Трубные подвески служат для предотвращения провисания труб потолочного экрана.



а — открытая; *б* — закрытая.

Они находятся в более сложных условиях работы, чем трубы, так как не охлаждаются потоком среды и нагреваются до 1100 °С.

Подвески располагаются в радиантной камере печи. Трубы конвекционной камеры подвешиваются на кронштейнах или трубных решетках. Аналогичные устройства используются для крепления труб подовых и боковых экранов.

Расчет печи

1) *Расчет тепловой нагрузки*

$$Q = G \cdot q$$

где G-производительность печи по сырью,

q-удельный тепловой поток

2) Находят поверхность теплообмена

$$F = \frac{Q}{q}$$

3) Рассчитывают длину змеевика

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot m}$$

где d – диаметр трубок в змеевиках

m – число параллельных змеевиков

4) Время контакта $\tau = \frac{L}{\omega_{ср}}$

где $w_{ср}$ - средняя скорость, которая вычисляется по формуле

$$\omega_{ср} = \frac{\omega_{вх} + \omega_{вых}}{2}$$

Состав продукта пиролиза зависит от времени контакта различных видов сырья.

Существуют графики, по которым в зависимости от т можно получить желаемое сырье.

По составу и температуре определяют скорость на входе из змеевика.

Подбирают такую скорость, чтобы она соответствовала скорости, рассчитанной по формуле.

5) Сравнивают расчетное время $\tau_{контакта}$ *с* оптимальным временем , которое позволяет получить необходимый состав продуктов.

6) Тепловые расчеты.

Определяют :

- расход топлива;
- длину подогреваемой части змеевика.

7) Гидравлический расчет

Найденное гидравлическое сопротивление должно быть в интервале 0,2 – 0,3 МПа

8) Определяют высоту дымовой трубы

H_{min} = 16 м.

эта труба должна быть на 3 м выше коньков зданий в радиусе 100 м

Горелки печи

Они должны обеспечить:

- подвод требуемых количеств газа и воздуха, их перемешивание;
- получение устойчивого пламени;
- высокую эффективность сжигания, т. е. высокий к. п. д.

Смешение газов может происходить либо в самой горелке, либо после выхода струи топлива в топочное пространство. В горелке имеется смесительная камера, в которой для лучшего смешения осуществляется многотрубный подвод или тангенциальный ввод одного из реагентов.

Смешение может происходить также за счет инжекции воздуха.

- При сжигании низкокалорийных газов на один их объем расходуется один объем воздуха,
- При сжигании высококалорийных газов — 4—10 объемов воздуха.

Расход воздуха оказывает влияние и на смешение газа с воздухом.

Чем полнее смешение, тем полнее сгорание и короче факел, меньше требуемый избыток воздуха.

При смешении в топке (подача в горелку только горючего газа) сжигание наиболее неполно. Поэтому распространение получили горелки с предварительным смешением горючего газа с воздухом в корпусе горелки .

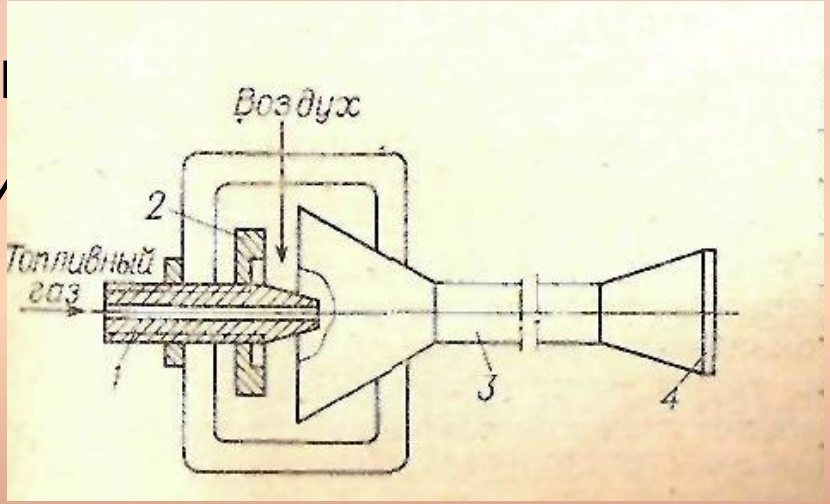
Такие горелки могут быть:

- инжекционного типа (когда воздух засасывается струей горючего газа)
- с принудительной подачей воздуха.

Инжекционные факельные горелки

- требуют меньших затрат,
- очень просты по конструкци
- находят широкое применени

Регулирование расхода воздуха осуществляется специальной шайбой 2



1— сопло;

2 — регулировочная шайба;

3 —смеситель;

4— присоединительный фланец.

Акустические горелки

Принцип работы:

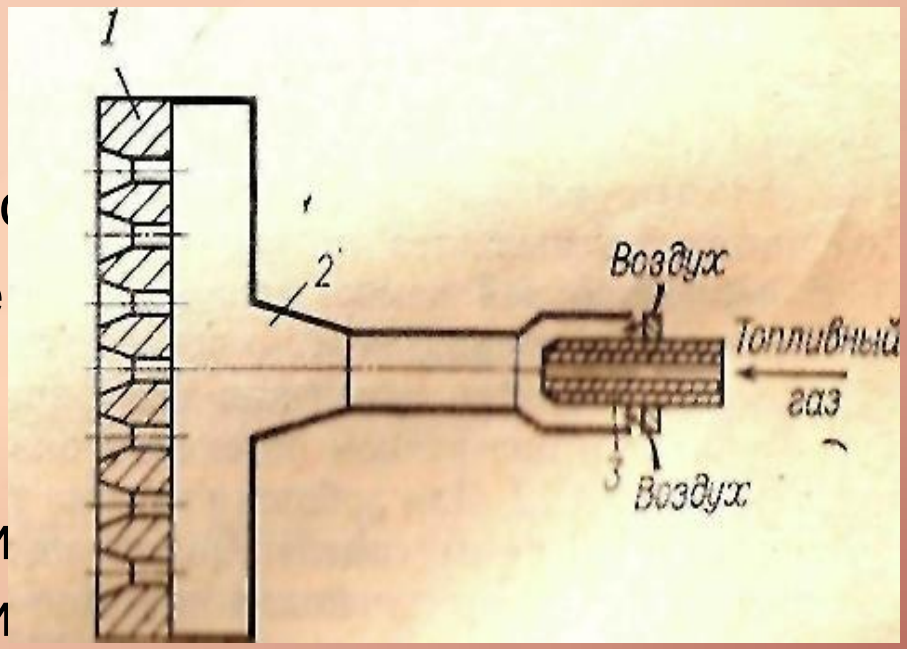
Топливный газ перемешивается с инжективным газом и полученная топливная смесь за счет центробежных сил разворачивается в дискообразный факел.

Факелы соседних горелок накладываются друг на друга и образуют излучающее пламя.

Горелка акустическая газомазутная ГП-1.7

Беспламенные панельные горелки

Они также являются Инжекционными , но в них газовоздушная смесь сжигается не полным факелом, а в виде маленьких факелов, распределено равномерно по площади панели горелки Туннели для подвода смеси имеют небольшой диаметр(20мм) и длину (100-150мм).



1-керамическая панель

2- смесительная камера

3- инжектор

В результате образуется множество факелов длинной 30-50 мм.

На фоне раскаленной панели эти факелы не видны. Длина же их в факельных горелках составляет 1-3 м.

Особенность панелей горелки состоит в том, что теплота от панелей передается излучением, а не факелом, что выравнивает прогрев.

Расстояние от панелей до труб составляет 0,6-1,0 м.

- Горелки для сжигания жидкого топлива обычно называют *форсунками*.

В форсунках для сжигания мазута расход его регулируется обычным шпинделем. Воздух не эжектируется, а подается под давлением 3-6 кПа для форсунок низкого давления и под большим давлением для форсунок среднего и высокого давления.

Мазут вводится под давлением 150-250 кПа.

Диаметр сопловых отверстий впрыска мазута в среднем равен 2-6 мм