

# Водяной пар

**Насыщенным** называется пар, находящийся в динамически равновесном состоянии с жидкостью, из которой он образовался. Температура такого пара зависит от давления, т.е. **определённому давлению насыщенного пара соответствует определённая температура.**

Температура насыщенного пара при данном давлении равна температуре насыщения ( $t=t_{\text{н}}$ ).

*Насыщенный пар может быть сухим и влажным.*

**Сухой насыщенный пар** не содержит взвешенных частиц жидкой фазы и имеющий температуру насыщения ( $t=t_{\text{н}}$ ) при данном давлении.

**Состояние сухого насыщенного пара определяется только одним параметром – давлением или температурой.**

**Влажный насыщенный пар** – это смесь сухого пара с взвешенными частицами жидкой фазы, равномерно распределёнными по всей массе пара.

**Состояние влажного насыщенного пара определяется двумя параметрами: давлением или температурой и степенью сухости.**

**Степенью сухости ( $X$ )** – называется массовая доля сухого пара в составе водяного пара. для жидкости  $x=0$ , для сухого насыщенного пара  $x=1$

Если к сухому насыщенному пару продолжать подводить теплоту, то его температура увеличится. Пар, температура которого при данном давлении больше, чем температура насыщения ( $t>t_{\text{н}}$ ), называется **перегретым**.

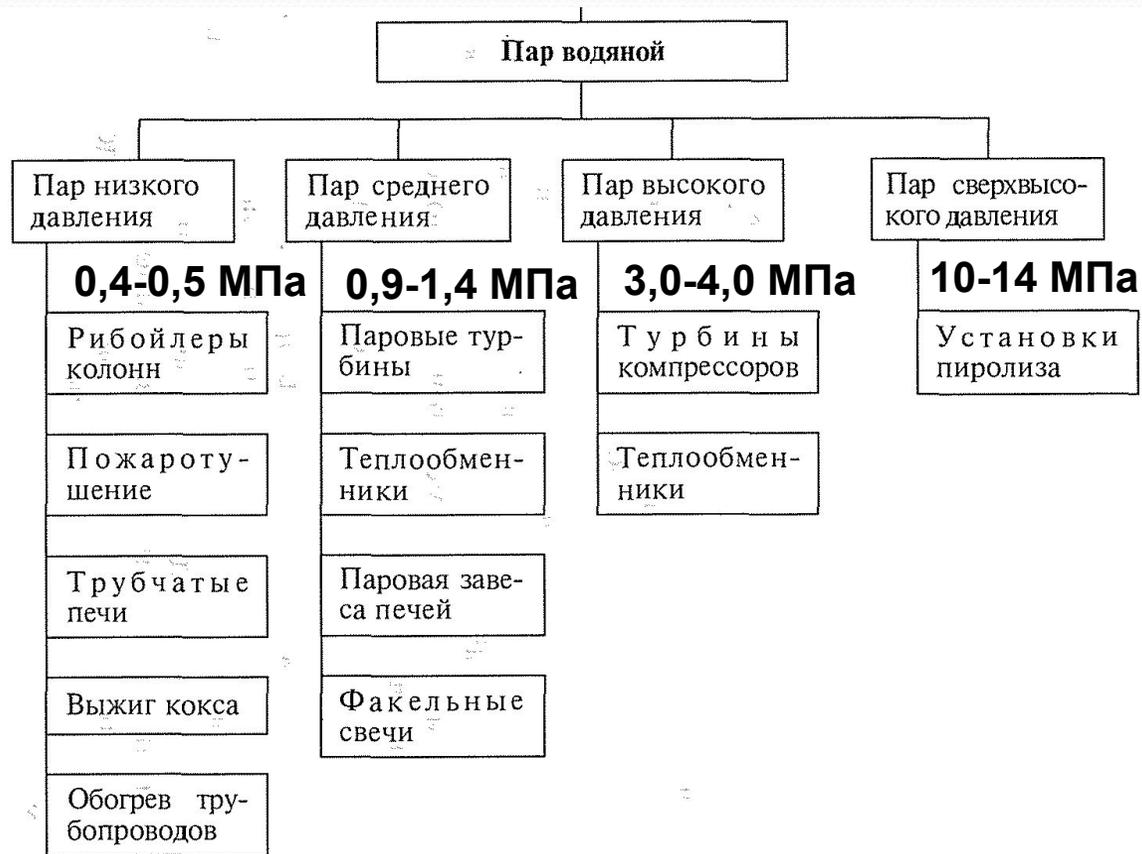
Другими словами, **перегретый пар** – это пар, находящийся при температуре, превышающей температуру кипения жидкости при давлении, равном давлению перегретого пара.

Величина превышения температурой пара температуры кипения жидкости (температуры насыщения) называется **степенью перегрева пара**. ( $t_{\text{пер}} - t_{\text{н}}$ )

Перегретый пар имеет при данном давлении более высокую температуру и удельный объем, чем сухой насыщенный пар.

Перегретый пар является ненасыщенным, т.к. при данном давлении удельный объем перегретого пара больше удельного объема сухого насыщенного пара, а плотность меньше.

# Сферы применения водяного пара на НПЗ и НХЗ



Пар используется на технологические нужды:

- как острый пар в ректификационных колоннах (для снижения парциального давления и соответственно температуры кипения);
- в парожетторных установках (для создания вакуума);
- как теплоноситель в теплообменниках и рибойлерах (для подогрева продуктов);
- как движущая сила в приводах компрессоров и насосов (турбоприводы);
- как теплоноситель для спутникового обогрева трубопроводов и аппаратов, импульсных линий, шкафов и приборов К И А;
- для приготовления промтеплофикационной воды;
- для противопожарных целей и паровых завес;
- для пропарки оборудования, трубопроводов при пуске и подготовке к ремонту.



- ГРЭС
- ТЭЦ
- котельные различной мощности в составе самого предприятия

# Способы получения водяного пара

Для технических нужд водяной пар получают в паровых котлах (парогенераторах), где специально поддерживается постоянное давление.

Котельная установка (парогенератор) служит для получения пара в широком диапазоне параметров и состоит из котельного агрегата и вспомогательного оборудования, связанных единой технологической схемой. К вспомогательному оборудованию относятся устройства топливоподачи, дымососы, золоуловители, паропроводы, водопроводы и др.

Котельный агрегат П-образной компоновки состоит из подъемного и опускного газоходов. Подъемный газоход 1 представляет собой топку для сжигания топлива, на стенках которой установлены испарительные поверхности нагрева 3 в виде плоских трубчатых панелей, называемых экранами. В опускном газоходе 2 расположены **водяной экономайзер 4** для подогрева питательной воды и **воздухоподогреватель 5** для подогрева воздуха, идущего на горение в топку. На выходе из подъемного газохода расположен фестон 6, представляющий собой разреженный пучок труб - продолжение заднего экрана. В горизонтальной части газохода расположен **пароперегреватель 7**, обеспечивающий нагрев насыщенного пара до заданной температуры.

Испарительные поверхности 3 сообщаются с **барabanом котла 8** и вместе с опускными трубами 9, соединяющими барабан с нижними коллекторами 10 экранов, составляют циркуляционные контуры. Паровая смесь в барабане разделяется на насыщенный пар и воду, пар направляется в пароперегреватель, вода - снова в циркуляционные контуры. Циркуляция воды и пароводяной смеси в контурах происходит за счёт разности плотностей столба воды в опускных трубах и пароводяной смеси в подъемных трубах - экранах (естественная циркуляция). Топливо вместе с горячим воздухом через горелки 11 подается в топочную камеру, где сжигается. Продукты сгорания из топочной камеры направляются в пароперегреватель, экономайзер, воздухоподогреватель и через газоочистку удаляются в атмосферу.

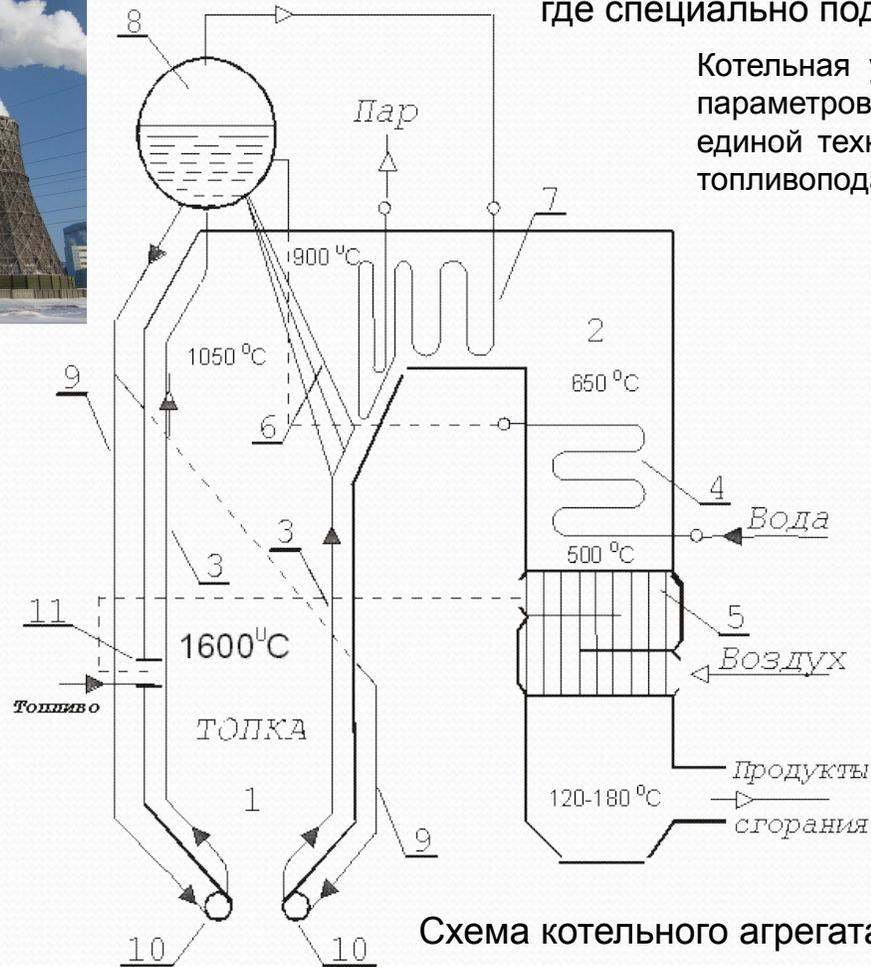
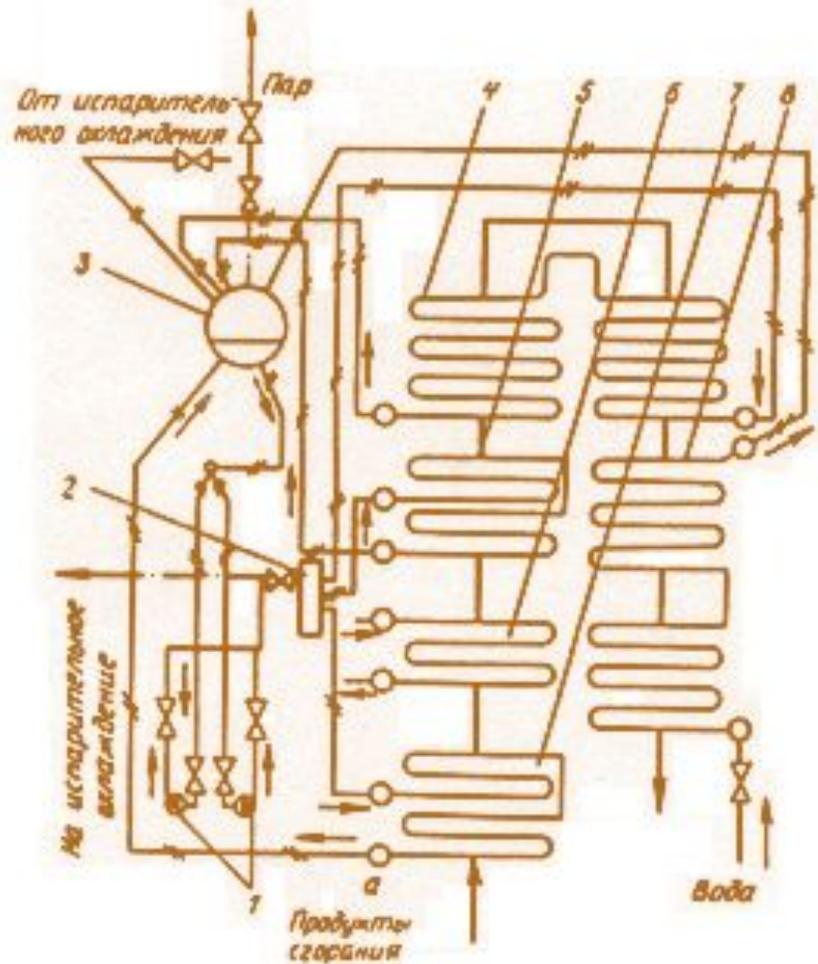


Схема котельного агрегата



Существуют различные конструктивные оформления котельных агрегатов, имеющих и другие схемы. Так, сжигание топлива может осуществляться не в факеле, а в слое. Циркуляция воды и пароводяной смеси в испарительной системе котла может быть принудительной с помощью насосов. Водяной экономайзер и воздухоподогреватель могут располагаться в несколько ступеней и т.д.

# Способы получения водяного пара



Частично потребность в паре на заводах восполняется за счет выработки его котлами-утилизаторами.

Котел-утилизатор (КУ) – паровой или водогрейный котел, не имеющий собственного топочного устройства для сжигания топлива и использующий теплоту отходящих газов технологических промышленных агрегатов различного назначения.

Котел КУ-80 имеет П-образную компоновку. Его испарительная часть состоит из трех секций, включенных последовательно по потоку продуктов сгорания и параллельно по котловой воде, подаваемой циркуляционным насосом.

Питательная вода поступает в котел через водяной экономайзер, после которого подается в барабан котла. Из барабана котловая вода циркуляционным насосом подается через шламоотделитель в три испарительных пакета, включенных параллельно. Пароводяная смесь из испарительных поверхностей нагрева поступает в барабан, в котором происходит отделение пара от воды (сепарация). Отсепарированный пар направляется в пароперегреватель и далее к потребителю.

Принципиальная схема котла КУ-80-3: 1 – циркуляционный насос; 2 – шламоотделитель; 3 – барабан; 4 – третья испарительная секция; 5 – вторая испарительная секция; 6 – пароперегреватель; 7 – первая испарительная секция; 8 – экономайзер

# Сферы применения сжатого воздуха на НПЗ

Воздух на НПЗ используется:

- ✓ для различных технологических нужд, связанных с управлением процессами с помощью контрольно-измерительных приборов;
- ✓ ремонтных нужд предприятия (разного рода пневмоинструмент, пневмопривод, сушка и пневмоиспытание аппаратов и трубопроводов);
- ✓ сжатый воздух применяется при очистке змеевиков трубчатых печей от кокса;
- ✓ при регенерации катализаторов на окислительных установках ;
- ✓ в окислительных процессах (при производстве битума);

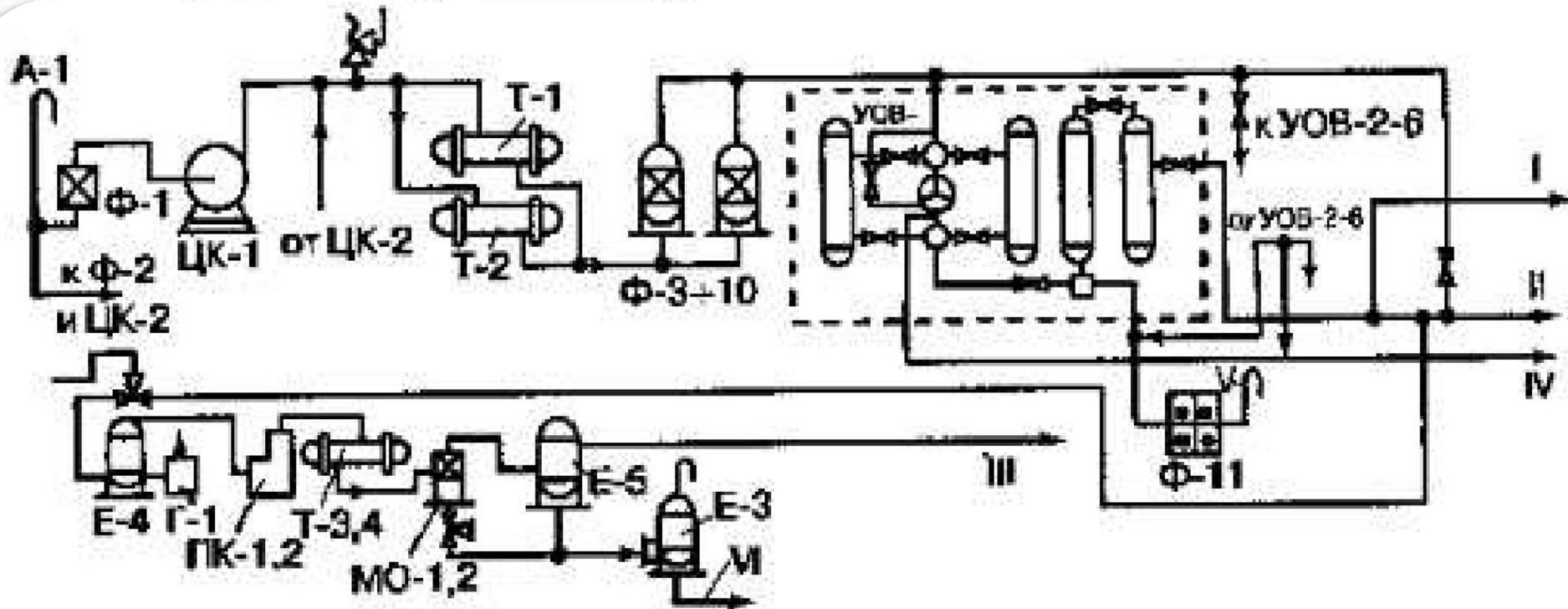
В соответствии с нормами технологического проектирования потребителям на НПЗ и НХЗ должен подаваться сжатый воздух трех параметров:

- 1) **высокого** давления (2-7 МПа) для регенерации катализаторов (риформинг 2,2-2,4 Мпа, гидроочистка 4,0 МПа) и опрессовки;
- 2) **низкого** давления (0,6-0,8 МПа) **осушенный** — для приборов контроля и автоматики;
- 3) **низкого** давления (0,6-0,8 МПа) **неосушенный** — для различных технологических нужд.

*Сети сжатого воздуха КИПиА и технологического воздуха проектируются **раздельными**.*

*Особые требования предъявляются к воздуху, используемому для КИПиА – воздух должен быть освобожден от влаги, пыли и иметь точку росы не выше минус 30-40 гр.С.*

# Технологическая схема воздушной компрессорной



## Потоки:

- I-выход на нужды КИП,
- II- воздух технологический,
- III-воздух высокого давления,
- IV- воздух к глушителям шума,
- V-выхлоп в атмосферу,
- VI-слив масла.

A-1 - воздухозаборная труба, ЦК-1,2 - центробежные компрессоры низкого давления,  
ПК-1,2 - поршневые компрессоры высокого давления, Т-1÷4 - теплообменники,  
Ф-1÷11 - фильтры, УОВ-1÷6 - установки осушки воздуха, E-1÷5 - емкости и сепараторы,  
МО-1,2 - маслоотделители, Г-1 - гидрозатвор

Система снабжения потребителей воздухом КИП должна обладать повышенной надежностью, поскольку прекращение подачи этого воздуха делает технологические производства неуправляемыми и может стать причиной крупных аварий.

Для обеспечения гарантированной непрерывной подачи воздуха КИП, предусматривается 100%-ное резервирование компрессоров, подающих воздух для пневматических систем автоматизации.

Кроме того, система сжатого воздуха должна иметь ресивер, обеспечивающий запас сжатого воздуха для работы контрольно-измерительных приборов и средств автоматики в течение не менее одного часа.

Снабжение воздухом осуществляется как от централизованных общезаводских воздушных компрессорных, так и от местных воздуходувных и компрессорных.

# Топливоснабжение НПЗ и НХЗ.

- Для проведения основных технологических процессов переработки нефти (атмосферно-вакуумной перегонки, термического и каталитического крекинга, каталитического риформинга, гидроочистки и др.) необходимо подводить теплоту извне. Для этого в большинстве случаев используются трубчатые печи.
- Для обеспечения их бесперебойной работы на заводах сооружаются системы снабжения топливом.

## Топливо

### газообразное

Природный, попутный или газ получаемый в качестве побочного продукта в основном производстве

### жидкое

Мазут, остатки атмосферной перегонки (выше 350 °С), вакуумной перегонки (выше 500 °С), тяжелых газойлей каталитического крекинга и коксования, крекинг-остатки термического крекинга

### комбинированное

*Выбор того или иного вида топлива определяется конструкцией печи, типом применяемых горелок, требованиями по защите окружающей среды,*

Для обеспечения потребителей **жидким топливом** на НПЗ и НХЗ проектируют специальное топливное хозяйство, включающее резервуары, насосы и коммуникации. Объем резервуаров должен обеспечивать запас топлива, исходя из суточной работы всех заводских печей.

Основные требования, предъявляемые к **газовому топливу** – постоянство состава, влияющее на калорийность топлива и постоянство давления в коллекторе. Для реализации этих требований на НПЗ существуют газораспределительные пункты (ГРП). ГРП принимают газы от различных объектов переработки нефти, смешивают их для усреднения компонентного состава, редуцируют для обеспечения необходимых параметров по давлению и подают газ в различные коллекторы (трубопроводы) непосредственно к потребителям – печам технологических установок.

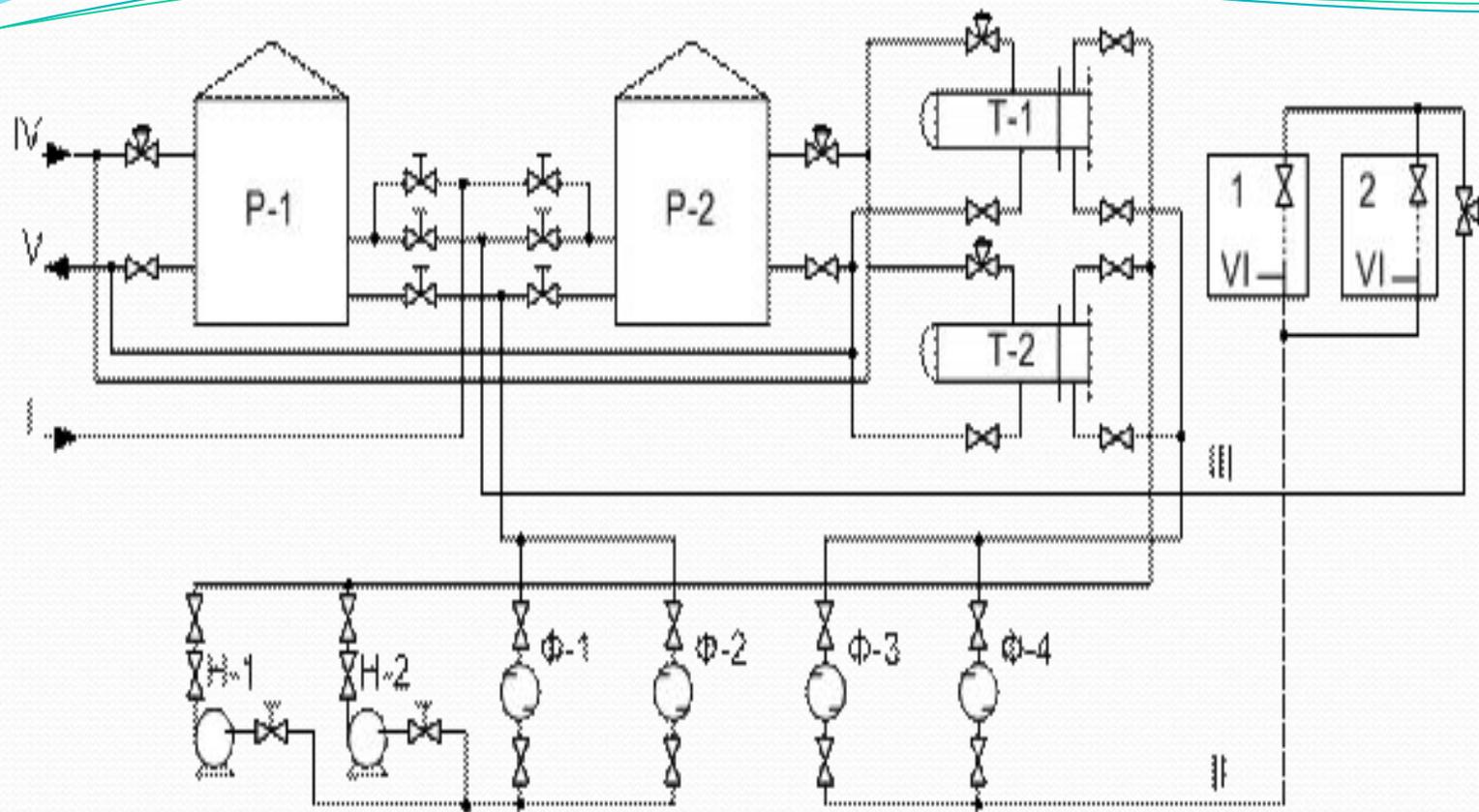


Схема снабжения НПЗ жидким

ТОПЛИВОМ:

P-1, P-2 – резервуары топочного мазута; T-1, T-2 – подогреватели мазута;  
H-1, H-2 – насосы; Φ1-Φ4 – фильтры; 1,2 – установки – потребители мазута.

Потоки: I – мазут со стороны для подпитки топливного хозяйства; II – мазут для потребителей; III – возврат мазута в топливное хозяйство; IV – пар; V – конденсат; VI – мазут к горелкам.

Топливо откачивается из резервуаров P1,2 насосами H1,2, фильтруется фильтрами Φ1-4; подогревается подогревателями T1,2 и подается потребителям (II).

Поддержание постоянства параметров линии топлива (давления, температуры, вязкости) обеспечивается возвратом избытка топлива в резервуары по линии циркуляции.

Мазут (в зависимости его марки) подогревают до температуры 90-110 гр.С для придания оптимально текучего состояния (т. е. снижается вязкость) с целью тонкого распыливания и интенсификации горения

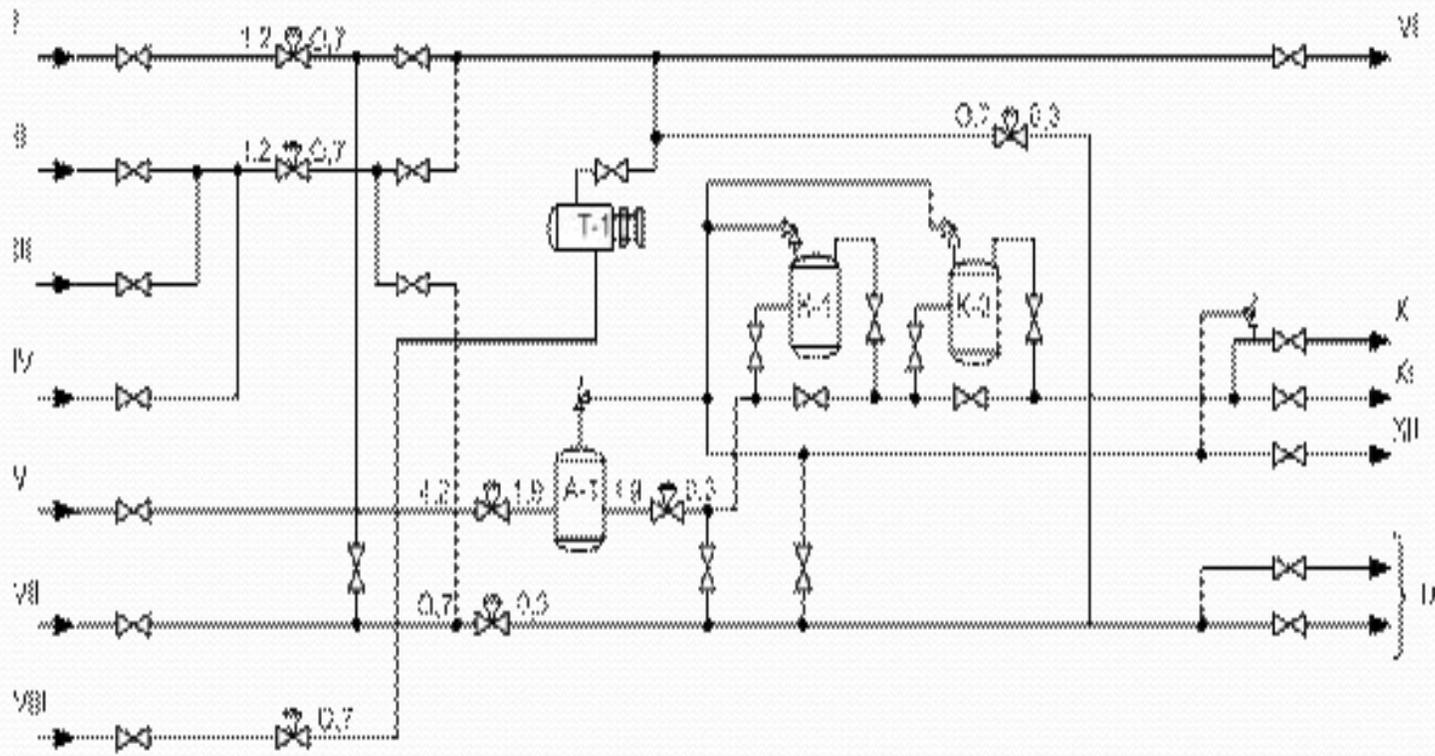


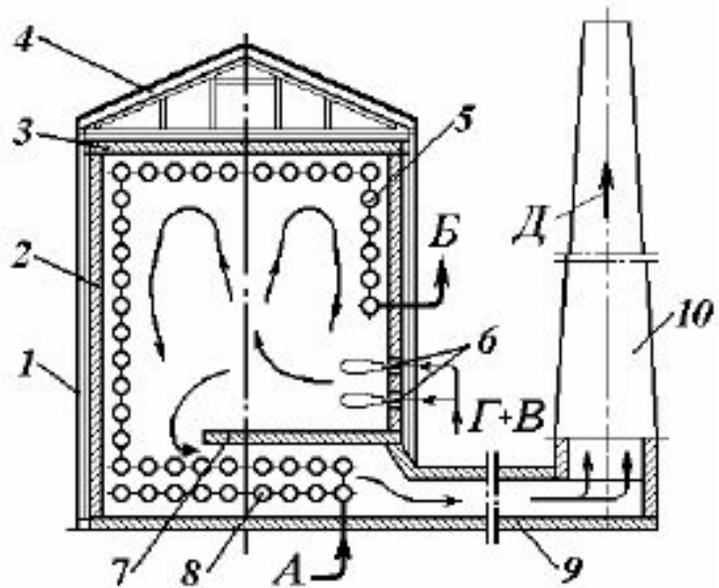
Схема газораспределительного пункта:

T-1 – испаритель жидких газов; K-1, K-2 – адсорберы для очистки газа; A-1 – расширитель водородосодержащего газа.

Потоки: I – сухой газ риформинга; II – газ гидроочистки; III – газ термического крекинга; IV – возвратный газ с факельного хозяйства; V – водородосодержащий газ риформинга; VI – газ на установку сероочистки; VII – газ с установки сероочистки; VIII – жидкий газ; IX – неочищенный газ к потребителям; X – газ для лаборатории; XI – газ для потребителей административной зоны; XII – сброс на факел.

Основное назначение: прием газов от различных установок, редуцирование и смешение газов на ГРП с последующей выдачей газа потребителям под различным давлением.

По территории завода прокладываются несколько коллекторов топливного газа: для печей беспламенного горения (давлением 0,5 МПа), для прочих трубчатых печей (0,3 МПа), для столовых и лабораторий (0,005 МПа).



**Рисунок 9.1 - Конструктивная схема трубчатой печи:**

1 – каркас печи; 2 – кладка; 3 – верхний свод; 4 – кровля; 5 – трубы радиантной (топочной) камеры; 6 – форсунки-горелки; 7 – перевальная стенка; 8 – трубы конвекционной камеры; 9 – дымоход; 10 – дымовая труба;

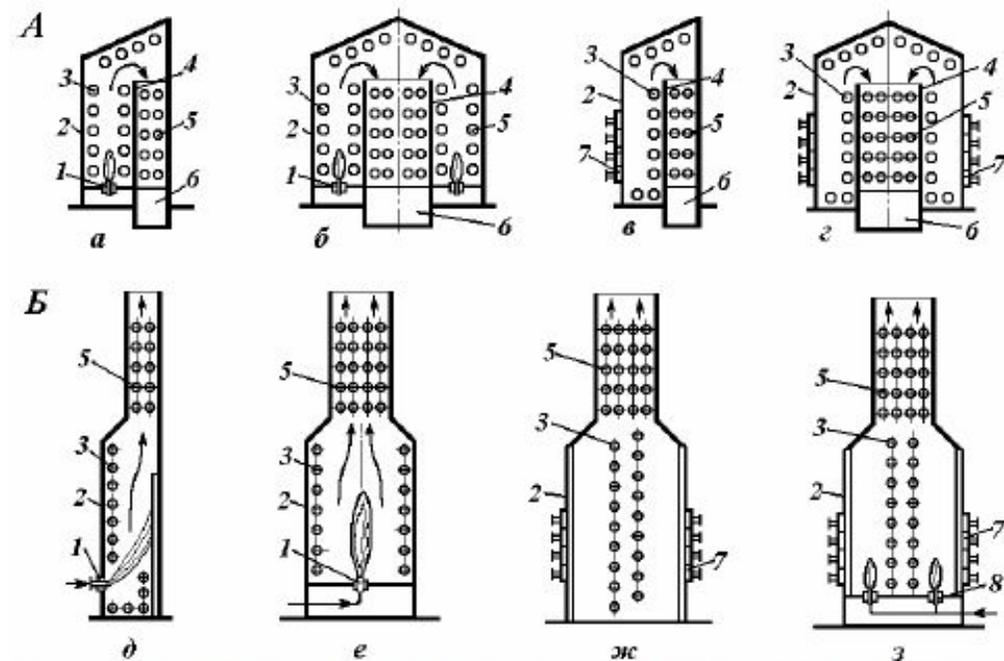
А – подача сырья; Б – отвод продуктов; В – воздух; Г – топливный газ; Д – дымовые газы

Трубчатая печь состоит из корпуса – каркаса печи и кладки, футерованной огнеупорными, теплоизоляционными и облицовочными материалами. Внутри корпуса размещена топка, в которой сжигается топливо. Топка образует радиантную камеру, в которой размещены радиантные трубы – экраны, собранные в виде пучка теплообменных труб 5. Топливо (жидкое или газообразное) сжигается в горелках 6, при этом факел горения в основном имеет температуру 1300 – 1600°С.

В радиантной камере до 90% теплоты передается к поверхности труб от факела и дымовых газов посредством лучеиспускания – радиацией. Затем дымовые газы с температурой 700–900°С поступают в конвекционную камеру и омывают пучок конвекционных труб 8, при этом до 65 % теплоты передается к поверхности труб конвективным способом.

Дымовые (топочные) газы с температурой 250–300°С через дымоход и дымовую трубу выбрасываются в атмосферу. Такая температура отходящих газов необходима для создания необходимой естественной тяги в дымовой трубе. Для утилизации тепла отходящих дымовых газов используют котлы – утилизаторы и воздухоподогреватели. Подача к горелкам предварительно подогретого воздуха интенсифицирует процесс горения, повышает температуру сжигания, а также увеличивает к.п.д. печной установки от  $\eta=0,70-0,83$  до 0,90.

Для более равномерного обогрева труб в настоящее время в основном применяют двухкамерные трубчатые печи одностороннего или двустороннего облучения, пламенного и беспламенного горения с излучающими экранами.



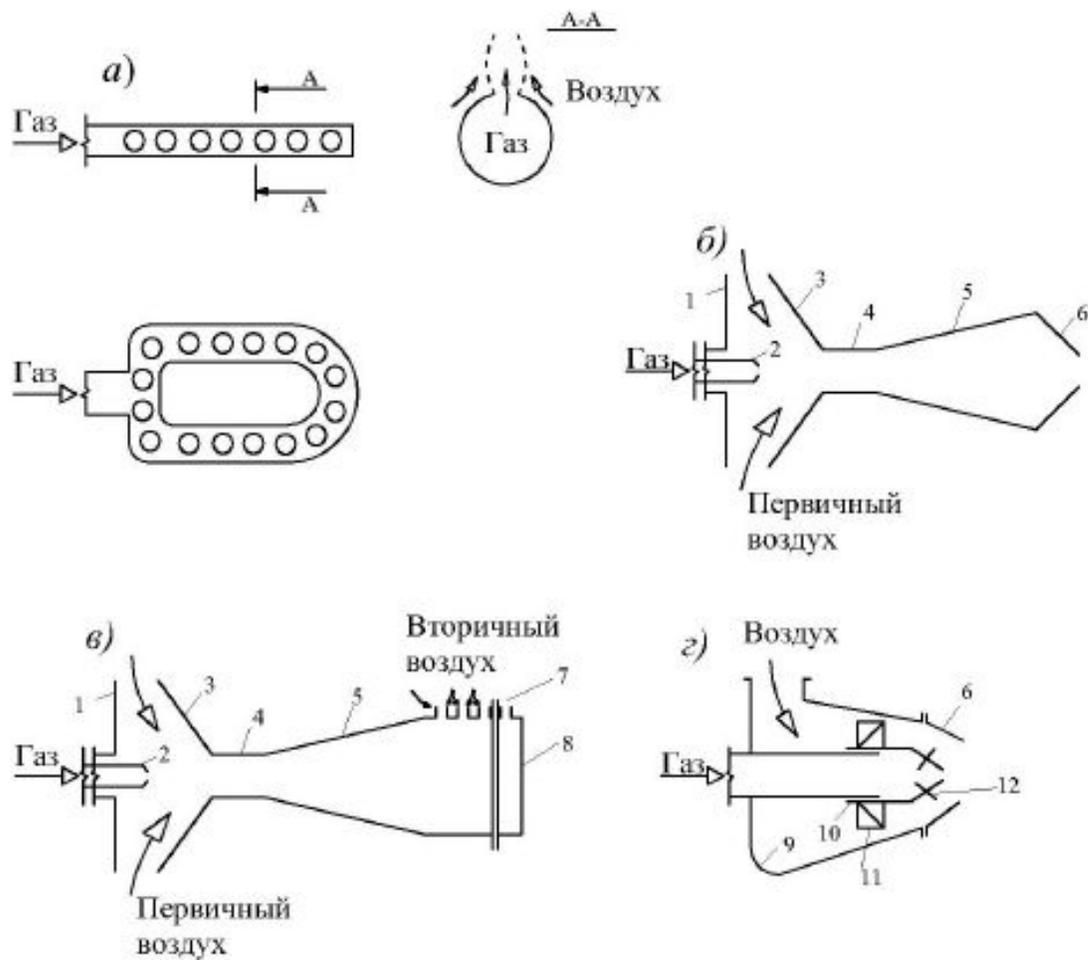
**Рисунок 9.2 – Конструктивные схемы некоторых типов трубчатых печей:**

А – трубчатые печи типа Б с наклонным сводом: а – однокамерная со свободным пламенем типа БС1; б – двухкамерная типа БС2; в, г – беспламенного горения (одно- и двухкамерная соответственно);

Б – трубчатые печи типа Г: д – однокамерная с настильным пламенем типа (ГН1); е – с вертикальным свободным пламенем и подовыми горелками (типа ГС1); ж – беспламенного горения двухкамерная (типа ГБ2); з – двухкамерная беспламенного горения с резервным жидким топливом (типа ГР2);

1 – горелки (форсунки); 2 – корпус; 3 – радиантные трубы; 4 – перевальная стенка; 5 – конвективные трубы; 6 – дымоход; 7 – панельные горелки; 8 – горелки резервного жидкого топлива

Приняты следующие условные обозначения: **первая буква - конструктивное исполнение** (Г - трубчатые печи с верхним отводом дымовых газов и горизонтальными радиантными трубами; В - трубчатые печи с верхним отводом дымовых газов и вертикальными радиантными трубами; Ц - цилиндрические трубчатые печи с верхней камерой конвекции; К - цилиндрические трубчатые печи с кольцевой камерой конвекции; С - секционные трубчатые печи); **вторая буква-способ сжигания топлива** (С - свободный факел; Н - настильный факел; Д - настильный факел с дифференциальным подводом воздуха по высоте факела). Цифра, стоящая после буквенного обозначения, означает число радиантных камер или секций, при отсутствии цифры печь однокамерная или односекционная.



Принципиальные схемы горелок

а) диффузионная; б), в) инжекционные; г) с принудительной подачей воздуха; 1 - воздушная заслонка; 2- сопло; 3 - инжектор; 4 - горловина; 5 - диффузор; 6 - насадок; 7 - огневые отверстия; 8 - коллектор; 9 - корпус; 10 - газораспределительное устройство; 11 - завихритель; 12 - отверстия для выхода газа

Горелка – это устройство, предназначенное для подачи газа к месту сжигания, смешивания его с воздухом, обеспечения стабильного сжигания и регулирования горения.

□ По способу смешивания газа с воздухом горелки бывают:

- ✓ без предварительного смешивания,
- ✓ с частичным смешиванием,
- ✓ с полным смешиванием.

□ По устройству – диффузные, инжекционные, смесительные и комбинированные (газомазутные).

□ По давлению – низкого и среднего.

**В диффузионных горелках (а)** газ смешивается с воздухом в следствие взаимной диффузии газа и воздуха на границах вытекающего потока. Они представляют собой заглушенный в торце отрезок трубы, вдоль которого – один или два ряда отверстий, просверленных в шахматном порядке. Эти горелки отличаются простотой конструкции и обслуживания, бесшумностью. Основные недостатки – проблемы, связанные с регулированием горения, высокий коэффициент избытка воздуха.

**В инжекционных горелках (б,в)** первичный воздух подсасывается за счёт инжекции газа, выходящего из сопла. Для улучшения инжекции горелка имеет суживающуюся часть (конфузор), цилиндрическую и расширяющуюся (диффузор). Созданная в горелке газо-воздушная смесь через отверстие насадки или стабилизатора поступает в топку котла, где смешивается с вторичным воздухом и сгорает. С увеличением расхода газа в горелке увеличивается скорость его выхода из сопла и соответственно увеличивается количество подсасываемого воздуха.

**Горелки с принудительной подачей воздуха (г)** вентилятором называют двухпроводными, смесительными (газ и воздух подаются по двум трубам и смешиваются в горелке). Они работают в основном на низком давлении газа, но некоторые конструкции рассчитаны и на среднее. Подача воздуха под давлением даёт возможность обеспечить большую тепловую мощность при сравнительно не больших размерах горелки. Для лучшего перемешивания газ выходит через многочисленные отверстия, направленные под углом к потоку воздуха.

Жидкое топливо, сжигаемое в топках, подвергается предварительному распылению с помощью форсунки, являющейся элементом горелки. Под горелкой в общем случае понимается агрегат, включающий помимо форсунки воздухонаправляющий аппарат, запальное устройство и механизм управления.

Качественное сжигание жидкого топлива обуславливается тонкостью его распыления. Для этой цели используют форсунки, которые, кроме того, обеспечивают необходимый диапазон регулирования расхода топлива и устойчивое зажигание смеси.

В зависимости от способа распыления топлива форсунки подразделяются на четыре класса: механические, паровые, воздушные (пневматические) и комбинированные.

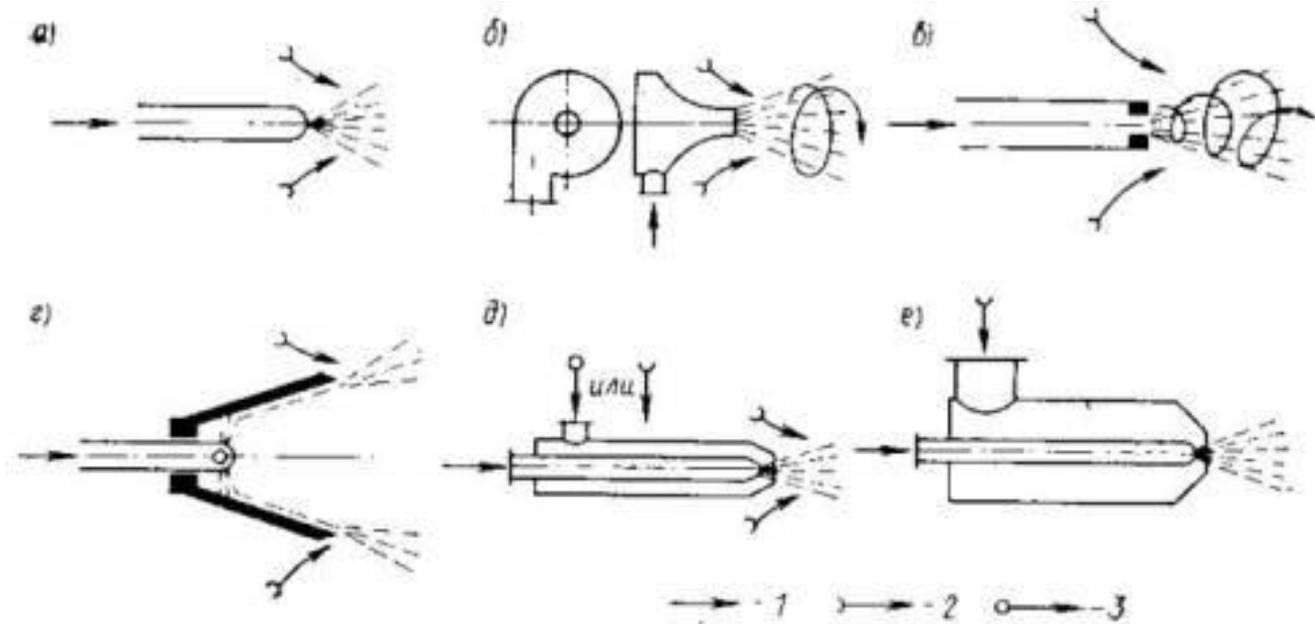


Рис. 15.4. Принципиальные схемы мазутных форсунок  
1 — топливо; 2 — воздух; 3 — пар

**Форсунки с механическим распылением** разделяют на прямоструйные, центробежные и ротационные.

**В прямоструйных форсунках** (Рис. а) дробление струи топлива на мельчайшие капли происходит при его продавливании под значительным давлением (1-2 МПа) через сопло малого диаметра.

**В центробежных форсунках** (Рис. б,в) топливо распыляется под действием центробежных сил, возникающих при закручивании топливного потока.

**В ротационных форсунках** (Рис. г) топливо подается внутрь быстро вращающегося распыливающегося стакана, где оно растекается под действием центробежных сил, образуя тонкую пленку. На выходной кромке стакана тонкая пленка подхватывается подводимым первичным воздухом.

**Паровые и пневматические форсунки** можно объединить в один класс – форсунки с распыливающей средой. **В паровых форсунках** (Рис. д) в качестве такой среды используют водяной пар с давлением 0,4-1,6 МПа., а в **пневматических форсунках** (Рис.е) используют воздух низкого (0,002-0,008 МПа) и высокого (0,2-1 МПа и выше) давления.

Газомазутные горелки представляют собой комплекс из газовой горелки и мазутной форсунки и в зависимости от конструкции предназначены для отдельного или совместного сжигания газового и жидкого топлива.

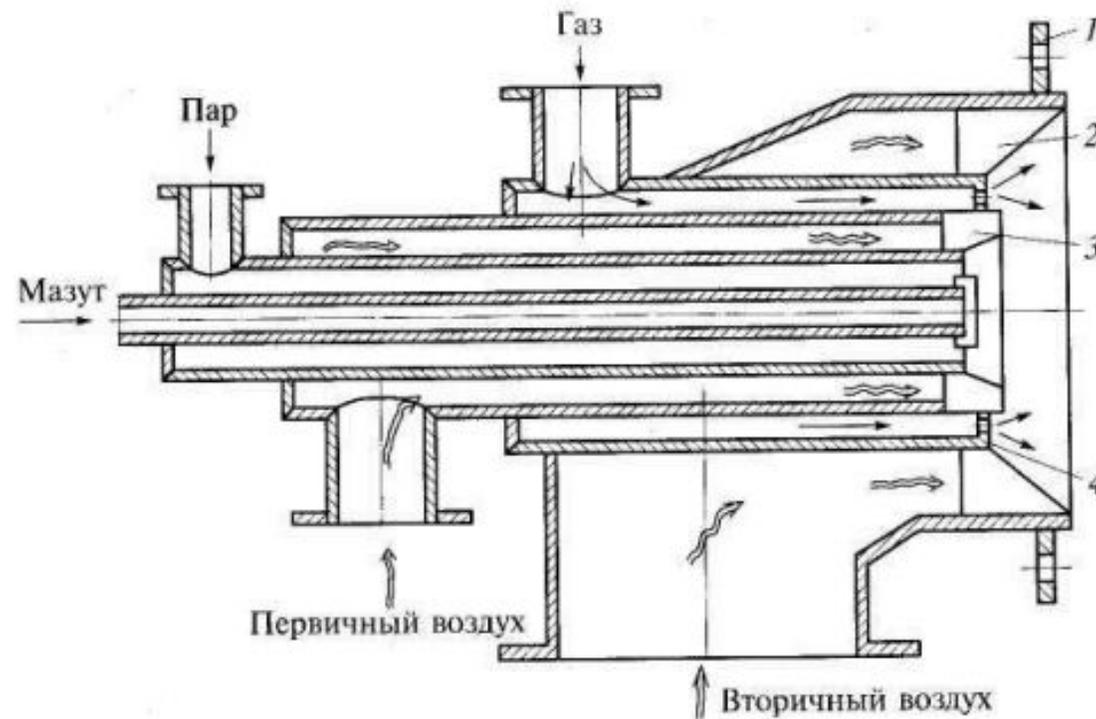
Горелка ГМГ состоит из трех вставленных одна в другую камер.

Газ поступает в среднюю узкую камеру и выходит через один или два ряда отверстий 4, расположенных по окружности.

В центре горелки размещена паромеханическая форсунка, включаемая при работе на мазуте.

Необходимый для горения воздух поступает в горелку двумя потоками. Небольшая его доля (примерно 15 %) проходит через завихритель 3, состоящий из лопаток, установленных под углом непосредственно к корню факела. Этот воздух, называемый первичным, способствует улучшению перемешивания с газом особенно при малых тепловых нагрузках.

Основной поток воздуха, называемый вторичным, также проходит через завихритель 2 и закрученным потоком поступает к месту горения.



Газомазутная горелка типа ГМГ  
1 – монтажная плита; 2, 3 – завихритель вторичного и первичного воздуха соответственно; 4 – газовыходное отверстие.