

ГЛАВА 2. СЖИГАНИЕ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА

Лекция № 3

2.1. Организация процессов горения

Горение – это физико-химический процесс взаимодействия компонентов топлива с окислителем, который сопровождается выделением энергии в виде теплоты и света.

Для горючих газов (H_2 , CO, CH_4 и др.), а также газообразного топлива существует такая температура нагрева, при которой топливовоздушная смесь загорается сама без какого-либо внешнего источника воспламенения. Эта температура самовоспламенения зависит от условий протекания процесса и для отдельных газов она колеблется в следующих пределах, °С:

Водород	410...630
Монооксид углерода	610...660
Метан.....	630...790
Природный и доменный газы.....	Около 530

Важным параметром, характеризующим газозвушные смеси, является скорость распространения пламени. В зависимости от того, распространяется ли пламя в потоке газа, находящемся в ламинарном или турбулентном движении, различают нормальное и турбулентное распространение пламени.

При нормальном распространении пламени химические процессы протекают в очень тонком слое, называемом фронтом горения. В качестве основной характеристики химических реакций, протекающих во фронте горения, принята скорость нормального распространения пламени U_n , м/с, представляющая собой линейную скорость перемещения фронта горения в направлении к свежей смеси по нормали к поверхности фронта в данном месте.

Скорость нормального распространения пламени зависит от природы газа, состава смеси и температуры. Для водородовоздушных смесей U_n во много раз больше, чем для аналогичных смесей метана или оксида углерода. Предварительный подогрев топливовоздушной смеси увеличивает скорость распространения пламени, так как при этом ускоряются химические реакции горения, и повышается температура горения.

Не всякая смесь горючего газа с воздухом способна к воспламенению и распространению пламени, но любую горючую смесь, как бы она ни была разбавлена, можно воспламенить, если применить достаточно мощный источник зажигания, в то же время не всякая смесь способна к

распространению пламени. Слишком бедные смеси (с большим избытком окислителя) и слишком богатые смеси (с большим избытком горючего) не способны к распространению пламени и, следовательно, не воспламеняются и не взрываются.

Увеличение количества окислителя или топлива сверх теоретического приводит к снижению температуры горения и скорости распространения пламени. При чрезмерном избытке топлива или окислителя тепловыделения в результате горения недостаточно для прогрева ближайших слоев до температуры их воспламенения, и горение становится невозможным.

Газообразные виды топлива имеют верхнюю и нижнюю концентрационные границы воспламенения (взрыва). Предельная концентрация горючего в бедной смеси, ниже которой смесь становится неспособной к воспламенению, называется нижней концентрационной границей воспламенения. Предельная концентрация горючего в богатой смеси, выше которой смесь перестает воспламеняться, называется верхней границей воспламенения. Приведем концентрационные границы воспламенения некоторых горючих газов, %: H_2 – 4,0...74,2; CO – 12,5...74,0; CH_4 – 5,0...15,0. Взрывоопасная концентрация природного газа близка к взрывоопасной концентрации метана. В зависимости от температуры, давления и других конкретных условий концентрационные границы несколько смещаются в ту или иную сторону.

Взрыв. При определенных условиях в замкнутом пространстве может произойти практически мгновенное сгорание газовой смеси с резким повышением температуры и давления. Такой процесс, называемый взрывом, связан с повышением давления до 0,8...1,0 МПа (8...10 кгс/см²).

Виды неустойчивого горения. При работе горелок возможны два вида неустойчивого горения:

- 1) проскок пламени в горелку;
- 2) отрыв пламени от горелки.

Проскок пламени – это перемещение фронта пламени из топki в горелку, при котором горение топлива начинается непосредственно в горелке. При проскоке пламени в горелку образуются продукты неполного сгорания топлива, горелка раскаляется и может выйти из строя.

Отрыв пламени – это перемещение фронта пламени от выходного отверстия горелки в направлении движения газовой смеси, сопровождающееся погасанием пламени. Отрыв приводит к наполнению топki газовой смесью, а затем к хлопку или взрыву.

Отрыв пламени может произойти при любом принципе сжигания топлива (см. подраздел. 2.3). Проскок же пламени в горелку невозможен при диффузионном принципе сжигания. Проскок пламени для горелок с

предварительным смешением топлива с окислителем происходит, если скорость выхода газовой смеси меньше скорости распространения пламени.

Отрыв пламени от горелок любого типа происходит в том случае, когда скорость выхода газа или газовой смеси больше скорости распространения пламени.

Расход воздуха в газовой смеси является одним из важнейших факторов, влияющих на скорость распространения пламени. В смесях, в которых содержание газа превышает верхний предел его воспламенения, пламя вообще не распространяется. С увеличением содержания воздуха в смеси скорость распространения пламени увеличивается, достигая своего максимума при содержании воздуха около 90 % его теоретического расхода, необходимого для полного сгорания газа.

Из этого следует, что при увеличении подачи воздуха в горелку создается смесь, более бедная газом, способная гореть быстрее и вызвать проскок пламени внутрь горелки. Поэтому при увеличении нагрузки сначала необходимо увеличить подачу газа, а затем воздуха, а при уменьшении нагрузки наоборот – сначала уменьшают подачу воздуха, а затем газа. По этой причине в момент пуска горелок воздух не должен в них поступать и зажигание газа проводится в диффузионном режиме за счет воздуха, поступающего в топку, с последующим переходом на подачу воздуха в горелку.

Причинами отрыва факела от горелки могут быть резкое повышение давления газа или воздуха, нарушение соотношения расходов газ: воздух, резкое увеличение разрежения на выходе из топки, работа горелки при расходах за пределами, указанными в паспорте. Причинами проскока пламени в горелку могут быть понижение давления газа или воздуха, уменьшение производительности горелок с предварительным смешением газа и воздуха при расходах ниже значений, указанных в паспорте.

Повышение устойчивости работы горелок достигается путем использования различных методов стабилизации горения, с помощью которых обеспечивается поддержание скорости выхода газовой смеси в безопасных пределах, поддержание температуры в зоне горения не ниже температуры воспламенения газовой смеси. Например, можно предотвратить проскок пламени, если сузить выходное отверстие для газовой смеси, так как при этом скорость выхода смеси возрастает. Пламя не распространяется через узкие щели, так как в них газовая смесь быстро охлаждается. Это свойство используется в стабилизаторах, устанавливаемых на выходе из горелок и выполняемых в виде мелкой

решетки. Вероятность проскока пламени можно снизить путем охлаждения выходного отверстия носика горелки.

Отрыв пламени от горелки предотвращают путем установки на выходе из горелки плохо обтекаемых тел (пяточки, конусы и т.д.), дежурной горелки небольшой производительности для постоянного поджигания газозвушной смеси. В топочных устройствах иногда применяют горку из битого огнеупорного кирпича. В процессе работы кирпич раскаляется и обеспечивает поджигание выходящей газозвушной смеси.

Наибольшее распространение получил способ стабилизации горения с помощью огнеупорных туннелей. Газозвушная смесь поступает из кратера горелки в цилиндрический туннель, диаметр которого в 2 – 3 раза больше диаметра кратера горелки. При резком расширении туннеля вокруг концевой части факела создается разрежение, вызывающее обратное движение частиц раскаленных продуктов сгорания топлива. За счет этого температура газозвушной смеси в конне факела повышается и обеспечивается устойчивая зона зажигания.

При сжигании газа в туннелях обеспечивается полное сгорание газов при минимальном коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,02... 1,05$ и скоростях выхода смеси, превышающих 100 м/с.

2.2. Классификация газовых горелок

Газовая горелка – это устройство, обеспечивающее устойчивое сгорание газового топлива и регулирование горения. Она предназначена для подачи к месту горения газа и воздуха либо раздельно, либо в виде их смеси. Для сжигания топлива в топках котельных агрегатов используют большое число разнообразных горелочных устройств, которые можно классифицировать по ряду следующих признаков:

по степени подготовки горючей смеси – без предварительного смешения, с полным предварительным смешением, с неполным предварительным смешением, с частичным предварительным смешением;

по способу подачи воздуха – с принудительной подачей воздуха от вентилятора, путем инжентирования газовой струей; за счет разрежения в топке;

по давлению газа перед горелками – низкого давления – до 5 кПа (500 мм вод. ст.); среднего давления – до критического перепада давлений (в горелке и топке), при котором скорость истечения газа, а следовательно, и расход газа достигают максимальных (критических) значений; высокого давления – при критическом и сверхкритическом перепада давлений (скорость

истечения и расход газа при этом равны максимальным, т. е. критическим, значениям);

по степени автоматизации управления горелками – с ручным управлением, полуавтоматические, автоматические;

по скорости истечения продуктов сгорания – низкая – до 20 м/с; средняя – 20...70 м/с; высокая – более 70 м/с.

2.3. Принципы сжигания газа. Понятие о фронте пламени.

Характеристика факела

В зависимости от способа подачи в топочную камеру газа и воздуха и условий их смешения различают следующие варианты организации процесса горения:

- с внешним (после горелки) смешением газа и воздуха, называемым диффузионным принципом сжигания;
- с полным предварительным (в горелке) смешением до образования однородной смеси, называемым кинетическим принципом сжигания;
- с неполным предварительным смешением без образования однородной смеси;
- с частичным предварительным смешением с образованием однородной смеси, но с недостатком окислителя в начальной смеси;
- последние два случая организации процесса горения относятся к смешанному – диффузионно-кинетическому принципу сжигания.

Для сжигания природного газа требуется определенное время τ_{Γ} которое складывается из времени смешения $\tau_{\text{см}}$ газа с воздухом, времени нагрева $\tau_{\text{н}}$ газозвушной смеси до температуры воспламенения и времени $\tau_{\text{х.р}}$, необходимого для протекания собственно химических реакций горения:

$$\tau_{\Gamma} = \tau_{\text{см}} + \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{х.р}} \quad (2.1)$$

Таким образом, основной химической стадии горения $\tau_{\text{х.р}}$ в обязательном порядке предшествуют подготовительные стадии, имеющие физическую природу:

$$\tau_{\text{физ}} = \tau_{\text{см}} + \tau_{\text{н}} \quad (2.2)$$

На рис. 2.1, а показана схема организации диффузионного принципа сжигания, в которой газ и воздух в пределах горелки не контактируют. Смешение компонентов горения в данном случае происходит в топочной камере. Для диффузионного принципа сжигания $\tau_{\text{физ}} \gg \tau_{\text{х.р}}$, процесс горения при этом затягивается и при достаточном для сжигания содержании воздуха получается относительно длинный светящийся факел ярко-соломенного цвета. Сгорание топлива осуществляется в тонком поверхностном слое факела, называемом фронтом диффузионного горения, к которому из внутренней части факела

поступает газ, а из топки – воздух. При осуществлении кинетического принципа сжигания наиболее длительная стадия процесса – смешение топлива с окислителем $\tau_{см}$ – переносится в горелку (рис. 2.1, б). При этом $\tau_{х.р} \gg \tau_{физ}$, т.е. $\tau_{г} = \tau_{х.р}$. При достаточных температурах в топке процесс горения топлива происходит очень быстро и образуется короткий факел в виде голубого прозрачного конуса. Сгорание топлива в данном случае осуществляется на поверхности этого конуса, образующей фронт кинетического горения.

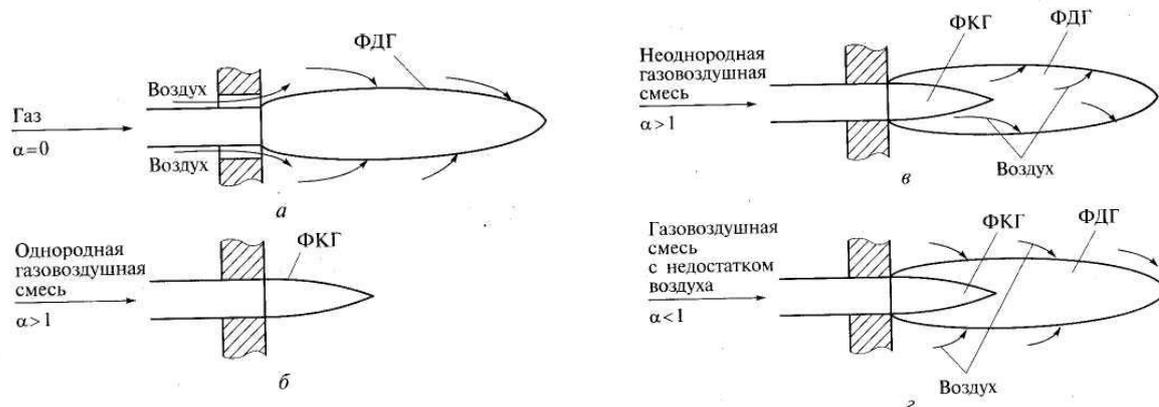


Рис. 2.1. Схемы, иллюстрирующие организацию принципов сжигания газа: *а* – диффузионный; *б* – кинетический; *в* – диффузионно-кинетический в горелке с неполным предварительным смешением; *г* – то же, горелки с частичным предварительным смешением; ФДГ – фронт диффузионного горения; ФКГ – фронт кинетического горения; α – коэффициент избытка воздуха

При реализации диффузионно-кинетического способа сжигания (в горелках с неполным и частичным предварительным смешением), при котором физическая и химическая стадии процесса соизмеримы по времени $\tau_{физ} = \tau_{х.р}$, факел имеет два фронта горения (рис. 2.1, в, г): кинетический ФКГ в виде голубого прозрачного конуса и диффузионный ФДК, в котором происходит догорание топлива в прозрачном факеле бледно-голубого цвета.