

Тема: ОСНОВЫ ТЕОРИИ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА

1. Общее понятие о процессе горения топлива
2. Горение газообразного топлива.
3. Горение жидкого топлива.
4. Горение твердого топлива.

1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ О ПРОЦЕССЕ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА

Основным источником тепловой энергии является топливо, которым, по определению Д. И. Менделеева, называется «горючее вещество, умышленно сжигаемое для получения теплоты». По агрегатному состоянию топливо делят на твердое, жидкое и газообразное. Топливо может быть органическим и ядерным, а по происхождению — природным и искусственным. В таблице 1 приведена классификация топлива по его происхождению и агрегатному состоянию.

Таблица 1

Общая классификация топлива

Агрегатное состояние	Происхождение	
	природное	искусственное
Газообразное	Природный и попутный газы	Газы генераторный, доменный, светильный, коксовый, биогаз и др.
Жидкое	Нефть	Топочные мазуты, топливо печное бытовое, дизельное топливо, бензины, керосины и др.
Твердое	Антрацит, каменный уголь, горючие сланцы, торф, дрова, отходы сельскохозяйственного производства	Кокс, полукокс, торфяные и каменноугольные брикеты, древесный уголь

Горение — сложный быстро протекающий химический процесс взаимодействия горючей части топлива с кислородом, сопровождающийся интенсивным выделением теплоты, света и быстрым повышением температуры. Для обеспечения непрерывности протекания процесса горения необходимо создать определенные условия: бесперебойный подвод окислителя к сжигаемому топливу, интенсивное их перемешивание и отвод образующихся продуктов сгорания.

Различают полное и неполное горение.

При *полном горении* происходят реакции полного окисления горючих компонентов топлива и получаются газообразные негорючие продукты окисления (CO_2 , H_2O , SO_2 и др.) и твердый негорючий остаток (зола и шлак).

При *неполном горении* реакции окисления не завершены, газообразные продукты и твердый остаток содержат некоторое количество горючих веществ (CO , H_2 , CH_4 , C и др.).

Процессы горения делят на две группы:

- *гомогенное горение*, когда горючее вещество и окислитель находятся в одном агрегатном состоянии, свойственно, например, для газообразного топлива, характеризующееся системой «газ+газ»;

- *гетерогенное горение* - когда горючее вещество и окислитель находятся в разных агрегатных состояниях, свойственно, например, для твердых и жидких топлив, характеризующееся системами «твердое тело+газ» и «жидкость+газ».

Процесс горения имеет ограниченную скорость, так как химические реакции сопровождаются различными физическими явлениями (переносом теплоты, диффузионным переносом

реагирующих масс и др.) Время горения топлива определяется в основном скоростью наиболее медленного процесса.

2. ГОРЕНИЕ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА.

Процесс горения газообразного топлива гомогенный, так как топливо и окислитель находятся в одном фазовом состоянии (газообразном), граница раздела между фазами отсутствует.

Под *скоростью гомогенной реакции* понимают количество вещества, исчезающего или появляющегося в результате реакции в единице объема за единицу времени.

Скорость горения зависит от концентрации реагирующих веществ, температуры и давления. Это объясняется тем, что молекулы газов, двигаясь в различных направлениях с большой скоростью, сталкиваются друг с другом, образуя промежуточные комплексы, внутри которых разрушаются связи между атомами старых молекул и зарождаются новые связи.

Скорость гомогенной реакции W , согласно закону действующих масс, пропорциональна произведению концентрации топлива и окислителя:

$$W = k \cdot C_A \cdot C_B \quad (1)$$

где k — константа скорости реакции, зависящая от природы реагирующих веществ;
 C_A и C_B — концентрации исходных компонентов А и В.

Не все молекулы реагирующих веществ вступают между собой в химические реакции, а только те, которые обладают энергией, достаточной для разрушения внутримолекулярных связей.

В реакциях принимают участие только активные молекулы, энергия которых выше *энергии активации*. Количество таких молекул в газовой смеси чрезвычайно мало по сравнению с общим их количеством.

Для того чтобы смесь топлива и окислителя загорелась, ее необходимо нагреть до определенной температуры.

Реакция горения может быть начата путем самовоспламенения при сжатии или воспламенением горючей смеси с помощью зажигания электрической искрой, вспомогательным факелом или раскаленным предметом.

Различают следующие типы сжигания газа в факеле: *кинетическое, диффузионное и смешанное*.

При кинетическом сжигании топливо и окислитель предварительно тщательно перемешиваются в смесителе горелки, а сжигание горючей смеси производится вне пределов смесителя. Горение называется *кинетическим*, или *нормальным*, так как скорость процесса в этих условиях определяется только кинетикой реакций, а не скоростью смешения реагентов.

Диффузионным называется горение, которое происходит при раздельной подаче топлива и окислителя. Топливо подается в рабочий объем отдельно от окислителя, поэтому горение осуществляется в процессе смешивания топлива с окислителем.

Факел при диффузионном горении длиннее, чем факел при кинетическом горении. Процесс диффузии протекает сравнительно медленно, время сгорания определяется в основном временем смесеобразования.

Смешанное (диффузионно-кинетическое) горение — разновидность диффузионного. В этом случае газ смешивается с некоторым количеством окислителя (воздуха), недостаточным для полного горения. Смесь поступает в рабочий объем, в который отдельно от нее поступает остальная часть воздуха.

В теплогенерирующих установках в основном применяют кинетический и смешанный принципы сжигания газа.

Длина и структура факела зависит от режима потока. Газовый факел может быть ламинарным или турбулентным.

*{При малых скоростях истечения газов (число Рейнольдса $Re > 2300$) образуется ламинарный факел. Однако ламинарный режим остается лишь на некотором расстоянии от среза горелки, а затем в связи с массообменом с окружающей средой происходит турбулизация факела. При $Re > 3000$ факел имеет турбулентный режим уже непосредственно около середины горелочного устройства.}

Горение газа осуществляется в узкой зоне, которая называется *фронтом горения* (рис. 1).

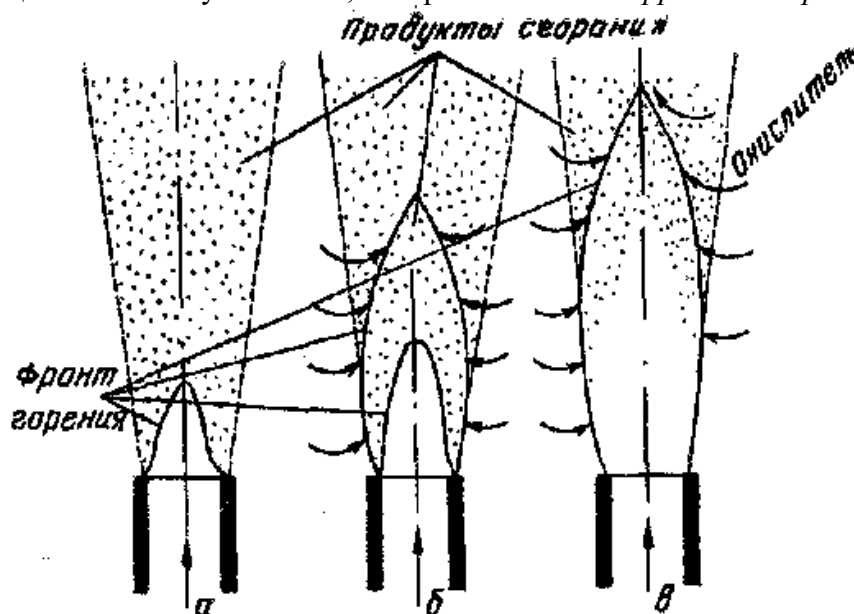


Рис. 1. Структура фронта горения факелов:
а) кинетическое; б) смешанное; в) диффузионное

Смешанное горение характеризуется наличием двух фронтов: кинетического и диффузионного. При кинетическом сжигании газа используется окислитель, подаваемый вместе с газом, а при диффузионном — догорает оставшаяся часть газа.

Одной из главных характеристик горения газообразного топлива является *скорость нормального распространения пламени*, которая характеризует скорость перемещения фронта горения по нормали к своей поверхности в направлении набегающей горючей смеси. Для большинства топливовоздушных смесей эта скорость равна 0,3... 0,5 м/с. Минимальное значение наблюдается у метано-воздушной смеси (0,04... 0,05 м/с), а наибольшее у водородо-воздушной смеси (13 м/с) и ацетилено-кислородной смеси (15,4 м/с)

Важной особенностью горения газового топлива в смеси с воздухом являются концентрационные пределы распространения пламени. Различают нижний (переобедненная смесь) и верхний (перебогатенная смесь) концентрационные пределы распространения пламени. Вне этих пределов смесь газа с воздухом невозможно зажечь.

3. ГОРЕНИЕ ЖИДКОГО ТОПЛИВА.

Процесс горения жидкого топлива состоит из распыливания, нагревания и испарения, перемешивания паров топлива с воздухом, воспламенения и собственно горения смеси.

Для распыливания жидкого топлива используют механические или пневматические форсунки, в результате жидкое топливо поступает в факел в виде капель различного диаметра.

*{Механические форсунки применяют в дизелях, печах и топках. Впрыскивание топлива в цилиндр дизеля форсункой производится при давлении 15 МПа и более. В механических форсунках для топок и печей топливо подводится под давлением 0,6 ...2 МПа, что обусловлено особенностью конструкции форсунок и физическими свойствами топлива (мазут, печное бытовое и др.).}

При распыливании площадь поверхности топлива возрастает в несколько тысяч раз. В связи с ростом относительной площади поверхности и подводом теплоты топливо начинает интенсивно

испаряться. Очень мелкие капли успевают полностью испариться при прогреве, в результате чего пары образуют с воздухом паровоздушную смесь.

На рисунке 2 показана структура факела жидкого топлива.

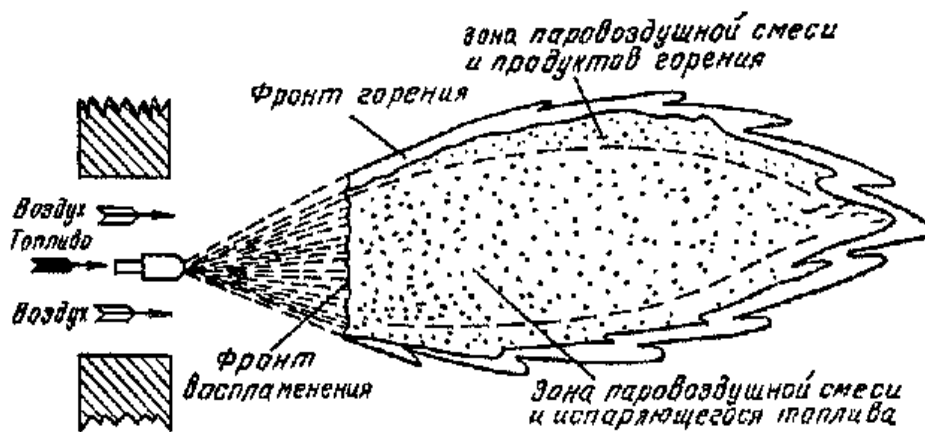


Рис. 2. Структура факелов жидкого топлива

4. ГОРЕНИЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА.

Процесс горения твердого топлива относится к гетерогенному горению и состоит из ряда последовательных стадий, которые иногда частично накладываются одна на другую:

- подогрев, подсушка и нагревание топлива до температуры начала выхода летучих веществ;
- воспламенение летучих веществ и их выгорание;
- нагревание кокса до воспламенения;
- горение твердого коксового остатка.

Эти стадии, протекают при разных температурных условиях и требуют различного количества окислителя.

Твердое топливо может сгорать в виде отдельных частиц или в слое, через который проходит поток окислителя (воздуха). Влага из топлива удаляется при температуре около 100 °С. Температура начала выхода летучих веществ зависит от геологического возраста топлива. Наиболее интенсивно этот процесс происходит при сжигании углей при температуре 200... 400 °С и заканчивается при температуре 1000...1100 °С. Летучие вещества воспламеняются в первую очередь, их пламя прогревает кокс и способствует их дальнейшему выделению. Однако летучие вещества, образуя вокруг частицы топлива пламя, перехватывают весь кислород, поэтому горение кокса практически не наблюдается до их выгорания.

Скорость горения твердой частицы топлива определяется количеством вещества, сгорающего на единице площади ее поверхности в единицу времени. Она возрастает с увеличением реакционной способности топлива, температуры, концентрации окислителя и скорости обдувания твердой частицы потоком воздуха. С уменьшением размера частицы и соответственно увеличением удельной поверхности твердого топлива скорость горения также возрастает.

При горении твердого топлива на поверхности его частиц по мере выгорания кокса образуется золовая корка, затрудняющая доступ кислорода к частице. Под действием высокой температуры зола плавится и кусочки топлива свариваются. Происходит так называемое зашлаковывание слоя топлива, горение его будет очень затруднено, так как прекращается доступ воздуха к топливу. Для удаления золового нароста и расшлаковывания слоя твердого топлива проводят его рыхление (шуровку, ворошение).

При сжигании органического топлива теплота выделяется в результате реакций соединения горючих элементов с кислородом воздуха, а при использовании ядерного топлива тепловая энергия выделяется при реакциях распада атомных ядер некоторых тяжелых элементов (U^{235} , Pu^{238} и U^{233} , получаемых из воспроизводящих нуклидов соответственно U^{238} и Th^{232}). Ядерное топливо выделяет теплоты в миллион раз больше, чем лучшее органическое топливо.

В настоящее время основным источником получения тепловой энергии является органическое топливо. Примерно 70% энергии, вырабатываемой и потребляемой на земном шаре, получают за счет сжигания органического топлива и 30% — за счет энергии воды, ветра, солнца и ядерного топлива.

Планирование, экономические расчеты и сравнение показателей теплоэнергетических установок должны осуществляться на единой базе. Для этого вводится понятие *условного топлива*, теплота сгорания которого принята равной 29,35 МДж/кг, что соответствует теплоте сгорания малозольного сухого угля.

ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО.

Оно используется в котельных установках, теплогенераторах, водонагревателях, газовых отопительных приборах, а также в двигателях внутреннего сгорания.

Природный газ в основном состоит из метана с незначительной примесью других углеводородов и инертных газов. Примерный состав природного газа в % по объему следующий: метан — 85... 99; этан 1,0... 8,0; пропан, бутан — 0,5 ... 3; азот — 0,5 ... 0,7; углекислота — до 1,8.

Сжатый газ получают из природных, попутных нефтяных, коксовых газов и т. п. Основными компонентами сжатых газов являются метан, оксид углерода, водород, примеси азота, углекислого газа, водяных паров, сероводорода, аммиака и др.

Сжиженные газы находят широкое применение в быту, а также используются на автомобильном транспорте. Эти газы являются продуктами первичной переработки нефти или попутными. Основными компонентами в сжиженных газах являются бутан и пропан, и в небольших количествах могут быть метан, этан, этилен, пропилен и бутилен. Пропан и бутан легко переходят в жидкое состояние под определенным давлением.

Генераторный газ получают при перегонке твердого топлива с недостатком воздуха около 60% в специальных устройствах — газогенераторах. В качестве твердого топлива используют каменный или бурый уголь, дрова, торф, брикеты из различных сельскохозяйственных отходов (опилок, подсолнечной лузги, льняной костры и т. п.).

Биогаз. Получают в анаэробных микробиологических реакторах для сбраживания навоза с одновременным получением высококачественных органических удобрений

ЖИДКОЕ ТОПЛИВО.

Главным источником для производства жидкого топлива является нефть. В зависимости от состава нефти плотность получаемого топлива колеблется от 690 до 1015 кг/м³. Химический состав нефти различных месторождений неодинаковый. Основными элементами нефти являются углерод (83... 87%) и водород (12,., 14%). Кроме того, в нефти содержатся кислород (0,1 ...0,3%), сера (от 0,01% в малосернистых нефтях и до 5...7% в высокосернистых), азот (0,02... 1,7%), а также в незначительных количествах другие элементы.

В сельскохозяйственном производстве используются следующие жидкие нефтепродукты: бензины, керосины, дизельные топлива, мазуты, топливо печное бытовое.

Топливо печное бытовое вырабатывается из нефти. По внешнему виду это легкоподвижная малосмолистая жидкость.

ТВЕРДОЕ ТОПЛИВО.

В сельскохозяйственном производстве используют как естественные твердые топлива (ископаемые угли (бурый, каменный, антрацит), торф, горючие сланцы, дрова, отходы сельскохозяйственного производства), так и искусственные (разные брикеты, древесный уголь, кокс).