

Теплота сгорания и температура горения топлива

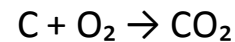
Занятие 3

Топлива

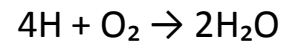
- **Топливо** – источник получения энергии; горючее вещество, вырабатывающее при сгорании значительное количество теплоты
- **Твёрдое топливо:**
 - природное – древесина, бурые и каменные угли, антрацит, торф, сланец
 - искусственное – кокс, древесный уголь
- **Жидкое топливо:**
 - природное - нефть (не используется для сжигания, является сырьём для получения искусственных жидких топлив и для нефтехимии)
 - искусственные – нефтепродукты (бензин, керосин, лигроин, газойль, мазут), биодизель, биоспирты и др.
- **Газообразное топливо:**
 - природное – природный газ, попутные нефтяные газы
 - искусственное – генераторный, коксовый газы, биогаз и др.

Основные составляющие топлива

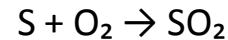
- **Углерод (C)** – основной носитель теплоты. При сгорании 1 кг углерода выделяется примерно 34 000 кДж теплоты



- **Водород (H)** – второй наиболее важный элемент топлива: при сгорании 1 кг водорода выделяется около 125 000 кДж теплоты



- **Сера (S)** при сгорании 1 кг серы выделяется примерно 10 000 кДж теплоты



- Сернистость – отрицательный фактор топлива, т.к. SO_2 загрязняет атмосферу, вызывает коррозию металлов, переходит в состав продуктов, снижая их качество

Г
о
р
ю
ч
и
е

- **Азот (N) и кислород (O)** - внутренний органический балласт топлива, не горят; их включают в горючую массу условно
- **Влага (W)** – снижает теплоту сгорания топлива вследствие увеличенного расхода теплоты на испарение влаги и увеличения объема продуктов сгорания (из-за наличия водяного пара)
- **Зола (A)** - смесь различных минеральных веществ, остающихся после полного сгорания всей горючей части топлива. Минеральные вещества топлива понижают его теплоту сгорания вследствие уменьшения содержания горючих компонентов и увеличения расхода тепла на нагрев и плавление минеральной массы.
- Влага и зола – внешний балласт топлива
- **NB!** Теплота сгорания равна стандартной величине энтальпии образования продукта реакции

Рабочая, сухая и горючая массы топлива

Твердое топливо = органическая масса + минеральные вещества + влага

- Различают рабочую, сухую и горючую массы топлива. В связи с этим при буквенном обозначении вещества, входящего в состав топлива, вверху ставят буквы **p**, **c**, или **г**.
- Под **рабочей массой** топлива понимают топливо в том виде, в каком оно поступает к потребителю. Состав рабочей массы топлива выражают так:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + W^P = 100\%$$

- Если из топлива исключить балласт, то получаем **горючую массу** топлива

$$C^Г + H^Г + O^Г + N^Г + S^Г = 100\%$$

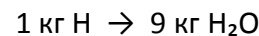
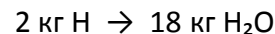
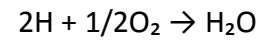
- **Сухая масса** топлива соответствует обезвоженному топливу и состав ее следующий:

$$C^C + H^C + O^C + N^C + S^C + A^C = 100\%$$

- Пересчет состава топлива с одной массы на другую производят с помощью коэффициентов

Теплота сгорания топлива

- Энергетическая ценность топлива, в первую очередь, определяется его теплотой сгорания или теплотворностью Q
- **Теплота сгорания** - количество тепла, которое выделяется при полном сгорании единицы массы (для твёрдых и жидких топлив) или единицы объема (для газообразных топлив) топлива [кДж/кг , кДж/м^3 , ккал/кг или ккал/м^3]
- Теплотворность различных видов топлива колеблется в широких пределах — от 4000 до 40 000 кДж/кг
- В зависимости от агрегатного состояния влаги в продуктах сгорания различают **высшую** и **низшую теплоту сгорания**
- Влага в продуктах сгорания топлива образуется при горении горючей массы водорода H , а также при испарении начальной влаги топлива W . В продукты сгорания попадает также и влага воздуха, использованного для горения. Однако ее обычно не учитывают.



- При содержании в топливе водорода с горючей массой H кг при горении образуется $9H$ кг влаги. При этом в продуктах сгорания содержится $(9H + W)$ кг влаги. На превращение 1 кг влаги в парообразное состояние затрачивается около 2500 кДж теплоты
- Теплота, затраченная на испарение влаги, не будет использована, если конденсации паров воды не произойдет. В этом случае получим низшую теплоту сгорания
- **Низшая теплота сгорания** Q_n — это теплота сгорания топлива, вычисленная при условии, что после его сгорания вода находится в виде пара. Низшую теплоту сгорания учитывают для подсчета потребности в топливе и его стоимости, при составлении тепловых балансов и определении коэффициентов полезного действия установок, использующих топливо
- **Высшая теплота сгорания** Q_v — это теплота сгорания топлива, вычисленная при условии, что вся вода, образующаяся при сгорании, конденсируется в жидкость и охлаждается до первоначальной температуры, с которой топливо поступает на горение

$$Q_n = Q_v - 25(H+W)$$

Определение теплоты сгорания топлива

- Теплоту сгорания определяют двумя методами: экспериментальным и расчетным
- **Экспериментальный метод:** для определения теплоты сгорания применяют калориметры (калориметрическую бомбу)
- **Методика определения:** навеску топлива сжигают в калориметре, теплота, выделяющаяся при горении топлива, поглощается водой. Зная массу воды, по изменению ее температуры можно вычислить теплоту сгорания

- **Расчетный метод:** теплоту сгорания рассчитывают по формуле Д. И. Менделеева:

$$Q_H^P = 339,3C_p + 1256H_p - 109(O_p - S_p) - 25,14(9H + W_p) \text{ кДж/кг},$$

где C_p , H_p , O_p , S_p и W_p соответственно содержание углерода, водорода, кислорода, серы и влаги в рабочем топливе, %.

- **Условное топливо** – это понятие, которое используют для нормирования и учета расхода топлива
- Условным принято называть топливо с низшей теплотой сгорания (29 310 кДж/кг или 7000 ккал/кг) Для перевода любого топлива в условное следует разделить его теплоту сгорания на 29 310 кДж/кг, т. е. найти эквивалент данного топлива: например, для мазута он равен 1,37-1,43, для природных газов – 1,2-1,4.

Газообразное топливо (1)

- Газообразное топливо состоит из горючих и негорючих компонентов
- К **горючим компонентам** относятся: окись углерода (CO), водород (H₂), углеводороды (C_mH_n), сероводород (H₂S).
- К **негорючим компонентам** относятся: углекислый газ (CO₂), азот (N₂), сернистый газ (SO₂), водяной пар (H₂O), кислород (O₂). Это балластные составляющие. Их присутствие в топливе приводит к понижению температуры его горения. Содержание в топливе более 0,5% свободного кислорода считается опасным по условиям техники безопасности
- Различают сухой и влажный газ (рабочий газ). В первом случае при каждом компоненте ставят значок “с”, а во втором “в” или “р”
- Теплоту сгорания газообразного топлива подсчитывают по компонентному составу
- Теплота сгорания газообразного топлива равна сумме теплот горения газообразных горючих составляющих (кДж/м³):

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 127,7\text{CO} + 108\text{H}_2 + 356\text{CH}_4 + 590\text{C}_2\text{H}_4 + 636\text{C}_2\text{H}_6 + 918\text{C}_3\text{H}_8 + 1185\text{C}_4\text{H}_{10} + 234\text{H}_2\text{S}$$

Газообразное топливо (2)

- Высшую и низшую теплоту сгорания газообразного топлива с высоким содержанием метана можно посчитать по формулам:

$$Q_B = 30,2CO + 30,5H_2 + 95CH_4 + 166C_2H_6 + 237C_3H_8 + 307C_4H_{10} + 377C_5H_{12} + \\ + 150C_2H_4 + 220C_3H_6 + 290C_4H_8 + 360C_5H_{10} + + 350C_6H_6 + 61H_2S \text{ (ккал/м}^3\text{)}$$

$$Q_H = 30,2CO + 25,8H_2 + 85,5CH_4 + 152C_2H_6 + 218C_3H_8 + 283C_4H_{10} + 349C_5H_{12} + \\ + 141C_2H_4 + 205C_3H_6 + 271C_4H_8 + 337C_5H_{10} + 335C_6H_6 + 56H_2S \text{ (ккал/м}^3\text{)}$$

Жаропроизводительность топлива

- **Жаропроизводительностью** называется максимально возможная температура горения, которая может быть достигнута при полном сгорании топлива без избытка воздуха и без подогрева топлива и воздуха в условиях, когда все выделяющееся при сгорании тепло полностью расходуется на нагрев образующихся продуктов сгорания (адиабатические условия)
- Чем выше жаропроизводительность топлива, тем выше качество тепловой энергии, выделяющейся при его сжигании
- Жаропроизводительность топлива - очень важное физическое понятие, так как она позволяет оценить, насколько эффективно можно использовать данное топливо для высокотемпературного процесса.
- При сгорании дров максимальная температура составляет около 1600°C, каменного угля – 2050°C, бензина – 2100°C