

**Топливо трубчатых печей.
Расчёт процесса горения
топлива**

Общие сведения о топливе

Топливо — это органические вещества, сжигаемые с целью получения теплоты.

Главными горючими компонентами топлива являются углерод и водород. Кроме них, в состав топлива могут входить сера, азот, кислород и даже молибден. Все они нежелательны.

В химической технологии используются жидкое топливо мазут и газ различного происхождения. Сразу следует сказать, что жидкое топливо с экологической точки зрения является худшим вариантом, так как в мазуте концентрируются все вредные примеси и, самое главное, соединения **серы**.

При сгорании соединений серы в атмосферу поступает диоксид серы SO_2 , который наносит большой вред окружающей среде.

Кроме того, перед сжиганием мазута его необходимо **распылять** с помощью водяного **форсуночного пара**. Это дополнительные затраты и определённое усложнение технологий.

Для обеспечения процесса горения требуется кислород, который берётся из воздуха. При горении протекают реакции окисления, в результате которых образуются **продукты сгорания (ПС) CO_2 , H_2O и балласт азот.**

Почему азот является балластом? Да потому, что он в реакциях горения не участвует, но забирает выделившуюся теплоту на свой нагрев до очень высокой температуры. Азот – **двухатомный** газ. А двухатомные газы ни излучают, ни поглощают в инфракрасной области спектра (диатермичны!). Кроме того, при высокой температуре азот сам окисляется.

Расчёт процесса горения топлива

Этот расчёт состоит из следующих этапов.

1. Нахождение **низшей** теплоты сгорания топлива.

2. Расчёт **стехиометрического** (теоретического) и фактического расходов воздуха на горение.

3. Определение расхода и состава продуктов сгорания.

4. Нахождение энтальпии продуктов сгорания при различных температурах и построение графика зависимости $H = f(T)$

1. Нахождение низшей теплоты сгорания топлива

**У топлива различают две теплоты сгорания –
высшую и низшую.**

**Они отличаются на величину теплоты
конденсации водяного пара, который
образуется при сгорании топлива.**

Низшая теплота сгорания топлива – количество теплоты, выделяющееся при сгорании единицы массы (объёма) топлива, при условии, что вода, образующаяся при сгорании, будет находиться в парообразном состоянии.

Обозначается Q_p^H

(Знать!)

Высшая теплота сгорания топлива – количество теплоты, выделяющееся при сгорании единицы массы (объёма) топлива, при условии, что вода, образующаяся при сгорании, будет находиться в жидком состоянии.

Обозначается Q_p^B

(знать!)

При сгорании топлива образуются как минимум два оксида — водорода (H_2O) и углерода CO_2 .

Водяной пар является ценным теплоносителем, о чём мы говорили ранее.

При его конденсации выделяется много теплоты.

Поэтому было бы заманчиво перевести
водяной пар в жидкую фазу и получить
дополнительную теплоту. Но для этого нужно
продукты сгорания охладить до температуры
конденсации, которую называют
температурой точки росы.

Температура точки росы – это та температура, охлаждаясь до которой газ становится насыщен водяным паром.

(знать!)

На практике этот приём не используется (кстати, почему?). Поэтому в расчёты закладывается низшая теплота сгорания топлива.

Нетрудно оценить потери энергии с улетающим в трубу водяным паром. При сжигании 1 кг газообразного топлива образуется примерно 2 кг водяного пара. Если бы удалось его сконденсировать, то получили бы дополнительно примерно 4500 кДж на 1 кг топлива. Вполне приличная величина. Но мы эту энергию теряем.

Величину низшей теплоты сгорания можно отнести к одному кубическому метру топлива, а можно к одному килограмму. Поэтому размерность будет или МДж/м³ или МДж/кг.

Величины теплот сгорания некоторых газов

Наименование газа	Q_H^p	
	МДж/м ³	МДж/кг
Метан	35,83	50,08
Этан	63,77	47,55
Пропан	91,27	46,42
Бутан	118,68	45,38
Пентан	145,12	45,42
Ацетилен	56,04	120
Водород	10,78	120,1
Оксид углерода	12,63	10,12
Сероводород	23,38	16,59

Расчёт низшей теплоты сгорания топлива

Если в качестве топлива будет использоваться газ, то нужно знать **химический состав** смеси – сколько там метана, этана и т.д.

Если же предполагается сжигать **жидкое топливо**, то нужно знать или его **элементарный состав**, или относительную плотность ρ_{15}^{15} , по которой находим состав.

Если известен химический состав газа, то теплота сгорания находится по формуле

$$Q_p^H = \sum Q_{p,i}^H y_i,$$

где $Q_{p,i}^H, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$ - теплота сгорания i -го компонента газа, y_i - объёмная доля этого компонента.

Жидкое топливо. Содержание водорода находится по формуле

$$H = 26 - 0,015\rho_{15}^{15}, \% \text{ масс.}$$

Низшая теплота сгорания вычисляется эмпирической по формуле

$$Q_p^H = 51916 - 0,879 \cdot 10^{-3} \left(\rho_{15}^{15} \right)^2 - 211,2H, \text{ кДж/кг.}$$

Расчёт количества воздуха на горение

Чисто теоретически, зная состав топлива, можно рассчитать количество воздуха, необходимое для обеспечения процесса горения. Этот расход называется **стехиометрическим** и измеряется в кг/кг топлива или $\text{м}^3/\text{кг}$ топлива.

Стехиометрический объём воздуха на горение – количество воздуха, необходимое для сжигания единицы объёма или массы топлива, вычисляемое по его химическому составу.

(знать!)

Однако на практике работать с теоретическим расходом не удаётся – мы не успеваем хорошо смешать в горелке воздух и топливо. Происходит недожог топлива, пламя коптит.



Поэтому процесс горения организуется с некоторым избытком воздуха.

Этот избыток количественно оценивается коэффициентом избытка воздуха α ,

$$\alpha = \frac{V_{\text{воз.факт}}}{V_{\text{воз.теор}}}$$

где $V_{\text{воз}}$ — объёмный расход воздуха, фактический и теоретический.

**Коэффициент избытка воздуха –
отношение фактического расхода воздуха
на горение к стехиометрическому.**

(знать!)

Для факельных печей α лежит в диапазоне
1,2-1,4, а для печей беспламенного горения -
1,02-1,05.

Повышенный расход воздуха — это плохо.

Во-первых, в продуктах сгорания появляется не вступивший в реакцию кислород, да ещё при высокой температуре. А кислород — сильнейший окислитель.

Во-вторых, в печь вводиться дополнительное количество азота, на нагрев которого расходуется теплота.

Расчёт количества дымовых газов

Это следующий пункт расчёта процесса горения. Его цель — установить количество и состав продуктов сгорания. Вот примерный состав ПС (из курсовой работы студента)

Характеристика продуктов сгорания 1 кг топлива

	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	Итого
Масса компонента, кг	2.61	2.09	13.16	0.19	18.06
Массовая доля компонента	0.145	0.116	0.729	0.011	1.00
Объём компонента, м ³	5.13	1.68	16.45	0.27	23.53
Объёмная доля компонента	0.218	0.071	0.699	0.011	1.00

Параметры сгорания некоторых газов

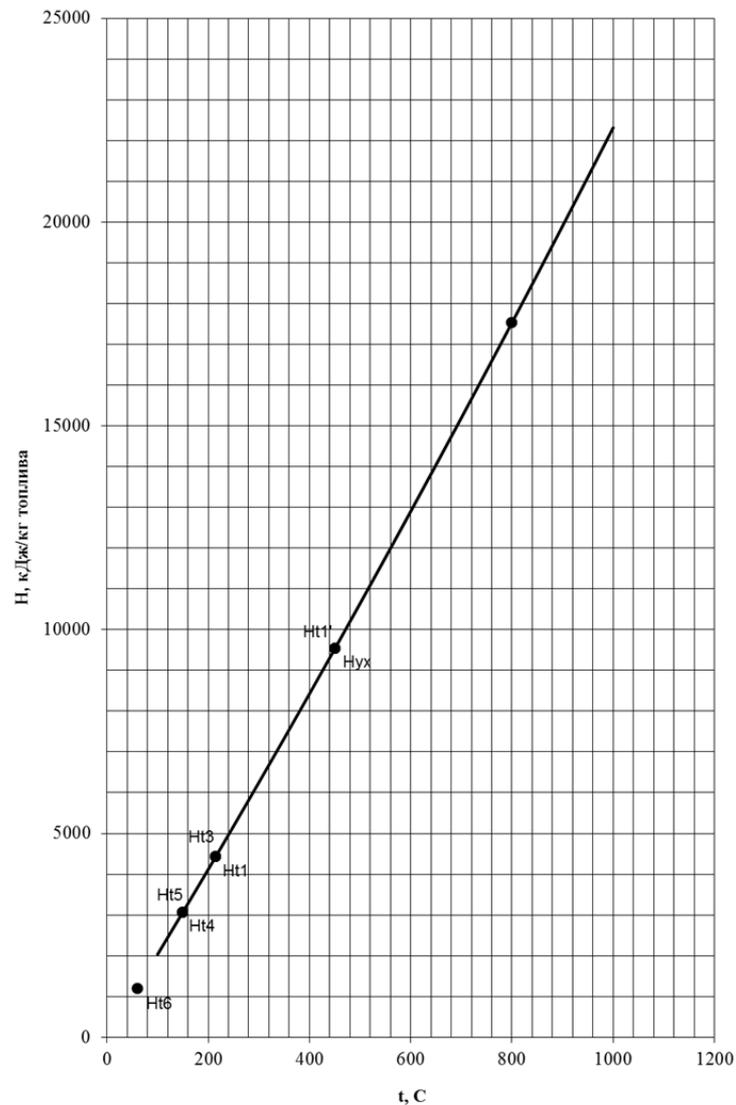
Наименование газа	Q_H^p		Теорет. колич-во воздуха для сгорания, м ³ /м ³	Теорет колич-во продуктов горения м ³ /м ³
	МДж/м ³	МДж/кг		
Метан	35,83	50,08	9,52	10,52
Этан	63,77	47,55	16,66	18,16
Пропан	91,27	46,42	23,80	25,80
Бутан	118,68	45,38	30,94	33,44
Пентан	145,12	45,42	30,08	41,08
Ацетилен	56,04	120	11,90	12,40
Водород	10,78	120,1	2,38	2,88
Оксид углерода	12,63	10,12	2,38	2,88
Сероводород	23,38	16,59	7,14	7,64

Расчёт энтальпии продуктов сгорания

Цель этого пункта — получить зависимость энтальпии дымовых газов от температуры.

Эта зависимость будет использоваться при расчёте камер радиации и конвекции трубчатой печи.

График зависимости энтальпии от температуры



На этом заканчивается расчёт процесса горения и начинается следующий этап – составление теплового баланса печи, определение КПД печи и топки и расхода топлива.

Тепловой баланс печи

В общем случае тепло, выделяющееся в печи при сгорании топлива, тратится на:

1. нагрев сырья;
2. его частичное или полное испарение;
3. компенсацию эндотермического эффекта реакции, если она протекает.

Получаем, что полезная тепловая нагрузка равна

$$Q_{\text{полезн}} = Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{реакц}} \cdot$$

Расчёт целесообразно вести не в кВт, а в кДж/час – так удобнее.

Цель теплового баланса – найти часовой расход топлива на горение V , кг/час или

$\text{м}^3/\text{час}$. Уравнение теплового баланса

можно записать так

$$Q_{\text{полезн}} = Q_{\text{р}}^{\text{Н}} V \eta_{\text{печи}}$$

V – часовой расход топлива на горение,

$\eta_{\text{печи}}$ – КПД печи.

Теперь можно найти часовой расход топлива на горение V , кг/час или м³/час.

Зная полезную тепловую нагрузку, низшую теплоту сгорания топлива и КПД печи, можно вычислить расход топлива

$$V = \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{р}}^{\text{н}} \cdot \eta_{\text{печи}}}$$