ТОПЛИВО И РАСЧЕТЫ ЕГО ГОРЕНИЯ

Необходимость проведения расчетов по горению топлива

Большинство современных высокотемпературных технологий связаны со сжиганием топлив, состав и свойства которых оказывают большое влияние на получение качественной продукции и технико–экономических показателей соответствующих технологических процессов.

Проектирование топливных промышленных печей и других тепловых агрегатов начинается с определения характеристик процесса горения топлива–теплоты сгорания топлива, расхода воздуха на горение, количества и состава продуктов горения, а также температур горения топлива. Полученные характеристики топлива являются базовыми для составления тепловых балансов промышленных тепловых установок, оптимизации режимных и конструктивных параметров, выбора и расчета вентиляторов, дымососов и дымовых труб.

Топливо, его виды и основные характеристики

Топливом называют горючее вещество, которое при окислении (горении) выделяет значительное количество теплоты и используется как источник получения энергии.

Оно должно удовлетворять ряду требований.

- 1.При его сжигании должно выделяться значительное количество теплоты.
- 2. Запасы топлива должны быть достаточно большими, а добыча его относительно дешевой.
- 3.Процесс горения топлива должен поддаваться регулированию.
- 4.Образующиеся продукты горения топлива должны быть газообразными и безвредными для окружающих.

Принципы топливной политики

- 1. Планомерный рост добычи всех видов топлив.
- 2. Преимущественное развитие добычи наиболее экономичных видов топлива–нефти и природного газа.
- 3. Механизация и автоматизация всех процессов добычи и переработки топлива.
- 4. Рациональное сжигание топлива в промышленных печах и других установках.
- 5. Проведение режима экономии и использование местных видов топлив без перевозки их на большие расстояния.

Классификация и применение топлив

Классификация различных видов топлива в зависимости от их агрегатного состояния и происхождения приведена в таблице.

Агрегатное состояние	Происхождение видов топлива	
	Естественное	Искусственное
Гозообразное	Природный газ, попутный газ	Коксовый, доменный, конвертерный, генераторный газы, газы ферросплавного производства
Жидкое	Нефть	Бензин, керосин, реактивное топливо, дизельное топливо, мазут, смола
Твердое	Древесина, торф, бурые угли, каменные угли, антрациты, горючие сланцы	Кокс, полукокс, древесный уголь, термоантрацит, пылеугольное топливо, брикеты

Химический состав жидких и твердых видов топлива

- Эти топлива представляют собой вещества органического происхождения. Оценка их качества производится по элементарному составу, т.е. по содержанию в них C, H, O, N и S.
- *Углерод C* – основной горючий компонент этих топлив.
- *Водород H* – второй, наиболее важный горючий элемент топлива.
- *Кислород O* –как элемент топлива относится к балластным составляющим.
- *Азот N* – балласт топлива.
- *Сера S* –третий горючий компонент топлива. Ее наличие в топливе нежелательно, так как продукты сгорания топлива, содержащее сернистые соединения, взаимоденйствуют с расплавляемыми или нагреваемыми металлами и ухудшают их качество.
- *Зола A и влага W* – нежелательная составляющая топлива.

Виды анализов состава жидких и твердых топлив

- Различают два вида анализов: технический и элементарный. Первый доступен заводским, а второй– специальным химических лабораториям.
- При техническом анализе определяют содержание в топливе влаги W, золы A, серы S, выход летучих Л, запасы теплоты в топливе Q и его специфические свойства: вязкость, температуры застывания, вспышки и т.д. При элементарном определяют содержание в топливе C, H, O, N и S.

Различные массы жидкого и твердого топлива

- Элементарный состав жидкого и твердого видов топлива может быть отнесен к различной его массе.
- ***Органическая масса*** выражается уравнением:

$$C^o + H^o + O^o + N^o = 100\%.$$

- ***Горючая масса*** определяет ценность топлива:

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

- ***Сухая масса*** – масса топлива, освобожденная от влаги топлива:

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

- ***Рабочая масса*** (рабочий состав)– масса топлива, в состав которого входят все компоненты, включая золу и влагу:

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

- Теплотехнические расчеты обычно выполняют на рабочую массу топлива. Часто возникает необходимость в пересчете состава одной массы топлива на другую. Для этого используют коэффициенты пересчета.

Коэффициенты для пересчета состава топлива из одной массы в другую

Заданная масса топлива	Масса топлива, на которую ведется пересчет			
	Органическая	Горючая	Сухая	Рабочая
Органическая	1	$\frac{100-S^{Г}}{100}$	$\frac{100-(S^{C}+A^{C})}{100}$	$\frac{100-(S^{P}+A^{P}+W^{P})}{100}$
Горючая	$\frac{100}{100-S^{Г}}$	1	$\frac{100-A^{C}}{100}$	$\frac{100-(A^{P}+W^{P})}{100}$
Сухая	$\frac{100}{100-(S^{C}+A^{C})}$	$\frac{100}{100-A^{C}}$	1	$\frac{100-W^{P}}{100}$
Рабочая	$\frac{100}{100-(S^{P}+A^{P}+W^{P})}$	$\frac{100}{100-(A^{P}+W^{P})}$	$\frac{100}{100-W^{P}}$	1

Химический состав газообразных видов топлива

- Газообразные виды топлива представляют собой смесь газов: водорода H_2, метана CH_4, этилена C_2H_4, этана C_2H_6, пропана C_3H_8, бутана C_4H_{10}, пентана C_5H_{12}, тяжелых углеводородов C_mH_n, оксида углерода CO и сероводорода H_2S.
- К негорючим составляющим относят водяной пар H_2O, азот N_2, кислород O_2, диоксид углерода CO_2.

Химический состав газообразного топлива определяют экспериментально с помощью приборов – газоанализаторов в объемных процентах на сухую массу (сухой газ), а влажность газа оценивается по абсолютной влажности ($g_{H_2O}^{С.Г}$), в г/м^3. Объемное содержание в газе водяных паров определяют из выражения:

$$H_2O = \frac{g_{H_2O}^{С.Г} 100}{803{,}6 + g_{H_2O}^{С.Г}} \% ,$$

где – $g_{H_2O}^{С.Г}$ массовое содержание в газе водяных паров, условно отнесенных к сухому газу, г/м^3; 803,6 – масса 1 м^3 водяного пара, г/м^3.

По известному объему водяных паров вычисляют состав влажного газа по формуле:

$$x^{В.Г} = k x^{С.Г},$$

где $x^{С.Г}$ и $x^{В.Г}$ – содержание какой-либо составляющей топлива во влажном и сухом газе, %; k – коэффициент пересчета, равный k=(100−H_2O)/100.

Тепловые характеристики органических видов топлива

- *Теплота сгорания топлива.* Представляет собой количество теплоты Q, кДж, которое выделяется при полном сгорании 1 кг жидкого или твердого топлива или 1 $м^3$ газообразного топлива. Размерность – кДж/кг, кДж/$м^3$.
- В зависимости от степени охлаждения продуктов горения и агрегатного состояния в них влаги различают высшую и низшую теплоту сгорания топлива. Если продукты горения имеют температуру ниже 100 ^oC, то находящиеся в них водяные пары сконденсируются и выделят дополнительное количество теплоты. В этом случае получим высшую теплоту сгорания топлива $Q_в$. Если же в продуктах горения влага остается в виде водяного пара, то получим низшую теплоту сгорания Q_H. Следовательно, разницу между высшей и низшей теплотой сгорания будет определять величина скрытой теплоты парообразования.

- Влага в продуктах сгорания топлива образуется при горении водорода H^P, а также при испарении начальной влаги топлива W^P. При содержании в топливе H^P кг водорода образуется при сгорании 9 H^P кг влаги. Тогда в продуктах сгорания будет содержаться (9 H^P+ W^P) кг влаги. При конденсации водяного пара выделяется теплота в количестве 2500 кДж/ кг.
- Тогда связь между высшей и низшей теплотой сгорания определится уравнением:

$$Q_H^P = Q_B^P - 25(9H^P + W^P)\ кДж/кг.$$

Методы определения теплоты сгорания топлива

Их два: *экспериментальный и расчетный*.

При экспериментальном методе заданную навеску топлива сжигают в приборах–калориметрах. Выделяющуюся при горении топлива теплоту улавливают водой. Зная массу воды и изменение ее температуры, можно вычислить количество усвоенной теплоты.

Второй метод – расчетный более быстрый, но требует данных элементарного анализа.

- Для жидкого и твердого топлива используют формулу Д.И.Менделеева:

$$Q_H^P = 339C^p + 1030H^p - 109(O^P - S^P) - 25W^p.$$

- Для газообразного топлива формула имеет вид:

$$Q_H^P = 127CO + 108H_2 + 358CH_4 + 590C_2H_4 + 555C_2H_2 + 636C_2H_6 + 913C_3H_8 + 1185C_4H_{10} + 1465C_5H_{12} + 234H_2S \text{ кДж/м}^3.$$

Условное топливо

- Для сравнения показателей тепловой работы тепловых агрегатов, применяющих различные виды топлива, введено понятие условного топлива. В качестве условного топлива рассматривают абстрактное твердое топливо, теплота сгорания которого равна $Q_{н\,у.т}$ *= 29310 кДж/кг (7000 ккал/кг).* Чтобы перевести в условное любое топливо, необходимо его теплоту сгорания разделить *на 29310*, т.е. найти тепловой эквивалент топлива $Э_m$.

$$Э_m = Q_H^P / 29310.$$

- Он отражает способность единицы реального топлива выделять тепловую энергию при полном его сгорании по отношению к условному топливу. Размерность теплового эквивалента для газообразного топлива – кг у.т/м^3, а для жидкого и твердого топлив – кг у.т/кг.

Характеристики окислителя. Коэффициент избытка воздуха

- Для горения топлива в качестве окислителя используется кислород. Он поступает с атмосферным воздухом, состав которого по объему на сухой воздух в технических расчетах принимают: кислорода– 21% и азота – 79%. Для атмосферного воздуха на одну объемную единицу кислорода, поступающего для горения, вводится К=N_2/O_2=79/21=3,76 объемных единиц азота.
- Теоретический расход воздуха, обозначают – L_o, м^3/кг, м^3 / м^3.
- Практический расход воздуха, необходимый для полного горения топлива в реальных условиях всегда превышает теоретический. Его обозначают – L_α, м^3/кг, м^3 / м^3.
- Отношение практического расхода воздуха к теоретически необходимому называют *коэффициентом избытка воздуха*.

$$\alpha = L_\alpha / L_o$$

Для мазута $\alpha =$ 1,15–1,35, для газа, $\alpha =$ 1,05–1,15.

РАСЧЕТЫ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА

Расчеты процесса горения топлива

Производят с целью определения теплоты сгорания топлива, расхода воздуха, количества и состава продуктов горения, а также температур горения. Исходные данные для расчетов – вид топлива, конструкция топливосжигающего устройства, влияющая на выбор величины коэффициента избытка воздуха и допустимого недожога топлива, а также температуры подогрева воздуха и топлива.

Аналитический метод расчета процесса горения жидкого и твердого топлива Определение расхода кислорода и воздуха на горение

Полное горение жидких и твердых топлив при использовании сухого атмосферного воздуха предполагает окисление горючих компонентов по следующим реакциям:

$$C + O_2 = CO_2;$$

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O;$$

$$S + O_2 = SO_2.$$

Из написанных реакций следует, что на окисление 1 кг углерода, водорода и серы потребуется кислорода:

22,4:12=1,867 м^3; 22,4:4=5,6 м^3; 22,4:32=0,7 м^3.

Здесь 22,4 – объем моля кислорода, м^3; 12; 4; 32– соответственно масса одного моля углерода, двух молей водорода и одного моля серы, кг.

Кислород топлива O^P может участвовать в реакциях окисления. При массе одного моля O_2, равной 32 кг, объем 1 кг O_2 составит 22,4:32=0,7 м^3.

Тогда теоретический расход кислорода для полного сгорания 1 кг жидкого или твердого топлива составит:

$$V_{O_2} = 0{,}01[1{,}867C^P + 5{,}6H^P + 0{,}7(S^P - O^P)] \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Теоретический расход сухого воздуха можно определить из выражения:

$$L_o = (1 + K)V_{O_2} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Если для горения используется влажный воздух, то его объем можно найти из уравнения:

$$1 + \frac{22{,}4g_{H_2O}^{C.B}}{18 \cdot 1000} = 1 + 0{,}00124g_{H_2O}^{C.B} \text{ м}^3,$$

где $g_{H_2O}^{C.B}$ – содержание водяного пара, условно отнесенное к сухому воздуху, г/ м^3 ; 18– молекулярная масса водяного пара, кг;

1000–переводной коэффициент из кг в г.

Теоретический расход влажного воздуха будет равен:

$$L_o^B = (1 + 0{,}00124 g_{H_2 0}^{C.B}) L_0 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

В практических условиях, т.е. при $\alpha > 1{,}0$:

расход сухого воздуха

$$L_\alpha = \alpha L_o \text{ м}^3/\text{кг},$$

расход влажного воздуха

$$L_\alpha^B = \alpha L_0^B \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Определение выхода и состава продуктов горения жидкого и твердого топлива

Продукты полного горения жидкого и твердого топлива при состоят из CO_2, H_2O, SO_2 и N_2. Если для распыления мазута применяется пар, то он также перейдет в продукты горения, увеличивая в них содержание водяного пара.

При сгорании 1 кг углерода образуется CO_2 в количестве 22,4 : 12=1,867 м^3.

$$V^{CO_2} = 0{,}01 \cdot 1{,}867 C^P \text{ м}^3/\text{кг},$$

По аналогии при сгорании 1 кг серы образуется SO_2 в количестве 22,4 :32=0,7 м^3.

$$V_o^{SO_2} = 0{,}01 \cdot 0{,}7 S^P \text{ м}^3/\text{кг}.$$

При сгорании 1 кг водорода образуется влаги в количестве 22,4 : 2=11,2 м^3.

В топливе содержится W^Pкг влаги с молекулярной массой 18. Тогда на 1 кг влаги образуется пара 22,4 : 18=1,244 м^3.

На распыливание 1 кг мазута расходуется 1,244 м^3 пара, а на распыливание 100 кг мазута – $W_{расп}$ кг.

Если в воздухе содержится $g_{H_2O}^{C.B}$ г/м^3 пара, то количество влаги, вносимое с воздухом составит:

$$\frac{22{,}4 g_{H_2O}^{C.B}}{18 \cdot 1000}(1+K)V_{O_2} = 0{,}00124 g_{H_2O}^{C.B}(1+K)V_{O_2} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Общий объем водяных паров в продуктах полного сгорания будет равен:

$$V_0^{H_2O} = 0{,}01[11{,}2H^P + 1{,}244(W^P + W_{расп})] + 0{,}00124 g_{H_2O}^{C.B}(1+K)V_{O_2} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Объем азота в продуктах сгорания складывается из азота, содержащегося в топливе (N^P) и азота поступающего с атмосферным воздухом.

1 кг азота соответствует его объем 22,4 :28=0,8 м^3. Количество азота воздуха составит $0{,}79L_0$.

Тогда

$$V_o^{N_2} = 0{,}01 \cdot 0{,}8 N^P + 0{,}79 L_0 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Суммарный объем продуктов полного сгорания будет равен:

$$V_o = V_o^{CO_2} + V_o^{SO_2} + V_o^{H_2O} + V_o^{N_2}.$$

Объем влажных продуктов сгорания при $\alpha > 1{,}0$ увеличится в результате дополнительного введения избыточного кислорода, азота и водяного пара.

$$V_{\alpha}^{O_2} = (\alpha - 1)V_{O_2}$$ м³/кг.

$$V_{\alpha}^{N_2} = K(\alpha - 1)V_{O_2}$$ м³/кг.

$$V_{\alpha}^{H_2O} = 0{,}00124 g_{H_2O}^{C.B}(\alpha - 1)V_{O_2}(1 + K)$$ м³/кг.

Тогда

$$V_{\alpha}^{B} = V_{o}^{B} + V_{\alpha}^{O_2} + V_{\alpha}^{N_2} + V_{\alpha}^{H_2O}$$ м³/кг.

Аналитический метод расчета процесса горения газообразного топлива

Определение расхода кислорода и воздуха на горение

Состав влажного газа может быть в общем случае представлен следующим образом:

$$CO_2^B + SO_2^B + CO^B + H_2{}^B + CH_4^B + H_2S^B + C_mH_n^B + N_2^B + O_2^B + H_2O^B = 100\%.$$

Реакции полного горения газа этого состава могут быть представлены уравнениями:

$$CO^B + 0{,}5O_2 = CO_2; \qquad H_2^B + 0{,}5O_2 = H_2O;$$

$$CH_4^B + 2{,}0O_2 = CO_2 + 2H_2O; \quad H_2S^B + 1{,}5O_2 = H_2O + SO_2;$$

$$C_mH_n^B + \left(m + \frac{n}{4}\right)O_2 = mCO_2 + \frac{n}{2}H_2O.$$

В данном случае удобнее воспользоваться объемным соотношением горючего и кислорода.

Тогда теоретически необходимый объем кислорода для полного горения единицы газообразного топлива (α=1,0) определится уравнением:

$$V_{O_2} = 0{,}01\left[0{,}5(CO^B + H_2^B + 3H_2S_2^B + 4CH_4^B) + \left(m + \frac{n}{4}\right)\sum C_m H_n^B - O_2^B\right] \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Теоретические расходы сухого и влажного воздуха при α = 1,0, а также их расходы в практических условиях при α > 1,0 могут быть определены по тем же формулам, что и для жидкого и твердого топлива.

Определение выхода и состава продуктов горения газообразного топлива

Выход продуктов горения V_0 представляет собой сумму оксидов CO_2, SO_2, водяного пара –H_2O. Азот поступает в продукты горения вместе с кислородом воздуха, а также и как компонент газообразного топлива.

$$V_O = V_O^{CO_2} + V_O^{SO_2} + V_O^{H_2O} + V_O^{N_2}$$

$$V_O^{CO_2} = 0{,}01 \cdot \left(CO_2^B + CO^B + CH_4^B + mC_mH_n^B\right).$$

$$V_O^{SO_2} = 0{,}01 \cdot \left(SO_2^B + H_2S^B\right).$$

$$V_O^{H_2O} = 0{,}01\left(H_2O^B + H_2^B + H_2S^B + 2CH_4^B + \frac{n}{2}C_mH_n^B\right) + 0{,}001244 g_{H_2O}^{C.B} L_o.$$

$$V_O^{N_2} = 0{,}01N_2^B + KV_{O_2}^{mon}.$$

Состав продуктов горения для этих условий (α = 1,0) будет следующим:

$$\%CO_2 = \frac{V_O^{CO_2}}{V_O}100; \quad \%SO_2 = \frac{V_O^{SO_2}}{V_O}100;$$

$$\%H_2O = \frac{V_O^{H_2O}}{V_O}100; \quad \%N_2 = \frac{V_O^{N_2}}{V_O}100.$$

Для практических условий горения при α >1,0 V_α возрастет лишь на величину объема избыточного влажного воздуха, при этом объемы CO_2 и SO_2 сохраняются неизменными.

$$V_{\alpha}^{CO_2} = V_{O}^{CO_2}; \quad V_{\alpha}^{SO_2} = V_{O}^{SO_2};$$

$$V_{\alpha}^{H_2O} = V_{O}^{H_2O} + (\alpha - 1{,}0)0{,}00124 g_{H_2O}^{C.B} L_0;$$

$$V_{\alpha}^{N_2} = V_{O}^{N_2} + (\alpha - 1{,}0) K V_{O_2}^{топ};$$

$$V_{изб}^{O_2} = (\alpha - 1{,}0) V_{O_2}^{топ}.$$

Состав продуктов горения для $\alpha > 1{,}0$ можно определить по формуле:

$$\%x_i = \frac{V_{\alpha}^{i}}{V_{\alpha}} 100,$$

где i относится к тому или иному компоненту продуктов горения.

Приближенный метод расчета процесса горения топлива

Часто при решении инженерных задач не требуется особой точности и всех тех данных, которые обеспечиваются аналитическими расчетами процесса горения топлива, а достаточно знать величины V_α, L_α и $t_{гор}$. Из большого количества формул для определения величин L_0, ΔV и V_α наибольшее практическое применение нашли формулы С.Г. Тройба:

$$L_0 = 0{,}001 l_1 Q_H^P + l_2 W^P - \Delta L;$$

$$\Delta V = V_o - L_o = V_\alpha - L_\alpha = S_1 - 0{,}001 S_2 Q_H^P - 0{,}0124(W^P - W_{гр})$$

Здесь l_1, l_2 $S_1, S_2, \Delta L, W_{гр}$ - поправочные коэффициенты.

Значения поправочных коэффициентов для расчета L_0 и ΔV

Топливо	l_1	l_2	ΔL	S_1	S_2	$W_{гр}$
Кокс	0,263	0,007	0	0,40	0,0086	12,0
Мазут	0,263	0,007	006	-0,048	-0,0287	2,0
Природный газ:						
Q_H^P >35800 кДж/м^3	0,264	0	0,0	1,0	0	W^P
Q_H^P <35800 кДж/м^3	0,264	0	0	0,38	-0,018	W^P
Доменный газ	0,191	0	0	0,97	0,031	W^P
Коксовый газ:						
Q_H^P <16750 кДж/м^3	0,257	0	0,25	0,44	-0,014	W^P
Q_H^P >16750 кДж/м^3	0,257	0	0,25	1,08	0,0234	W^P
Каменные угли A^c=20–30%	0,263	0,007	0,06	0,97	0,0263	W^P
Антрацит	0,263	0,007	0	0,40	0,0086	0

Расчет температур горения топлива

Производится на основе анализа и решения уравнения теплового баланса процесса горения топлива, который протекает в какой – либо топке или тепловом агрегате. Уравнение теплового баланса включает две части – *приходную и расходную* и имеет вид.

$$Q_H^P + Q_B + Q_T + Q_M = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \pm \Delta Q.$$

Размерность слагаемых в уравнении кДж/м^3 или кДж/кг в зависимости от вида топлива.

Приходная часть теплового баланса:

Q_H^P – тепловая энергия химического горения топлива;

Q_B – тепловая энергия подогретого воздуха, определяется

из выражения $Q_B = L_\alpha C_B t_B;$

Q_T – тепловая энергия подогретого топлива, равная

$$Q_T = C_T t_T;$$

Q_M – тепловая энергия, вносимая подогретыми материалами и теплота экзотермических реакций.

Расходная часть теплового баланса:

Q_1 – тепловая энергия, затраченная на нагрев, плавление материалов;

Q_2 – энергия отходящих продуктов горения, определяемая из уравнения

$$Q_2 = V_\alpha C_2 t_2;$$

Q_3 – потери тепловой энергии от химической неполноты горения; принимают для мазута и газов равной 2% от Q_H^P;

Q_4 – потери тепловой энергии от механической неполноты горения;

Q_5 – потери тепловой энергии в окружающую среду;

Q_6 – потери тепловой энергии на разогрев кладки рабочего пространства теплового агрегата;

ΔQ – невязка теплового баланса.

Принимаем $Q_M = Q_1 = Q_5 = Q_6 = \Delta Q = 0.$

Тогда можно записать:

$$Q_2 = V_\alpha C_2 t_2 = Q_H^P + Q_B + Q_T - (Q_3 + Q_4);$$

$$C_2 t_2 = [Q_H^P + Q_B + Q_T - (Q_3 + Q_4)] / V_\alpha .$$

Величину теплосодержания $C_2 t_2$ обозначают $i_{общ}$ и используют для отыскания температур горения.

$$t_2 = [Q_H^P + Q_B + Q_T - (Q_3 + Q_4] / V_\alpha C_2 .$$

Если учитывается только теплота диссоциации продуктов горения при температуре горения, т.е.

$$t_{\alpha}^{T} = (Q_{H}^{P} + Q_{B} + Q_{T} - Q_{3}^{дис}) / V_{\alpha} C_{2},$$

то такую температуру называют теоретической температурой горения.

Теплосодержание продуктов горения в этом случае равно:

$$i_{общ}^{T} = C_{2} t_{\alpha}^{T} = (Q_{H}^{P} + Q_{B} + Q_{T} - Q_{3}^{дис}) / V_{\alpha}.$$

Температура, определяемая условиями горения при подогреве воздуха и топлива с учетом химического и механического недожога, названа *балансовой температурой горения*:

$$t_{\alpha}^{Б} = [Q_{H}^{P} + Q_{B} + Q_{T} - (Q_{3} + Q_{4})] / V_{\alpha} C_{2}.$$

Тогда

$$i_{общ}^{Б} = C_2 t_{\alpha}^{б} = [Q_H^P + Q_B + Q_T - (Q_3 + Q_4)] / V_{\alpha}.$$

Для отыскания теоретических и балансовых температур процесса горения определяют теплосодержание 1 м^3 продуктов горения $i_{общ}^{T}$ или $i_{общ}^{Б}$:

$$i_{общ}^{T} = i_x + i_B + i_T - i_3^{дис};$$

$$i_{общ}^{Б} = i_x + i_B + i_T - (i_3 + i_4);$$

$$i_x = Q_H^P / V_{\alpha};$$

$$i_B = L_{\alpha}^{B} C_B t_B / V_{\alpha};$$

$$i_T = Q_T / V_{\alpha} = C_T t_T / V_{\alpha}.$$

Затем по *i–t* – диаграммам С.Г. Тройба t_{α}^{T} и t_{α}^{B}, находят предварительно определив параметр:

$$\upsilon_L = (L_{\alpha}^{B} - L_{0}^{B})100 / V_{\alpha}.$$

Необходимые для расчетов по горению топлив данные по теплоемкостям и варианты заданий для студентов приведены ниже.

Таблица

Средняя теплоемкость газообразных видов топлива, воздуха и продуктов сгорания

t, °C	C_P, кДж/(м³°C)					t, °C	C_P, кДж/(м³°C)				
	П	К	Д	В	ПС		П	К	Д	В	ПС
0	1,55	1,35	1,33	1,29	1,36	700	2,36	1,63	1,43	1,36	1,46
100	1,64	1,39	1,34	1,29	1,37	800	2,45	1,66	1,45	1,38	1,47
200	1,76	1,43	1,35	1,31	1,38	900	2,56	1,70	1,46	1,39	1,48
300	1,90	1,47	1,37	1,32	1,40	1000	2,66	1,73	1,48	1,40	1,50
400	2,02	1,51	1,39	1,33	1,41	1100	–	1,76	1,49	1,41	2,51
500	2,14	1,55	1,41	1,41	1,43	1200	–	1,79	1,50	1,42	1,52
600	2,27	1,59	1,42	1,35	1,45	1300	–	1,81	1,51	1,43	1,53

Примечание: П–природный, К–коксовый, Д-доменный газы; В– воздух, ПС–продукты сгорания

Таблица

Исходные данные для расчетов горения топлива

Номер варианта задания	Содержание элементов топлива, мас.%								α	t_T, °С	t_B, °С	$g_{H_2O}^{C.B}$, г/ м³
	H_2S^c	CO_2^c	CH_4^c	$C_2H_6^c$	$C_3H_8^c$	$C_4H_{10}^c$	$C_5H_{12}^c$	N_2^c				
1	–	0,3	88,0	1,9	0,2	0,3	–	9,3	1,20	200	350	15
2	1,0	0,2	76,7	4,5	1,7	0,8	0,6	14,5	1,30	100	400	14
3	–	–	92,2	0,8	–	0,1	–	6,9	1,15	20	300	13
4	–	0,2	94,0	1,2	0,7	0,4	0,2	3,3	1,10	300	250	12
5	–	0,2	97,9	–	–	0,1	–	1,8	1,05	200	400	11
6	–	0,1	97,9	0,5	0,2	0,1	–	1,2	1,15	100	350	15
7	–	0,1	98,0	0,4	0,2	–	–	1,3	1,05	150	200	15
8	–	0,1	93,5	4,0	1,0	0,5	0,5	0,4	1,10	200	200	14
9	–	0,1	95,5	1,0	0,2	0,1	–	3,1	1,20	20	400	14
10	2,8	1,0	42,4	12,0	20,5	7,2	3,1	11,0	1,25	250	350	14
11	–	0,1	97,5	0,6	0,3	0,2	0,2	1,1	1,10	40	350	14
12	–	0,1	97,0	0,7	0,2	0,2	–	1,8	1,15	150	400	14
13	–	0,1	97,2	0,5	0,4	0,4	–	1,4	1,25	200	350	14
14	–	–	88,5	–	0,9	0,2	0,4	10,0	1,20	50	400	14
15	–	–	93,5	2,6	1,4	2,5	–	–	1,15	200	400	13
16	–	–	93,8	2,9	1,0	0,6	–	1,7	1,10	150	300	13
17	–	–	94,8	0,8	0,2	0,1	0,6	3,5	1,05	100	300	13
18	–	–	90,4	2,7	0,9	0,2	0,6	5,2	1,20	250	300	13

Окончание таблицы

Исходные данные для расчетов горения топлива

Номер варианта задания	Содержание элементов топлива, мас.%								α	t_T, °С	t_B, °С	$g_{H_2O}^{C.B}$, г/ м³
	H_2S^c	CO_2^c	CH_4^c	$C_2H_6^c$	$C_3H_8^c$	$C_4H_{10}^c$	$C_5H_{12}^c$	N_2^c				
19	–	1,8	96,4	1,5	0,1	0,1	0,1	–	1,25	170	400	12
20	–	0,2	90,0	4,5	0,9	0,3	1,1	3,0	1,15	20	400	12
21	–	0,5	92,6	0,4	0,3	0,2	0,1	5,9	1,10	25	300	12
22	–	1,1	94,6	0,5	0,3	0,2	–	3,3	1,05	150	400	12
23	–	0,2	91,5	3,3	1,4	–	1,6	2,0	1,20	30	400	12
24	–	0,1	85,0	3,3	1,2	0,5	–	9,9	1,30	100	350	12
25	–	0,8	78,3	6,4	1,7	–	–	12,8	1,10	20	250	12
26	–	–	90,9	5,2	1,3	0,2	1,5	0,9	1,05	100	300	12
27	0,6	0,8	75,4	5,0	1,7	1,3	1,2	14,0	1,10	250	250	12
28	0,4	0,5	71,9	4,8	1,6	0,8	–	20,0	1,05	150	300	12
29	0,5	0,3	75,2	5,0	1,2	0,8	–	17,0	1,15	150	200	11
30	0,1	0,9	82,7	1,4	0,6	0,3	–	14,0	1,20	300	300	11
31	0,4	0,8	72,6	8,4	1,5	1,3	–	15,0	1,20	300	400	11
32	0,1	0,2	81,8	5,5	1,6	0,5	0,8	9,5	1,10	300	350	11
33	0,6	1,0	71,9	5,5	0,6	0,3	0,1	20,0	1,15	200	200	11
34	0,7	1,2	67,7	2,0	0,2	0,1	0,1	28,0	1,20	100	400	11
35	0,4	0,5	77,2	5,0	0,5	0,4	–	16,0	1,25	150	400	11
36	0,4	0,5	78,4	5,7	1,0	1,0	0,5	12,5	1,05	200	400	10