

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра промышленной теплоэнергетики

ОСНОВЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ГОРЕНИЯ

Выполнение контрольной работы

Методические указания для студентов всех форм обучения
по направлению подготовки
13.04.01 — Теплоэнергетика и теплотехника

Составители:
В. Н. Белоусов
С. Н. Смородин
К. Г. Живаева

Санкт-Петербург
2026

Утверждено
на заседании кафедры ПТЭ
04.12.2025 г., протокол № 4

Рецензент В. Г. Злобин

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Основы практической теории горения» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

В настоящих методических указаниях представлены основы расчётов процесса сжигания органического топлива, порядок выполнения контрольной работы и подготовки к контролю усвоения дисциплины, содержатся расчетные задания по следующим разделам: состав и теплотехнические характеристики топлива, материальный баланс процесса горения, тепловой баланс процесса горения.

Методические указания предназначены для магистров очной и заочной форм обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД
в качестве методических указаний.

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 15.01.2026 г. Рег. № 5039/26

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
Задание.....	6
Методика расчета.....	6
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	13
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	14

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении курса «Основы практической теории горения» необходимо ознакомиться с содержанием тем, представленных в указаниях, а затем изучить материал по источникам литературы, представленным в библиографическом списке. При изучении материала следует обращать внимание на физический смысл рассматриваемого явления и формулы, описывающие его.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие правила:

1. Переписать полностью текст каждого задания.
2. Указать словами, какая величина вычисляется, привести соответствующую формулу.
3. Для каждой найденной величины следует указать размерность.
4. В тексте решения каждого задания необходимо придерживаться терминов и обозначений, принятых в учебной литературе.
5. Выбор варианта задания производится по порядковому номеру студента в списке или по заданию преподавателя.

Контрольная работа базируется на следующей тематике: материальный и тепловой баланс процесса горения твёрдого, жидкого и газообразного топлива.

ВВЕДЕНИЕ

Материальный и тепловой баланс процесса горения представляют собой две составные части раздела «Статика горения».

Поскольку в основе процесса горения лежит реакция окисления горючих компонентов топлива, то материальный баланс процесса горения выражает количественное соотношение между исходными компонентами (*топливо* и *окислитель*) и конечными продуктами (дымовые газы, т. е. *продукты сгорания*), отнесенное к единице объема (или массы) топлива.

Несмотря на то, что непосредственным окислителем в реакциях горения является *кислород*, на практике чистый кислород используется очень редко (лишь в специфических технологических процессах). В теплоэнергетике в качестве окислителя используется *воздух* как наиболее доступный и дешевый газ, в котором содержится примерно 21 % кислорода (по объему). Оставшиеся примерно 79 % составляет *азот* (концентрация других компонентов, как правило, ничтожно мала), который *при нормальных условиях* не принимает участия в процессе горения, поскольку является инертным газом.

Составление материального баланса можно *условно* разделить на две стадии:

- определение объема воздуха, теоретически необходимого для полного сгорания топлива, и теоретического объема продуктов сгорания;
- определение действительных объемов воздуха и продуктов сгорания (с учетом коэффициента избытка воздуха).

Для твердого и жидкого топлива материальный баланс составляется на 1 кг топлива, для газообразного – на 1 м³ сухого газа при нормальных условиях ($P = 0,1013 \text{ МПа}$, $t = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Определение объемов воздуха и продуктов сгорания – это не самоцель. Впоследствии, когда будет найден расход топлива, определяют объемные расходы воздуха и дымовых газов, необходимые для выбора (по результатам аэродинамического расчета котла) соответствующего тягодутьевого оборудования: вентилятора и дымососа.

Эффективность использования топлива в топочном устройстве определяется двумя основными факторами: полнотой сгорания топлива в топочной камере и глубиной охлаждения продуктов сгорания.

Распределение вносимой в топку (камеру сгорания) теплоты на полезно используемую и тепловые потери производится путем составления *теплового баланса*, по результатам которого можно рассчитать температуру в камере сгорания.

Тепловой баланс также составляется на 1 кг твердого или жидкого топлива либо на 1 м³ газообразного топлива.

ЗАДАНИЕ

Исходя из заданного состава топлива, определить:

- теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгорания топлива;
- теоретический объем продуктов сгорания;
- действительный объем воздуха и продуктов сгорания с учетом выбранного коэффициента избытка воздуха;
- теоретическую температуру горения.

Состав угля, мазута и газа приведен в таблицах 1, 2, 3 (*приложение*).

МЕТОДИКА РАСЧЁТА

Материальный баланс процесса горения твёрдого и жидкого топлива

Теоретический объем воздуха:

$$V^o = 0,0889 C^r + 0,265 H^r + 0,033 S^r - 0,033 O^r, \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Теоретический объем трехатомных газов:

$$V_{\text{RO}_2}^o = 0,01(1,866 C^r + 0,7 S^r), \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Теоретический объем азота:

$$V_{\text{N}_2}^o = 0,79 V^o + 0,8 N^r/100, \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Теоретический объем водяных паров:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^o = 0,111 H^r + 0,0124 W^r + 0,0161 V^o, \text{ м}^3/\text{кг}.$$

При паровом распылении мазута теоретический объем водяного пара увеличивается на объем водяного пара, подаваемого в форсунку:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^\phi = 1,24 G_\phi,$$

где G_ϕ – удельный расход пара на распыление мазута, кг пара/кг мазута.
($G_\phi = 0,03 \dots 0,04$ кг/кг).

Суммарный теоретический объем продуктов сгорания:

$$V_r^o = V_{\text{RO}_2}^o + V_{\text{N}_2}^o + V_{\text{H}_2\text{O}}^o, \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Материальный баланс процесса горения газа

Объем воздуха, теоретически необходимого для полного сгорания 1 м³

газообразного топлива, м³ воздуха/м³ газа:

$$V^0 = 0,0476(\sum(m + 0,25n)C_m H_n^T + 0,5H_2^T + 0,5CO^T + 1,5H_2S^T - O_2^T).$$

Теоретический объем трехатомных газов, м³ RO₂/м³ газа:

$$V_{RO_2}^0 = 0,01(\sum m C_m H_n^T + CO^T + H_2S^T + CO_2^T).$$

Теоретический объем азота, м³ N₂/м³ газа:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,01 \cdot N_2^T.$$

Теоретический объем водяных паров, м³ H₂O/м³ газа:

$$V_{H_2O}^0 = 0,01(\sum 0,5n C_m H_n^T + H_2^T + H_2S^T) + 1,24 d_r + 0,0161 V^0.$$

Суммарный теоретический объем продуктов сгорания:

$$V_r^0 = V_{RO_2}^0 + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0, \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Коэффициент избытка воздуха

Коэффициент избытка воздуха – отношение действительного объема воздуха V к теоретически необходимому V^0

$$\alpha = \frac{V}{V^0} = \frac{V^0 + V^{изб}}{V^0} = 1 + \frac{V^{изб}}{V^0}.$$

Действительный объем воздуха, поступающего в зону горения:

$$V = \alpha V^0 \text{ или } V = V^0 + (\alpha - 1)V^0,$$

где $(\alpha - 1)V^0$ – избыточный воздух.

Действительные объемы воздуха и продуктов сгорания

Действительный объем трехатомных газов равен теоретическому:

$$V_{RO_2} = V_{RO_2}^0.$$

Объем двухатомных газов включает в себя теоретический объем азота и избыточный воздух:

$$V_{R_2} = V_{N_2}^0 + (\alpha - 1)V^0.$$

Действительный объем водяных паров увеличивается (по сравнению с теоретическим) на количество водяных паров, внесенных с избыточным воздухом:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161(\alpha - 1)V^0.$$

Суммарный объем продуктов сгорания:

$$V_{\text{r}} = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{R}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{r}}^0 + 1,0161(\alpha - 1)V^0.$$

Тепловой баланс процесса горения

Температура газов в камере сгорания определяется из уравнения теплового баланса камеры сгорания, схема которой представлена на рисунке 1.

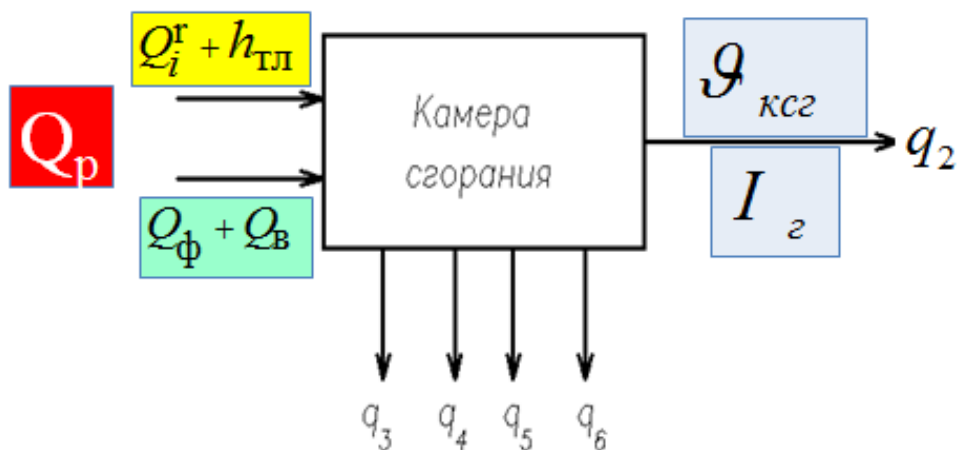


Рисунок 1 – Иллюстрация теплового баланса камеры сгорания

$$Q_p \cdot \frac{100 - \sum q_i^{\text{КСГ}}}{100} = I_{\varepsilon},$$

$\sum q_i^{\text{КСГ}} = q_3 + q_4 + q_5 + q_6$ – сумма потерь теплоты в камере сгорания, %;

$I_{\varepsilon} = I_{\varepsilon}^0 + (\alpha - 1) \cdot I_{\varepsilon}^o$ – энтальпия продуктов сгорания, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right)$.

Q_p – располагаемая теплота топлива.

Располагаемая теплота:

$$Q_p = Q_i^{\text{r}} + h_{\text{ТЛ}} + Q_{\text{ф}} + Q_{\text{в}}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)},$$

где Q_i^{r} – низшая теплота сгорания рабочей массы топлива; $h_{\text{ТЛ}}$ – физическая теплота топлива; $Q_{\text{ф}}$ – теплота, вносимая в топку с паровым дутьем или при паровом распылении мазута; $Q_{\text{в}}$ – теплота, внесенная в топку воздухом.

Для большей части достаточно сухих и малосернистых твердых топлив принимается $Q_p = Q_i^r$; для газового топлива располагаемая теплота равняется низшей теплоте сгорания сухой массы топлива $-Q_p = Q_i^d$.

Теплота сгорания твердого и жидкого топлива рассчитывается по формуле Менделеева:

$$Q_i^r = 339C^r + 1030H^r + 109S_{o+p}^r - 109O^r - 25W^r, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

где $C^r, H^r, S_{o+p}^r, O^r, W^r$ – соответственно, содержание углерода, водорода, летучей серы, кислорода и влаги в рабочей массе топлива, %.

Теплота сгорания газообразного топлива определяется как сумма произведений объемных долей отдельных горючих газов на теплоту их сгорания (МДж/м³):

$$Q_i^d = 0,01 \cdot [\sum (Q_{C_m H_n} C_m H_n) + Q_{CO} CO + Q_{H_2} H_2 + Q_{H_2 S} H_2 S],$$

где $Q_{C_m H_n}, Q_{CO}, Q_{H_2}, Q_{H_2 S}$ – теплота сгорания отдельных газов, МДж/м³, $C_m H_n, CO, H_2, H_2 S$ – объемные доли соответствующих компонентов, %.

Теплота сгорания природного газа (МДж/м³):

$$Q_i^d = 0,01 \cdot [35,85 \cdot CH_4 + 63,8 \cdot C_2 H_6 + 91,3 \cdot C_3 H_8 + 123,8 \cdot C_4 H_{10} + 146,3 \cdot C_5 H_{12}].$$

Для твердых топлив с высоким содержанием влаги и жидких топлив учитывается физическая теплота топлива $h_{тл}$, которая зависит от температуры и теплоемкости поступающего на горение топлива:

$$h_{тл} = c_{тл} t_{тл},$$

где $c_{тл}$ – удельная теплоемкость топлива, кДж/(кг·°C);

$t_{тл}$ – температура топлива, °C.

В летний период времени температура топлива принимается $t_{тл} = 20$ °C, а теплоемкость топлива определяется по формуле:

$$c_{тл} = 0,042 W_t^r + c_{тл}^d \left(1 - 0,01 W_t^r \right), \text{кДж/(кг·°C)}.$$

Теплоемкость сухой массы топлива $c_{тл}^d$ составляет:

- для бурых углей – 1,13 кДж/(кг·°C);
- для каменных углей – 1,09 кДж/(кг·°C);
- для углей А, ПА, Т – 0,92 кДж/(кг·°C).

В зимний период принимается $t_{тл} = 0$ °C, и физическая теплота топлива не учитывается.

Температура мазута для обеспечения тонкого распыла в форсунках котельного агрегата должна быть достаточно высокой. Обычно она составляет $t_{тл} = 90-140$ °C.

Теплоемкость мазута $c_{тл} = 1,74 + 0,0025 t_{тл}$, кДж/(кг·°C).

При распылении мазута с помощью паромеханических форсунок в топку котельного агрегата вместе с разогретым мазутом поступает пар, который вносит в топку *дополнительную теплоту*:

$$Q_{\phi} = G_{\phi} (h_{\phi} - 2380), \text{ кДж/кг},$$

где G_{ϕ} – удельный расход пара на 1 кг мазута, кг пара/кг мазута;

h_{ϕ} – энтальпия пара, поступающего в форсунку, кДж/кг.

Параметры пара, поступающего на распыл мазута:

$$P = 0,3\text{--}0,6 \text{ МПа},$$

$$t = 280\text{--}350 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

удельный расход пара $G_{\phi} = 0,03\text{--}0,05$ кг пара/кг мазута.

Теплота, вносимая в камеру сгорания с воздухом, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$; $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$:

$$Q_g = \alpha \cdot V_g^o \cdot C_g \cdot t_g,$$

где C_g – объемная теплоемкость воздуха, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}$.

Энтальпия продуктов сгорания:

$$\begin{aligned} I_z &= V_{\text{RO}_2} (c_{\mathcal{G}})_{\text{RO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} (c_{\mathcal{G}})_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2} (c_{\mathcal{G}})_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} (c_{\mathcal{G}})_{\text{O}_2} = \\ &= (V_{\text{RO}_2} c_{\text{RO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} c_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2} c_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2} c_{\text{O}_2}) \cdot \mathcal{G}_{\text{КСГ}} = \mathcal{G}_{\text{КСГ}} \cdot \sum V_z c_z, \end{aligned}$$

где $V_{\text{N}_2} = V_{\text{N}_2}^o + 0,79 \cdot (\alpha - 1) V_g^o$,

$$V_{\text{O}_2} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) V_g^o,$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^o + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) V_g^o.$$

Средние теплоемкости воздуха и продуктов сгорания, в зависимости от температуры, приведены в таблице 4, при этом c_{RO_2} принимается равной c_{CO_2} .

Таким образом, уравнение теплового баланса преобразуется следующим образом:

$$Q_p \cdot \frac{100 - \sum q_i^{\text{КСГ}}}{100} = \mathcal{G}_{\text{КСГ}} \cdot \sum V_z c_z.$$

Температура в камере сгорания

Решение уравнения теплового баланса относительно температуры в камере сгорания $\mathcal{G}_{\text{КСГ}}$ в явном виде не имеет решения, поскольку входящие в это уравнение теплоемкости продуктов сгорания сами являются функцией температуры $\mathcal{G}_{\text{КСГ}}$.

Определить $\mathcal{G}_{\text{КСГ}}$ можно, используя метод *последовательных приближений*, или *графоаналитический* метод (рис. 2).

Из уравнения теплового баланса температура на выходе из камеры сгорания:

$$\vartheta_{\text{кст}} = Q_p \cdot \frac{100 - \sum q_i^{\text{кст}}}{100} \cdot \frac{1}{\sum V_2 c_2}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Запишем эту зависимость в виде двух функций:

$$\begin{cases} y_1 = \vartheta_{\text{кст}} \\ y_2 = Q_p \cdot \frac{100 - \sum q_i^{\text{кст}}}{100} \cdot \frac{1}{\sum V_2 c_2} \end{cases}$$

Решение задачи относительно $\vartheta_{\text{кст}}$ сводится к нахождению условий, при которых $y_1 = y_2$.

Значения y_1 и y_2 рассчитываются не менее чем по трем значениям $\vartheta_{\text{кст}}$, близким к ожидаемому. Пересечение прямой y_1 и расчетной кривой y_2 даст искомую температуру на выходе из камеры сгорания $\vartheta_{\text{кст}}$ (см. рис. 2).

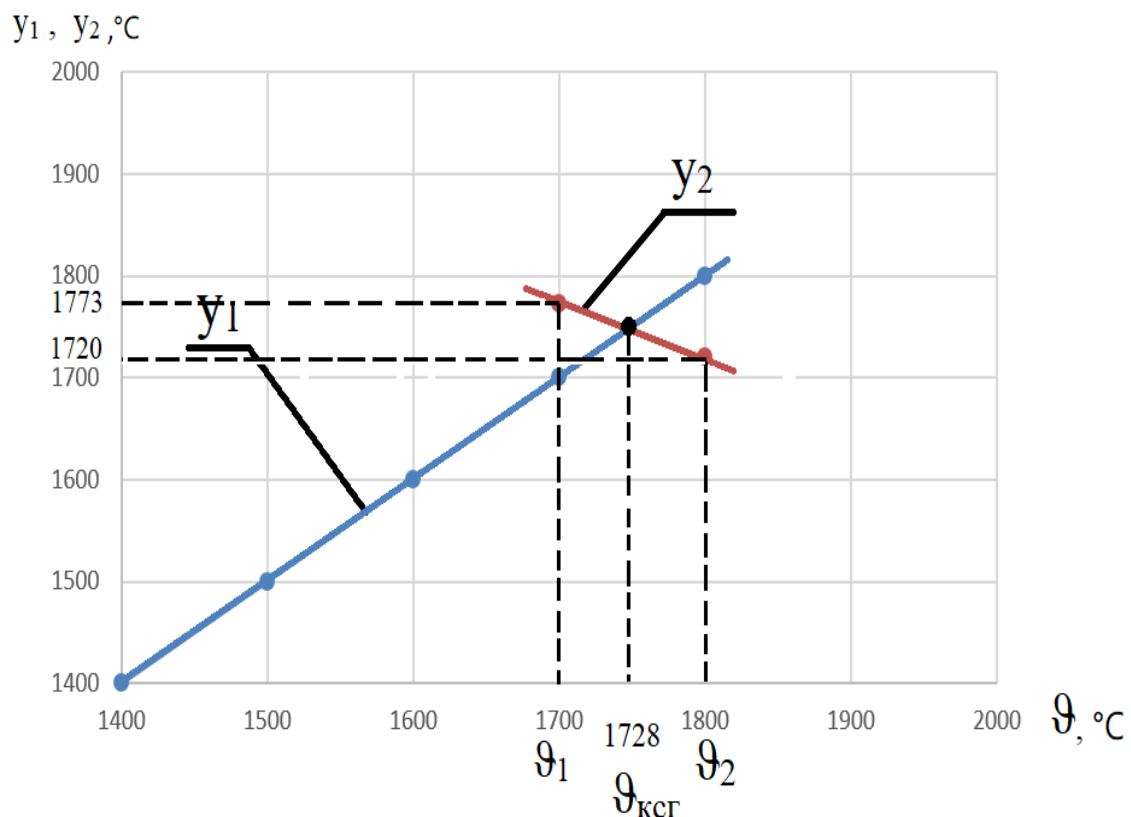


Рисунок 2 – Графоаналитический метод определения температуры в камере сгорания

В рамках контрольной работы определяется теоретическая (максимально возможная) температура горения, которая была бы при отсутствии потерь тепла, т. е. когда $\sum q_i^{\text{кст}} = 0$.

В этом случае уравнение теплового баланса выглядит следующим образом:

$$\vartheta_{КСГ} = \frac{Q_p}{\sum V_{г} c_{г}} . \quad (1)$$

Алгоритм расчета теоретической температуры горения проиллюстрирован на рисунке 2:

- рассчитывается теплота сгорания топлива и располагаемое тепло топлива;
- по результатам материального баланса определяются объемы трехатомных газов V_{RO_2} , водяных паров V_{H_2O} , азота V_{N_2} и кислорода V_{O_2} ;
- принимается температура, близкая к реальной (например, $y_1 = 1700 \text{ }^{\circ}\text{C}$);
- рассчитывается величина $\sum V_{г} \cdot c_{г}$, при этом теплоемкость газов при данной температуре приведена в таблице 4;
- по формуле 1 определяется температура $\vartheta_{КСГ}$ (например, $1773 \text{ }^{\circ}\text{C}$);
- принимается ближайшее табличное значение температуры, превышающее $1773 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow y_1 = 1800 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- рассчитывается величина $\sum V_{г} \cdot c_{г}$ при температуре $1800 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- по формуле 1 определяется температура $\vartheta_{КСГ}$ (например, $1720 \text{ }^{\circ}\text{C}$);

На пересечении прямых находится примерное значение температуры в камере сгорания $1728 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для уточнения определяются теплоемкости газов при температуре $1728 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (путем линейной интерполяции) и рассчитывается уточненное значение температуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоусов, В. Н. Топливо и процессы горения в теплоэнергетических установках: учебное пособие. Часть 1 / В. Н. Белоусов, С. Н. Смородин, В. Д. Цимбал. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 148 с.
2. Белоусов, В. Н. Топливо и процессы горения в теплоэнергетических установках: учебное пособие. Часть 2 / В. Н. Белоусов, С. Н. Смородин, В. Д. Цимбал. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 152 с.
3. Белоусов, В. Н. Топливо и теория горения: учеб. пособие / В. Н. Белоусов, В. В. Сергеев. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 213 с.
4. Белоусов, В. Н. Топливо и теория горения. Ч. I: Топливо: учебное пособие / В. Н. Белоусов / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – СПб., 2013. – 84 с.
5. Белоусов, В. Н. Топливо и теория горения. Ч. 2: конспект лекций / В. Н. Белоусов / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – СПб., 2013. – 142 с.
6. Белоусов, В. Н. Топливо и теория горения. Ч. I. Топливо: учебное пособие / В. Н. Белоусов, С. Н. Смородин, О. С. Смирнова / СПбГТУРП. – СПб., 2011. – 81 с.
7. Белоусов, В. Н. Топливо и теория горения. Ч. II. Теория горения: учебное пособие / В. Н. Белоусов, С. Н. Смородин, О. С. Смирнова / СПбГТУРП. – СПб., 2011. – 142 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1 – Состав рабочей массы твердого топлива, %

№	Бассейн (Месторождение)	Марка	W ^r	A ^r	S ^r	C ^r	H ^r	N ^r	O ^r
1	Канско-Ачинский (Итатское)	1Б	40,5	6,8	0,4	36,6	2,6	0,4	13,8
2	Кузнецкий (Кузбасс)	Д	11,5	15,9	0,4	56,4	4,0	1,9	9,9
3	Печорский (Воркутинское)	Ж	8,0	29,4	1,0	52,6	3,3	1,5	4,2
4	Канско-Ачинский (Ирша-Бородинское)	2Б	33,0	7,9	0,2	42,6	3,0	0,6	13,2
5	Канско-Ачинский (Гусиноозерское)	3Б	26,0	18,5	0,4	39,4	2,8	0,6	12,3
6	Якутия (Галимовское)	А	10,0	20,7	0,6	63,7	1,6	0,8	2,6
7	Якутия (Аркагалинское)	Д	17,0	17,4	0,3	48,9	3,3	0,7	12,4
8	Кузнецкий (Кузбасс)	СС	9,0	18,2	0,4	60,8	3,6	1,5	6,5
9	Якутия (Харанга)	Т	12,0	13,2	0,4	67,5	3,4	1,0	2,5
10	Канско-Ачинский (Каахемское)	Г	5,0	14,3	0,4	65,0	4,8	1,0	9,5
11	Канско-Ачинский (Азейское)	3Б	25,0	16,5	0,5	42,7	3,1	0,9	11,3
12	Кузнецкий (Кузбасс)	К	8,5	33,9	0,3	49,5	2,8	1,4	3,6
13	Кузнецкий (Кузбасс)	Д	18,0	17,2	0,4	48,3	3,2	1,4	11,5
14	Партизанский (Дальний Восток)	Т	5,0	28,5	0,5	58,8	2,7	0,7	3,8
15	Якутия (Нерюнгинское)	СС	10,0	19,8	0,2	60,0	3,1	0,6	6,3
16	Партизанский (Дальний Восток)	Ж	5,5	32,1	0,4	52,7	3,2	0,7	5,4
17	Кузнецкий (Кузбасс)	СС	8,5	16,5	0,4	60,8	3,6	1,5	6,5
18	Кузнецкий (Кузбасс)	Д	15,0	17,0	0,4	53,4	3,5	1,6	9,1
19	Донецкий (Украина)	А	8,5	34,8	1,5	52,2	1,0	0,5	1,5
20	Канско-Ачинский (Назаровское)	2Б	39,0	7,9	0,4	37,2	2,5	0,5	12,5

Таблица 2 – Состав мазута, %

Состав рабочей массы топлива, %	
Углерод, C ^r	из расчёта ($\Sigma = 100 \%$)
Водород, H ^r	$10 + 0,1 \cdot n$
Сера, S ^r	$0,3 + 0,2 \cdot n$
Азот + Кислород, N ^r + O ^r	0,5
Зольность, A ^r	0,1
Влажность, W ^r	1

Здесь: n – порядковый номер по списку группы или по заданию преподавателя

Таблица 3 – Состав газа, %

№	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	N ₂	CO ₂
1	84,5	3,8	1,9	1,2	7,8	0,8
2	90,4	3,6	2,6	1,1	2,2	0,1
3	91,9	2,1	1,3	0,5	3	1,2
4	93,8	2,0	0,8	0,4	2,6	0,4
5	92,8	2,8	0,9	0,5	2,5	0,5
6	91,2	3,9	1,2	0,6	2,6	0,5
7	89,7	5,2	1,7	0,6	2,7	0,1
8	85,8	0,2	0,1	0,1	13,7	0,1
9	98,9	0,3	0,1	0,1	0,4	0,2
10	95,6	0,7	0,4	0,4	2,8	0,1
11	98,5	0,2	0,1	0,0	1,0	0,2
12	92,8	3,9	1,1	0,5	1,6	0,1
13	92,8	3,9	1,0	0,7	1,5	0,1
14	94,1	3,1	0,6	1,0	1,2	0,0
15	81,7	5,3	2,9	1,2	8,8	0,1
16	97,1	0,3	0,1	0,0	2,4	0,1
17	95,4	2,6	0,3	0,4	1,1	0,2
18	85,9	6,1	1,5	1,4	5,0	0,1
19	95,5	2,7	0,4	0,3	1,0	0,1
20	94,0	2,8	0,4	0,4	2,0	0,4

Таблица 4 – Теплоемкости газов и воздуха

t, °C	C _{CO2}	C _{N2}	C _{O2}	C _{H2O}
	кДж/(м ³ ·°C)			
0	1.601	1.295	1.307	1.495
100	1.702	1.297	1.319	1.506
200	1.789	1.301	1.336	1.523
300	1.864	1.308	1.357	1.544
400	1.931	1.317	1.378	1.567
500	1.990	1.329	1.399	1.590
600	2.042	1.341	1.418	1.616
700	2.09	1.355	1.435	1.642
800	2.133	1.368	1.451	1.669
900	2.170	1.380	1.466	1.697
1000	2.205	1.393	1.479	1.724
1100	2.237	1.404	1.490	1.751
1200	2.265	1.415	1.502	1.778
1300	2.291	1.426	1.512	1.804
1400	2.315	1.436	1.521	1.829
1500	2.337	1.445	1.530	1.854
1600	2.357	1.454	1.539	1.877
1700	2.376	1.462	1.547	1.901
1800	2.393	1.470	1.555	1.923
1900	2.409	1.477	1.563	1.944
2000	2.424	1.484	1.570	1.964
2100	2.438	1.490	1.577	1.984
2200	2.450	1.496	1.584	2.002
2300	2.462	1.502	1.591	2.020