

М. Б. РАВИЧ

**РАСЧЕТ РАСПОЛАГАЕМОЙ ТЕПЛОТЫ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ
ТВЕРДОГО И ЖИДКОГО ТОПЛИВА**

(Представлено академиком Г. М. Кржижановским 18 IV 1953)

Подсчет располагаемой теплоты продуктов горения производится по формуле

$$q = \frac{Vtc}{Q} 100, \quad (1)$$

где q — располагаемая теплота продуктов горения в процентах к теплотворности сжигаемого топлива, Q — низшая теплотворность рабочего топлива в ккал/кг, V — объем продуктов горения, получаемый при сжигании 1 кг топлива в м³, t — температура продуктов горения в °С, c — средняя теплоемкость продуктов горения от 0 до t° в ккал/м³·°С.

При переменном составе топлива и изменении его теплотворности подсчет располагаемой теплоты продуктов горения затрудняется вследствие необходимости определения Q . С. Я. Корницким были предложены приближенные формулы для подсчета теплоты продуктов горения некоторых видов твердого и жидкого топлива без определения Q при температурах продуктов горения, соответствующих температуре уходящих газов котельных установок (1).

Ниже излагается методика подсчета располагаемой теплоты продуктов горения твердого и жидкого топлива при любой температуре, без определения состава и теплотворности топлива. Предлагаемая методика основана на подсчете располагаемой теплоты продуктов горения, исходя не из теплотворности топлива, а из более стабильной величины — максимально возможной температуры горения, названной Д. И. Менделеевым жаропроизводительностью топлива (2).

Теплотворность водорода, содержащегося в твердом и жидком топливе, по Д. И. Менделееву около 24 600 ккал/кг, а углерода — около 8100 ккал/кг, т. е. в три раза ниже. Однако жаропроизводительности углерода и водорода, подсчитанные по формуле

$$t_{\text{макс}} = \frac{Q}{Vc}, \quad (2)$$

отличаются всего лишь на 14% ($t_{\text{макс}}$ углерода 2190° и водорода 1915°).

Поэтому изменения в соотношении углерода и водорода в горючей массе топлива обуславливают значительные изменения теплотворности и почти не сказываются на жаропроизводительности топлива. Так например, теплотворность горючей массы кокса, содержащей

около 95% углерода, 7700 ккал/кг, бензина, содержащего 85% углерода и 15% водорода, около 10 450 ккал/кг, т. е. на 36% выше, а жаропродуктивность бензина (2080°) отличается лишь на 4% от жаропродуктивности кокса (2160°).

Содержание кислорода в горючей массе топлива, резко снижая теплотворность топлива, значительно меньше сказывается на его жаропродуктивности. Так, теплотворность древесного спирта более чем вдвое ниже теплотворности бензина, а жаропродуктивность спирта ниже лишь на 8% (см. табл. 1); теплотворность горючей массы древесины, содержащей 42% кислорода, на 70% ниже теплотворности горючей массы кокса, жаропродуктивность же ниже только на 8%.

Таблица 1

Некоторые характеристики жидкого топлива

Топливо	Горючая масса топлива, в %				$A^P, \%$	$W^P, \%$	Q_H^P ккал/кг	t_{\max} °C	B
	C^r	H^r	S^r	O^r+N^r					
Бензол	92,3	7,7	—	—	—	—	10030	2206	0,91
Бензин	85,0	14,9	0,05	0,05	—	—	10450	2082	0,86
Керосин	86,0	13,7	0,1	0,2	—	—	10260	2087	0,86
Соляровое масло	86,5	12,8	0,4	0,3	—	—	10110	2098	0,87
Мазут малосерн.	87,8	10,7	0,7	0,8	0	0	9700	2115	0,88
" "	87,8	10,7	0,7	0,8	0,2	3	9370	2100	0,88
" "	87,8	10,7	0,7	0,8	0,2	6	9060	2085	0,88
" "	87,8	10,7	0,7	0,8	0,2	9	8750	2070	0,88
Мазут многосерн.	84,0	11,5	4,0	0,5	0,3	3	9370	2100	0,87
Спирт древесный	37,5	12,5	—	50,0	—	—	5410	1935	0,77

Уменьшение содержания горючей массы в топливе вследствие наличия в нем минеральных примесей, резко понижая теплотворность топлива, не сказывается на его жаропродуктивности, так как уменьшение Q в числителе формулы (2) сопровождается пропорциональным уменьшением V в знаменателе.

Содержание влаги в топливе снижает его жаропродуктивность, однако в значительно меньшей степени, чем теплотворность. Приведенные в табл. 1 и 2 значения t_{\max} показывают, что при изменении содержания влаги в мазуте и донецком тощем угле от нуля до практически максимальной влажности этих топлив (3) отклонения от средней жаропродуктивности не превышают $\pm 1,5\%$.

Располагаемая теплота продуктов горения, исходя из жаропродуктивности топлива, может быть подсчитана по формуле

$$q = \frac{t}{t_{\max}} [c^1 + (H - 1) BK] 100, \quad (3)$$

где q — располагаемая теплота продуктов горения; t — температура продуктов горения; t_{\max} — жаропродуктивность топлива; c^1 — отношение теплоемкости продуктов горения, не разбавленных воздухом, при температурах от 0 до t и от 0 до t_{\max} ; H — увеличение объема сухих продуктов горения вследствие разбавления их воздухом; $H - 1$ — содержание воздуха в m^3 на $1 m^3$ сухих продуктов горения; B — отношение объема сухих продуктов горения к объему влажных продуктов горения; K — отношение теплоемкости воздуха от 0 до t к теплоемкости продуктов горения при температурах от 0 до t_{\max} . Значения c^1 и K для жидкого топлива, антрацита и камен-

ных углей соответствуют значениям c^1 и K для безбалластных газов, а значения c^1 и K для бурых углей, торфа и дров соответствуют этим величинам для газов с высоким содержанием балласта (4). Значения $CO_{2\text{ макс}}$ для твердого и жидкого топлива см. (5).

Значения $t_{\text{ макс}}$ и B для жидкого и твердого топлива приведены в табл. 1 и 2. Значения $t_{\text{ макс}}$ и B для моторного топлива, мазута, кокса, антрацита и каменных углей, т. е. топлив с максимальным содержанием влаги до 10—15%, могут быть использованы для подсчета располагаемой теплоты продуктов горения без определения содержания влаги в топливе.

Таблица 2

Некоторые характеристики твердого топлива

Наименование топлива (месторождение, марка)	Q_H^P ккал/кг	W^P , %	A^P , %	Q_H^P ккал/кг	$t_{\text{ макс}}$, °C	B
А. Топливо с малым содержанием влаги						
Антрацит						
Донецкий АС	7970	6	13,2	6400	2150	0,95
Донецкий АРШ	7930	8	20,0	5660	2137	0,95
Егоршинский АР	8080	5,5	20,8	5920	2120	0,93
Полтавский АР	7650	9	25,5	4960	2081	0,95
Кокс						
Горючая масса (15—25 мм)	7700	—	—	—	2160	0,98
Коксовая мелочь (15—25 мм)	7700	15	11	5610	2060	0,95
Коксовая мелочь (0—15 мм)	7850	18	16,4	5040	2040	0,93
Каменный уголь						
Донецкий Т (горючая масса)	8260	—	—	—	2145	0,93
Донецкий Т (сухая масса)	8260	0	18	6775	2145	0,93
Донецкий Т	8260	6	17	6320	2113	0,93
Донецкий Т	8260	12	16	5870	2082	0,92
Донецкий ПЖ	8000	6	18,8	5980	2118	0,91
Донецкий Г	7700	8	14,7	5900	2077	0,90
Донецкий Д	7290	12	12,8	4900	2052	0,89
Донецкий П/П	7600	7	41,8	3850	2024	0,90
Ленинский Г	7910	8,5	10,1	6390	2080	0,90
Анжеро-Судженский ПС	8340	6	12,2	6790	2117	0,92
Прокопьевский СС	8110	8,5	11,0	6480	2094	0,91
Карагандинский ПЖ/ПС	8000	8	26,0	5230	2096	0,91
Кизеловский ПЖ	7770	9	30,0	4690	2026	0,90
Воркутский ПЖ	8070	10	20,7	5530	2078	0,90
Тктварчельский ПЖ	7630	6	32,9	4630	2054	0,90
Тктварчельский ПП	7500	10	36,0	3990	2021	0,90
Тквибульский Г	7380	12	26,4	4470	2020	0,89
Кок-Янгаский Г	7170	14	21,5	4540	2020	0,89
Б. Топливо с высокой влажностью						
Бурый уголь						
Челябинский	6720	19	24,3	3700	1950	0,87
Богословский	6130	28	25	2710	1790	0,83
Подмосковный	6240	33	27	2300	1700	0,80
Торф						
Кусковой	5240	40	6,6	2560	1660	0,77
Фрезерный	5240	50	5,5	2030	1480	0,75
Дрова						
	4510	40	0,6	2440	1610	0,75

Для подсчета теплоты продуктов горения топлива с высокой влажностью (бурый уголь, торф, дрова) следует пользоваться поправочной таблицей изменения жаропродуктивности с повышением влажности.

При сжигании мазута в паровых форсунках физическое тепло вдуваемого пара может быть определено с достаточной точностью по формуле

$$q' = \frac{Dt}{200}, \quad (4)$$

где q' — физическое тепло пара в процентах к теплотворности мазута, D — количество пара на 1 кг мазута в кг, t — температура продуктов горения.

При подсчете потерь тепла с уходящими газами дополнительная потеря тепла вследствие вдувания форсуночного пара может быть определена по формуле

$$q'' = \frac{D(t - t_{\text{пара}})}{200}. \quad (5)$$

Параллельные расчеты по принятой и предлагаемой методике показали хорошее совпадение при определении располагаемой теплоты продуктов горения печей, двигателей и котлов.

Поступило
17 IV 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Я. Корницкий, Я. М. Рубинштейн, Общая теплотехника, 1952.
² Д. И. Менделеев, Основы фабрично-заводской промышленности, 1897, Соч., 11, 1949. ³ Нормы теплового расчета котельного агрегата, 1952. ⁴ М. Б. Равич, ДАН, 86, № 4 (1952). ⁵ М. Б. Равич, ДАН, 88, № 2 (1953).