

М. Б. РАВИЧ

**МЕТОДИКА ПОДСЧЕТА ПОТЕРЬ ТЕПЛА ВСЛЕДСТВИЕ  
ХИМИЧЕСКОЙ НЕПОЛНОТЫ ГОРЕНИЯ**

*(Представлено академиком Г. М. Кржижановским 18 XI 1952)*

Подсчет потерь тепла вследствие химической неполноты горения топлива производится обычно по формуле:

$$q = \frac{Q_{\text{пр. гор}} V \cdot 100}{Q_H^P}, \quad (1)$$

где  $q$  — потери тепла вследствие химической неполноты горения в процентах;  $Q_{\text{пр. гор}}$  — теплотворность горючих компонентов, содержащихся в  $1 \text{ м}^3$  сухих продуктов горения;  $V$  — объем сухих продуктов горения в  $\text{м}^3$ , образующийся при сжигании  $1 \text{ кг}$  твердого или жидкого топлива или  $1 \text{ м}^3$  газообразного топлива;  $Q_H^P$  — низшая теплотворность  $1 \text{ кг}$  твердого или жидкого топлива или  $1 \text{ м}^3$  газа.

При сжигании топлива непостоянного состава подсчет потерь тепла от химической неполноты горения осложняется вследствие необходимости определения теплотворности и состава топлива, нужного для подсчета объема продуктов горения  $V$ .

Изменения теплотворности топлива и объема продуктов горения особенно значительны при сжигании некоторых видов газообразного топлива, представляющих собой смеси двух или нескольких технических газов.

В соответствии с этим при сжигании некоторых видов топлива потери тепла вследствие химической неполноты горения проще подсчитывать, исходя не из теплотворности топлива, а из испытываемой гораздо меньшие колебания величины, а именно — из теплотворности топлива, отнесенной к  $1 \text{ м}^3$  сухих продуктов горения, образующихся при сжигании топлива в теоретических условиях, т. е. при полноте горения без избытка воздуха.

В этом случае подсчет ведется по формуле:

$$q = \frac{Q_{\text{пр. гор}} H \cdot 100}{P}, \quad (2)$$

где  $q$  — потери тепла вследствие химической неполноты горения в процентах;  $Q_{\text{пр. гор}}$  — теплотворность горючих компонентов, содержащихся в  $1 \text{ м}^3$  сухих продуктов горения;  $P$  — низшая теплотворность рабочего топлива, отнесенная к  $1 \text{ м}^3$  сухих продуктов горения, обра-

## Некоторые характеристики топлива

Наименование топлива (район, месторождение, марка) (1)	$Q_{Н}^P$ в ккал/кг или в ккал/нм <sup>3</sup> (для газа) (2)	$P$ в ккал/нм <sup>3</sup>	$CO_2$ макс в %	Наименование топлива (район, месторождение, марка) (1)	$Q_{Н}^P$ в ккал/кг или в ккал/нм <sup>3</sup> (для газа) (2)	$P$ в ккал/нм <sup>3</sup>	$CO_2$ макс в %
<b>АНТРАЦИТЫ</b>				<b>Читинская обл.</b>			
Донецкий бассейн				Букагачинский Г .	5270	930	18,7
АС . . . . .	6400	910	20,2	Приморский край			
АРШ и АШ . . . . .	5660	910	20,2	Сучанский ПЖ . . .	5450	930	19,0
Уральский бассейн				Ворошиловский ПЖ	4220	925	18,6
Егоршинский АР . . .	5920	920	19,5	Хабаровский край			
Полтавский АР . . . .	4960	890	20,4	Буреинский Г . . . .	4950	930	18,4
Брединский АР . . . .	5180	890	20,0	Грузинская ССР			
Домбаровский АР . . .	4400	900	20,2	Ткварчельский ПЖ	4630	920	18,6
				Ткварчельский П/П	3990	900	18,4
				Тквибульский Г . . .	4470	925	18,6
<b>КАМЕННЫЕ УГЛИ</b>				<b>Казахская ССР</b>			
Донецкий бассейн				Берчагурский Г . . .	4190	920	18,1
Д . . . . .	4900	940	18,7	Киргизская ССР			
Г . . . . .	5900	930	18,7	Кок-Янгагский Г . . .	4540	925	19,1
ПЖ . . . . .	5980	940	18,7	Ташкумырский Г . . .	5730	940	19,2
Т . . . . .	6320	930	19,0	<b>БУРЫЕ УГЛИ</b>			
П/П мокрый . . . . .	3850	910	20,2	А. Содержание			
П/П сухой . . . . .	4900	930	18,8	влаги до 40%			
Кузнецкий бассейн				Подмосковный бас-			
Анжеро-суджен-				сейн БР . . . . .	2300	870	19,5
ский ПС . . . . .	6790	930	19,0	Карагандинский бас-			
Ленинский Г . . . . .	6390	930	18,5	сейн БР . . . . .	3650	900	19,4
Кемеровский ПС				Уральский бассейн			
и К . . . . .	6280	930	18,8	Богословский БР . . .	2710	890	20,0
Прокопьевский СС	6480	925	18,8	Челябинский Б . . . .	3700	915	19,3
Киселевский СС . . . .	6620	930	19,1	Коркинский Б . . . . .	3380	910	19,3
Сталинуголь СС . . . .	6640	930	19,1	Красноярский край .			
Араличевский Т . . . .	6320	940	19,2	Канский . . . . .	3280	890	19,6
Карагандинский бас-				Читинская обл.			
сейн				Тарбагатайский			
ПЖ/ПС . . . . .	5230	940	18,8	БР . . . . .	3860	910	19,3
Уральский бассейн				Арабогарский БР . . .	3920	910	19,4
Кизеловский ПЖ . . . .	4690	910	18,5	Холяртинский БР . . .	3030	870	20,0
Кизеловский П/П . . . .	4150	900	18,4	Черновский БР . . . .	3910	900	19,2
Буланашский Г . . . . .	5450	940	18,8	Гусино-Озерский			
Коми АССР				БР . . . . .	4070	920	19,5
Воркутский ПЖ . . . .	5530	930	18,8	Амурский край			
Ставропольский край				Кивдинский БР . . . .	2840	870	20,0
Хумаринский Г/Д . . . .	5030	930	18,7	Райчихинский БР . . .	2910	870	20,1
Хакасская А/О				Приморский край			
Минусинский Д . . . . .	5710	935	18,8	Артемовский БР . . . .	3460	900	19,0
Иркутская обл.				Тавричанский БР . . .	4480	920	19,0
Черемховский Д . . . . .	5330	930	18,7				

Таблица 1 (продолжение)

Наименование топлива (район, месторождение, марка) (1)	$Q_p^R$ в ккал/кг или в ккал/нм <sup>3</sup> (для газа) (2)	$P$ в ккал/нм <sup>3</sup>	$CO_2$ макс в %	Наименование топлива (район, месторождение, марка) (1)	$Q_p^R$ в ккал/кг или в ккал/нм <sup>3</sup> (для газа) (2)	$P$ в ккал/нм <sup>3</sup>	$CO_2$ макс в %
Казахская ССР				ДРОВА . . . . .	2440	875	20,5
Ленгеровский БР .	3860	900	19,1	СЛАНЦЫ			
Мангышлакский БР	3750	900	19,7	Гдовские . . . . .	2040	930	16,8
Узбекская ССР				Кашпирские . . . . .	1550	875	17,4
Ангренский БР . .	2620	850	20,0	Савельевские . . . . .	1500	875	17,3
Таджикская ССР				МАЗУТ			
Шурабский БР . .	3940	880	20,1	Малосернистый . . . .	9370	965	16,3
Киргизская ССР				Многосернистый . . . .	9370	970	16,0
Кизил-Кийский Б .	3980	905	19,6	ГАЗ			
Сулюктинский Б .	4250	900	19,9	А. С малым содержанием. N <sub>2</sub>			
Б. Содержание в лаги выше 40%				Сжиженный . . . . .	25000	1000	14,0
Башкирская АССР				Природный . . . . .	8470	1010	11,6
Куюргазинский БР	1940	820	19,2	Нефтяной . . . . .	9200	1010	13,4
Украинская ССР				Коксовый . . . . .	3780	1080	10,5
Александрийский БР . . . . .	1510	760	18,5	Водяной . . . . .	2500	1130	21
ТОРФ				Б. С высоким содержанием N <sub>2</sub>			
Кусковой . . . . .	2560	865	19,6	Генераторный . . . . .	1230	720	20
Фрезерный . . . . .	2030	845	19,5	Доменный . . . . .	940	600	24

зующихся при сжигании топлива в теоретических условиях;  $H$  — изменение объема сухих продуктов горения вследствие разбавления их избыточным воздухом и неполноты горения топлива, по отношению к теоретическому объему сухих продуктов горения.

Величина  $H$  подсчитывается по данным анализа продуктов горения по формуле:

$$H = \frac{CO_2 \text{ макс}}{CO_2 + CO + CH_4}, \quad (3)$$

где  $CO_2 \text{ макс}$  — содержание  $CO_2$  в сухих продуктах горения при полном сгорании топлива в теоретически необходимом количестве воздуха;  $CO_2$ ,  $CO$  и  $CH_4$  — содержание  $CO_2$ ,  $CO$  и  $CH_4$  в сухих продуктах горения по данным газового анализа.

Значения  $CO_2 \text{ макс}$  даны в табл. 1. При смешении топлив с различными значениями  $CO_2 \text{ макс}$ , подсчет  $CO_2 \text{ макс}$  в процентах может быть произведен по данным газового анализа по формуле:

$$CO_2 \text{ макс} = \frac{CO_2'' \cdot 100}{100 - 4,76 \cdot O_2''}, \quad (4)$$

где  $CO_2''$  и  $O_2''$  — содержание  $CO_2$  и  $O_2$  в продуктах полного сгорания.

Значения  $P$  также приведены в табл. 1. Теплотворности топлив даны по «Нормам теплового расчета котельного агрегата» (1).

Как видно из таблицы, значения  $P$  мало меняются для отдельных видов топлива, сильно отличающихся по теплотворности. Так, теплотворность газов с малым содержанием азота колеблется от 2500 до 25000 ккал/нм<sup>3</sup>, т. е. в 10 раз, а  $P$  от 1130 до 1000 ккал/нм<sup>3</sup>, т. е. на 11%. Теплотворность каменных углей колеблется от 6770 до 3990 ккал/кг, т. е. на 70%, а  $P$  от 940 до 900 ккал/нм<sup>3</sup>, т. е. на 4%.

Принимая  $P$  постоянной для определенных групп топлива, можно подсчитать потери от химической неполноты горения, не производя анализа горючего и пользуясь только данными анализа продуктов горения.

Ранее было показано, что подсчет располагаемой теплоты продуктов горения и потерь тепла с уходящими газами также может быть произведен без определения состава и теплотворности топлива (2).

Благодаря этому представляется возможным составление тепловых балансов некоторых установок по данным газового анализа, не прибегая к определению состава и теплотворности топлива. Так например, тепловой баланс паровых и водогрейных котлов определяется следующим выражением:

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = 100\%, \quad (5)$$

где  $q_1$  — полезно используемое тепло,  $q_2$  — потери тепла с уходящими газами,  $q_3$  — потери тепла от химической неполноты горения,  $q_4$  — потери тепла от механической неполноты горения,  $q_5$  — потери тепла в окружающую среду в процентах.

При работе на газообразном и жидком топливе потери от механической неполноты горения  $q_4$  отсутствуют. Потери тепла в окружающую среду  $q_5$  не зависят от вида сжигаемого топлива, в большинстве случаев невелики и могут быть определены с достаточной точностью по типу и производительности установки.

Определяя  $q_2$  и  $q_3$  по данным анализа продуктов горения, можно составить таким образом тепловой баланс котла и определить его коэффициент полезного действия.

Сопоставление подсчетов  $q_3$  по принятому и предлагаемому методам дало хорошие совпадения.

Поступило  
17 XI 1952

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Нормы теплового расчета котельного агрегата, 1952. <sup>2</sup> М. Б. Равич, ДАН, 86, № 4 (1952).