

УДК 661.1

### Оценка точности формул для упрощенных расчетов теплоты сгорания природного газа

Студент 5 к. Шелухин В.С., студентка 3 к. Кандидатова И.Н.

Научный руководитель – Калишук Д.Г.

Белорусский государственный технологический университет

г.Минск

Продукты сгорания топлив являются одним из основных источников энергии, а также рабочим телом при проведении многих химико-технологических процессов: сушке, обжиге, крекинге и др. При проектировании и контроле работы теплотехнического оборудования, его наладке важным параметром является теплота сгорания топлива, которая определяет температуру продуктов сгорания, коэффициент избытка воздуха и другие величины.

В химических предприятиях Беларуси основным топливом является природный газ. В практике инженерных расчетов нижнюю теплоту сгорания его  $Q_{н}$ , МДж/м<sup>3</sup>, следует рассчитывать по формуле [1]:

$$Q_{н} = \sum_{i=1}^n Q_{ни} c_i, \quad (1)$$

где  $Q_{ни}$  – нижняя теплота сгорания  $i$ -го компонента природного газа, МДж/м<sup>3</sup>;

$c_i$  – объемная доля  $i$ -го компонента в природном газе, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

По требованиям стандарта [1] значение  $Q_{н}$  округляется до 0,05 МДж/м<sup>3</sup>. При расчетах следует учитывать горючие компоненты, объемная доля которых превышает  $1 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, а теплота сгорания –  $5 \cdot 10^{-3}$  МДж/м<sup>3</sup> природного газа.

Природный газ, поставляемый в Беларусь, имеет относительно стабильный состав и содержит следующие горючие компоненты: метан, этан, пропан, изобутан и изопентан (см. таблицу 1). Следовательно, для указанного состава газа формула (1) приобретает вид

$$Q_{н} = Q_{н1} c_1 + Q_{н2} c_2 + Q_{н3} c_3 + Q_{н4} c_4 + Q_{н5} c_5, \quad (2)$$

где  $Q_{н1}$ ,  $Q_{н2}$ ,  $Q_{н3}$ ,  $Q_{н4}$ ,  $Q_{н5}$  – нижние теплоты сгорания метана, этана, пропана, изобутана и изопентана соответственно, МДж/м<sup>3</sup>;

$c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$ ,  $c_5$  – объемные доли метана, этана, пропана, изобутана и изопентана соответственно, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Таблица 1 – Содержание горючих компонентов в природном газе, поставляемом в Беларусь (по данным Белтопгаза за 2000 год)

Месяц	Объемная доля горючего компонента $c_i \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{м}^3$				
	метан	этан	пропан	изобутан	изопентан
Январь	97916	852	251	88	13
Февраль	98040	759	266	94	15
Март	97976	794	283	101	17
Апрель	97861	847	313	112	18
Май	97712	936	349	131	21
Июнь	97641	972	365	140	25
Июль	97742	906	334	130	25
Август	97524	1026	405	151	29
Сентябрь	97590	990	376	139	24
Октябрь	97756	907	332	125	22
Ноябрь	97775	910	334	120	21
Декабрь	97845	873	314	119	19
Среднее за год	97779	898	327	120	21

Ввиду преобладающего содержания в природном газе метана, а также сравнительно небольшого колебания в нем доли других углеводородов, представляется возможным упростить расчетную формулу (2), представив ее в виде

$$Q_n = A (Q_{n1}c_1 + \dots + Q_{nk}c_k), \quad (3)$$

где  $A$  – коэффициент, учитывающий теплоту сгорания неучтенных горючих компонентов;

$k$  – порядковый номер последнего из учтенных горючих компонентов.

В рассматриваемом нами случае  $k < 5$ . Очевидно, что расчет по формуле (3) существенно упрощается по сравнению с расчетом по формуле (2), если будут учитываться два (метан и этан) или три (метан, этан и пропан) компонента. С целью получения осредненных значений коэффициентов  $A$  были проведены расчеты нижних теплот сгорания: точных по формуле (2), приближенных с использованием формулы (1) при учете двух компонентов  $Q_{n(2)}$ , МДж/м<sup>3</sup>, и трех компонентов  $Q_{n(3)}$ , МДж/м<sup>3</sup>. Результаты этих расчетов приведены в таблице 2. При выполнении расчетов использованы значения  $Q_{n1}$ – $Q_{n5}$ , приведенные в стандарте [1] для температуры 0°С и давления 101,325 кПа.

Таблица 2 – Результаты точных и приближенных расчетов теплоты сгорания природного газа

Месяц	Нижняя теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>			$Q_n / Q_{n(2)}$	$Q_n / Q_{n(3)}$
	по формуле (2) $Q_n$	$Q_{n(2)}$	$Q_{n(3)}$		
Январь	36,043	35,680	35,914	1,010174	1,003592
Февраль	36,032	35,665	35,913	1,010290	1,003314
Март	36,076	35,662	35,926	1,011609	1,004175
Апрель	36,115	35,657	35,949	1,013043	1,004618
Май	36,180	35,662	35,987	1,014525	1,005363
Июнь	36,210	35,659	35,999	1,015452	1,005861
Июль	36,162	35,653	35,964	1,014276	1,005506
Август	36,260	35,652	36,029	1,017054	1,006412
Сентябрь	36,211	35,653	36,003	1,015651	1,005777
Октябрь	36,156	35,659	35,968	1,013938	1,005227
Ноябрь	36,152	35,660	35,971	1,013797	1,005032
Декабрь	36,140	35,668	35,961	1,013239	1,004978
Среднее за год	36,146	35,661	35,966	1,013600	1,005005

В результате анализа расчетов нами приняты следующие упрощенные формулы для определения нижней теплоты сгорания природного газа:

$$Q_n = 1,0136 (Q_{n1}c_1 + Q_{n2}c_2); \quad (4)$$

$$Q_n = 1,0050 (Q_{n1}c_1 + Q_{n2}c_2 + Q_{n3}c_3). \quad (5)$$

Сравнение результатов расчетов по формуле (2) с результатами расчетов по формулам (4) и (5) после их округления в соответствии с требованиями стандарта [1] показало, что максимальное абсолютное отклонение значений  $Q_{n2}$ , вычисленных по формуле (4), от их значений, определенных по стандарту, составляет 0,100 МДж/м<sup>3</sup>, по формуле (5) – 0,050 МДж/м<sup>3</sup>. При этом относительное отклонение точных

значений  $Q_n$ , вычисленных по формуле (4), от определенных по формуле (2) не превышает 0,35%, а вычисленных по формуле (5) – 0,17%. Следовательно, формулы (4) и (5) обеспечивают удовлетворительную точность и могут быть использованы на стадии проектирования теплотехнического оборудования, а также при контроле его работы.

#### **Литература**

ГОСТ 22667-82. Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 5 с.