

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ОСНОВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**

Андреев И.В., Павлов С.А..

Научные руководители: Долгих А.Ю., ст. преп.; Крайнов А.В., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: shurad@tpu.ru

**THERMODYNAMIC PARAMETERS OF BASIC MINERAL COMPOUNDS INTERACTION  
OF SOLID FUEL**

Andreev I.V., Pavlov S.A.

Scientific Supervisor: senior lecturer Dolgih A.Yu.; PhD in technical science, docent Kraynov A.V.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: shurad@tpu.ru

*The calculation of the thermodynamic characteristics of the main substances mineral solid fuel using model approximating dependencies whose coefficients are functions of temperature. The analysis of approximations in a wide range of temperatures. The influence of the parameters of the model equations for the approximation error of the thermodynamic functions. Presents a graphic interpretation of the tabulated and calculated values of functions at given temperatures.*

**Введение.**

Решение насущных проблем загрязнения (шлакования) поверхностей нагрева топочной части котельного оборудования при сжигании твердого топлива, должна основываться только на знаниях полученных при исследовании термодинамических свойств минеральной части входящих в состав различных углей. При этом должна учитываться следующая важная особенность, температуры плавления негорючей части твердых топлив до настоящего времени определяются только экспериментальным путем. Математическое прогнозирование поведения таких многокомпонентных систем как минеральная часть углей сложная задача, так как она состоит из совокупности соединений, у которых свои индивидуальные термодинамические свойства [1]. Данная работа базируется на математическом моделировании вязких несжимаемых жидкостей как база для инженерного расчета температур плавления и кристаллизации. Знание поведение жидкости при различных температурах способствует, для примера из параллельной области применения данной работы, оценке и выбору режимов работы теплового оборудования, в частности реактора, АЭС. Определение свойства используемых материалов и соединений возникает при оценке аварийности ситуации ТВЭЛ ядерных реакторов. Недостоверность расчетов может привести к неправильной оценке состояния элементов реактора и как следствие неадекватному принятию мер. Полученные прогнозируемые данные в свою очередь будут способствовать выбору режима работы различных энергетических комплексов, котельного оборудования и т.д., удовлетворяющие требованиям надежности и долговечности.

**Описание программы для определения термодинамических свойств  
минеральной части твердого топлива.**

Для построения аппроксимирующих зависимостей термодинамических характеристик основных веществ таких как MgO, SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, CaCO<sub>3</sub>, FeS, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> использовались справочные данные свойств индивидуальных веществ [2-5]. Программа выводит

термодинамические характеристики в зависимости от температуры такие как удельную теплоемкость  $C_p$ , энтропию  $S$ , энтальпию  $H$ , энергию Гиббса  $G^*$ . Для достижения большей точности расчетов справочный шаг  $T$  в 50 К разбивался на более узкие диапазоны.

Уравнение для расчета термодинамических характеристик соединения (1).

$$a \cdot \ln(T) - b = (1).$$

$a$ ,  $b$ - являются коэффициентами уравнения (1) которые зависят от соединения, искомого характеристики которые в свою очередь зависят от температуры.  $T$ - температура искомого соединения К. В таблице 1 представлены коэффициенты определения удельной теплоемкости для карбонат кальция в зависимости от температурного диапазона.

Таблица 1

Коэффициенты удельной теплоемкости для  $CaCO_3$ .

Температурный диапазон	$a$	$b$
290-1600	32,042	95,899
1600-1620	1,0015	17,662
1620-2000	1,00164	17,653

#### Нахождение погрешности при аппроксимации уравнений.

Расчетные величины отличаются от табличных на значение аппроксимации. При графическом отображении в узком температурном диапазоне это отличие может показаться значительным. Анализ погрешности расчетов позволит можно судить о достоверности полученных данных.

Анализ погрешности будет произведен на участке (298,15-2200 К), данный температурный диапазон является рабочим для котельной техники и необходим для проведения пепловых расчетов. Результаты оценки относительной погрешности, на двух произвольно выбранных участках представлены в таблице 2. Полученные результаты, для наглядности, представлены в графическом виде рис 2.

Таблица 2

Погрешность при расчете теплоемкости для  $CaCO_3$ .

Температура К.	Ср табличная Дж/моль К	Ср расчетная Дж/моль К	Погрешность, %
300	83,972	86,861	3,4
360	92,74	92,703	0,03
400	96,982	96,076	0,9
460	101,88	100,557	1,29
500	104,52	103,229	1,23
540	106,83	105,695	1,06
1300	133,55	133,84	0,2
1360	135,29	135,29	0,0007
1400	136,44	136,22	0,16
1460	138,16	137,56	0,43
1500	139,3	138,43	0,62

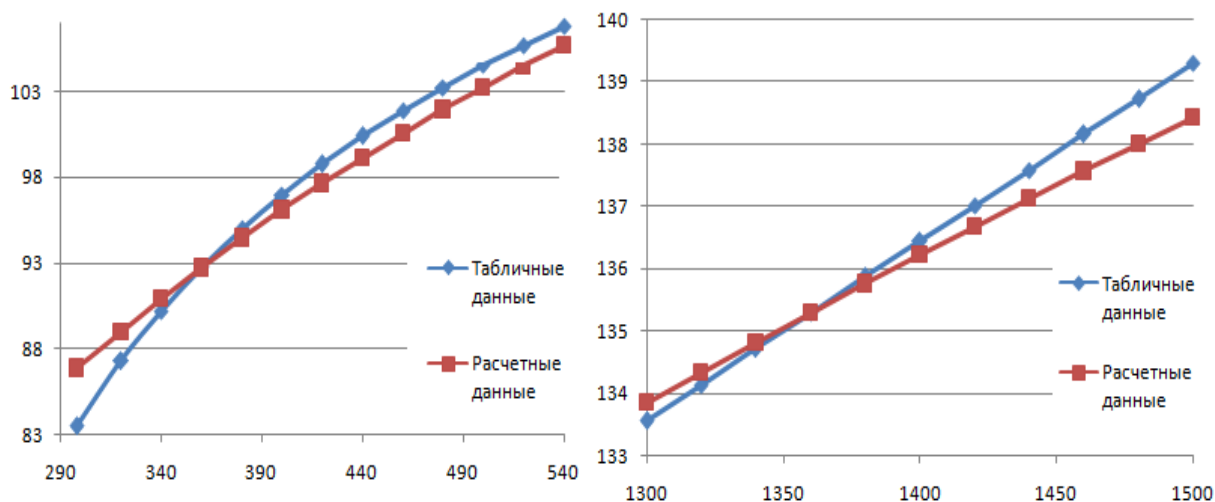


Рисунок 2 – Расхождения показателя удельной теплоемкости для  $\text{CaCO}_3$   
а - в диапазоне 300-540 К, б- в диапазоне 1300-1500.

### Вывод.

Метод наименьших квадратов использовался в данной программе при аппроксимации. Проанализировав полученные данные можно сделать вывод, что программа считает с относительной погрешностью до 2 %. Следовательно, данный алгоритм для расчета термодинамических характеристик минеральной части твердых топлив можно использовать в дальнейших расчетах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алехнович А.Н. Шлакование пылеугольных энергетических котлов. М.: НТФ «Энергопрогресс», Москва 2013г- 112с.: ил. [Библиотека электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып.8(176)].
2. Richard A. Robie «Thermodynamic properties of selected minerals and oxides at high temperatures» USA 1959.
3. Гурвич Л.В., Вейц И.В., Медведев В.А. и др. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание: В 4-х т./ . - 3-е изд., перераб. и расширен. - Т. I. - М.: Наука, 1978. - 328 с.
4. Краткий справочник физико-химических величин. 12-е издание/ Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой.- М.: ООО «ТИД «АРИС». 2010. - 240 с., ил.
5. Верятин У.Д., Маширев В.П., Рябцев Н.Г., Тарасов В.И., Rogozin Б.Д., Коробов И.В., Термодинамические свойства неорганических веществ. Справочник .1965 г Москва.