

*В. Н. Лысова*

Астраханский государственный технический университет

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНТАЛЬПИИ ГИДРОБИОНТОВ

Энтальпия (теплосодержание) – функция теплового состояния тела – выражает количество теплоты  $d_i$ , которое должно быть подведено к телу или отведено от него за время  $i$ , чтобы перевести его из начального состояния в заданное, и определяется выражением

$$d_i = c_p \cdot d \cdot T, \quad (1)$$

где  $c_p$  – объемная теплоемкость тела;  $T$  – температура тела.

Отсюда энтальпия  $i_0$  определяется выражением

$$i(p, T) = i_0(T_0, p) + \int_{T_0}^T c_p dT. \quad (2)$$

При различных тепловых расчетах представляют интерес не абсолютные значения энтальпий, а их изменения в соответствующих процессах.

При элементарном изменении температуры, когда приращение энтальпий есть теплота изобарного процесса, температура единицы массы продукта изменяется на конечную величину и теплота процесса

$$g = \Delta i = c_p \Delta t.$$

Однако при такой записи требуется, чтобы теплоемкость продукта в заданном интервале температур оставалась постоянной или необходимо брать ее среднее значение.

Условие постоянства теплоемкости продукта достаточно удовлетворительно соблюдается при охлаждении или нагревании и нарушается, когда в продукте происходит плавление льда (или льдообразование), особенно в области его интенсивного развития вблизи криоскопической температуры.

Вследствие этого следует иметь в виду, что общее приращение энтальпии продукта при изменении его температуры будет иметь вид:

– при температурах выше криоскопической

$$d_i = c_1 dT;$$

– в области температур ниже криоскопической

$$d_i = c_2 dT.$$

Нулевые значения энтальпий в этих случаях выражают условно при каких-либо значениях температуры и давления. Обычно [1] принимают  $i_0 = 0$  при  $T = 273,15$  К ( $t = 0$  °С) и при  $p = 0,101$  МПа (760 мм рт. ст.). В холодильной технике иногда принимают энтальпию насыщенного пара при  $t = 0$  °С, равную 418,7 кДж/кг.

Строго говоря, начало отсчета энтальпии связано с началом отчета внутренней энергии. В соответствии с международным соглашением для воды за нулевое значение принимается значение внутренней энергии при температуре 273,16 К и давлении 0,0006108 МПа (тройная точка), тогда энтальпия в этой точке  $i = 0,000611$  кДж/кг.

Энтальпию рыбы отсчитывают от ее величин при температуре  $-20$ ,  $-30$  или  $-40$  °С, принимаемой за 0 [2–8].

По мнению Л. И. Константинова [5], энтальпия разнообразных пищевых продуктов при определенной температуре характеризуется линейной зависимостью от содержания в продукте влаги  $W$ :

$$i = KW + B,$$

где  $K$  и  $B$  – коэффициенты, зависящие от температуры.

Данные по правомочности подобного утверждения представлены только при температуре продукта  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  [5]. Результаты графического представления энтальпии продукта в зоне температур ниже криоскопической показывают, что влияние количества влаги в продукте на величину энтальпии отсутствует [5].

Вместе с этим Л. И. Константинов представляет аппроксимирующие выражения для расчета энтальпии рыбы с различным относительным содержанием влаги:

$$i = [(0,75W + 0,25)t_p + 114W - 12,2] \cdot 4,187; t_p = 0 \div 30\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (3)$$

$$i = [(0,5W + 0,14)t_p + 10W - 13] \cdot 4,187, t_p = -15 \div -25\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (4)$$

где  $t_p$  – температура рыбы,  $^{\circ}\text{C}$ .

Несогласованность данных по энтальпии рыбы, представленной Л. И. Константиновым [5] в графическом варианте, с расчетными данными по формулам (3) и (4) может быть объяснена тем, что график зависимости энтальпии от температуры строился по количеству вымороженной влаги, рассчитываемой с применением формулы Г. Б. Чинова без учета влияния начального влагосодержания продукта. Очевидно, что, с определенной степенью погрешности, зависимость, построенная автором, справедлива для продукта, имеющего влагосодержание 80 %, что соответствует условию для применения формулы Г. Б. Чинова.

Необходимо отметить, что изменения количества вымороженной влаги носят нелинейный характер. В свою очередь, энтальпия является функцией количества вымороженной влаги, начального влагосодержания продукта, что вызывает сомнение в достоверности данных, выражающих линейную зависимость энтальпии рыбы от температуры.

Формула (4) позволяет рассчитать энтальпию рыбы только в диапазоне температур  $-15 \dots -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , где изменение количества вымороженной влаги имеет практически также линейную зависимость.

На практике процесс размораживания рыбы может происходить при начальной температуре выше  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Например, при наличии централизованных холодильников на предприятии часто производится завоз определенного количества замороженного сырья в аккумуляторы-накопители с температурой воздуха  $0 \dots -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вполне очевидно, что в процессе хранения происходит некоторое отепление замороженного сырья.

Несколько иные данные по энтальпии продуктов с различным влагосодержанием получены Г. Б. Чиновым [8].

Авторами [5] и [8] за нулевое значение энтальпии принята температура  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , однако энтальпия при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и 80 % влагосодержания продукта, по [5], составляет 270 кДж/кг, а по [8] – 350 кДж/кг, т. е. различается на 22,9 %.

К различию энтальпий также приводит различие температур, при которых энтальпия принимается за нулевое значение.

В. П. Зайцевым [4] и Э. И. Каухчешвили [6] за начало изменения энтальпий принята температура  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (табл. 1).

В. П. Латышевым [9] представлена расчетная модель энтальпии, величина которой, по мнению автора, зависит от тех же факторов, что и изобарная массовая удельная теплоемкость. Долей пропорциональности является массовая доля:

$$i = \int_{77K}^T C_c(T) dT + \int_{77K}^T C_{ж}(T) dT + W \cdot \left[ \int_{77K}^T C_{л}(T) dT - l(T) \cdot \int_1^{\omega} d\omega(T) \right], \quad (5)$$

где  $C_c$  – теплоемкость сухих веществ, кДж/(кг·К);  $C_{ж}$  – теплоемкость жира, кДж/(кг·К);  $C_{л}$  – теплоемкость льда, кДж/(кг·К);

$$l(T) - 333,6 - \int_T^{273,15K} C_B(T) dT + \int_T^{273,15K} C_{л}(T) dT.$$

Таблица 1

## Экспериментальные значения энтальпии различных видов рыб, кДж/кг

T, °C	По В. П. Зайцеву			По Э. И. Каухчешвили	
	Судак тощий	Севрюга жирная	Филе трески	Рыба тощая	Рыба жирная
0	263,78	249,13	281,78	265,8	249,0
-1	212,28	199,72	224,84	212,2	199,8
-2	–	–	–	111,6	106,2
-3	89,18	85,41	93,78	88,4	85,5
-5	64,06	61,55	66,99	64	62,5
-8	43,54	42,29	45,63	43,5	42,3
-10	33,5	32,66	34,75	33,6	32,7
-12	24,7	24,28	25,54	24,8	24,4
-15	14,23	14,23	14,65	14,3	14,3
-18	5,024	5,024	5,443-	5,0	5,0-
1	269,64	252,89	285,55	269,5	252
2	–	–	–	272,9	256,0
3	276,76	259,59	292,67	–	–
4	–	–	–	280	262,6
5	283,46	266,29	300,21	–	–
7	290,58	272,99	307,3	–	–
8	–	–	–	293,9	277,0
10	301,4	283,46	318,21	301,0	283,0
12	308,16	290,16	325,75	308,0	290,0
15	318,63	300,62	336,63	314,4	300,4
17	325,75	307,32	343,75-	–	–
20	336,2	317,37	355,06	336,0	317,4

В табл. 2 показаны данные по энтальпии продуктов с влажностью 80 %. За начало отсчета энтальпий принята температура 0 °C.

Таблица 2

Энтальпия продукта при различных температурах,  $w = 0,8$ , кДж/кг

T, °C	По Риделю	По В. П. Латышеву
-40	325,1	331,9
-30	306,1	310,7
-20	283,9	286,4
-15	269,6	272,0
-10	254,6	253,9
-5	227,3	223,0
20	-71,:	-73,1
40	-142,4	-146,2

Представляет интерес для практических расчетов определять количество удельной теплоты  $g$ , необходимой для размораживания продукта. В табл. 3 представлены данные по расчету количества удельной теплоты для продукта с влажностью  $w = 0,8$  при размораживании от -20 до 0 °C.

Таблица 3

## Удельная теплота размораживания, кДж/кг

По В. П. Зайцеву	По Э. И. Каухчешвили	По Г. Б. Чижову	По Д. И. Константинову	По В. П. Латышеву
263,78	265,8	275,3	270,6	286,4

Таким образом, расчет удельной теплоемкости размораживания показывает, что начальная точка отсчета энтальпий не влияет на величину удельной теплоты (максимальная погрешность составляет  $\approx 8\%$ ), что применимо в практических расчетах тепловой нагрузки дефростеров, морозильных аппаратов и камер предварительного охлаждения рыбы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Теплотехнический справочник*. – М.: Энергия, 176. – 897 с.
2. *Бражников А. М. Теория термической обработки мясопродуктов*. – М.: Агропромиздат 1987. – 272 с.

3. Головкин Н. А. Холодильная технология пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1984. – 240 с.
4. Зайцев В. П. Холодильное консервирование рыбных продуктов. – М.: Пищепромиздат, 1962. – 462 с.
5. Константинов Л. И. Холодильная технология рыбных продуктов. – М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1984. – 184 с.
6. Каухчешвили Э. И., Аверин Г. Д., Журавская Н. К. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 254 с.
7. Родин Е. М. Холодильная техника рыбных продуктов. – М.: Пищ. пром-сть, 1979. – 200 с.
8. Чижов Г. Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов. – М.: Пищ. пром-сть, 1979. – 271 с.
9. Латышев В. П. Рекомендации по расчету теплофизических свойств пищевых продуктов // Тр. ВНИРО. – 1977. – С. 64–85.

Получено 15.12.2006

### THE DEFINITION OF HYDROBIONT ENTHALPY

*V. N. Lysova*

Research results of various authors on experimental definition of hydrobiont enthalpy are analyzed. It is established that the value of a specific heat flow that is necessary for defrosting of hydrobiont mass unit, differs within the limits of 6–10 % that is comprehensible to engineering calculations, and it is not dependable on temperature changes, when enthalpy is accepted as a zero value. It is recommended to use approximating mathematical dependences to calculate enthalpy at various temperatures.