

УДК 664.951.036 : 664.951.14

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ

## ЭНТАЛЬПИИ И ТЕПЛОЕМКОСТИ РЫБЫ

В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР ОТ МИНУС 20° ДО МИНУС 196°С

С.Г. Хачмазукьян  
(ВНИРО)

В развитии холодильной техники последнего времени возг-ла идея криогенного замораживания пищевых продуктов, нашедшая уже свое практическое воплощение. Довольно широкое распространение получили туннельные замораживающие аппараты, работающие на жидком азоте. Этим способом замораживают рыбу, креветок, моллюсков. Преимущества этого способа настолько существенны, что в ряде стран ему отдается предпочтение несмотря на относительно высокую стоимость этого хладагента. Главным достоинством криогенного замораживания является возможность достижения в процессе холодильной обработки более низких температур продуктов, что для некоторых из них обеспечивает более высокое качество. В связи с этим, для тепловых расчетов, совершенно необходимо иметь теплофизические показатели продуктов в более широком интервале температур. Теплофизические свойства большинства пищевых продуктов, и, в частности, рыбы, исследованы в основном до температур не ниже  $-30$ ,  $-40^{\circ}\text{C}$ . Чтобы определить численные значения энтальпии и теплоемкости рыбы в диапазоне температур  $-20$  +  $-196^{\circ}\text{C}$ , проведены соответствующие исследования по специально разработанной методике.

Объектом исследования служила свежая щука. Образцы рыбы толщиной 10 мм вырезали из подмороженного филе, взвешивали и помещали в изотермическую камеру, в которой поддерживалась заданная температура путем регулируемой подачи паров жидкого

азота из сосуда Льюара. Температуру рыбы контролировали при помощи самопишущего ленточного потенциометра марки ВТГЕН (ГДР), работающего в диапазоне температур  $+50 + -200^{\circ}\text{C}$ . Датчиками служили хромель-копелевые термопары, одна из которых устанавливалась в геометрическом центре контрольного образца, а вторая на его поверхности. Температуру в камере определяли по образцовому ртутному термометру. За начало отсчета энтальпий принимали температуру кипения жидкого азота  $-196^{\circ}\text{C}$ .

В фарфоровый сосуд, изолированный пенопластом, наливали жидкий азот и сосуд устанавливали на весы. Через несколько минут, когда процесс испарения азота из сосуда стабилизировался, определяли количество азота  $m_1$ , испарившегося за I мин. в результате теплопритоков от окружающей среды. Затем в жидкий азот погружали несколько образцов рыбы известной массы и по шкале весов определяли количество испарившегося жидкого азота  $m_2$  за ту же единицу времени. (Из предварительных опытов было установлено, что для замораживания образцов рыбы толщиной 10 мм от начальной температуры  $-20^{\circ}\text{C}$  до конечной температуры  $-196^{\circ}\text{C}$  требуется не более 45 сек). Тепло, отведенное от рыбы в процессе замораживания ее в жидком азоте

$$Q = m \cdot r \text{ [ккал]},$$

где  $m = m_2 - m_1$  [кг];

$r = 47,1$  ккал/кг - скрытая теплота парообразования жидкого азота.

С другой стороны количество тепла, отведенное от рыбы при заданном изменении ее температуры, определяется разностью энтальпий начального и конечного состояния продукта, т.е.

$$Q = (i_1 - i_k) G \text{ [ккал]},$$

где  $G$  - масса рыбы, кг;

$i_1$  - энтальпия рыбы при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ ;

$i_k$  - энтальпия рыбы при конечной температуре  $-196^{\circ}\text{C}$  равняется нулю (начало отсчета).

Следовательно,

$$i_1 = \frac{Q}{G} = \frac{mr}{G} \text{ [ккал/кг]}.$$

Для определения энтальпии рыбы при температурах  $-30^{\circ}$ ,  $-40^{\circ}$ ,  $-50^{\circ}\text{C}$  и т.д. температура в камере понижалась на  $10^{\circ}\text{C}$ , образцы рыбы термостатировались и замораживались в жидком азоте каждый раз до конечной температуры  $-196^{\circ}\text{C}$ .

Математическая обработка опытных данных позволили подобрать эмпирическую формулу, при помощи которой можно с достаточной степенью точности определять разность энтальпий рыбы в диапазоне температур  $-20^{\circ} + -196^{\circ}\text{C}$  (для филе щуки)

$$\Delta i = K(\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n}) [\text{ккал/кг}],$$

где  $K - 5,6$  - опытный коэффициент;

$t_n$  и  $t_k$  - соответственно начальная и конечная температуры продукта, которые берутся по абсолютной величине в градусах Цельсия.

Так как средняя весовая теплоемкость

$$C = \frac{\Delta i}{\Delta t} \left[ \frac{\text{ккал}}{\text{кг. град}} \right],$$

то эмпирическая формула для теплоемкости продукта будет иметь следующий вид

$$C = \frac{K(\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{t_k - t_n} = \frac{K}{\sqrt{t_k} + \sqrt{t_n}} \left[ \frac{\text{ккал}}{\text{кг. град}} \right]$$

В табл. I приведены значения энтальпий рыбы (филе щуки), полученные опытным путем и рассчитанные по эмпирической формуле.

Средние значения теплоемкости, полученные из отношения разности энтальпий к принятому интервалу температур, приведены в табл. 2 и по ним построен график зависимости теплоемкости рыбы от температуры.



Таблица 1

Температура, °C	Энтальпия, ккал/кг		Относительная погрешность, %
	опытная	расчетная	
-20	53,7	53,4	0,6
-30	48,2	47,7	1,0
-40	43,5	43,0	1,2
-50	39,3	38,9	1,0
-60	35,5	35,0	1,4
-70	32,0	31,6	1,3
-80	28,7	28,3	1,4
-90	25,6	25,3	1,2
-100	22,6	22,4	0,9
-120	16,8	16,9	0,6
-140	11,6	12,0	3,5
-160	7,0	7,4	5,7
-196	0,0	0,0	0,0

Таблица 2

Температура, °C	Теплоемкость	Температура, °C	Теплоемкость
-20 + -30	0,55	-80 + -90	0,31
-30 + -40	0,47	-90 + -100	0,30
-40 + -50	0,42	-100 + -120	0,29
-50 + -60	0,38	-120 + -140	0,26
-60 + -70	0,35	-140 + -160	0,23
-70 + -80	0,33	-160 + -196	0,19

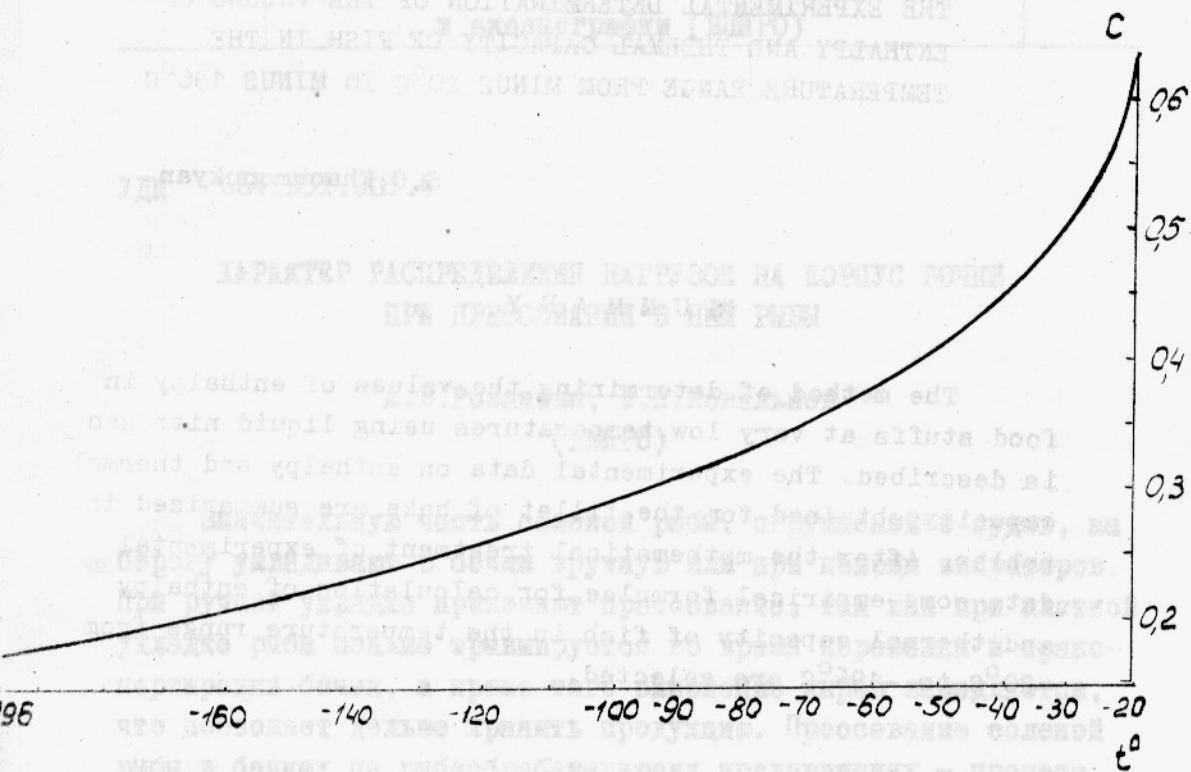


График зависимости средней весовой теплоемкости (в ккал) рыбы (филе щуки) от температуры

Допустимо предположить, что и для других пищевых продуктов животного происхождения в том же диапазоне температур, энтальпия может быть выражена той же эмпирической формулой, в которой требует определения лишь опытный коэффициент К. Однако если энтальпия продукта в интервале температур от  $-20^{\circ}$  до  $-30^{\circ} \div -40^{\circ}\text{C}$  известна, то коэффициент К можно определить по формуле

$$K = \frac{\Delta l}{\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n}}$$

и полученное значение коэффициента распространить затем на весь диапазон температур от  $-20^{\circ}$  до  $-196^{\circ}\text{C}$ .

THE EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE VALUES OF ENTHALPY AND THERMAL CAPACITY OF FISH IN THE TEMPERATURE RANGE FROM MINUS 20°C TO MINUS 196°C

S.G. Khachmanukyan

S U M M A R Y

The method of determining the values of enthalpy in food stuffs at very low temperatures using liquid nitrogen is described. The experimental data on enthalpy and thermal capacity obtained for the fillet of hake are summarized in tables. After the mathematical treatment of experimental data some empirical formulae for calculation of enthalpy and thermal capacity of fish in the temperature range from -20°C to -196°C are selected.

Температура, °C	Теплоемкость	Температура, °C	Теплоемкость
-20 + -30	0,55	-80 + -90	0,31
-30 + -40	0,47	-90 + -100	0,30
-40 + -50	0,42	-100 + -120	0,29
-50 + -60	0,38	-120 + -140	0,26

В работе описан метод определения значений энтальпии и теплоемкости пищевых продуктов при очень низких температурах с использованием жидкого азота. Экспериментальные данные по энтальпии и теплоемкости филе трески обобщены в таблицах. После математической обработки экспериментальных данных выбраны эмпирические формулы для расчета энтальпии и теплоемкости рыбы в температурном диапазоне от -20°C до -196°C.

$$K = \frac{\Delta H}{\sqrt{t_1 - t_2}}$$