

Оценка качества замороженных продуктов при хранении

Д-р техн. наук В. Н. ЭРЛИХМАН

Калининградский государственный технический университет

236000, Калининград, Советский пр., 1

The method for determining duration of storing frozen products with securing necessary quality and changing temperature of storing has been presented. For assessing quality the quality index value has been introduced.

Key words: foodstuff, temperature, quality, phase, storage.

Ключевые слова: продукт, температура, качество, этап, хранение.

В холодильной технологии накоплен значительный объем информации по возможной длительности хранения $\tau_{\text{в}}$ различных продуктов в замороженном виде в зависимости от температуры хранения t . Эта информация обобщена в Рекомендациях* Международного института холода в виде графиков.

В результате их математической обработки нами установлено, что зависимость возможной длительности хранения от температуры с погрешностью до 5 % может быть описана уравнением

$$\tau_{\text{в}} = A (t_{\text{н.з}} - t)^B, \quad (1)$$

где A и B — коэффициенты, зависящие от вида продукта; $t_{\text{н.з}}$ — температура начала замерзания, °С.

Для жирной рыбы $A = 0,055$ и $B = 1,500$; для тощей рыбы $A = 0,063$ и $B = 1,636$.

Зависимость (1) действительна для области температур от -10 до -40 °С.

Задача технологических служб предприятий — не допустить превышения продолжительности хранения до момента потребления продукта τ над возможной длительностью хранения, т. е. обеспечить условие $\tau < \tau_{\text{в}}$. Эта задача легко решается, если температура хранения поддерживается постоянной. В этом случае продолжительность хранения сравнивается с рассчитанной по уравнению (1) возможной длительностью хранения.

В практике хранения замороженных продуктов вследствие ряда причин, таких, как перемещение продукта через пространство с повышенной температурой, отклонение в работе холодильной установки и других, имеют место изменения температурного режима хранения, в результате чего их качество ухудшается быстрее, чем при хранении при постоянной температуре.

Для количественной оценки качества продукта, ухудшающегося в процессе хранения, введем величину показателя качества. Под показателем качества будем понимать отношение времени, оставшегося до потери пригодности продукта τ_0 , к возможной длительности хранения:

$$K = \frac{\tau_0}{\tau_{\text{в}}} = \frac{\tau_{\text{в}} - \tau}{\tau_{\text{в}}} = 1 - \frac{\tau}{\tau_{\text{в}}}. \quad (2)$$

Выражение (2) удовлетворяет граничным условиям. При продолжительности хранения $\tau = 0$ показатель качества имеет наибольшее значение — $K = 1$; при продолжительности хранения, равной возможной длительности хранения ($\tau = \tau_{\text{в}}$), $K = 0$, что означает непригодность продукта к употреблению.

С учетом зависимости (1) выражение (2) для показателя качества продукта при его хранении при $t = \text{const}$ примет вид

$$K = 1 - \frac{\tau}{A (t_{\text{н.з}} - t)^B}. \quad (3)$$

Характер изменения показателя качества при двукратном изменении температурного режима хранения показан на рисунке.

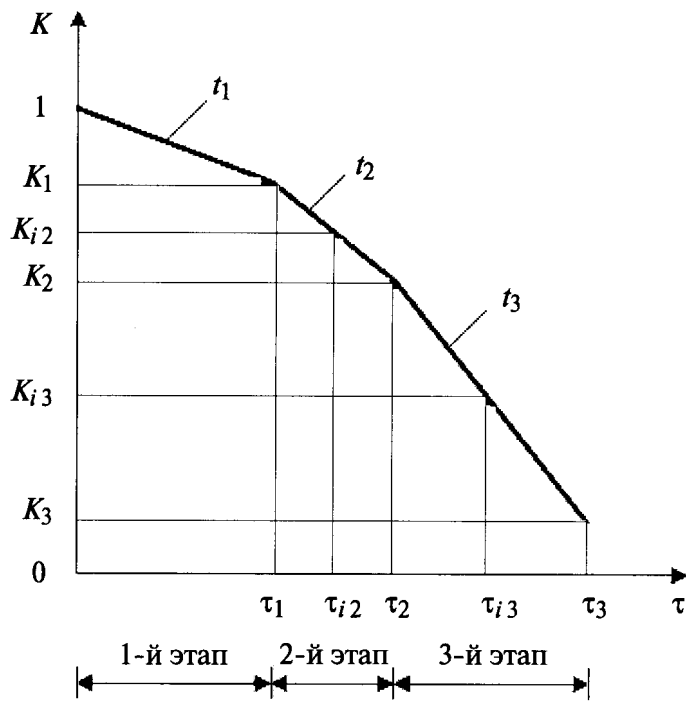
При однократном изменении температурного режима в процессе хранения выражение для текущего значения показателя качества на втором этапе в момент времени τ_{i2} имеет вид

$$K_{i2} = \left(1 - \frac{\tau_1}{\tau_{\text{в1}}}\right) - \left(\left(1 - \frac{\tau_1}{\tau_{\text{в2}}}\right) - \left(1 - \frac{\tau_{i2}}{\tau_{\text{в2}}}\right)\right), \quad (4)$$

где τ_1 — продолжительность первого этапа хранения при температуре t_1 ;

$\tau_{\text{в1}}$ и $\tau_{\text{в2}}$ — возможная длительность хранения на этапах 1 и 2 при соответствующих температурах хранения t_1 и t_2 .

* Recommendations for the processing and handling of frozen foods (2-nd edition) // Annexe au Bulletin de l'I. J. F., Paris, 1972.



Изменение показателя качества продукта в процессе хранения

Первый член в правой части выражения (4) представляет показатель качества по окончании первого этапа

$$K_1 = 1 - \frac{\tau_1}{\tau_{в1}}. \quad (5)$$

Тогда

$$K_{i2} = K_1 - \left(\left(1 - \frac{\tau_1}{\tau_{в1}} \right) - \left(1 - \frac{\tau_{i2}}{\tau_{в2}} \right) \right). \quad (6)$$

Уравнение (6) справедливо, так как удовлетворяет следующим условиям. При продолжительности хранения $\tau_{i2} = \tau_1$, когда первый этап завершен, а второй не наступил, $K_{i2} = K_1$. При $\tau_{i2} = \tau_2$, когда второй этап завершен,

$$K_{i2} = K_2 = K_1 - \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_{в2}}. \quad (7)$$

Из выражения (4) следует, что для обеспечения качества продукта, пригодного к употреблению, т. е. условия $K > 0$, продолжительность хранения при однократном изменении температуры должна составлять

$$\tau_{i2} < \tau_{в2} \left(1 - \frac{\tau_1}{\tau_{в1}} \right) + \tau_1. \quad (8)$$

При двукратном изменении температурного режима в процессе хранения выражение для текущего значения показателя качества на третьем этапе в момент времени τ_{i3} имеет вид

$$K_{i3} = \left(1 - \frac{\tau_1}{\tau_{в1}} \right) - \left(\left(1 - \frac{\tau_1}{\tau_{в2}} \right) - \left(1 - \frac{\tau_2}{\tau_{в2}} \right) \right) - \left(\left(\left(1 - \frac{\tau_1}{\tau_{в3}} \right) - \left(1 - \frac{\tau_1}{\tau_{в3}} \right) - \left(1 - \frac{\tau_2}{\tau_{в3}} \right) \right) \right) - \left(1 - \frac{\tau_{i3}}{\tau_{в3}} \right). \quad (9)$$

С учетом формул (5), (6) и простейших преобразований выражение (9) примет вид

$$K_{i3} = K_1 - \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_{в2}} - \frac{\tau_{i3} - \tau_2}{\tau_{в3}}. \quad (10)$$

Уравнение (10) так же, как и (5), справедливо, поскольку удовлетворяет следующим условиям. При продолжительности хранения $\tau_{i3} = \tau_2$, когда завершен второй этап, а третий не наступил,

$$K_{i3} = K_1 - \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_{в2}} = K_2.$$

При $\tau_i = \tau_3$, когда завершен третий этап хранения,

$$K_{i3} = K_3 = K_1 - \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_{в2}} - \frac{\tau_3 - \tau_2}{\tau_{в3}}. \quad (11)$$

Из выражения (10) следует формула для определения продолжительности хранения продукта без потери его пригодности к употреблению при двукратном изменении температуры, которая имеет вид

$$\tau_{i3} < \tau_{в3} \left(K_1 - \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_{в2}} \right) + \tau_2. \quad (12)$$

Аналогично можно получить выражения для определения показателя качества при трехкратном, четырехкратном и другом количестве изменений температуры. Так, при трехкратном и четырехкратном изменении температуры в процессе хранения они имеют соответственно вид

$$K_{i4} = K_1 - \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_{в2}} - \frac{\tau_3 - \tau_2}{\tau_{в3}} - \frac{\tau_{i4} - \tau_3}{\tau_{в4}}; \quad (13)$$

$$K_{i5} = K_1 - \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_{в2}} - \frac{\tau_3 - \tau_2}{\tau_{в3}} - \frac{\tau_4 - \tau_3}{\tau_{в4}} - \frac{\tau_{i5} - \tau_4}{\tau_{в5}}. \quad (14)$$

Покажем применение приведенных зависимостей на примере определения продолжительности хранения продукта при двукратном изменении температуры.

Исходные данные.

Продукт — жирная рыба, $t_{н.з} = -1$ °С. Температура хранения на этапах: $t_1 = -20$ °С, $t_2 = -16$ °С и $t_3 = -18$ °С. Продолжительность хранения на этапах: $\tau_1 = 2$ мес., $\tau_2 = 1,5$ мес.

Возможная длительность хранения жирной рыбы по формуле (1):

$$\tau_{в} = 0,055 (t_{н.з} - t)^{1,5};$$

при $t_1 = -20^\circ\text{C}$ $\tau_{\text{в}1} = 4,56$ мес.;

при $t_2 = -16^\circ\text{C}$ $\tau_{\text{в}2} = 3,19$ мес.;

при $t_3 = -18^\circ\text{C}$ $\tau_{\text{в}3} = 3,86$ мес.

Показатель качества по окончании первого этапа по формуле (5)

$$K_1 = 1 - \frac{\tau_1}{\tau_{\text{в}1}} = 1 - \frac{2}{4,56} = 0,44.$$

Продолжительность хранения по формуле (12)

$$\tau_{i3} < \tau_{\text{в}3} \left(K_1 - \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_{\text{в}2}} \right) + \tau_2;$$

$$\tau_{i3} < 3,86 \left(0,44 - \frac{1,5 - 2}{3,19} \right) + 1,5; \quad \tau_{i3} < 3,80 \text{ мес.}$$

Таким образом, из-за повышения температуры продолжительность хранения в данном примере должна быть сокращена с 4,56 до 3,80 мес., т. е. на 23 сут.

Представленные зависимости позволяют решать обратную задачу. При заданной продолжительности хранения, используя зависимость (1), можно найти температуру хранения на последнем этапе при известных температуре и продолжительности хранения на предшествующих этапах.