



Научные основы производства продуктов питания

Д-р техн. наук, профессор Шокина Ю.В.

Лекция № 4: Кинетика и продолжительность процесса охлаждения. Влияние различных факторов на скорость охлаждения

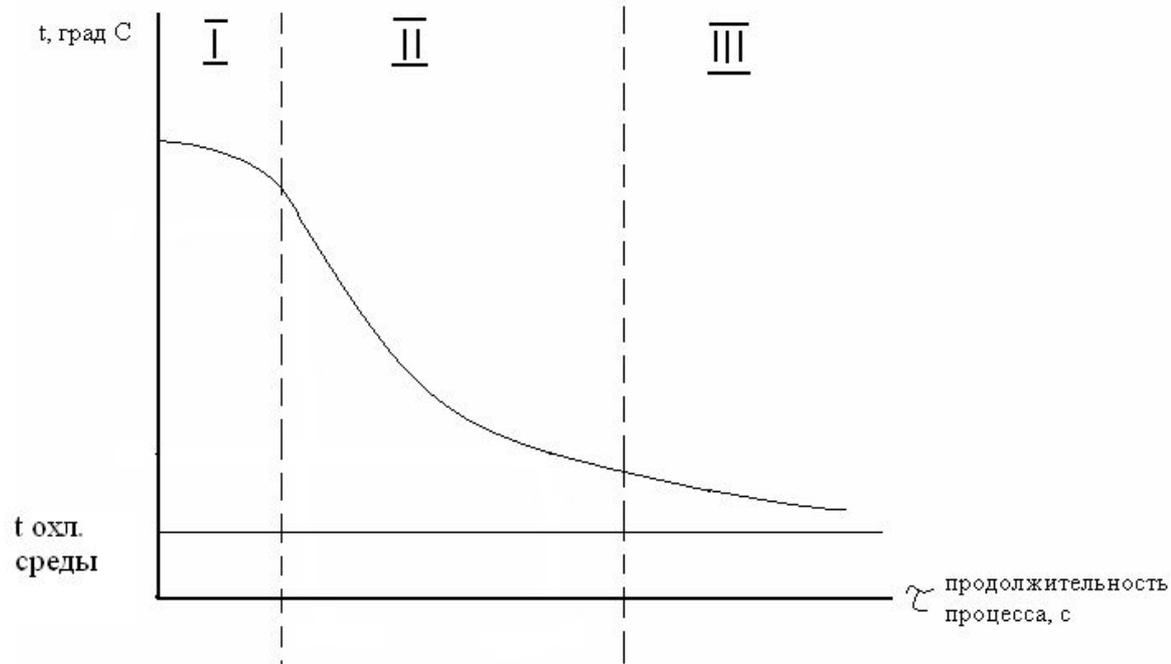


Рисунок 1 - Изменение температуры пищевого сырья в процессе охлаждения: сплошная кривая линия — действительное изменение температуры сыра в его геометрическом центре (кривая охлаждения сыра); участок I — соответствует иррегулярной стадии охлаждения, участок кривой II — соответствует регулярной стадии охлаждения; участок кривой III — соответствует стадии теплового баланса (температура охлаждаемого сыра стремится, но никогда не достигнет температуры охлаждающей среды).

Лекция № 4: Кинетика и продолжительность процесса охлаждения. Влияние различных факторов на скорость охлаждения

Процесс охлаждения имеет три стадии:

первую – иррегулярную, или простую стадию охлаждения, которая в значительной степени зависит от начального температурного поля в продукте;

вторую – регулярного теплового режима, которая независимо от начального температурного поля в продукте характеризуется экспоненциальным изменением температуры во всех его точках;

третью – стадию теплового равновесия, которая теоретически наступает спустя бесконечно длительное время от начала процесса охлаждения, когда температура продукта и охлаждающей его среды становится равными.

Лекция № 4: Кинетика и продолжительность процесса охлаждения. Влияние различных факторов на скорость охлаждения

- **Таким образом, *регулярный тепловой режим наступает лишь спустя некоторое время после начала теплообмена.* Продолжительность первой иррегулярной стадии процесса зависит от сочетания геометрических, теплофизических свойств тела, его начального температурного поля и условий охлаждения.**

Лекция № 4: Кинетика и продолжительность процесса охлаждения. Влияние различных факторов на скорость охлаждения

- Уравнение продолжительности охлаждения можно получить из уравнения теплового баланса, которое имеет следующий вид:

$$- G \cdot C_0 \cdot dt = \alpha \cdot (t - t_0) \cdot S \cdot d\tau \quad (9)$$

где G - масса охлаждаемого пищевого сырья, кг;

C_0 - удельная теплоемкость пищевого сырья, Дж/ (кг · К);

dt - изменение температуры охлаждаемого пищевого сырья, ° С;

α - коэффициент теплоотдачи от пищевого сырья к охлаждающей среде, Вт/ (м² · К);

S - площадь поверхности теплообмена, м²;

$(t - t_0)$ - избыточная температура, как разность между температурой пищевого сырья и температурой охлаждающей среды, ° С;

$d\tau$ - продолжительность охлаждения, с.

Лекция № 4: Кинетика и продолжительность процесса охлаждения. Влияние различных факторов на скорость охлаждения

- **Обозначим комплекс величин $\alpha S/(GC_0) = m$, где m - темп (скорость) охлаждения.**
- **В этом случае из уравнения (9) без учета неравномерности температурного поля внутри пищевого сырья во время охлаждения, скорость понижения температуры в любой его точке можно выразить законом**

$$\frac{dt}{d\tau} = -m \cdot (t - t_0) \quad (10)$$

Лекция № 4: Кинетика и продолжительность процесса охлаждения. Влияние различных факторов на скорость охлаждения

- Переходя к переменной избыточной температуры, имеем:

$$d\vartheta/d\tau = -m\vartheta \quad \text{или}$$
$$d\vartheta/\vartheta = -m d\tau \quad \cdot \quad (11)$$

- Интегрируя выражение (11) и принимая во внимание, что постоянная интегрирования равна начальной избыточной температуре, получаем

$$\tau = \frac{1}{m} \ln(\vartheta_n/\vartheta) \quad \cdot \quad (12)$$

Лекция № 4: Кинетика и продолжительность процесса охлаждения. Влияние различных факторов на скорость охлаждения

- **Из выражения (12) можно найти продолжительность охлаждения в пределах действия закона, представленного формулой (10). Отыскание темпа охлаждения связано с проведением эксперимента.**
- **Пусть для моментов времени τ_1 и τ_2 формула (50) примет вид:**

$$\tau_1 = \frac{1}{m} \cdot \ln(\vartheta_n / \vartheta_1) \quad (13a)$$

$$\tau_2 = \frac{1}{m} \cdot \ln(\vartheta_n / \vartheta_2) \quad (13б)$$

Лекция № 4: Кинетика и продолжительность процесса охлаждения. Влияние различных факторов на скорость охлаждения

Вычтя из формулы (13а) формулу (13б), получим

$$(\tau_1 - \tau_2) = \frac{1}{m} \cdot [\ln(\vartheta_n / \vartheta_2) - \ln(\vartheta_n / \vartheta_1)] \quad \cdot$$

Тогда

$$m = (\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2) / (\tau_1 - \tau_2) \quad \cdot \quad \mathbf{(14)}$$

Лекция № 4: Кинетика и продолжительность процесса охлаждения. Влияние различных факторов на скорость охлаждения

- Графическая интерпретация формулы (14) представлена на рис. 2.

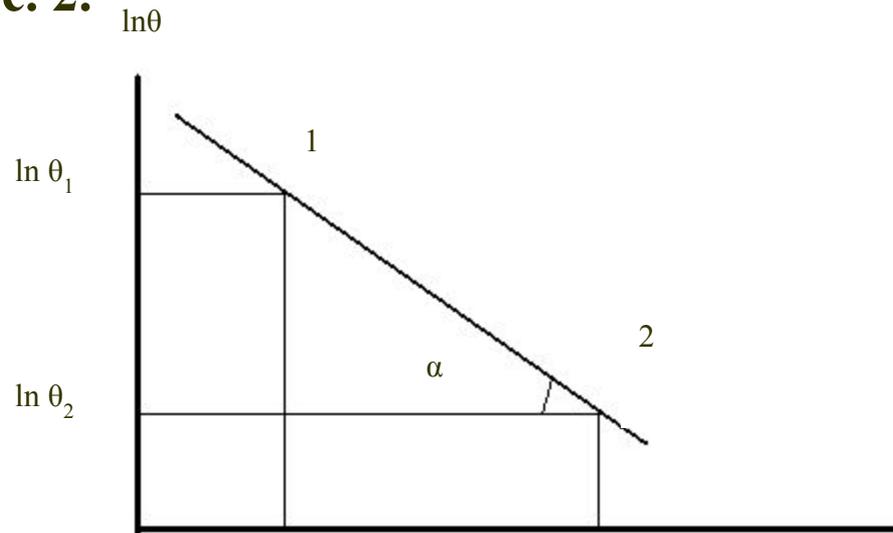


Рисунок 2 - Зависимость логарифмической избыточной температуры $\ln \theta$ от времени τ при регулярном режиме охлаждения (теоретическая прямая охлаждения)

Лекция № 4: Кинетика и продолжительность процесса охлаждения. Влияние различных факторов на скорость охлаждения

- **Из теоретической прямой охлаждения (рис. 2) следует, что, чем быстрее понижается температура пищевого сырья, тем больше будет угол наклона α , а значит, тем больше m . Параметр m назван темпом охлаждения, по его значению судят о скорости процесса.**
- **Темп охлаждения есть конечная положительная величина, постоянная для пищевого сырья заданных размеров и формы при заданной величине коэффициента его теплопроводности.**