

УДК 641.528

Некоторые аспекты интенсификации охлаждения кулинарной продукции

Канд. техн. наук **Цуранов О.А.**, канд. техн. наук **Крысин А.Г.** jol9912@yandex.ru
Санкт-Петербургский государственный торгово-экономический университет.

д-р техн. наук **Вороненко Б.А.** voronenkoboris@yandex.ru
Университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий
921002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Аннотация: Интенсификация охлаждения кулинарной продукции при изменяемой в процессе охлаждения температуре теплоотводящей среды ограничена свойствами продукта, температурой его поверхности (не ниже 0°C) и общей длительностью охлаждения, ограниченной 90 минутами, что обеспечивает минимальное микробиологическое воздействие на продукт. Представлено аналитическое решение задачи охлаждения, позволяющее оценивать длительность процесса охлаждения на первой, наиболее технологически важной фазе охлаждения, в интервале температур продукта 15...30°C.

Ключевые слова: интенсификация охлаждения, изменяемая температура среды, длительность процесса.

Some aspects of an intensification of cooling culinary products

Tsuranov O. A. Krysin A.G. jol9912@yandex.ru
St. Petersburg state trade and economic university

Voronenko B. A. voronenkoboris@yandex.ru
University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Summary: The intensification of cooling of culinary products at a temperature of the heat-removing environment changed in the course of cooling is limited to properties of a product, temperature of its surface (not below 0°C) and the general duration of cooling limited on 90 minutes that provides the minimum microbiological impact on a product. The analytical solution of a problem of the cooling, allowing to estimate duration of process of cooling on the first, most technologically to an important phase of cooling, in the range of temperatures of a product 15...30°C is submitted.

Keywords: cooling intensification, changeable temperature of the environment, process duration.

В технологической практике поточного производства охлажденных пищевых продуктов используют специализированные холодильные установки, в которых обеспечивается постоянство температуры теплоотводящей среды, преимущественно - воздуха, например, для охлаждения полутуш после убоя животных на мясокомбинатах.

Методы интенсификации охлаждения продуктов основаны на регулировании определяющих параметров процесса охлаждения. Для тел стандартной стереометрической формы (пластины, шара, цилиндр) длительность охлаждения описывается выражениями,

полученными путем решения дифференциального уравнения теплопроводности Фурье.

Например, для тела в виде бесконечной плоскопараллельной пластины решение для граничных условий III рода и равномерном начальном распределении температуры для симметричной задачи имеет вид [1]:

$$\frac{t(x, \tau) - t_c}{t_o - t_c} = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos\left(\mu_k \frac{x}{R}\right) e^{-\mu_k^2 \cdot \frac{a\tau}{R^2}}, \quad (1)$$

где $t(x, \tau)$ - температура в любой точке x объема продукта в любой момент времени τ ,

t_c - температура воздуха, °C

t_o - начальная температура продукта, °C

$$A_k = \frac{2 \sin \mu_k}{\mu_k + \sin \mu_k \cdot \cos \mu_k} = (-1)^{k+1} \frac{2Bi \sqrt{Bi^2 + \mu_k^2}}{\mu_k (Bi^2 + Bi + \mu_k^2)}$$

μ_k - последовательные положительные корни характеристического уравнения

$$\operatorname{ctg} \mu = \frac{1}{Bi} \mu,$$

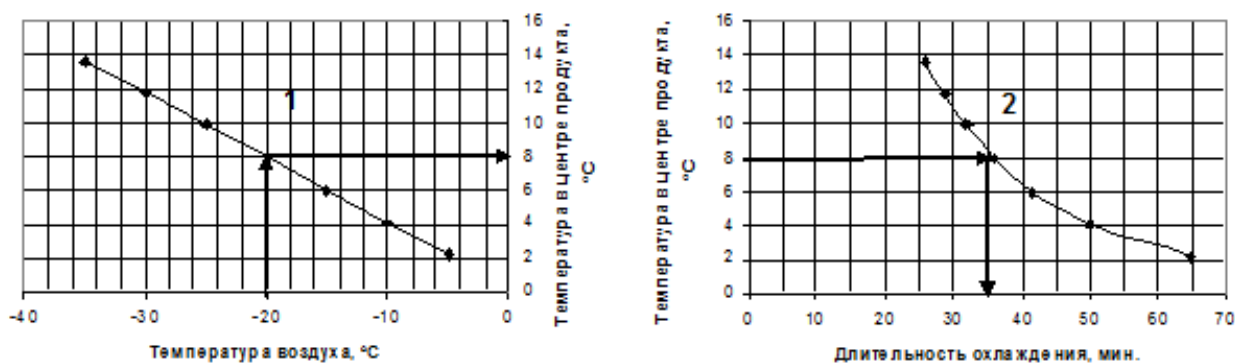


Рис. 1. Связь температуры воздуха, охлаждающего продукт, с температурой в центре продукта (1) и температуры в центре продукта с длительностью охлаждения продукта (2) (температура поверхности продукта 0°C).

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda} - \text{число Био,}$$

α - коэффициент теплоотдачи от поверхности продукта к теплоотводящей среде $\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$,

λ - коэффициент теплопроводности продукта, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$,

R - определяющий геометрический размер, м.,

a - коэффициент температуропроводности продукта, $\text{м}^2/\text{с}$.

Решение (1) описывает процесс охлаждения при неизменной температуре воздуха в течение всего процесса охлаждения. Расчет осуществлялся при температуре воздуха (рис.1) в интервале температур от 0°C до -35°C. Охлаждение завершалось при достижении поверхностью продукта температуры в 0°C.

Графическая зависимость (рис. 1, поз. 1), отображает связь между температурой воздуха, охлаждающего продукт, и температурой в его центре. Графическая зависимость (рис. 1, поз. 2), отображает связь между температурой в центре продукта и длительностью охлаждения продукта (температура поверхности продукта 0°C).

Охлаждение продукта воздухом при всё более низкой температуре (до температуры поверхности продукта 0°C) соответствует более высокой температуре в его центре. В соответствии с технологическими требованиями в конце процесса охлаждения температура в центре продукта не должна быть выше $3\dots 5^{\circ}\text{C}$.

Указанное технологическое требование является определяющим в выборе температуры воздуха. Если принять температуру в центре продукта, равную 3°C , то для ее достижения следует использовать воздух температурой -8°C . При этих условиях длительность процесса охлаждения составит 53 мин. При повышении допустимой температуры в центре продукта до 5°C температура воздуха может быть понижена до $-10\dots -12^{\circ}\text{C}$.

Полученные данные могут несколько изменяться в зависимости от принятых теплофизических характеристик продукта и условий охлаждения. Однако, общая закономерность является неизменной: выбор температуры воздуха для охлаждения продукта ограничен технологическим требованием достижения температуры в центре не выше $3\dots 5^{\circ}\text{C}$ и температурой на его поверхности не ниже 0°C .

В системе общественного питания, в частности, в практике работы ресторанов, широко используется охлажденная кулинарная продукция.

Кулинарная продукция, приготовленная в конвектоматах (температура на выходе $70\dots 90^{\circ}\text{C}$), охлаждается в холодильных шкафах интенсивного охлаждения периодического действия. Охлаждение продукта осуществляется до температуры в центре продукта $3\dots 5^{\circ}\text{C}$.

До загрузки продукта в шкаф воздух внутри шкафа предварительно охлаждают.

Процесс охлаждения продукта протекает при непрерывно понижающейся температуре воздуха. При помещении продукта в шкаф температура воздуха в нем повышается весьма существенно до $30\dots 50^{\circ}\text{C}$.

В холодильном шкафу охлаждение продукта контролируется процессором. При достижении поверхностью продукта температуры $0\dots 3^{\circ}\text{C}$ холодильная машина переходит в режим охлаждения продукта воздухом температурой не ниже 0°C .

Ранее было представлено решение задачи для двухстадийного охлаждения продукта при изменяемой температуре воздуха [2].

Для I стадии решение в безразмерном виде (охлаждение поверхности продукта до принятой температуры, например, 3°C) получено методом интегрального преобразования

Лапласа [2]:

$$T_1(X, Fo) = \frac{t_o - t_1(x, \tau)}{t_o - t_m} = 1 + \frac{Bi_1}{\varphi(Pd)} \cos(\sqrt{Pd} X) e^{-PdFo} - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{A_m}{1 - \frac{\mu_m^2}{Pd}} \cos(\mu_m X) e^{-\mu_m^2 Fo}, \quad (3)$$

где μ_m - последовательные положительные корни характеристического уравнения

$$ctg\mu = \frac{\mu}{Bi_1}; Pd = \frac{k R^2}{a} - \text{число Предводителява, } (k - \text{коэффициент затухания, } 1/с).$$

Анализ полученных решений для продукта исходной температурой 80°C, $R=0.02$ м позволил установить следующие основные закономерности.

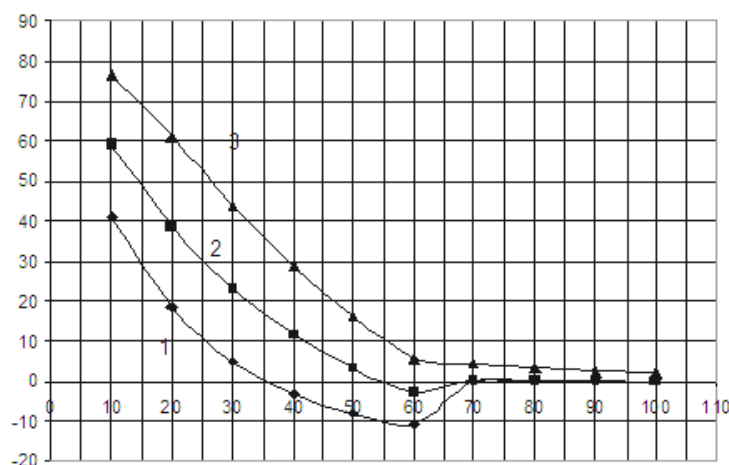


Рис. 3. График изменения температуры воздуха (1), поверхности (2) и центра продукта (3). Коэффициент затухания $k= 0.00087$ 1/с.

Темп охлаждения зависит от технологического предпочтения к выполнению процесса и задается процессором холодильной машины. По технологическим соображениям общая длительность охлаждения продукта не должна превышать 90 мин. Поскольку процесс охлаждения состоит из двух фаз, то длительность первой фазы (охлаждение продукта до достижения на его поверхности 3...5°C) определяет длительность второй фазы.

На рис. 2, 3, 4 представлены графики изменения температуры воздуха, поверхности и центра продукта (позиции 1, 2, 3)

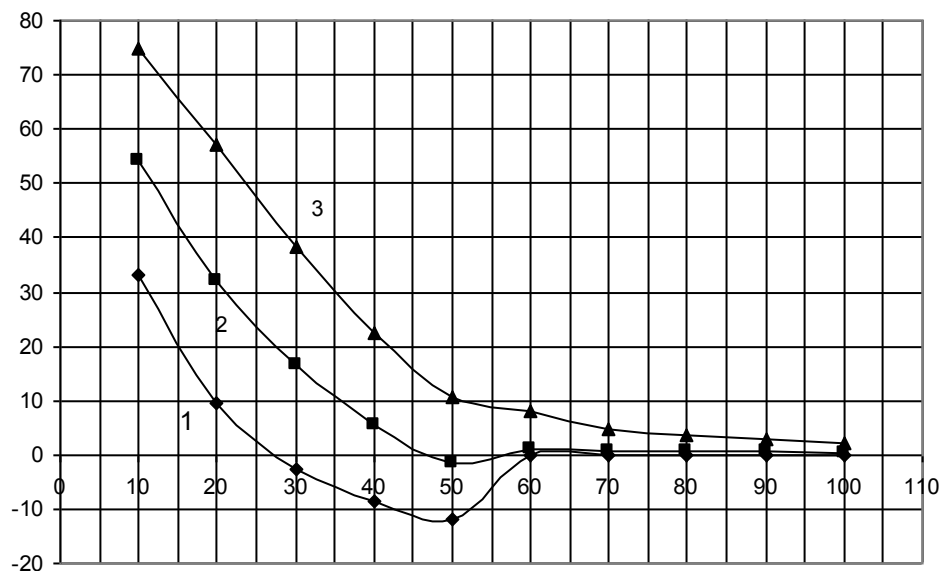


Рис. 4. График изменения температуры воздуха (1), поверхности (2) и центра продукта (3). Коэффициент затухания $k=0.00113$ 1/с.

С увеличением интенсивности охлаждения длительность первой фазы уменьшается. Температура поверхности продукта (рис. 4), равная 5°C , составила 40мин. Через 60 мин температура воздуха в шкафу повысилась до 0°C . Дальнейшее охлаждение продукта протекает при этой температуре. Длительность второй фазы в общей длительности 90 мин. составила 55%.

При меньшей интенсивности охлаждения ($k=0.00087$ 1/с, рис. 3), поверхность продукта достигает 5°C за 50 мин, что составляет 44% от общей длительности процесса.

При выполнении процесса охлаждения предполагается достижение возможно большей скорости для прохождения зоны $15...30^{\circ}\text{C}$ – зоны максимальной скорости развития микрофлоры. С этой точки зрения интенсификация охлаждения продукта в первой фазе является предпочтительной.

Использование воздуха отрицательной температуры в холодильных шкафах интенсивного охлаждения предполагает жесткий контроль этого параметра. Поэтому современные шкафы интенсивного охлаждения комплектуются многозональными щупами, имеющими по высоте 6...9 термопар. Это позволяет контролировать температуру воздуха в шкафу и в любой точке объема продукта.

Выводы:

1. В шкафах интенсивного охлаждения определяющим критерием при выборе режимных параметров процесса, является превышение скорости охлаждения над скоростью развития микрофлоры.

2. В рамках технологически заданной общей длительности процесса, как правило, равной 90мин, интенсификация охлаждения продукта в первой фазе охлаждения является технологически предпочтительной.

3. Аналитическая оценка длительности охлаждения на основе решения (3) в рамках общей технологической длительности процесса 90 минут позволяет оценить длительность каждой из фаз процесса.

Литература:

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600с.
2. Цуранов О.А., Крысин А.Г., Вороненко Б.А. Особенности математического описания процесса охлаждения кулинарных изделий в аппаратах интенсивного охлаждения. "Новые технологии", выпуск 3. – Майкоп: изд-во ГОУ ВПО. МГТУ, 2010. – С.59-62.

Literatura:

1. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti. – M.: Vysshaya shkola, 1967. – 600s.
2. Tsuuranov O.A., Krysin A.G., Voronenko B.A. Osobennosti matematicheskogo opisaniya processa ohlazhdeniya kulinaryh izdelii v apparatah intensivnogo ohlazhdeniya. "Novye tehnologii", vypusk 3. – Majkop: izd-vo GOU VPO. MGTU, 2010. – S.59-62.