

Krukovskij, P.G. (1998), *Inverse problems of heat and mass transfer [Obratnye zadachi teplomassoperenosa]*, NANU Institut tehnichej teplofiziki, K., 224 p.

Погожих Микола Іванович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри енергетики та фізики, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-86; e-mail: drpogozhikh@mail.ru.

Погожих Николай Иванович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедры энергетики и физики, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-86; e-mail: drpogozhikh@mail.ru.

Pogozhikh Nikolay, PhD, associate professor, head of department of energetics and physics, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska st., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-86; e-mail: drpogozhikh@mail.ru.

Иштван Егор Олексійович, асист., кафедра енергетики та фізики, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-00; e-mail: egor_ishtvan@mail.ru.

Иштван Егор Алексеевич, ассист., кафедра энергетики и физики, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-00; e-mail: egor_ishtvan@mail.ru.

Ishtvan Iegor, assistant, department of energetics and physics, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska st., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (066)349-45-00; e-mail: egor_ishtvan@mail.ru.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук В.М. Михайловим.
Отримано 1.08.2014. ХДУХТ, Харків.*

УДК 641.528.6

ОБҐРУНТУВАННЯ УМОВ ШВИДКОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

В.О. Потапов, Д.П. Семенюк

Запропоновано методику технологічного розрахунку тривалості швидкого заморожування, яка повинна складатися з двох етапів. На першому визначають умови, за яких можливе швидке заморожування, тобто

розраховують потрібний коефіцієнт тепловіддачі для заданого розміру продукту, а на другому етапі – безпосередньо загальну тривалість процесу заморожування, з урахуванням його теплофізичних характеристик, що забезпечують задану лінійну швидкість заморожування.

Ключові слова: швидке заморожування, тривалість заморожування, харчові продукти.

ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ БЫСТРОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

В.А. Потапов, Д.П. Семенюк

Предложена методика технологического расчета длительности быстрого замораживания, которая должна состоять из двух этапов. На первом определяют условия, при которых возможно быстрое замораживание, то есть рассчитывают нужный коэффициент теплоотдачи для заданного размера продукта, а на втором этапе – непосредственно общую длительность процесса замораживания, с учетом его теплофизических характеристик, которые обеспечивают заданную линейную скорость замораживания.

Ключевые слова: быстрое замораживание, продолжительность замораживания, пищевые продукты.

JUSTIFICATION OF THE CONDITIONS OF FAST FREEZING OF FOOD STUFF

V. Potapov, D. Semeniuk

The well-known Plank formula for calculating freezing duration is the most simple and quite universal formula. It well describes the duration of freezing front advancing from the surface to the center of the product. However, this formula cannot be used under rapid freezing conditions since it does not consider the further cooling of the product which is being frozen. The further advancement of this formula is the one considering terminal heat capacity of frozen part and body shape coefficient of the product.

Authors made the same assumptions as in the case of Plank formula. However, the integral equation of energy conservation and transfer with phase transitions for arbitrary volume which consists of freezing front and layer of frozen product was used.

Based on these calculations there exists the maximal characteristic product size for which the rapid freezing mode is applicable.

Thus, in order to provide rapid freezing mode it is necessary to determine the relationship between the characteristic product size and the intensity of external heat transfer.

According to the authors, the method of calculating the duration of rapid freezing should consist of two stages. On the first stage the conditions under which the fast freezing is possible are defined. Also the necessary heat transfer coefficient for a given amount of product is defined. On the second stage the overall duration of the freezing process is calculated considering the time required for cooling and final freezing.

Keywords: fast freezing, duration of freezing, food stuff.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Як відомо, критерієм якості заморожування є швидкість процесу. Чим більша швидкість заморожування, тим менший розмір кристалів, та відповідно, менший ступень пошкодження тканин продукту, менші втрати маси та біологічно активних речовин. Проте існуючі рекомендації щодо технологічних розрахунків процесу заморожування ґрунтуються на визначенні лише часу заморожування, незважаючи увагу на швидкість цього процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують практичні рекомендації щодо швидкості заморожування різних авторів. Так, згідно з класифікацією Планка [1] середня лінійна швидкість для швидкого заморожування становить 5...50 см/год, заморожування з меншою швидкістю таким не вважається.

Метою статті є визначення режимів процесу заморожування харчових продуктів, які відповідають швидкому заморожуванню.

Виклад основного матеріалу дослідження. Найбільш простою та універсальною формулою для розрахунку тривалості процесу заморожування є відома формула Планка, яка досить повно описує тривалість просування фронту заморожування від поверхні до центру продукту. Однак для умов швидкого заморожування ця формула не може бути використана, бо вона не враховує подальшого охолодження замороженого шару продукту. Із неї виведено формулу, яка враховує кінцеву теплоємність замороженої частини продукту та коефіцієнт форми тіла [2], а саме:

$$\tau_{\text{зам}} = R\rho \left(\frac{\Phi q}{t_{\text{кр}} - t_x} + \frac{C}{2} \right) \left(\frac{R}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right), \quad (1)$$

де $\tau_{\text{зам}}$ – час заморожування, с; q – питома теплота льодоутворення, $3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг; ρ – густина продукту, кг/м³; C – питома теплоємність продукту, Дж/кг·К; R – характерний розмір продукту, м; λ – коефіцієнт теплопровідності продукту, Вт/(м·К); α – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні продукту до охолоджувального середовища, Вт/(м²·К); t_x – температура охолоджувального середовища, °С; $t_{\text{кр}}$ – криоскопічна

температура продукту, °C; $\Phi = V/(SR)$ – коефіцієнт форми тіла, де V – об’єм тіла, S – площа його поверхні. Для тіл простої форми: нескінченна пластина $\Phi = 1$, нескінченний циліндр $\Phi = 1/2$, сфера $\Phi = 1/3$.

Легко довести, що запроваджений таким чином коефіцієнт форми не є цілком адекватним. Дійсно, для сфери діаметром $2R$ та для куба зі стороною $2R$ він однаковий, а саме:

$$\Phi_{\text{сфери}} = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{4\pi R^2 \cdot R} = \frac{1}{3} \quad (2)$$

$$\Phi_{\text{куба}} = \frac{(2R)^3}{6(2R)^2 \cdot R} = \frac{1}{3}. \quad (3)$$

Водночас, результати доводять, що сфера діаметром $2R$ охолоджується та заморожується швидше, ніж куб зі стороною $2R$. Тому формула для визначення коефіцієнта форми потребує уточнення. У праці [3] запропоновано інший метод визначення коефіцієнта форми, який можна застосовувати для тіл довільної форми:

$$\Gamma = 1 + \frac{R_x}{R_y} + \frac{R_x}{R_z}, \quad (4)$$

де R_x, R_y, R_z – розміри тіла вздовж осей x, y, z прямокутної системи координат (розташованої в геометричному центрі тіла), причому вісь ox поєднує найбільш наближені точки тіла, вісь oz – найбільш віддалені точки тіла на його поверхні (рис. 1). Характерним розміром для процесу теплоперенесення є мінімальний розмір R_x . Коефіцієнт форми згідно з (4) змінюється в межах від 1 до 3, $\Gamma=1$ відповідає найменш упакованим тілам (нескінченна пластина), $\Gamma=3$ відповідає сфері (найбільш упаковане тіло).

Так, наприклад, коефіцієнт форми для куба зі стороною $2R$ та характерними розмірами $R_x=R_y=R_z=R$ дорівнює

$$\Gamma_{\text{куб}} = 1 + \frac{R}{R} + \frac{R}{R\sqrt{2}} = 2.7. \quad (5)$$

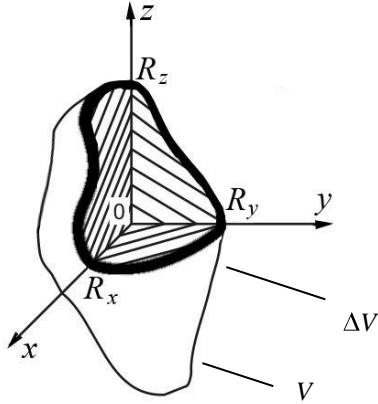


Рис. 1. Визначення коефіцієнтів форми для тіла довільної форми

Для циліндра коефіцієнт форми залежить від його радіуса R та висоти h , а саме:

$$R_x = \frac{h\sqrt{R_y^2 + (h/2)^2}}{2R_y}; R_y=R; R_z = h\sqrt{R_y^2 + (h/2)^2};$$

$$\Gamma_{\text{цил}} = 1 + \frac{h\sqrt{R^2 + (h/2)^2}}{2R^2} + \frac{h}{2R}. \quad (6)$$

Коефіцієнт форми циліндра змінюється в межах 1...2,79. Найменше значення відповідає нескінченно тонкому циліндру ($R_x \ll R_z$; $R_y \ll R_z$), найбільше – циліндру для якого $R_x=R_y$. Висота такого циліндра за рівнянням (6) дорівнює $h=1,57R$.

Зважаючи на це, отримаємо формулу для тривалості заморожування, що враховує зазначений коефіцієнт форми та теплоємність замороженого шару тіла. Як і у випадку отримання рівняння Планка (1), беремо ті самі допущення, але скористаємося для цього інтегральним рівнянням збереження і перенесення енергії (7), у процесах з фазовими переходами для довільного об'єму ΔV , який включає в собі фронт заморожування та шар замерзлого продукту (рис. 1).

$$\int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial \tau} (C \rho) dV + \int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial \tau} (q \rho) dV = - \int_S j dS, \quad (7)$$

де j – густина теплового потоку; τ – поточний час, V – об’єм тіла; S – площа поверхні тіла. Причому інтеграл із лівої частини рівняння береться по поверхні S , яка охоплює виділений об’єм ΔV .

У рівнянні (7) перший член описує теплоту, яка йде на охолодження замерзлого шар продукту, другий – внутрішнє джерело теплоти кристалізації вологи, а третій – тепловий потік, що відводиться від об’єму продукту через його поверхню. Рівняння (7) не вирішується для тіл довільної форми, тому спростимо його. Для середніх значень, що входять у підінтегральні вирази, можна записати такі наближені рівняння. Ураховуючи, що R_x – найменша відстань до термічного центру продукту, а R_z – найбільша, для градієнтів температур маємо наближені співвідношення:

$$\frac{dt}{dx} \approx \frac{t_{kp} - t_s}{x}; \quad \frac{dt}{dy} \approx \frac{R_x}{R_y} \frac{dt}{dx}; \quad \frac{dt}{dz} \approx \frac{R_z}{R_y} \frac{dt}{dx}.$$

Тоді

$$j = -\lambda \nabla t \approx -\lambda \left(\frac{dt}{dx} + \frac{R_x}{R_y} \frac{dt}{dx} + \frac{R_z}{R_y} \frac{dt}{dx} \right) \approx -\lambda \Gamma \frac{t_{kp} - t_s}{x}, \quad (8)$$

де t_s – температура поверхні продукту; x – поточна координата фронту заморожування.

З іншого боку потік теплоти на поверхні продукту за граничних умов 3-го роду дорівнює

$$\lambda \frac{dt}{dx} \approx \lambda \frac{t_{kp} - t_s}{x} = \alpha (t_s - t_{kp}). \quad (9)$$

Звідки температура поверхні обчислюється таким чином:

$$t_s = \frac{\lambda t_{kp} - \alpha t_x x}{\lambda + \alpha x}. \quad (10)$$

Підставивши t_s у вираз (8) отримуємо

$$j \approx -\lambda \Gamma \alpha \frac{t_{\text{кр}} - t_x}{\lambda + \alpha x}. \quad (11)$$

Таким чином, останній інтеграл у формулі (7) дорівнює

$$-\oint_S j \, dS \approx \lambda \Gamma \alpha \frac{t_{\text{кр}} - t_x}{\lambda + \alpha x} S. \quad (12)$$

Відповідно, маємо наближені оцінки для перших двох інтегралів, а саме:

$$\int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial \tau} (C \rho t) \, dV \approx C \rho \Delta \bar{t} \frac{S dx}{d\tau}, \quad (13)$$

де $\Delta \bar{t}$ – середня зміна температури замерзлого шару, яку можна розрахувати таким чином:

$$\Delta \bar{t} = t_{\text{кр}} - \frac{t_{\text{кр}} + t_x}{2} = \frac{1}{2} (t_{\text{кр}} - t_x);$$

$$\int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial \tau} (q \rho) \, dV \approx q \rho \frac{S dx}{d\tau}. \quad (14)$$

З урахуванням виразів (12)–(14) рівняння теплового балансу (7) набуває такого вигляду:

$$\left[\frac{C}{2} \rho (t_{\text{кр}} - t_x) + q \rho \right] \frac{dx}{d\tau} = \lambda \Gamma \alpha \frac{t_{\text{кр}} - t_x}{\lambda + \alpha x}. \quad (15)$$

Рішення цього диференціального рівняння відносно часу заморожування за умови $\tau|_{x=R_x} = \tau_{\text{зам}}$ має вигляд

$$\tau_{\text{зам}} = R_x \rho \left(\frac{q}{\Gamma (t_{\text{кр}} - t_x)} + \frac{C}{2} \right) \left(\frac{R_x}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right). \quad (16)$$

Це рівняння за зовнішнім виглядом таке саме, як і рівняння Планка (1), і відрізняється лише тим, як визначається коефіцієнт Γ форми та характерний розмір R_x . Для тіл простої геометричної форми нескінченна пластина, нескінченний циліндр, сфера рівняння (1) та (16) є тотожні, бо $\Phi=1/\Gamma$ та $R=R_x$. Проте для інших тіл вони різняться: як уже зазначалось, для куба та сфери $\Phi=1/3$, але $1/\Gamma_{\text{куба}}=1/2,7=0,37$, а $1/\Gamma_{\text{сфери}}=1/3$, що відповідає більшій швидкості заморожування сфери порівняно з кубом.

З урахуванням (16) отримуємо формулу для середньої лінійної швидкості заморожування

$$\varpi_{\text{зам}} = \frac{R_x}{\tau_{\text{зам}}} = \frac{1}{\rho \left(\frac{q}{\Gamma(t_{\text{кр}} - t_x)} + \frac{C}{2} \right) \left(\frac{R_x}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right)}, \quad (17)$$

або в безрозмірній формі

$$\frac{\varpi_{\text{зам}}}{a/R_x} = \frac{1}{\left(\frac{Ko}{\Gamma} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{Bi} \right)}, \quad (18)$$

де $\varpi_{\text{зам}}$ – лінійна швидкість заморожування, м/с; a – коефіцієнт температуропровідності, м²/с; Ko – число Косовича, $Ko = \frac{q}{C(t_{\text{кр}} - t_x)}$;

Bi – число Біо, $Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}$.

Ліва частина цього рівняння є безрозмірним числом подібності, яке відображає відношення швидкості просування фронту заморожування до швидкості розвитку температурного поля в замерзлому шарі продукту.

За формулою (18), швидкість заморожування в разі фіксованого характерного розміру та коефіцієнта форми тим більша, чим більше число Біо та менше число Косовича, тобто чим більший коефіцієнт тепловіддачі та температурний напір охолоджувального середовища – продукт $(t_{\text{кр}} - t_x)$.

Не складно переконатись, що швидкість заморожування за нескінченно великих чисел Біо має асимптотичне значення

$$\lim_{Bi \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{\left(\frac{Ko}{\Gamma} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{Bi} \right)} \right] = \frac{2}{\frac{Ko}{\Gamma} + \frac{1}{2}}. \quad (19)$$

Таким чином, максимальна можлива швидкість заморожування при нескінченно великій інтенсивності тепловіддачі дорівнює

$$\omega_{\text{зам}}^{\text{max}} = \frac{a}{R_x} \frac{2}{\frac{Ko}{\Gamma} + \frac{1}{2}}. \quad (20)$$

На рис. 2 наведено залежність максимальної швидкості заморожування від характерного розміру продукту, його коефіцієнта форми та числа Косовича. Розрахунки проведено для середнього значення питомої теплоємності продукту на лінії заморожування $C=2400$ Дж/(кг·К). Пунктирною лінією позначено мінімальну швидкість режиму швидкого заморожування за класифікацією Планка.

Ураховуючи ці розрахунки, зазначимо, що існує максимальний характерний розмір продукту, для якого можлива реалізація режиму швидкого заморожування. За типового значення температурного напору у швидкоморозильних апаратах $t_{\text{кр}}-t_x=30^\circ$ С ($Ko=4,6$), максимальний характерний розмір продукту $\max(R_x)=4$ см (при $\Gamma=3$). У разі збільшення температурного напору збільшується й максимальний характерний розмір продукту, для якого можливе застосування швидкого заморожування. Наприклад, при заморожуванні в сухому льоді $t_{\text{кр}}-t_x=78^\circ$ С, а максимальний характерний розмір продукту $\max(R_x)=6,5$ см (крива 4), при заморожуванні в киплячому азоті $t_{\text{кр}}-t_x=195^\circ$ С, а $\max(R_x)=10$ см (крива 5).

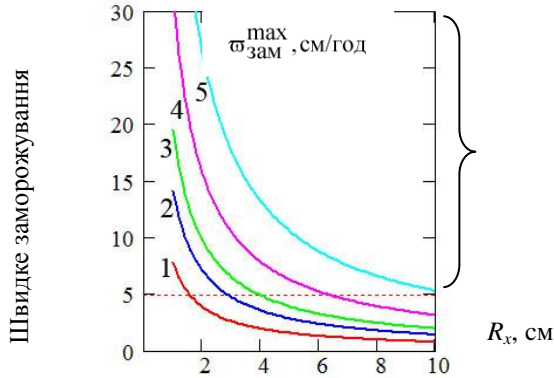


Рис. 2. Максимальна швидкість заморожування залежно від характерного розміру продукту, коефіцієнта форми та числа Косовича: 1 – $\Gamma=1$, $Ko=4,6$; 2 – $\Gamma=2$, $Ko=4,6$; 3 – $\Gamma=3$, $Ko=4,6$; 4 – $\Gamma=3$, $Ko=2,3$; 5 – $\Gamma=3$, $Ko=0,77$

Таким чином, для забезпечення режиму швидкого заморожування, необхідно визначити зв'язок між характерним розміром продукту та інтенсивністю зовнішнього теплообміну. З рівняння (17) отримуємо формулу для визначення мінімального коефіцієнта тепловіддачі, який забезпечує задану швидкість заморожування $\varpi_{зам}$ для цього зразка продукту:

$$\alpha = 2\varpi_{зам} \frac{\frac{2}{\Gamma C} \left(\frac{q}{t_{кр} - t_x} + 1 \right)}{\frac{4}{C\rho} - \left(\frac{2}{\Gamma C} \left(\frac{q}{t_{кр} - t_x} + 1 \right) \right) \varpi_{зам} \frac{R_x}{\lambda}} \quad (21)$$

Значимо: якщо знаменник у (21) дорівнює нулю або стає від'ємним, то це означає, що такої швидкості заморожування за даних умов досягнути не можливо (задане $\varpi_{зам}$ більше ніж $\varpi_{зам}^{max}$).

На рис. 3 побудовано залежність коефіцієнта тепловіддачі, який забезпечує для заданого характерного розміру продукту швидкість заморожування 5 см/год для типових значень теплофізичних характеристик харчових продуктів на лінії заморожування $C=2400$ Дж/(кг·К), $\rho=940$ кг/м³, $\lambda=1,2$ Вт/(м·К) та температурного напору $t_{кр}-t_x=30^\circ$ С.

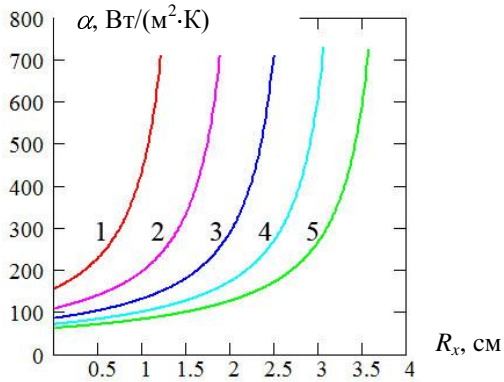


Рис. 3. Коефіцієнт тепловіддачі α , який забезпечує швидкість заморожування 5 см/год, залежно від характерного розміру продукту R_x : 1 – $\Gamma=1$; 2 – $\Gamma=1,5$; 3 – $\Gamma=2$; 4 – $\Gamma=2,5$; 5 – $\Gamma=3$

Характер кривих 1–5 асимптотичний, бо в разі збільшення характерного розміру коефіцієнт тепловіддачі прямує до нескінченності, як уже зазначалось вище. Наведені графіки свідчать про те, що у швидкоморозильних апаратах із вимушеною циркуляцією повітря ($\alpha < 100$ Вт/(м²·К)) режим швидкого заморожування можна забезпечити для продуктів нарізаних кубиками, брусочками з характерним розміром $R_x \leq 1$ см (коефіцієнт форми $\Gamma=2,5\dots 2,6$) та для кульок радіусом до 1,5 см ($\Gamma=5$). У плиткових швидкоморозильних апаратах із $\alpha=300\dots 400$ Вт/(м²·К) можна забезпечити швидке заморожування великих плоских продуктів ($\Gamma=1$) із товщиною до 2 см ($R_x \leq 1$ см), або товстих плоских продуктів із коефіцієнтом форми $\Gamma=2\dots 2,5$ з товщиною до 5,6 см ($R_x \leq 2,8$ см).

Таким чином, методика технологічного розрахунку тривалості швидкого заморожування має складатися з двох етапів. На першому визначають умови, за яких можливе швидке заморожування, тобто за рівнянням (21) розраховують потрібний коефіцієнт тепловіддачі для заданого розміру продукту, а на другому етапі – безпосередньо загальну тривалість процесу заморожування за рівнянням (16) з урахуванням часу на охолодження та доморожування.

Висновки. У ході дослідження отримано метод розрахунку режимів швидкого заморожування, який базується на обчисленні процесних чинників: коефіцієнта тепловіддачі, температурного напору, розмірів та форми зразка, його теплофізичних характеристик, що забезпечують задану лінійну швидкість заморожування.

Список джерел інформації / References

1. Алмаши Э. Быстрое замораживание пищевых продуктов / Э. Алмаши, Л. Эрдели, Т. Шарой ; пер. с венг. О. А. Воронова ; под ред. Э. Алмаши, А. Ф. Наместникова. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 407 с.

Almashi, E., Erdeli, L., Sharoy, T. (1981), *Rapid freezing food [Bystroe zamorazhivanie pischevyih produktov]*, Legkaya i pischevaya promyshlennost, Moscow, 407 p.

2. Консервирование пищевых продуктов холодом (Теплофизические основы) / И. А. Рогов, В. Е. Куцакова, В. И. Филиппов, С. В. Фролов. – М. : Колос, 1999. – 176 с.

Rogov, I.A., Kucakova, V.E., Filippov, V.I., Frolov, S.V. (1999), *Conservation of foodstuff by cold (Heatphysical bases) [Konservirovanie pishhevyih produktov holodom (Teplofizicheskie osnovy)]*, Kolos, Moscow, 176 p.

3. Потапов В. О. Наближене аналітичне розв'язання задачі теплообміну для тіл довільної форми / В. О. Потапов, О. С. Сомов, Є. М. Якушенко // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк : ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2009. – Вип. 21. – С. 261-269.

Potapov, V.O., Somov, O.S., Yakushenko, E.M. (2009), *Approximate analytical solution of the problem of heat exchange for bodies of arbitrary shape [Nablizhene anallitichne rozv'yazannya zadachi teploobminu dlya til dovilnoyi formi]*, DonNUET Im. M. Tugan-Baranovskogo, Donetsk, pp. 261-269.

4. Вейник А. И. Приближенный расчет процессов теплопроводности / А. И Вейник. – М. : Госэнергоиздат, 1959. – 320 с.

Veynik, A.I. (1959), *Approximate calculation of heat conduction processes [Priblizhennyiy raschet protsessov teploprovodnosti]*, Gosenergoizdat, Moscow, 320 p.

Потапов Володимир Олексійович, д-р техн. наук, проф., факультет обладнання та технічного сервісу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (067)3494588; e-mail: potapov@bigmir.net.

Потапов Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, проф., факультет оборудования и технического сервиса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (067)3494588; e-mail: potapov@bigmir.net.

Potapov Vladimir, Chair of refrigerating and trade equipment; Dr. of technical sciences, Professor, Kharkiv state university of food technology and trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel: (057)3494588; e-mail: potapov@bigmir.net.

Семенюк Дмитро Павлович, канд. техн. наук, доц., факультет обладнання та технічного сервісу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (067)3494588; e-mail: dmitriy.semeniuk@gmail.com.

Семенюк Дмитрий Павлович, канд. техн. наук, доц., факультет оборудования и технического сервиса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Ключковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (067)3494588; e-mail: dmitriy.semeniuk@gmail.com.

Semeniuk Dmitriy, Chair of refrigerating and trade equipment; PhD. Associate Professor, Kharkiv state university of food technology and trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel: (057)3494588; e-mail: dmitriy.semeniuk@gmail.com.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук В.М. Михайловим.
Отримано 1.08.2014. ХДУХТ, Харків.*

УДК 536.3

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ АПАРАТА АРЖМ-0.07-1

С.М. Костенко

Розглянуто питання комплексної оцінки якості апарата з рефлектором для жарення м'ясних напівфабрикатів АРЖМ-0.07-1, використання якого покращує органолептичні характеристики продукту. Порівняння питомої витратності типового устаткування для інфрачервоного жарення та розробленого апарата доводить, що застосована методика профілювання відбивачів променевого потоку є продуктивною та перспективною.

Ключові слова: апарат, рефлектор, жарення, характеристики, якість, витратність.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АППАРАТА АРЖМ-0.07-1

С.Н. Костенко

Рассмотрен вопрос комплексной оценки качества аппарата с рефлектором для жарки мясных полуфабрикатов АРЖМ-0.07-1, использование которого улучшает органолептические характеристики продукта. Сравнение удельной затратности типового оборудования для инфракрасной жарки и разработанного аппарата доказывает, что использованная методика профилирования отражателей лучевого потока является продуктивной и перспективной.