

В.О. Потапов, д-р. техн. наук, проф. (*ХДУХТ, Харків*)
Д.П. Семенюк, канд. техн. наук, доц. (*ХДУХТ, Харків*)

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ТРИВАЛОСТІ ШВИДКОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ

Швидкість заморожування надає досить значний вплив на якість харчових продуктів. Від швидкості заморожування залежить розмір кристалів, що в свою чергу впливає на ступінь пошкодження тканин продукту, а також втрати маси та корисних речовин. Проте існуючі рекомендації щодо технологічних розрахунків процесу заморожування не приймають до уваги швидкість цього процесу, а ґрунтуються виключно на визначенні лише часу заморожування.

Багато авторів займалось дослідженням даного питання і існують практичні рекомендації стосовно швидкості заморожування харчових продуктів. Авторами було поставлено завдання визначення режимів процесу заморожування харчових продуктів, які відповідають швидкому заморожуванню.

Базовою для розрахунку тривалості процесу заморожування було взято відому формулу Планка, яка досить повно описує тривалість просування фронту заморожування від поверхні до центру продукту. Однак для умов швидкого заморожування ця формула не досить підходить, бо вона не враховує подальшого охолодження замороженого шару продукту. Із даної формули було виведено формулу, яка враховує кінцеву теплоємність замороженої частини продукту та коефіцієнт форми тіла.

В дану формулу введено коефіцієнт, який враховує форму харчового продукту, який заморожується.

Зважаючи на те, що запроваджений таким чином коефіцієнт форми не є цілком адекватним, отримано формулу для тривалості заморожування, що враховує зазначений коефіцієнт форми та теплоємність замороженого шару тіла.

Як і у випадку отримання рівняння Планка, беремо ті самі допущення, але скористаємося для цього інтегральним рівнянням збереження і перенесення енергії, у процесах з фазовими переходами для довільного об'єму, який включає в собі фронт заморожування та шар замерзлого продукту.

В отриманому рівнянні перший член описує теплоту, яка йде на охолодження замерзлого шару продукту, другий – внутрішнє джерело теплоти кристалізації води, а третій – тепловий потік, що відводиться від об'єму продукту через його поверхню.

Отримане рівняння не вирішується для тіл довільної форми, тому спростимо його.

В результаті проведених перетворень отримуємо рівняння теплового балансу.

Це рівняння за зовнішнім виглядом таке саме, як і рівняння Планка, 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 Планка та отримане 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.

Ураховуючи ці розрахунки, зазначимо, що існує максимальний характерний розмір продукту, для якого можлива реалізація режиму швидкого заморожування. За типового значення температурного напору у швидкокоморозильних апаратах, визначено характерний розмір продукту. У разі збільшення температурного напору збільшується й максимальний характерний розмір продукту, для якого можливе застосування швидкого заморожування.

Таким чином, для забезпечення режиму швидкого заморожування, отримуємо формулу для визначення мінімального коефіцієнта тепловіддачі, який забезпечує задану швидкість заморожування $\varpi_{\text{зам}}$ для зразка продукту

Побудувавши графіки залежності коефіцієнта тепловіддачі, який забезпечує для заданого характерного розміру продукту швидкість заморожування 5 см/год для типових значень теплофізичних характеристик харчових продуктів на лінії заморожування, було отримано раціональні параметри характеристик апаратів для реалізації режиму швидкого заморожування.

Таким чином, методика технологічного розрахунку тривалості швидкого заморожування має 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 часу на охолодження та доморожування.

У ході проведення 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.