



**ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ, АСПІРАНТІВ ТА СТУДЕНТІВ**

**«СТАН, ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ХОЛОДИЛЬНОЇ
ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ»**

24-25 квітня 2018 року

Збірка тез доповідей



Одеса – 2018

Науковий комітет:

Єгоров Б. В. – ректор ОНАХТ, д.т.н., проф.
Поварова Н. М. – проректор із НР, к.т.н., доц.
Косой Б.В. – директор ІХКЕ, д.т.н., проф. кафедри ТВЕ.
Хмельнюк М. Г. – завідувач кафедри ХУКП, д.т.н., проф.
Мілованов В. І. – завідувач кафедри КП, д.т.н., проф.
Симоненко Ю. М. – завідувач кафедри КТ, д.т.н., проф.
Радченко М. І. – НУК імені адмірала Макарова, д.т.н., проф.
Морозюк Л.І. – д.т.н., проф. кафедри КТ.

Організаційний комітет:

Жихарєва Н.В. – декан факультету НТтаІМ.
Буданов В. О. – к.т.н., доц. кафедри ХУКП.
Морозюк Л.І. – д.т.н., проф. кафедри КТ.
Трандафілов В.В. – асистент кафедри ХУКП.
Грудка Б.Г. – асистент кафедри КТ.

Тематичні напрями:

- холодильні машини і установки, теплові помпи
- теплообмінні апарати і процеси тепломасообміну
- робочі речовини холодильних машин
- системи кондиціонування повітря
- компресори та пневмоагрегати
- енергетичні та екологічні проблеми холодильної техніки
- холодильна технологія
- криогенна техніка
- інформаційні технології в холодильній техніці

Робочі мови конференції – українська, російська, англійська

Місце проведення – ауд. 213, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, 65082

Всі тези доповідей надруковані згідно наданих макетів

©Одеська національна академія харчових технологій
© Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій
та екоенергетики ім. В. С. Мартиновського

РІВНЯННЯ РОЗРАХУНКУ ЧАСТКИ ВИМОРОЖЕНОЇ ВОДИ В ПРОЦЕСІ ЗАМОРОЖУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Кропивницький М.О., студент ХДУХТ, м. Харків

Сьогодні у зв'язку із прискореним ритмом життя населення на світовому продовольчому ринку усе більше підвищується попит на заморожені харчові продукти. Для вдосконалення процесів холодильної обробки необхідно знати динаміку цих процесів. Багаторічні дослідження процесів заморожування й розморожування харчової сировини показують необхідність уточнення методів теоретичного моделювання теплофізичних властивостей харчових продуктів, які обумовлюють характер і швидкість протікання в них процесів охолодження. Цим дослідженням присвячений ряд класичних робіт, так і ряд нових досліджень у цій області.

Як відомо, у всіх математичних моделях, що описують процеси з фазовим переходом під час заморожування-розморожування, входить частка вимороженої вологи $\omega(t)$. У теплофізичних розрахунках процесів холодильної обробки найчастіше для розрахунку кількості вимороженої вологи використовують модель, засновану на рівнянні Рауля, що описує процес заморожування харчових продуктів як процес кристалізації розчину порівняно невеликої молекулярної концентрації, що містить солі, білки й ін. компоненти

$$\omega(t) = A \cdot \left(1 - \frac{t_{кр}}{t} \right), \quad (1)$$

де ω – відносна доля вимороженої вологи;

t – поточна температура;

$t_{кр}$ – криоскопічна температура;

A – коефіцієнт, який враховує долю зв'язаної (незамерзаючої) вологи.

Недоліком цього рівняння є те, що воно добре описує експериментальні дані по кількості вимороженої вологи тільки на початковому етапі заморожування, що пояснюється наближенням, закладеним у законі Рауля, що виконується для ідеальних розчинів при невеликих концентраціях розчинених речовин, тобто поблизу криоскопічної температури. Тому для розрахунку кількості вимороженої вологи в широкому діапазоні температур використовуються емпіричне рівняння Г.Б. Чіжова

$$\omega(t) = \frac{B}{1 + \frac{C}{\ln(t + 1 - t_{кр})}}, \quad (2)$$

де B , C – емпіричні коефіцієнти, які залежать від виду харчового продукту.

Було поставлено завдання виведення обґрунтованого аналітичного рівняння для розрахунку кількості вимороженої вологи в процесі заморожування харчових продуктів і порівняння його з відомими рівняннями на основі закону Рауля й емпіричної моделі Чіжова.

Слід зазначити, що рівняння (1) має один коефіцієнт A , якому приписується, але теоретично не обґрунтовується, фізичний зміст. У рівняння (2) входять два повністю емпіричних коефіцієнти, що по ідеї повинно забезпечувати більшу точність апроксимації експериментальних даних, однак теоретичного змісту ці коефіцієнти не мають, і встановити їхній зв'язок з фізико-хімічними характеристиками харчового продукту неможливо.

Об'єктом дослідження є температурна залежність кількості вимороженої вологи в

процесі заморожування харчових продуктів. Як метод дослідження використовуємо класичні рівняння, що описують термодинаміку системи неідеальний розчин-кристал з евтектикою, як найбільш просту модель харчового продукту під час заморожування-розморожування. У рамках цієї моделі харчовий продукт будемо вважати неідеальним багатокомпонентним розчином, у якому розчинником є вода й сухі розчинні компоненти, які повністю змішуються в рідкому стані, але абсолютно не змішуються у твердому стані й утворюються кристали тільки чистого льоду.

В результаті проведених досліджень, нами було отримано остаточне вираження для температурної залежності частки вимороженої води

$$\omega(T) = 1 - \frac{V_{s0}}{\gamma_w - e^{\frac{\mu_w \Delta h}{RT_0} \left(\frac{T_0}{T} - 1 \right) + \frac{\mu_w \Delta C}{R_0} \left[\ln \left(\frac{T_0}{T} \right) + 1 - \frac{T_0}{T} \right]}} \quad (3)$$

У цьому рівнянні показник експоненти містить фізичні константи й теплофізичні характеристики води й, таким чином, є відомою функцією абсолютної температури. Величинами, що характеризують індивідуальними фізико-хімічними властивості продукту, є мольна частка розчинних речовин у воді \square_{s0} і коефіцієнт активності розчинника \square_w . Як відомо, коефіцієнт активності служить мірою відхилення поведінки компонентів розчину від ідеального. Ці відхилення можуть бути обумовлені різними хімічними й фізичними причинами – дипольними взаємодіями, утворенням водневих зв'язків, асоціацією, дисоціацією, сольватацією й ін.

Таким чином, саме ці дві величини підлягають визначенню за експериментальним даними про долю вимороженої вологи. Рівняння (3) легко приводиться до рівняння прямої лінії щодо шуканих параметрів

$$\frac{1}{1 - \omega(t)} = \frac{\gamma_w}{V_{s0}} F(t) - \frac{1}{V_{s0}}, \quad (4)$$

$$\text{де } F(t) = e^{\frac{\mu_w \Delta h}{RT_0} \left(\frac{T_0}{T_0+t} - 1 \right) + \frac{\mu_w \Delta C}{R_0} \left[\ln \left(\frac{T_0}{T_0+t} \right) + 1 - \frac{T_0}{T_0+t} \right]};$$

t – температура в градусах Цельсія.

Для перевірки адекватності запропонованої моделі нами були взяті дані по частці вимороженої вологи в яловичині опубліковані в класичних роботах

L. Riedel, В. П. Латишева, отримані методами калориметрії, а також нові дані, отримані В.П. Оніщенко й колегами методом ЯМР високої роздільної здатності.

Регресійний аналіз цих даних проводився по трьох рівняннях: рівняння на основі закону Рауля, рівняння Чіжова і запропонованої нами моделі (3). Коефіцієнти регресії знаходились в середовищі пакета Mathcad з використанням стандартних процедур. Причому у випадку використання рівнянь (2) і (3), які не лінійні стосовно шуканих регресійних коефіцієнтів, після процедури лінеаризації (4) проводився другий етап нелінійної регресії, початковим наближенням для якої були коефіцієнти, отримані методом лінійної регресії.

Як і слід було сподіватися використання закону Рауля обмежує застосовність рівняння (1) областю невеликих відхилень від криоскопічної температури (областю лінійної залежності між температурою й концентрацією розчинених речовин). Рівняння Чіжова (2) дає завищені значення частки вимороженої вологи при низьких температурах. У той же час запропоноване рівняння дає відносно погрішність апроксимації в 3 рази меншу, чим відомі рівняння, застосовувані для розрахунку частки вимороженої води. Але основна перевага запропонованого рівняння полягає в тому, що коефіцієнти, що входять до нього мають чіткий фізичний зміст, зокрема мольна частка розчинних речовин у соку яловичини становить $V_{s0}=1,8\%$, а коефіцієнт активності води $\gamma_w=1,008$, тобто розчин

практично ідеальний.

Таким чином, на основі класичних законів хімічної термодинаміки отримане рівняння для розрахунку частки вимороженої води в процесі заморожування харчових продуктів. Рівняння містить фізичні константи й теплофізичні характеристики води, а також коефіцієнти, що характеризують індивідуальні фізико-хімічні властивості продукту – мольна частка розчинних речовин у воді V_{s0} і коефіцієнт активності води γ_w . Проведено апроксимацію температурної залежності раніше опублікованих експериментальних даних по частці вимороженої води в яловичині, що підтвердила адекватність запропонованої моделі. Відносна помилка апроксимації склала 1,9%, тоді як для моделі, заснованої на рівнянні Рауля – 5,6%, а для емпіричного рівняння Чіжова – 7,3%.

Запропоноване рівняння може бути використане для розрахунку ефективної питомої теплоємності при вирішенні крайового завдання заморожування-розморожування, а також для аналізу впливу хімічного складу харчових продуктів на процеси холодильної обробки.

*Наукові керівники: Потапов В.О., д.т.н., проф., завідувач кафедри холодильної та торговельної техніки і прикладної механіки ХДУХТ
Семенюк Д.П., к.т.н., проф. кафедри холодильної та торговельної техніки і прикладної механіки ХДУХТ*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛЬНИХ М'ЯСНИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕСІ ЗАМОРОЖУВАННЯ - РОЗМОРОЖУВАННЯ

Семейкін В.Ю., магістрант ХДУХТ, м. Харків

На українському продовольчому ринку все більше підвищується попит на заморожені харчові продукти. Використання холоду при виробництві м'яса та м'ясопродуктів є одним з найбільш ефективних методів консервування, що дозволяє максимально зберегти якість, харчову та біологічну цінність продуктів протягом тривалого часу.

В той же час під час заморожування відбувається ряд незворотних змін продукту, викликаних кристалоутворенням та біохімічними реакціями. Це в першу чергу стосується багатокомпонентних м'ясних систем, що обумовлено їх гетерогенністю за хімічним, фізичним та колоїдним станом, умовами попередньої обробки, особливістю вирощування тварини тощо. Тому актуальним є отримання даних про вплив заморожування-розморожування на теплофізичні властивості м'ясних систем. У зв'язку з цим метою даної роботи є експериментальне дослідження питомої теплоємності модельних м'ясних систем під час їх заморожування-розморожування.

Модельні м'ясні системи одержували шляхом подрібнення яловичини на м'ясорубці із додаванням частки жиру сирцю. З подрібненої сировини формувались зразки у формі низького циліндра діаметром 5×10^{-2} м та висотою 1×10^{-2} м. Термопари розміщувались в декількох точках зразка: в центрі, на верхній та нижній поверхнях, а також над зразком у холодильній камері. Заморожування зразків здійснювали на лабораторному експериментальному стенді в інтервалі температур $-20 \dots +20$ °С, який оснащено вимірювачем-регулятором на базі процесора ОВЕН ТРМ 138-Р. Температура зразків вимірювалася автоматично з дискретністю $\Delta t = 1 \times 60$ с та зберігалась на комп'ютері. На рис. 1 наведено приклади термограм заморожування-розморожування зразків. На рис. 2 наведено приклад ефективної питомої теплоємності яловичини під час заморожування. Ефективна питома теплоємність розраховувалась за формулою.

НТТБ ОНАХТ

Підписано до друку **19.04.2018**. Формат 60x84 1/16.
Умовн. друк. арк. **1.00** Наклад **15** прим.
Надруковано видавничим центром ОНАХТ ННІХКЕ.
65082, Одеса, вул. Дворянська,1/3