

ОТЕПЛЕННЯ ТА РОЗМОРОЖУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Масліков М.М., к.т.н., доцент Національного університету харчових технологій

Перед вживанням охолоджені, підморожені та заморожені продукти підлягають відповідному обробленню, метою якого є доведення їх до стану, зручного для подальшого використання і якомога ближчого до стану, властивого натуральному продукту високої якості.

Отеплення і розморожування – заключні операції у безперервному холодильному ланцюзі, що здійснюються безпосередньо перед:

- переробленням на підприємствах,
- випусканням харчових продуктів до роздрібної торгівлі,
- кулінарним обробленням.

Вони значною мірою визначають кінцеву якість продукту після зберігання. Не виключений випадок, коли нераціонально проведене розморожування зведе нанівець всі переваги сучасних способів заморожування та зберігання, зіпсувавши якість продукту.

Враховуючи, що теплення – це процес, обернений до охолодження, а розморожування (дефростація) – процес, обернений до заморожування, прагнуть досягти максимальної зворотності цих процесів.

Отеплення охолоджених продуктів

Отеплення охолоджених продуктів – це процес поступового підвищення температури продукту до температури навколишнього повітря за найповнішого збереження його якості. Теплення дає змогу запобігти відпотіванню продуктів (конденсації вологи з повітря на їх холодну поверхню) під час переходу з холодного середовища до теплого і відповідно обміненню їх мікрофлорою з повітря.

Деякі продукти не потребують спеціального теплення, бо волога, що конденсується на них під час підвищення температури не завдає їм шкоди (солоні рибні товари, вершкове масло тощо). Не потребують теплення продукти в герметичній плівковій упаковці за умови їх швидкого вживання після виймання з неї. Але для таких продуктів, як плоди, банкові консерви, теплення необхідне.

Зазвичай теплення проводять у повітряному середовищі, регулюючи у ньому вміст водяної пари і за можливості забезпечуючи стерильність. Теплення продуктів, що здійснюється внаслідок теплообміну з нагрітим повітрям, слід проводити так, щоб уникнути досягнення на поверхні продукту точки роси. Водночас сухе повітря спричиняє значне всихання продукту, що також небажано. Тому під час теплення вологовміст і швидкість руху повітря по мірі підвищення температури поверхні продукту регулюють так, щоб:

- забезпечити гарний теплообмін,
- уникнути перегрівання поверхні продукту,
- наблизити стан повітря при температурі поверхні продукту до стану насичення водяною парою.

Отеплення закінчується, коли температура поверхні продукту стає такою, що під час переміщення продукту в нові умови виключається конденсація вологи на його поверхні.

Проводять тепління в камерах, обладнаних установками чи пристроями для кондиціонування повітря (рис.1). Кондиціонери, що забезпечують потрібні параметри циркулюючого повітря, обладнані послідовно ввімкненими повітроохолодником 3 і калорифером 4. Повітря з камери 1, де розташовані ящики з продуктом 2 за допомогою вентилятора 3 подається до кондиціонера, де охолоджується і підсушується в повітроохолоднику 4 до потрібного вологовмісту, а потім воно переходить до калорифера 5, де підігрівається за сталого вологовмісту і після цього знову подається до камери тепління. Там повітря віддає теплоту продукту, підвищуючи його температуру, а саме охолоджується і дещо зволожується.

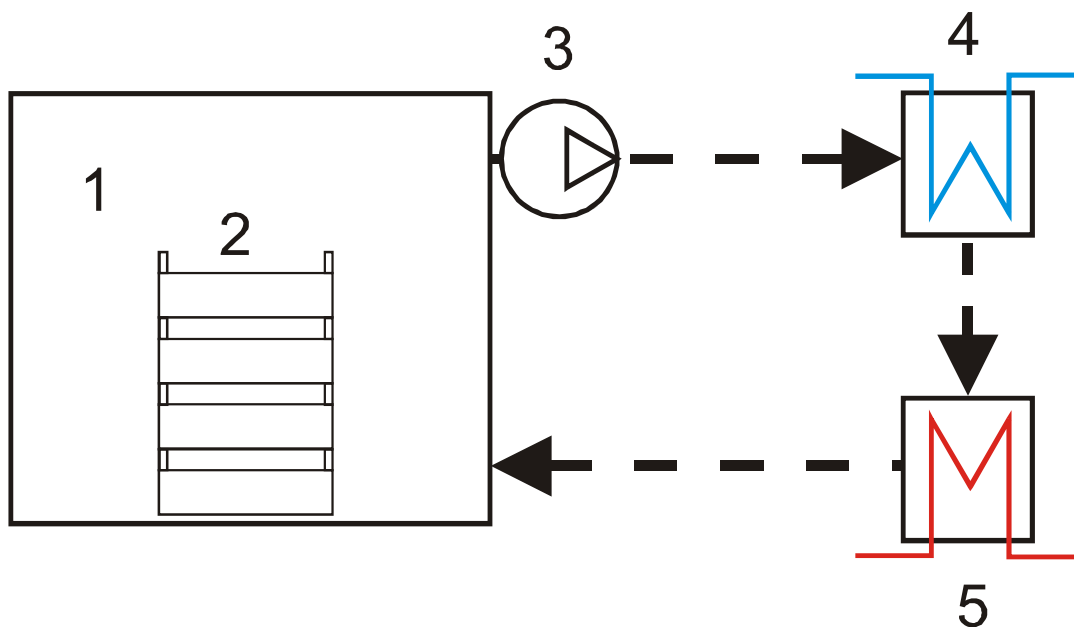


Рис.1. Схема установки для тепління фруктів (1 – камера; 2 – штабель ящиків з фруктами; 3 – вентилятор; 4 – повітроохолодник; 5 – калорифер).

Під час тепління прискорюються фізичні, фізико-хімічні, біохімічні і мікробіологічні процеси. Для затримання розвитку мікроорганізмів під час тепління застосовують фільтрування повітря, озонування, УФ-опромінення тощо.

Техніка отеплення різних продуктів в основному однакова. Продукти розміщують так, щоб забезпечити вільну циркуляцію повітря. Продукти в упаковці вкладають в штабель в шаховому порядку з прокладанням рейок між рядами; неупаковані продукти розташовують в тому ж порядку, як і під час їх зберігання – на підвісних коліях і стелажах. Неприпустиме отеплення продуктів з різкими специфічними запахами разом з іншими продуктами.

Для отеплення продукту має бути підведена теплота, кількість якої дорівнює витраті холоду на охолодження того ж продукту – в тій самій кількості і в однаковому за величиною температурному інтервалі. Слід врахувати, що теплота, підведена до продукту під час отеплення в повітрі, витрачається не лише на нагрівання продукту, але і на випаровування вологи з його поверхні.

Тривалість отеплення залежить від розмірів продукту, виду тари, упаковки, їх теплофізичних властивостей, температури і швидкості руху повітря, початкової і кінцевої температури продукту

На практиці плоди і овочі під час отеплення переміщують з холодильної камери до коридорів чи до спеціальної камери, де температуру повітря поступово підвищують, і через 12...15 годин переміщують до приміщення з температурою 18...20°C. Це дає змогу відновити біохімічні процеси, що йдуть у плодах і запобігти їх швидкому псуванню.

Отеплення переохолоджених плодів і овочів триває від кількох діб до кількох тижнів. Лише такий режим дає змогу досягти максимальної зворотності процесу і забезпечити високу якість продукції.

Розморожування харчових продуктів

Розморожуванням називають технологічний процес перетворення води, що міститься в заморожених продуктах у вигляді льоду, у рідку фазу.

Розморожування продуктів є заключним технологічним процесом холодильного оброблення, впродовж якого відбувається зростання температури замороженого продукту. Процес розморожування по теплофізичній сутності можна розглядати як процес, обернений до заморожування.

Розморожують майже всі заморожені продукти, крім тих, що можуть бути реалізовані у замороженому стані (м'ясо, риба, морозиво тощо). Проте перед надходженням до торгівельної мережі продукти розморожувати не рекомендується, бо навіть за нетривалого зберігання в розмороженому стані може погіршитися їх товарний вигляд. Розморожування швидкозаморожених продуктів у дрібній фасовці, як правило, суміщають з їх кулінарним обробленням.

Зміни, що відбуваються в продуктах в процесі розморожування

Слід враховувати, що під час заморожування і подальшого зберігання продукти під впливом різних процесів зазнають змін (часто незворотніх). Тому вихідні властивості продуктів після розморожування відновлюються не повністю.

Розморожування йде повільніше ніж заморожування за однакової різниці температур. Це пояснюється тим, що коефіцієнт теплопровідності льоду в 4 рази вищий ніж у води. Під час заморожування спочатку замерзають поверхневі шари, їх теплопровідність зростає, покращується теплообмін, що прискорює процес заморожування. Під час розморожування, навпаки, насамперед розморожуються поверхневі шари, що призводить до різкого зниження теплопровідності і відповідно вповільнення самого процесу. Так, якщо час заморожування продукту становить 28 хвилин, то розморожування – близько 52 хвилин. Уповільнення процесу в основному припадає на найкритичніший діапазон температур (поблизу точки плавлення льоду). Під час розморожування (особливо крупних об'єктів) це пов'язано з перекристалізацією, що може спричинити додаткове пошкодження тканин.

На якість розмороженого продукту істотно впливають швидкість і кінцева температура заморожування: якість продуктів, заморожених швидко (при температурах -30°C і нижче), зберігається краще, ніж продуктів заморожених повільно. Для збереження високої якості швидкозаморожений харчовий продукт слід так само швидко розморозити.

Вплив процесів заморожування і розморожування на якість продуктів у розмороженому стані дослідники пояснюють з позицій теорії кристалізації води. Швидкість заморожування є вирішальним фактором, що впливає на кількість, розміри і рівномірність розподілу кристалів льоду в тканинах. Від розмірів кристалів залежить міра збереження цілісності клітин і природної структури тканин.

Якщо кристали льоду малі і їх розміщення приблизно відповідає природному розподілу рідини в м'язовій тканині (ситуація характерна для швидко замороженого продукту), то колоїдні системи продуктів не зазнають значних змін і повніше відновлюються після розморожування.

Міра руйнування структурних елементів тканин залежить також від глибини автолітичних процесів в момент заморожування. Крім того, в процесі зберігання відбуваються збільшення кристалів льоду, подальше поглиблення автолітичних процесів, явище "старіння" білкових колоїдних систем і мембран клітин.

Зміни колоїдної структури тканин, спричинені перерозподілом води і зростанням концентрації рідкої фази під час заморожування, відбиваються на величині вологоутримувальної здатності після

розморожування. Вони тим більші, чим вища швидкість і нижча температура заморожування.

Якість розморожених плодів залежить від їх виду, сорту, умов зберігання, в деяких випадках методи заморожування менш важливі.

Втрати клітинного соку продуктом

Зміни, що відбуваються в харчовому продукті на всіх етапах холодильного оброблення (охолодження, заморожування і зберігання), стають помітними лише в розмороженому вигляді і виявляються у витіканні клітинного соку. Кількість і склад соку, що витік, визначають характер змін, у продукті під час його холодильного оброблення. Характер і глибина цих змін залежать як від умов холодильного оброблення, так і від способу і швидкості розморожування.

Для харчових продуктів з тканинною структурою (м'ясо, риба, птиця) величина втрат соку є найважливішим показником зворотності розморожування. Втрати соку розглядають як зовнішню ознаку денатурації білкових речовин. Основним компонентом соку є вода, що не поглинається продуктом під час розморожування, а також вода, що виділяється з продукту під впливом стиснення під час розморожування. Виділення соку з продуктів супроводжується значними втратами розчинних речовин – вітамінів, ферментів, мінеральних речовин, білків саркоплазми та ін.

Основними причинами утворення і інтенсивного витікання клітинного соку під час заморожування-розморожування є:

- денатурація білків внаслідок відділення води від білкової субстанції;
- зростання концентрації мінеральних речовин у розчинах, що містяться всередині і зовні волокон;
- механічний вплив кристалів льоду на стінки м'язових волокон і на міжволоконні прошарки зі сполучної тканини та ін..

Міра впливу зазначених факторів визначається швидкістю кристалоутворення і глибиною фазового перетворення води. Максимальна кількість води переходить у лід під час заморожування продуктів при температурі від -1 до -5°C . У зв'язку з цим інтенсивність теплообміну під час проходження температурної зони $-1 \dots -5^{\circ}\text{C}$ під час заморожування і $-5 \dots -1^{\circ}\text{C}$ під час розморожування має велике значення для отримання розмороженого продукту високої якості. Чим швидше пройдено цей температурний інтервал під час заморожування і розморожування, тим менше витече соку з розмороженого продукту, тим краще буде його якість.

Втрати соку під час розморожування м'яса залежать від його виду. Так, максимальні втрати соку відзначені в яловичині, більш низькі – в телятині і баранині, мінімальні – в свинині. При цьому втрати соку м'яса

вищої якості під час розморожування, як правило, менші, ніж низькоякісного. Загалом кількість втрат м'ясного соку становить близько 5% від загальної маси замороженого м'яса, у не повністю дозрілого м'яса може зрости до 40%. Однофазне заморожування, що проводиться до початку розвитку процесів посмертного задубіння, вповільнює розвиток глікогенолізу і явища стиснення під час розморожування, пов'язаного з підвищеним виділенням соку.

Втрати соку під час розморожування м'яса птиці залежать від фізіологічного стану м'язів, в момент заморожування вони максимальні на стадії задубіння і менш значні на інших стадіях. Залежать вони також від швидкості заморожування. За повільного заморожування в повітрі втрати зростають втричі порівняно з іммерсійним методом.

Втрати соку під час розморожування риби підкоряються тим самим закономірностям, що і під час розморожування м'яса, але в цілому вони вищі, ніж у м'яса. Величина втрат залежить від виду риби, її жирності, розміщення м'язів у тушці, форми риби тощо.

Вплив швидкості розморожування на якість продукту

Для того щоб відновився вміст вологи в тканині, волога має спочатку пройти фазовий перехід (лід - вода), а потім проникнути і відновитися в тих білкових субстанціях і колоїдних системах, з яких вона дифундувала в міжклітинний і міжволоконний простір під час заморожування і зберігання за рахунок дифузійно-осмотичних сил. Здатність білкових субстанцій і колоїдних систем поглинати і зв'язувати цю вологу визначається їх біологічною активністю, що залежить від режимів холодильного оброблення продуктів, у тому числі розморожування.

У початковий період повільного розморожування на м'язову тканину впливають концентровані сольові розчини, що спричиняє часткову денатурацію білків і руйнування колоїдних систем. Це сприяє, утворенню і витіканню соку після розморожування і під час подальшого оброблення. Крім того, під час повільного розморожування швидкозаморожених продуктів спочатку відбувається укрупнення кристалів льоду, що супроводжується пошкодженням структури тканини і сприяє витіканню соку з продуктів.

Під час швидкого розморожування вплив концентрованих розчинів менший, ніж під час повільного, тому спостерігається лише незначне виділення соку. Таким чином, поєднання повільного розморожування з повільним заморожуванням значно знижує якість продукту.

Інтенсифікація процесу шляхом підвищення різниці температур за рахунок застосування теплішого середовища може призвести до виникнення місцевих перегрівань поверхні, що негативно вплине на якість продукту. Під час підвищення температури може також відбутися

мікробіальне псування поверхневих шарів продукту до розморожування внутрішніх шарів.

Закінчення процесу розморожування визначають за досягненням кріоскопічної температури в тепловому центрі продукту. Кінцева температура розмороженого продукту залежить від його подальшого призначення (вживання, кулінарне оброблення, вироблення інших продуктів тощо).

Розрахунок тривалості розморожування здійснюється аналогічно до заморожування, за формулою Планка, для чого слід підставити у формулу коефіцієнт теплопровідності охолодженого (розмороженого) продукту та густину замороженого продукту.

Кількість теплоти, потрібна для повного розморожування продукту на практиці визначається за різницею ентальпій продукту. Фактично середня кількість теплоти, потрібна для розморожування яловичини і свинини за початкової температури -8°C , лежить у межах 201,6...226,8 кДж/кг, а при температурі -18°C вона зростає приблизно на 20%.

Зміни у розморожених продуктах

Інтенсивність якісних змін в розморожених продуктах зумовлена насамперед динамікою мікробіологічних і ферментативних процесів. Залежно від багатьох взаємопов'язаних факторів активність останніх може як зростати, так і зменшуватися. В продуктах тваринного походження вплив тканинних ферментів виявляється в основному у прискоренні гідролітичного розкладення білків, внаслідок якого створюються сприятливі умови для розвитку гнилісної мікрофлори.

Мікробіологічні процеси у швидкозамороженому м'ясі йдуть після розморожування майже з такою самою швидкістю, що і у охолодженому м'ясі за таких самих умов зберігання. Конденсація водяної пари під час розморожування спричиняє прискорений розвиток мікроорганізмів, а в повільно замороженому м'ясі ці процеси йдуть швидше, що пояснюється більшою ферментативною активністю такого м'яса.

Збережаність плодів і овочів після розморожування менша, ніж продуктів тваринного походження, бо вони менш стійкі до мікробіологічних і біохімічних змін. Тому розморожені плоди внаслідок швидкого псування і погіршення товарного вигляду до роздрібної торгівлі не надходять. Вони мають бути максимально швидко використані чи перероблені.

Класифікація методів розморожування харчових продуктів

На відміну від отеплення, що проводять виключно в повітрі з контрольованими параметрами, розморожування можливе у різних середовищах і з використанням різних джерел теплоти. Підприємства харчової промисловості зараз застосовують декілька способів розморожування, за яких теплоносіями є повітря, пароповітряна суміш,

вода і розсіл. Відомі також способи розморожування за допомогою ультразвуку, інфрачервоних променів, електричного струму високої, надвисокої і промислової частоти і під вакуумом.

Існуючі способи розморожування можна розбити на три основні групи.

До першої групи відносяться всі методи, що ґрунтуються на використанні теплопередавального середовища (теплоносія) з різними теплофізичними властивостями, за яких завжди має місце температурний градієнт: відтаювання у парі зі зниженням температури шляхом зниження тиску (існує небезпека підварювання), конвективне нагрівання пароповітряною сумішшю (слід уникати конденсації води на поверхні продукту), у рідині, у середовищі насиченої пари, розморожування у потоці повітря (2...3 м/с, температура 0...5°C, як правило 1...1,5°C).

Друга група – методи розморожування, за яких нагрівання йде шляхом перетворення енергії того чи іншого виду на теплову безпосередньо у продукті. До таких видів енергії відносяться енергія електричного поля різної частоти і енергія ультразвукових коливань. За використання енергії змінного електричного поля нагрівання продукції за певних умов може здійснюватися рівномірно по всьому об'єму, тобто відбувається безградієнтне нагрівання. Наприклад, відтаювання у високочастотному конденсаторному полі (27 МГц) дозволяє вести рівномірне прогрівання безкісткових шматків товщиною 80...200 мм.

До третьої групи входять комбіновані методи, що одночасно використовують конвективне і безградієнтне нагрівання. У комбінованих способах розморожування може використовуватися повітряне, мікрохвильове, вакуумне, електроконтактне та інше нагрівання.

У багатьох виробництвах розмороження суміщене з іншими технологічними операціями. Якщо після розморожування м'ясо буде просолюватися (наприклад під час вироблення шинки) то доцільно сумістити розморожування з просолюванням, проводячи його – у розчині NaCl. Для прискорення процесу також можна шприцювати м'ясо теплим розчином солі. При виготовленні хлібобулкових виробів з заморожених тістових заготовок розморожування часто проводять на піддонах у розстоювальній шафі, суміщаючи його з розстоюванням тістових заготовок.

Вдосконалення техніки розморожування пов'язане зі зміною методів оброблення, потребою подальшої інтенсифікації процесу, створенням конструкцій агрегатів безперервної дії. При цьому найважливішою умовою має бути максимальне збереження вихідної якості продукту.

Під час розморожування харчових продуктів, заморожених в блоках, для промислового перероблення за загальноприйнятою прискореною технологією нагрівання за рахунок теплової конвекції повітря чи підігрівання водою можливі забруднення і псування продуктів.

Аналіз різних методів розморожування показує, що за використання будь-якого теплоносія (повітря, вода) прискорення процесу обмежене. Слід з одного боку якомога швидше провести процес, а з іншого – забезпечити високу якість розмороженого продукту, тобто температура розмороженої частини не повинна перевищувати встановлених значень. Ці дві вимоги протирічать одна одній, адже чим нижча температура розмороженої поверхні, тим повільніше йтиме процес розморожування. Тому для максимального прискорення процесу розморожування температуру на поверхні продукту бажано підтримувати на сталому максимально можливому рівні. Проте при сталій температурі нагрівального середовища (повітря, пари, пароповітряної суміші, води) досягти цього неможливо, бо температура поверхні постійно зростатиме. Це змушує використовувати складну систему автоматичного регулювання температури нагрівального середовища.

Запропонований метод двостадійного розморожування. На першій стадії продукт зрошується водою фіксованої температури, а на другій – обдувається повітрям також фіксованої, але іншої температури. З одного боку така система дає змогу підбираючи температури середовищ та тривалості стадій прискорити процес, а з іншого – виключити окремі стадії миття та обсушування продукту (вони суміщені з розморожуванням). На жаль, цей метод не виключає можливості обсіменення продукту мікроорганізмами.

Найбільш ефективним з точки зору швидкості розморожування та збереження якості продукції є діелектричне розморожування. Його принцип полягає у обробці діелектричних матеріалів (зокрема харчових продуктів) електромагнітним полем надвисокої частоти (НВЧ).

Завдяки проникненню НВЧ-хвилі всередину діелектрика відбувається об'ємне тепловиділення, за рахунок чого досягається значне прискорення нагрівання та його рівномірність у об'ємі матеріалу. Під час розморожування у НВЧ-камерах проникнення теплоти в товщу продукту залежить від температури та частоти хвиль. Глибина проникнення НВЧ-хвилі у заморожене м'ясо зростає з 2,85 см при $-1,1^{\circ}\text{C}$ до 68,7 см при -51°C на частоті 1000 МГц і з 1,5 см при $-1,1^{\circ}\text{C}$ до 42,3 см при -51°C на частоті 3000 МГц. Хоча різниця не настільки велика, але прагнуть використовувати нижчі частоти (стандартні частоти хвиль 896...915 МГц), особливо для шматків з товщиною понад 5 см. Аналіз досвіду закордонних фірм з використання НВЧ-енергії для розморожування блоків м'яса та інших харчових продуктів довів переваги цього метода перед іншими:

- економія виробничих площ;
- висока швидкість розморожування;
- точне регулювання кінцевої температури всередині продукту;
- простота обслуговування установки;

- зменшення затрат праці завдяки розморожуванню харчових продуктів в упаковці.

Встановлено, що метод діелектричного розморожування є найбільш оптимальним для багатьох плодів і ягід. Тривалість розморожування у цьому випадку становить 1...3 хвилини. Під час оцінювання якості плодів і ягід, розморожених різними методами, встановлено, що діелектрично розморожена продукція вирізнялася вищим вмістом непошкоджених плодів, кращою консистенцією, меншими втратами вітаміну С. Найгіршим способом виявився повітряний, що спричинив значні втрати товарного вигляду та якості продукції.

Оцінювання якості і санітарного стану готової продукції показало, що НВЧ-розморожування дає змогу зменшити втрати білкових речовин і вітамінів, запобігти розвитку мікрофлори, покращити ніжність м'яса, що особливо важливо у разі вироблення з розмороженої сировини варених ковбасних виробів. Відзначено також зростання часу зберігання і терміну реалізації харчових продуктів з сировини, розмороженої за допомогою НВЧ-енергії. Проте слід зазначити, що існує небезпека підварювання поверхневих шарів продукту внаслідок високої температури на його поверхні. До того ж, спосіб діелектричного розморожування потребує значної кількості електроенергії.

Порівняння тривалості розморожування шматка м'яса масою 1,3 кг різними способами наведено у табл. 1.

Таблиця 1.

№ пор.	Спосіб розморожування	Тривалість
1	У камері з температурою +1...+3°C (побутовий холодильник)	24 год.
2	При кімнатній температурі (+20°C)	10...12 год.
3	Те саме, з примусовою циркуляцією повітря	5...6 год.
4	У термокамері (72°C)	3...4 год.
5	У проточній воді (+18°C)	3...4 год.
6	У НВЧ-камері	0,25...0,5 год

Вибір способу розморожування і пристроїв для його здійснення визначається потужністю підприємства, його можливостями, видом і призначенням оброблюваного продукту. Раціонально обраний спосіб розморожування допоможе максимально зберегти харчову та смакову цінність продукту.

Література

1. Бараненко А.В., Куцакова В.Е., Борзенко Е.И., Фролов С.В. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Ч.3.Теплофизические основы.– М.: КолосС, 2004.–249 с.

2. Холодильная техника и технология / Под ред. А.В. Руцкого. — М.: ИНФРА-М, 2000. — 286 с.