УСИХАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

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

Усихання продуктів призводить до зменшення їхньої маси, що спричиняє прямі грошові збитки. Крім цього усихання спричиняє погіршення якості і товарного вигляду продукту, утворення снігової шуби на охолоджувальних пристроях. Тому важливо прогнозувати усихання продуктів під час холодильного оброблення та вживати заходів для його зменшення

Причини і наслідки усихання

Під час холодильного оброблення неупакованих продуктів у повітряному середовищі з їхньої поверхні випаровується (або сублімується) волога. Цей процес називають *усиханням*. Через усихання зменшується маса продуктів. Відношення маси вологи, що випарувалася, до маси продукту називають *усушкою.*

Зменшення маси продукту призводить до прямих збитків. До того ж внаслідок випаровування чи сублімації вологи на поверхні продуктів утворюється зневоднений шар різної товщини. Він має порувату структуру, що сприяє активізації окислювальних процесів. Через це погіршуються зовнішній вигляд, харчові та смакові якості продукту. Після розморожування такого продукту (як правило, у споживача) поверхневий шар сорбуватиме вологу з повітря, а також вона надходитиме з внутрішніх шарів, тобто вміст вологи відновиться, але смак та харчова цінність зміняться незворотно.

Додаткова шкода від усихання полягає в тому, що волога, яка випарувалася з поверхні продукту, конденсуватиметься на поверхні охолоджувальних пристроїв у вигляді снігової шуби. Шар снігу створюватиме додатковий термічний опір, що змусить знижувати температуру і тиск кипіння холодоагенту, а отже, перевитрачати електроенергію.

Інтенсивність випаровування вологи залежить від багатьох причин: термодинамічних властивостей повітря, виду, стану та розмірів продукту, його упаковки, способу вкладання вантажу та його розміщення в камері, завантаженості камер, системи охолодження, від теплонадходжень тощо. Усихання значно послаблюється, якщо на поверхні продукту є вологонепроникний шар (кірочка підсихання, шар жирової тканини). Усихання фруктів та овочів залежить від їх сорту, розміру, якості, стану шкірочки та ін. Інтенсивність випаровування вологи зростає з підвищенням температури повітря камер та зниженням його відносної вологості.

Найнижча температура в камері встановлюється поблизу охолоджувальних пристроїв, найвища -- поблизу зовнішніх стін. Різниця значень температури (а отже, і густини) спричиняє циркуляцію повітря. Поблизу батарей повітря охолоджується, досягає точки роси й осушується. Волога конденсується (десублімується) на батареях у

вигляді снігової шуби. Під час руху по камері повітря нагрівається, при цьому знижується його відносна вологість. Осушене повітря обдуває продукти, поглинаючи вологу з їх поверхні, а потім знову надходить до батарей, де осушується. Інтенсивність руху повітря зростатиме зі збільшенням різниці між температурами повітря у камері та поверхні охолоджувальних пристроїв.

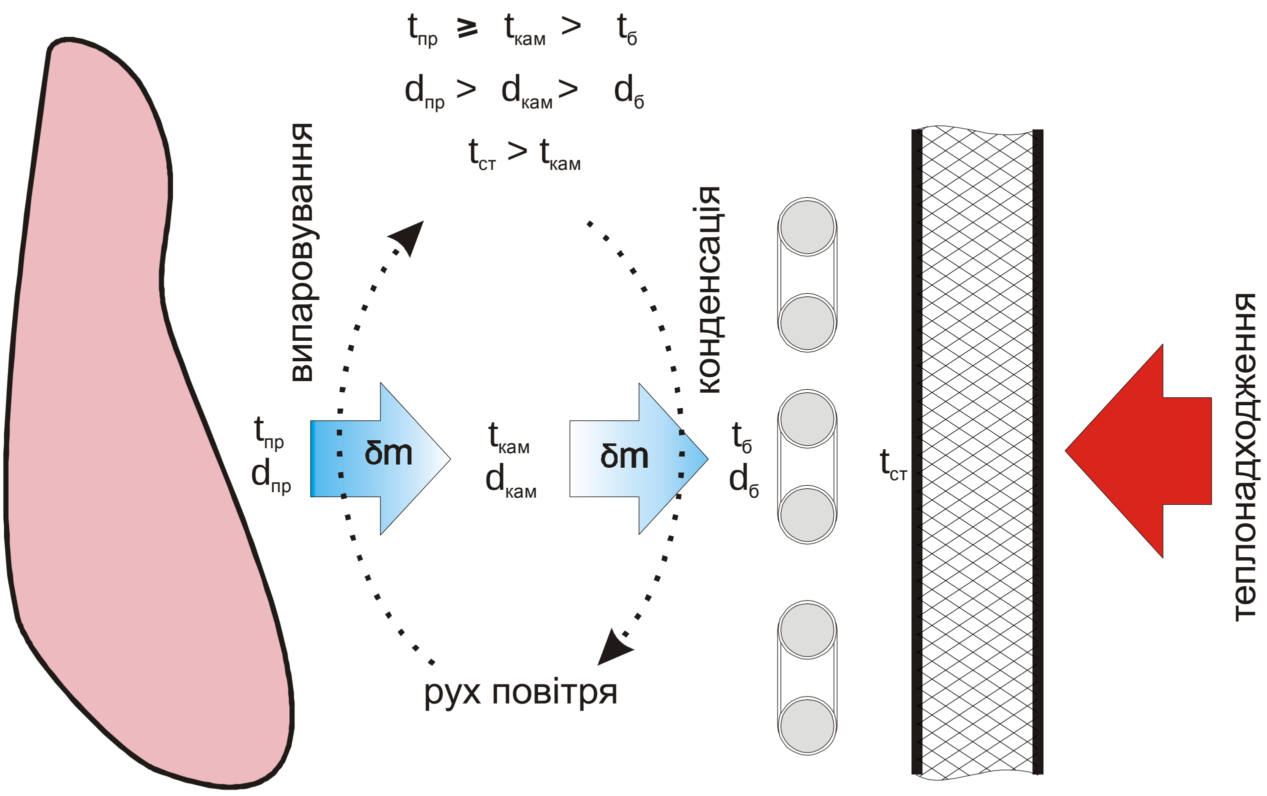

Рис. 1. Схема процесу усихання

Додатково до описаного процесу відбуватиметься дифузія водяної пари від продуктів, поблизу поверхні яких будуть вищими температура та відносна вологість повітря, а отже, і парціальний тиск водяної пари, до поверхні батарей.

Випаровуючись внаслідок усихання, вода відводитиме від продукту певну кількість теплоти. Встановлено, що залежно від температури повітря та властивостей продукту частка цієї теплоти може сягати 50% від загальної кількості відведеної теплоти. Цей ефект використовують для випарного охолодження та вакуум-охолодження продуктів.

Механізм усихання під час охолодження інший, ніж під час зберігання. У цьому разі теплий продукт обдувається холодним повітрям. Під час охолодження продукту температура його поверхні знижуватиметься. Повітря поблизу поверхні продукту буде знаходитися практично у стані насичення при температурі поверхні. У ядрі потоку повітря також перебуває приблизно у стані насичення, але вже при температурі ядра потоку, що значно нижча. Тому вологовміст повітря біля поверхні продуктів буде вищим, ніж у ядрі потоку, отже, волога мігруватиме, випаровуючись із продуктів. Таким чином, під час охолодження продукту усихання обумовлене насамперед різницею

температур поверхні продукту та ядра потоку повітря.

Фактори, що впливають на швидкість усихання

Усихання продукту залежить від пори року. Зростання температури навколишнього повітря спричинить зростання теплонадходжень. У камерах, обладнаних системами автоматичного регулювання температури, внаслідок спрацьовування системи знизиться температура поверхні охолоджувальних пристроїв, а отже, інтенсивніше відбуватиметься циркуляція, осушуватиметься повітря, випаровуватиметься волога з продуктів та наростатиме снігова шуба. Якщо системи автоматичного регулювання немає (як правило, у малих камерах), то зростання температури повітря у камері спричинить такий самий ефект, до того ж відбудеться зростання вологоємності повітря. Встановлено, що у малих камерах вплив теплонадходжень на усушку сильніший, ніж у великих.

Усихання продукту відбувається головним чином у поверхневих частинах штабеля і зменшується зі зменшенням його питомої поверхні (відношення площі поверхні штабеля до маси продукту у ньому). Збільшення штабеля призведе до зменшення усихання. Випаровування із внутрішніх шарів штабеля залежить від щільності його вкладання. Чим щільніше вкладений штабель (наприклад, штабель із блоків замороженого м'яса), тим меншою буде усушка.

Усихання також залежить від стану продукту, його хімічного складу. Великий вологовміст (наприклад, у плодів) та волога поверхня продукту спричиняють інтенсивніше усихання, а отже, вищу усушку. З часом швидкість усихання зменшується. Це пов'язане зі зневодненням поверхневих шарів продукту.

Істотно впливає на швидкість усихання величина питомої поверхні продукту (відношення площі поверхні продукту до його маси): чим більша питома поверхня, тим вищою є усушка. Дрібні продукти мають більшу питому поверхню порівняно з крупними, отже, їх усушка буде вищою. Так, усушка неупакованих заморожених м'ясних напівфабрикатів (котлет тощо) буде вищою, ніж м'ясних напівтуш.

Розрахунок усушки під час зберігання [1]

Рушійною силою усихання є градієнт парціальних тисків водяної пари, що пропорційні вологовмісту повітря. Масу випаруваної вологи за час $d\tau$ можна розрахувати за формулою:

$$dm = \beta_{пр} F_{пр} \left(d_{пр} - d_{ос}\right) d\tau \ , \qquad (1)$$

де $\beta_{пр}$ -- коефіцієнт масовіддачі з поверхні продукту, м/с; $F_{пр}$ -- площа поверхні продукту, м^2; $d_{пр}$, $d_{ос}$ – значення вологовмісту повітря, відповідно, поблизу поверхні продукту та у ядрі потоку повітря, кг/кг.

Максимальний вологовміст повітря, d, кг/кг рекомендується обчислювати за допомогою емпіричної формули Г. К. Філоненка:

$$d(t) = e^{10{,}56 - \frac{3654}{t+230}}\ , \qquad (2)$$

де t -- температура повітря, °С.
Якщо відома відносна вологість повітря у камері φ (лежить у межах 0...1), то для визначення фактичного вологовмісту слід додатково помножити отримане значення на φ.

Під час тривалого зберігання значення температур поверхні продукту та повітря практично однакові, отже, рушійною силою усихання є різниця між значеннями вологовмісту повітря у камері та поблизу поверхні продукту. Рівняння балансу вологи у камері зберігання з батареями має вигляд:

$$\beta_{пр} F_{пр} \left(d(t_{пр}) - \varphi_{кам} d(t_{кам})\right) = \beta_б F_б \left(\varphi_{кам} d(t_{кам}) - d(t_б)\right), \qquad (3)$$

де $\beta_{пр}$, $\beta_б$ -- коефіцієнти масовіддачі, відповідно, з поверхні продукту та з поверхні батарей; $F_{пр}$, $F_б$ -- площі поверхні, відповідно, продукту та батарей; $\varphi_{кам}$ -–– відносна вологість повітря у камері; $d(t_{пр})$, $d(t_{кам})$, $d(t_б)$ -- максимальні значення вологовмісту повітря (φ=1) при температурі, відповідно, поверхні продукту, повітря у камері та поверхні батарей.

Продукт і батарея перебувають у практично однакових умовах вологообміну, отже, можна вважати, що $\beta_{пр} \approx \beta_б$. Тоді з формули (3) можна обрахувати значення рівноважної відносної вологості повітря у камері:

$$\varphi_{кам} = \frac{\frac{F_{пр}}{F_б} d(t_{пр}) + d(t_б)}{d(t_{кам})\left(1 + \frac{F_{пр}}{F_б}\right)}\ . \qquad (4)$$

Як зазначалося вище, під час тривалого зберігання значення температур повітря в камері та поверхні продукту практично рівні, тому рівняння (4) спрощується:

$$\varphi_{кам} = \frac{\frac{F_{пр}}{F_б} + \frac{d(t_б)}{d(t_{кам})}}{\frac{F_{пр}}{F_б} + 1}. \qquad (5)$$

Тоді загальна усушка продукту за час τ становитиме:

$$\delta m = \beta_{пр} F_{пр} \tau d(t_{кам})(1 - \varphi_{кам}) = \beta_{пр} F_{пр} \tau \frac{d(t_{кам}) - d(t_б)}{\frac{F_{пр}}{F_б} + 1}. \qquad (6)$$

Реальна усушка продукту буде дещо меншою, ніж розрахована за формулою (6). Це пояснюється здатністю продукту опиратися випаровуванню вологи (наявність жирової тканини, шкірочки тощо). Введено коефіцієнт μ -- коефіцієнт опору випаровуванню -- відношення

кількості води, випареної за однакових умов з вільної поверхні води та поверхні продукту (μ > 1), що визначається дослідним шляхом. Якщо відомий цей коефіцієнт, то слід значення усушки, отримане за формулою (6), поділити на нього.

Розрахунок усушки під час охолодження має ряд особливостей. За рахунок випаровування вологи зростає відведення теплоти з поверхні продукту. Вводять поняття “мокрого” коефіцієнта тепловіддачі, $\alpha_м$ -- відношення сумарного теплового потоку з поверхні до різниці значень температури поверхні та охолодного середовища. Його розраховують з теплового та вологісного балансу системи “волога поверхня -- вологе повітря”:

$$\alpha_м = \alpha_{пр}\left(1 + \frac{r}{c_{пов}\rho_{пов}} \cdot \frac{d(t_{пр}) - d(t_{кам})}{t_{пр} - t_{кам}}\right), \qquad (7)$$

де $c_{пов}$, $\rho_{пов}$ -- масова питома теплоємність та густина повітря, відповідно; r -- питома теплота випаровування вологи з поверхні продукту (для умов холодильної камери можна прийняти r = 2501 кДж/кг). Таким чином, коефіцієнт тепловіддачі залежатиме від значень вологовмісту повітря при температурах поверхні продукту та в камері. Перший із них залежить від температури поверхні продукту, що змінюється в часі за нелінійним законом.

Тому найчастіше для розрахунку усушки під час охолодження використовують числові методи. Час охолодження розбивається на окремі відрізки $d\tau$, всередині яких можна умовно вважати температуру поверхні сталою, розраховується температура поверхні продукту по закінченні часу $d\tau$ та усушка протягом цього часу. Після досягнення потрібної температури продукту значення усушки сумуються. Для кожного з часових відрізків слід розраховувати “мокрий” коефіцієнт тепловіддачі та використовувати його для визначення температури й усушки.

Нормування усушки

Нормування усушки м’яса та м’ясопродуктів здійснюється на підставі нормативних документів Держхарчопрому України, а також діючих нормативів Мінм’ясомолпрому СРСР. Для прикладу у табл. 1 подані норми усушки (у процентах за один місяць зберігання) заморожених яловичини, баранини, козлятини, свинини і субпродуктів неблочних при зберіганні в камерах одноповерхових холодильників місткістю 300 тонн і більше з батарейним і змішаним охолодженням (Додаток 7 до наказу ММіМП СРСР №300 від 28.12.81).

До середньої кліматичної зони відносять всю територію України за винятком АР Крим. Останню відносять до південної кліматичної зони.

Норми усушки замороженого м’яса і субпродуктів у табл. 1 наведені при зберіганні в камерах холодильників із паспортною (проектною) температурою повітря -15 °С і нижче. При зберіганні замороженого м’яса і субпродуктів на всіх холодильниках з паспортною (проектною)

температурою повітря камер вище -15 °С, крім холодильників місткістю менше 300 тонн, норми збільшують у ІІ, ІІІ, IV кварталах на 15%.

Таблиця 1. Норми усушки м’яса (у процентах за один місяць зберігання) [2].

Вид і категорія м’яса, субпродукти	Середня зона				Південна зона			
	І кв.	ІІ кв.	ІІІ кв.	IV кв.	І кв.	ІІ кв.	ІІІ кв.	IV кв.
Яловичина у напівтушах, четвертинах і торгових відрубах								
- першої категорії	0,08	0,20	0,27	0,14	0,16	0,23	0,29	0,21
- другої категорії та пісна	0,10	0,24	0,34	0,19	0,20	0,29	0,37	0,26
Баранина і козлятина в тушах								
- першої категорії	0,10	0,24	0,34	0,19	0,21	0,29	0,37	0,26
- другої категорії та пісна	0,11	0,26	0,37	0,20	0,22	0,31	0,40	0,29
Свинина у тушах і напівтушах								
- першої категорії (беконна); другої категорії (м’ясна, молодняк, обрізна та підсвинки); четвертої категорії (промпереробка); п’ятої категорії (м’ясо поросят); пісна у шкурі та без шкури, поросята і підсвинки, що не відповідають вимогам стандарту, кнури	0,08	0,19	0,26	0,14	0,16	0,23	0,29	0,20
- третьої категорії (жирна)	0,07	0,15	0,21	0,11	0,12	0,19	0,23	0,17
Субпродукти неблочні всіх видів	0,09	0,21	0,30	0,16	0,19	0,26	0,33	0,23

На холодильниках місткістю менше 300 тонн норми усушки при зберіганні замороженого м’яса і субпродуктів передбачаються в І кварталі на 10, у ІІ, ІІІ, IV кварталах на 25% вище за норми, вказані в табл. 1

При зберіганні замороженого м’яса всіх видів і категорій у камерах із льодяними екранами чи при вкриванні штабелів м’яса тканиною з нанесенням льодяної глазурі норми усушки зменшуються на 20% на всіх холодильниках, крім одноповерхових, з електрообігріванням грунту.

При зберіганні замороженого м’яса і субпродуктів у камерах із примусовою повітряною системою охолодження передбачається збільшення норм усушки у ІІ, ІІІ, IV кварталах на 15% вище норм, наведених у табл. 1.

Розрахунки втрат від усушки з використанням норм набагато простіші й швидші, проте їх точність може бути дещо нижчою.

За даними табл. 1 нормативна усушка неупакованої свинини 2 категорії при зберіганні її в камері холодильника у Києві з температурою -18 °С протягом трьох місяців (травень, червень, липень) становитиме:
$\delta m = 2 \cdot 0{,}19 + 1 \cdot 0{,}26 = 0{,}64\%$.

Якщо вважати, що на холодильнику зберігалося 250 т свинини, то втрата маси від усушки становить:

δm = 0,64 : 100 · 250 = 1,6 т.

Якщо прийняти вартість 1 т свинини рівною 15 тис. грн, то орієнтовні втрати коштів за три місяці зберігання становитимуть:

1,6 · 15000 = 24000 грн.

Норми втрат від усушки розроблені для всіх процесів холодильного оброблення продуктів -- охолодження, заморожування, підморожування, зберігання.

Способи зменшення усушки

Зменшити усушку можна, вдосконалюючи умови зберігання. Насамперед слід зменшити зовнішні теплонадходження. Це досягається під час проектування холодильника завдяки раціональному вибору теплоізоляції камер та розташуванню їх (наприклад, камери зберігання морожених продуктів оточують холодильними камерами з вищою температурою), застосуванням систем позакамерного охолодження (повітря охолоджується у проміжку між подвійними стінками камери, що забезпечує поглинання зовнішніх теплонадходжень, а отже, мінімізує конвективний рух повітря). На працюючих холодильниках слід стежити за станом тепло- та пароізоляції, своєчасно здійснювати їх ремонт і заміну.

Розташування та розмір поверхні охолоджувальних пристроїв також суттєво впливають на температурний і вологісний режими в камері. Кількість теплоти, що відводиться охолоджувальними пристроями за одиницю часу, пропорційна площі поверхні охолоджувальних пристроїв і різниці значень температур повітря в камері і поверхні батареї:

$$Q = \alpha \cdot F_б (t_{кам} – t_б), \quad (8)$$

де α -- коефіцієнт тепловіддачі.

Як зазначалося раніше, у разі зростання різниці значень температур ($t_{кам} – t_б$) посилиться циркуляція повітря у камері та усихання. Тому з метою зменшення усушки слід установлювати у камерах зберігання батареї з порівняно великою площею поверхні. Важливо також раціонально розташувати їх у камері. Основна вимога при цьому -- створення в об’ємі камери рівномірного та незмінного у часі температурного поля.

Для зменшення усушки використовують зволоження повітря камери. До камер з температурою вище нуля волога подається за допомогою форсунок тонкого розпилювання, а до камер з температурою нижче нуля -- через систему зволоження у складі повітря з відносною вологістю 100%.

Ефективним у боротьбі з усиханням є вкривання штабеля брезентом, а також спорудження екрана перед батареєю з наморожуванням льоду на брезенті чи екрані. Під оболонкою з брезенту, снігу та льоду повітря насичується вологою, що випарувалася з продукту, через що подальше випаровування вповільнюється. Також використовують харчові покриття, полімерні плівки, ламінований папір, фольгу та інші матеріали з малою вологопроникністю -- як для пакування

окремих порцій, коробок чи ящиків продукту, так і для вкривання штабелів.

Так, для охолодженої вирізки, що зберігається у блоках, використання полімерної плівки зменшує усушку приблизно втричі (табл.2).

Таблиця 2. Усушка охолодженої вирізки, % [2]

Назва м'ясопродуктів	Тривалість зберігання, діб		
	1	2	3
Вирізка яловича і свиняча в блоках без упаковки	0,35	0,48	0,57
Вирізка яловича і свиняча в блоках, упакованих у полімерні плівки	0,10	0,15	0,19

Окремі морожені продукти (наприклад, риба цінних порід) можуть глазуруватися. Для цього на їхні поверхні наморожується шар льоду. Морожену рибу сімейства осетрових (глазуровану і неглазуровану вкладають у штабелі, укривають водопоглинальним матеріалом, на який наморожують льодяну глазур. У такому разі сублімація відбувається з поверхні льоду, тому підсихання продукту не відбувається. Під час глазурування риби, особливо жирної, що схильна до згіркнення (оселедець тощо), в глазурувальний розчин можуть бути введені антиокисники (бутилгідрооксианізоли, етилові та пропілові ефіри галової кислоти, α-токоферол, аскорбінова кислота і її натрієві та калієві солі, бутилокситолуол, коптильна рідина МІНХа та ін.). Встановлено, що глазурування дає змогу збільшити термін зберігання деяких видів риб на 4…6 міс.

Проте льодяна глазур має ряд недоліків. Насамперед під час глазурування поверхневий шар уже замороженого продукту нагрівається водою. Для прикладу у табл. 3 наведено зміну температури та додаткові теплонадходження під час глазурування мороженої риби з початковою температурою -30 °С [3].

Таблиця 3. Зміна температури риби після глазурування

Частка глазурі, %	Температура після глазурування,ºС	Додаткові теплонад-ходження, кДж/кг риби
1	-28	4,19
2	-26	8,38
4	-23	16,34
6	-20	24,30
10	-14,7	40,22
15	-9,6	62,01
20	-6,3	82,12

Таким чином, надмірне глазурування продукту призводить до невиправданих перевитрат енергії на доморожування продукту в камері.

Також через розморожування та повторне заморожування дещо погіршується структура тканини у поверхневому шарі риби.

Лід створює “баласт”, який хоч і збільшує масу продукту, проте не має харчової цінності. До того ж льодяна глазур порівняно швидко сублімується, через що може зникнути вже через кілька місяців. Тому для захисту мороженої риби впродовж тривалого холодильного зберігання на її поверхню доцільно наносити не воду, а водні розчини плівкоутворюючих речовин, що мають високі адгезивні властивості. Після випаровування води на поверхні риби утворюється стійка до механічних пошкоджень газонепроникна оболонка. Як водорозчинні покриття використовують полівініловий спирт у суміші з різними модифікаторами, такими як оксиметилцелюлоза, оксипропілцелюлоза, карбоксиметилцелюлоза та ін.

Прогресивним методом є зберігання риби, замороженої в альгінових гелях (полісахариди, що отримують із деяких видів морських водоростей). Альгінати розчинні у воді і в низьких концентраціях утворюють розчини з високою в’язкістю, що дає змогу отримати на поверхні риби захисний шар гелю. На поверхні риби, зануреної у розчин гелю, після заморожування формується щільний шар, що повністю ізолює продукт від впливу кисню, а оскільки температура замерзання гелю приблизно на 3 °С нижча від температури замерзання самої риби, то під час розморожування гель легко відокремлюється, причому шкіра риби не пошкоджується. При такому способі повністю виключаються природні втрати риби під час зберігання.

Для збереження якості нежирної риби замість наморожування води ефективним є нанесення захисної плівки з термопластичних восків (парафіну), змішаних з невосковими речовинами. Покриття наносять, занурюючи заморожену рибу у розплав із температурою 60 °С. Ці покриття паро- і повітронепроникні, а під час зберігання при низьких температурах не розтріскуються.

Процес усихання можна прогнозувати і контролювати. Використання ефективних способів зменшення усушки дає змогу зекономити значні кошти за рахунок зменшення втрат продукту, збереження його якості і товарного вигляду. Додаткової економії коштів можна досягнути за рахунок економії електроенергії на холодильну машину у зв’язку зі зменшенням утворення снігової шуби на охолодних пристроях.

Література

1. Бараненко А. В., Куцакова В. Е., Борзенко Е. И., Фролов С. В. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. -- М: КолосС. -- 2004. -- 255 с.
2. Желиба Ю. А. Нормирование потерь от усушки при холодильной обработке и хранении на предприятиях мясной промышленности. -- Одесса: Астропринт, 1997. -- 214 с.
3. Recommended International Code of Practice for Frozen Fish, CAC/RCP 16-1978.