

## ІНТЕНСИВНІСТЬ КРІОГЕННІЇ ОБРОБКИ М'ЯСОПРОДУКТІВ

**О.А. Чернюшок, В.Г. Федоров, О.І. Кепко**

*Подано дослідження з визначення інтенсивності процесів охолодження та заморожування м'ясних продуктів, що залежить від розмірів продукту, температури та швидкості повітря. У заморожених м'ясних продуктах швидкість перебігу процесів, що впливають на якість, у багато разів менша, ніж в охолоджених. Досліджено динаміку густини теплового потоку під час холодильного оброблення зразків м'ясних продуктів*

**Ключові слова:** охолодження, заморожування, м'ясні продукти, інтенсивність, густина теплового потоку, коефіцієнт тепловіддачі.

## ІНТЕНСИВНОСТЬ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ МЯСОПРОДУКТОВ

**О.А. Чернюшок, В.Г. Федоров, О.И. Кепко**

*Представлены исследования по определению интенсивности процессов охлаждения и замораживания мясных продуктов, что зависит от размеров продукта, температуры и скорости воздуха. В замороженных мясных продуктах скорость протекания процессов, влияющих на качество, во много раз замедляется, чем у охлажденных. Исследована динамика плотности теплового потока в процессе холодильной обработки образцов мясных продуктов.*

**Ключевые слова:** охлаждение, заморозка, мясные продукты, интенсивность, плотность теплового потока, коэффициент теплоотдачи.

## THE INTENSITY OF CRYOGENIC PROCESSING OF MEAT PRODUCTS

**O. Chernyushok, V. Fedorov, O. Kepko**

*One of the important conditions of meat products preservation is a maintenance of their high quality and nutritive value. Usage of cold treatment enables preservation over a long period. Cooled products after preservation insignificantly differ from fresh ones. The article contains research regarding determination of the cooling process intensification of meat products subject to their size, temperature and air velocity. Necessity of the meat products freezing will increase their preservation term. Velocity of the processes inside the frozen meat products, influencing their quality, is significantly lower than in the cooled products.*

*The Authors researched the dynamics of the heat flow density during the cooling of meat products. It is determined that total heat-transfer coefficient varies from 12 to 10 W/(m<sup>2</sup>·K); for the purposes of applied calculations one can use 11 W/(m<sup>2</sup>·K).*

*Freezing of the samples in the similar conditions increases an average  $q$  proportionally to increase in  $\Delta t$ , at the same time  $\alpha$  is not increasing and amounts to average  $12 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .*

*An impact of temperature and air velocity  $q$  and  $\tau$  were researched during the development of rational regime for freezing of meat stuffing products. When air temperature decreases from  $-20$  to  $-60$  °C and velocity decreases by  $5 \text{ m/s}$ ,  $\tau$  is also decreasing from  $52$  to  $8$  minutes but  $\alpha$  is increasing from  $48$  to  $52 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Air velocity change from  $3$  to  $10 \text{ m/s}$  increases  $\alpha$  from  $36$  to  $74 \text{ Vt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .*

**Keywords:** cooling, freezing, meat products, intensity, heat flux density, heat transfer coefficient.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Основними завданнями для підприємств м'ясної галузі є комплексна переробка сировини, розширення асортименту готової продукції, поліпшення її якості для забезпечення потреб споживачів та інтенсивність виробництва продукції [1; 2]. У технології м'ясних продуктів однією з головних технологічних операцій є холодильне оброблення [3; 4].

У холодильній технології найбільш поширеними процесами є охолодження та заморожування сировини й готових продуктів. Інтенсивність цих процесів – дуже важливе завдання, оскільки його вирішення приводить до поліпшення якості продукції, енерго- та ресурсозбереження. Особливу вагу це набуває під час заморожування м'ясних продуктів.

Знизити температуру м'ясних продуктів можна шляхом зменшення їх внутрішньої енергії. Тому для штучного охолодження створюють такі умови, за яких теплова енергія відводиться від продукту та сприймається іншим, більш холодним тілом. Для тривалого охолодження необхідно, щоб сприйняття тепла охолоджуючим тілом відбувалося без підвищення його температури, оскільки інакше температури обох тіл стануть однаковими та охолодження припиниться [4].

Інтенсивність відведення або підведення теплової енергії визначається поверхневою густиною теплового потоку  $q$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , дорівнює кількості теплоти, Дж, що передається через одиницю теплообмінної поверхні,  $\text{м}^2$ , за одиницю часу, с. Для технологічних розрахунків користуються рівнянням:

$$q = \alpha \Delta t, \quad (1)$$

яке прийнято називати законом або принципом Ньютона. Тут  $\Delta t$ , К – різниця температур між поверхнею продукту та холодоносієм за межами його пристінного шару  $\alpha$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  – коефіцієнт конвективного теплообміну, або тепловіддачі.

Найбільш розповсюдженими термічними обробками м'ясопродуктів є охолодження та заморожування. Температура на поверхні продукту після

охолодження не має бути нижче за кріоскопічну (це температура початку утворення льоду без переохолодження, для м'ясопродуктів – 1,2...2° С), а в термічному центрі, тобто в точці з експериментальною температурою, – не вище за +4° С. Охолоджений продукт допускає лише короткострокове зберігання за температури +4° С.

Відомий вплив кристалів льоду, що зростають під час заморожування, на цілісність клітин і витікання з них розчину солей та інших рідких компонентів. Відомо, що чим інтенсивніший процес заморожування, то кристали льоду меншого розміру, менші втрати білкових і екстрактивних речовин із м'ясним соком. Але може виникнути небезпека появи мікроорганізмів на поверхні м'яса, що може призвести до погіршення якості розмороженого продукту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом ученими проводяться дослідження щодо інтенсифікації холодильних технологій, результати яких висвітлено в низці публікацій [1–7]. Важливою умовою сучасного виробництва є впровадження технологій, що базуються на раціональному використанні енергоресурсів.

Розроблені основи проміжного методу холодильного оброблення харчових продуктів – підморожування, процес коли температура продуктів стає нижче за кріоскопічну, так, що відбувається часткова кристалізація вологи в поверхневому шарі [3].

**Мета статті** – узагальнення інформації, визначення коефіцієнтів тепловіддачі від поверхні м'ясних продуктів до різних теплоносіїв та отримання практичних рекомендацій.

Об'єктом досліджень стали процеси охолодження та заморожування м'ясних продуктів.

Предмет досліджень – м'ясні продукти: яловичина, язик яловичий та мозок яловичий.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для розрахунків процесів і апаратів холодильного оброблення м'ясної галузі необхідно мати інформацію про величину коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha = q/\Delta t$  для кожної пари «продукт – теплоносій» з урахуванням залежностей  $\alpha = f(\Delta t, q, W, \dots)$ . За допомогою тепломірів, розроблених у НУХТ, було одержано інформацію щодо динаміки  $q$  та  $\Delta t$  під час дослідження різних способів інтенсивності холодильного оброблення м'ясних продуктів.

Теплометрія продуктів в умовах охолодження за умов вільної конвекції повітря показала, що інтенсивність відведення теплоти залежить також від розмірів зразка та стану його поверхні (зволоженість, жорсткість тощо). На рис. 1 наведено динаміку  $q$  під час охолодження зразка яловичини розміром  $10 \times 10 \times 8$  см<sup>3</sup> (1), яловичого язика (2) та яловичого мозку (3). Сумарний коефіцієнт тепловіддачі (частина теплової енергії відводиться від зразка випромінюванням та випаровуванням

вологи) змінюється від 12 до 10 Вт/(м<sup>2</sup>·К); для практичних розрахунків можна прийняти  $\alpha = 11$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

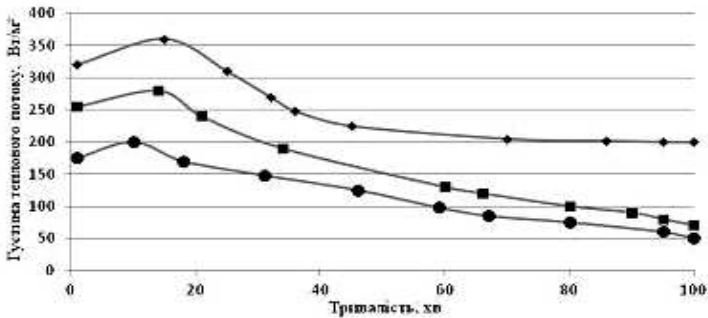


Рис. 1. Теплові потоки під час охолодження:

◆ — яловичина (1); ■ — язик яловичий (2); ● — мозок яловичий (3)

Заморожування зразків в аналогічних умовах збільшує середній рівень  $q$  пропорційно збільшенню  $\Delta t$ , при цьому  $\alpha$  майже не збільшується і в середньому дорівнює  $\alpha = 12$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Кінетику відведення теплоти під час заморожування яловичини наведено на рис. 2.

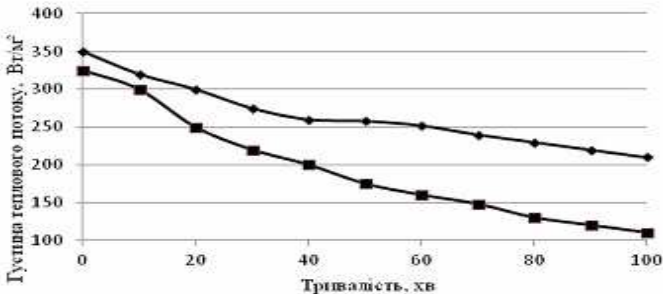


Рис. 2. Теплові потоки під час заморожування:

◆ — яловичина (1); ■ — язик яловичий (2)

Крива має експоненціальний характер, у системі координат  $\tau - \lg q$  ( $\tau$  – час процесу) вона стає прямою, що підтверджує змінення  $q$  і  $\Delta t$  продукту. З рис. 2 бачимо, що на сотій хвилині зразок промерз до термічного центру, отже, процес можна закінчувати.

Вплив температури та швидкості руху повітря  $q$  та  $\tau$  досліджували під час розроблення раціональних режимів заморожування продуктів із м'ясною

начинкою. За умови зниження температури повітря від  $-20$  до  $-60^{\circ}\text{C}$  та швидкості  $5\text{ м/с}$   $\tau$  знижується від  $52$  до  $8\text{ хв}$ , а зростає від  $48$  до  $52\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Зміна швидкості повітря від  $3$  до  $10\text{ м/с}$  привела до зростання  $\alpha$  від  $36$  до  $74\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ .

Для одержання достатньо дрібних кристалів льоду в продуктах цих значень  $\alpha$  недостатньо, тому актуальними є нові способи інтенсифікації процесу заморожування.

Дослідження впливу вібрації продукту на  $\tau$  під час заморожування пластин яловичини завтовшки  $7,5\text{ см}$  за  $W = 3\text{ м/с}$  та температури повітря  $-25^{\circ}\text{C}$  показало скорочення  $\tau$  на  $12\dots 25\%$ , якщо пластина вібрає з частотою  $12\dots 25\text{ Гц}$  та амплітудою  $3\text{--}5$ .

Наближено такий ефект дає накладання магнітного поля на продукт, очевидно, за рахунок переорієнтації саркоплазматичних білків і структурних елементів у напрямку вектора напруженості поля. Це збільшує теплопровідність продукту та інтенсифікує зростання кристалів.

Значно більший ефект дає накладання електричного поля (рис. 3). За  $t = -40^{\circ}\text{C}$  та  $W = 3\text{ м/с}$  заморожували брикети яловичого фаршу розміром  $6\times 6\times 2,8\text{ см}^3$ . Електричне поле створювали за допомогою коронуючого та заземленого електродів, установлених паралельно напрямку повітря потоку. Напруженість поля змінювали від  $2,5\cdot 10^5$  до  $5,5\cdot 10^5\text{ В/м}$ . Під дією поля в повітрі та на поверхні продукту утворюються частинки, унаслідок кулонівської взаємодії між ними утворюється «електричний вітер», що може переміщувати повітря біля поверхні та інтенсифікувати тепловідведення. За кілька хвилин поверхня продукту замерзає, розряджається, «вітер» зникає.

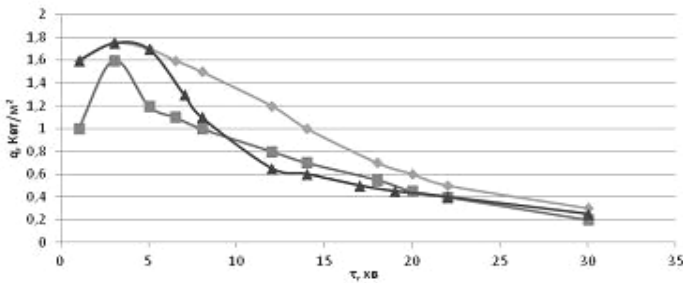
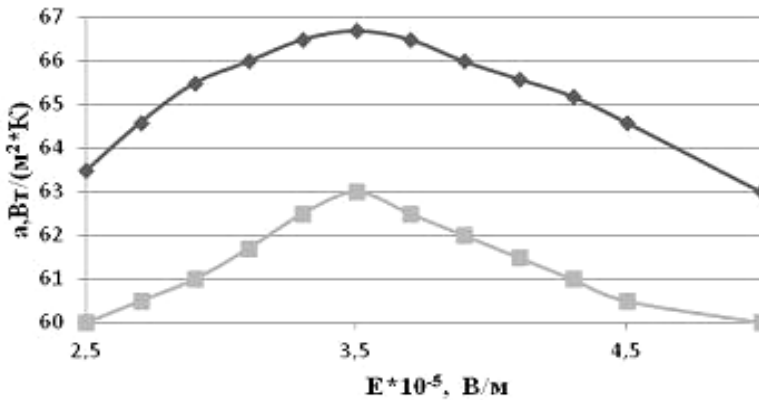


Рис. 3. Зміна інтенсивності тепловідведення під час заморожування брикету м'яса: — за постійного впливу електричного поля (1); —■— контрольний (2); —▲— за впливу поля в початковій стадії (3)

Динаміка  $q$  (рис. 3) підтверджує ці міркування – за умови постійної дії поля  $q$  може стати на деякий час менше, ніж із поверхні контрольного зразка.

Інформація про температуру повітря на поверхні брикету дала можливість установити залежність середнього за процес  $\alpha$  від напруженості поля (рис. 4).



**Рис. 4. Залежність зміни коефіцієнта тепловіддачі під час заморожування дослідного зразка:**

- ◆— за впливу електричного поля в початковій стадії процесу (1);
- за постійного впливу електричного поля (2)

Як бачимо, інтенсифікація процесу є очевидною. Але теоретичні розрахунки показують, що для дослідження оптимальних розмірів кристалів у продукті коефіцієнт тепловіддачі має бути на рівні 500...600  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Тому досліджували криогенні холодоносії, відведення теплоти до яких може супроводжуватися фазовими перетвореннями холодоагента.

Було досліджено заморожування шматків яловичини  $10 \times 10 \times 8$  см, мозку та гіпофіза в атмосфері вуглекислоти. У теплоізолюваній камері 1 (рис. 5) на дні розміщували сухий лід ( $\text{CO}_2$ ) 2, на перфорований лист – зразки, на інший лист під кришкою – також сухий лід.

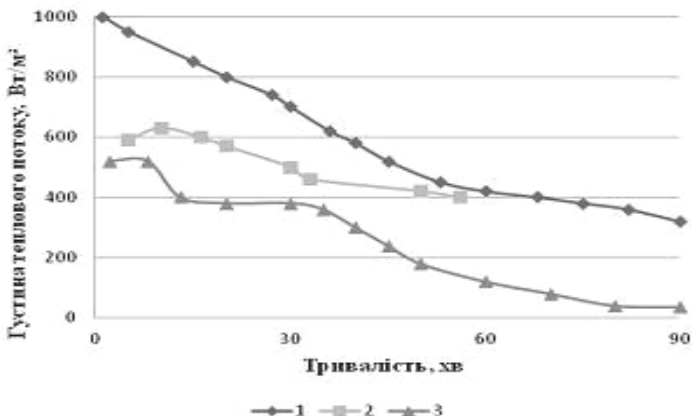


Рис. 5. Заморожування в атмосфері вуглекислоти

Таким чином у замкнутому об'ємі камери утворювалися потоки вуглекислого газу в суміші з повітрям. Температура суміші залежала від кількості закладеного сухого льоду та продукту, а  $q$  – ще й від властивостей і розмірів зразка 3. Максимальне значення  $q$  для м'яса було  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , що в тричі більше, ніж під час заморожування в атмосфері повітря (рис. 2). Крива 2 рис. 5 відповідає заморожуванню частки яловичого мозку, 3 – гіпофіза. Кульки гіпофіза укладали в 1 шар у формочки, термомір щільно притискався до поверхні одного з них. Безперервне вимірювання  $\Delta t$  дало можливість підрахувати  $\alpha$ , його значення змінювалося від  $12 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$  для гіпофіза до  $15 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$  для яловичини та для технологічних розрахунків може бути взятий на рівні  $14,5 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$

**Висновки.** За результатами проведених досліджень зроблено такі висновки:

1. Засоби теплотриї дозволяють одержувати корисну інформацію для розрахунків дослідження, налагодження та інтенсифікації технологічних процесів.

2. Можливості повітряного холодильного оброблення є недостатнім для замороження продуктів високої якості й тому потребують удосконалення.

3. Накладання магнітних, електричних полів і механічної вібрації суттєво збільшує інтенсивність холодильного оброблення, але може бути небезпечним та нерентабельним.

### Список джерел інформації / References

1. Власенко В. В. Вплив інтенсифікації теплової обробки молока на фізико-хімічні і технологічні властивості / В. В. Власенко, Т. В. Семко, С. А. Король // Збірник наукових праць ВНАУ. – 2010. – № 3(42). – С. 89–91.

Vlasenko, V.V., Semko T.V., Korol S.A. (2010), “Influence of intensification of heat treatment of milk on physico-chemical and technological properties” [“Vplyv intensyfikatsii teplovoi obrobky moloka na fizyko-khimichni i tekhnolohichni vlastyvosti”], *Collection of scientific works of Vinnytsia national agrarian University*, No. 3(42), pp. 89-91.

2. Палаш А. А. Інтенсифікація тепло- і масообмінних процесів / А. А. Палаш, С. А. Бут // Харчова промисловість. – 2008. – № 7. – С. 53–56.

Palash, A.A., But, S.A. (2008), “Intensification of heat and mass transfer processes” [“Intensyfikatsiia teplo- i masoobminnykh protsesiv”], *Food industry*, No. 7, pp. 89-91.

3. Масліков М. М. Оптимізаційне моделювання процесу зберігання м'яса / М. М. Масліков, М. В. Мезенцев // Харчова промисловість. – 2004. – Додаток до № 3. – С. 150–151.

Maslikov, M.M., Mezentsev, N.V. (2004), “Optimization modeling of process of storage of meat” [“Optimizatsiine modeliuвання protsesu zberihannia miasa”], *Food industry*, Is the app to No. 3, pp. 150-151.

4. Масліков М. М. Холодильна технологія харчових продуктів : навч. посібник / М. М. Масліков. – К. : НУХТ, 2007. – 335 с.

Maslikov, M.M. (2007), *Refrigeration technology of food products [Kholodylna tekhnolohiia kharchovykh produktiv: navch. posibn.]*, NUFT, Kiev, 335 p.

5. Кепко О. І. Теплотехніка. Курс лекцій / О. І. Кепко, В. Г. Федоров, В. О. Виноградов-Салтиков ; за ред. В. Г. Федорова. – УНУС, 2010. – 127 с.

Керко, O.I., Fedorov, V.H., Vynohradov-Saltykov, V.O. (2010), *Teplotekhnika. Kurs leksii*, UNUS, 127 p.

6. Федоров В. Г. Теплометрия в пищевой промышленности / В. Г. Федоров. – М. : Пищевая промышленность, 1974. – 176 с.

Fedorov, V.H. (1974), *Terametre in the food industry [Teprometryia v pyshchevoi promushlemosti]*, Food industry, Moscow, 176 p.

7. Масліков М. М. Дослідження зміни розподілу вологовмісту у просторі модифікованого газового середовища / М. М. Масліков, С. Г. Потапов, М. М. Старенький // Наукові праці НУХТ. – 2010. – № 32. – С. 35–36.

Maslikov, M.M., Potapov, S.G., Starenkyi, M.M. (2010), “Studies of the changing distribution of moisture content in the gas space of the modified environment” [“Doslidzhennia zminy rozpodilu volohovmistu u prostori modyfikovanoho hazovoho sere dovshcha”], *Scientific works of NUFT*, No. 32, pp. 35-36.

**Чернушок Ольга Анатоліївна**, канд. техн. наук, доц., кафедра технологій м'яса і м'ясних продуктів, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01033. E-mail: olgachemyushok@list.ru.

**Чернушок Ольга Анатольевна**, канд. техн. наук, доц., кафедра технологии мяса и мясных продуктов, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 01033. E-mail: olgachemyushok@list.ru.



**Chernyushok Olga**, Candidate of Sciences, Associate Professor of the Department of technology of meat and meat products. National University of Food Technologies. Address: str. Volodymyrska, 68, Kyiv, Ukraine, 01033. E-mail: olgachemyshok@list.ru.

**Федоров Володимир Гаврилович**, д-р техн. наук, проф., кафедра прикладної інженерії та охорони праці, Уманський національний університет садівництва. Адреса: вул. Інститутська, 1, м. Умань, Україна, 20305.

**Федоров Владимир Гаврилович**, д-р техн. наук, проф., кафедра прикладной инженерии и охраны труда, Уманский национальный университет садоводства. Адрес: ул. Институтская, 1, г. Умань, Украина, 20305.

**Fedorov Vladimir**, doctor of engineering Sciences, Professor of the Department of applied engineering and occupational safety and health Uman national University of horticulture. Address: vul. Institutskaia 1, Uman, Ukraine, 20305.

**Кепко Олег Ігорович**, канд. техн. наук, доц., кафедра прикладної інженерії та охорони праці, Уманський національний університет садівництва. Адреса: вул. Інститутська, 1, м. Умань, Україна, 20305.

**Кепко Олег Игоревич**, канд. техн. наук, доц., кафедра прикладной инженерии и охраны труда, Уманский национальный университет садоводства. Адрес: ул. Институтская, 1, г. Умань, Украина, 20305.

**Kerko Oleh**, Cand. tech. assistant Professor, Department of applied engineering and occupational safety and health Uman national University of horticulture. Address: str. Institutskaia 1, Uman, Ukraine, 20305.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.О. Потаповим.  
Отримано 15.03.2016. ХДУХТ, Харків.*

УДК 664.653.8

## **ТРИВАЛІСТЬ ОСНОВНИХ ЕТАПІВ ПРИГОТУВАННЯ РІДКОЇ ОПАРИ, ВИЗНАЧЕНА НЕПРЯМИМ МЕТОДОМ**

**ІО.ІО. Доломакін, І.Г. Бабанов, І.В. Житнецький**

*Досліджено рідку опару, гетерогенну структуру, що складається з пшеничного борошна та води. Запропоновано непрямий метод визначення готовності напівфабрикату хлібопекарської промисловості безпосередньо під час його приготування. Для цього вимірювали вторинний крутний момент, що виникає на поверхні чаші, у якій готувався досліджуваній напівфабрикат. За характером зміни моменту було визначено основні етапи його готовності у вигляді конкретних часових інтервалів.*

**Ключові слова:** час приготування, непрямий метод, рідка опара, крутний момент.