

ПРОБЛЕМИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОХОЛОДЖЕННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ВАКУУМНО-ВИПАРНИМ СПОСОБОМ

В КОВБАСА,
доктор технічних наук
О КОВАЛЬОВ,
кандидат технічних наук
Н. МІСЕНКО,
аспірант
Національний університет
харчових технологій
(м. Київ)

Процеси охолодження і нагріву вивчаються століттями і несправедливо вважали, що вони вивчені досконально і повно. Джерела теплоти і способи його підведення багатобразні і за часом протікання процесу деколи просто незрівнянні, як конвективний поверхневий спосіб нагріву і нагрів струмами високої частоти і мікрохвилями. А для відведення теплоти (охолодження) дотепер досконало розглядали тільки поверхневий спосіб. Об'ємний спосіб охолодження швидкий, в кілька десятків або сотень разів, вважався утопією.

Останнім часом з'явилися спроби використовувати для об'ємного охолодження вакуумно-випарне охолодження, яке позитивно зарекомендувало себе при охолодженні овочів і фруктів, хоча в їх випадку воно використовувалося як швидкий поверхневий спосіб охолодження. Цей спосіб охолодження вимагає розміщення виробів у вакуумній камері із залишковим тиском, відповідним температурі насиченої пари води, близької +2 °С. При цьому волога виробу інтенсивно випаровується і тим охолоджує його. Швидкість випаровування вологи і відповідна їй швидкість охолодження визначаються продуктивністю системи вакуумування.

Традиційні способи охолодження харчових продуктів конвективним потоком холодного пові-

тря не завжди можуть бути використані для проміжного охолодження харчових продуктів. Це пов'язано з обмеженнями по температурі охолоджуючого середовища, яке, будучи достатньо низькою, повинне залишатися позитивним і не допускати заморозування продукту. Із-за малих перепадів температур ($T_{\text{серед}} - T_{\text{заморожування}}$) тривалість процесу росту, (особливо на його останній стадії) стає суттєво істотними ускладнення і нерівномірність розподілу вологи за об'ємом охолоджуваного об'єкту. Все це приводить до погіршення умов подальшого зберігання і відхилення від стандартів якості продукту на вигляд, кислотності, мікрофлори і т.п.

Альтернативою цим способам є вакуумно-випарне охолодження, в якому вологий охолоджувані продукт сам по собі служить регулюванням по температурі холодоагенту. Тільки одне основне вимоги пред'являється до продукту належному охолодженню вакуумно-випарним способом - це достатньо велика пористість, що дає змогу парам, утвореним усередині капілярно-пористого тіла, вільно покидати його і віддалятися разом з відкачуванням повітрям.

Вакуумно-випарне охолодження здійснюється в результаті відбору теплоти від продукту при випаровуванні вологи з нього. Випаровування вологи викликається пониженням тиску (створенням вакууму). У зв'язку з достатньо рівномірним розподілом вільної вологи у виробі охолодження так само йде у всьому об'ємі охолоджуваного виробу. Позитивною властивістю вакуумно-випарного охолодження є простота регулювання швидкості процесу. При вакуумно-випарному охолодженні пошкодження кристаліми льоду структури пористих виробів неможливі через позитивні

температури на весь період охолодження.

Ці якості вакуумно-випарного охолодження харчових продуктів використовуються для охолодження вологих рослинних продуктів: грибів, салату, зеленних культур і ін. У всіх випадках наголошувалася висока швидкість охолодження, а обезводнення продукту відповідало кількості випарованої води і ступеня його охолодження.

Для повного вивчення процесу вакуумно-випарного охолодження необхідно було підбрати харчовий продукт ідеальним капілярно-пористим тілом, що є. Ним став хліб. Були розглянуті публікації про вакуумно-випарне охолодження різних харчових продуктів, зокрема напісфабрикатів і готових хлібобулочних виробів [1, 2, 3]. У них наголошувалося, що охолодження під вакуумом може прискорити охолодження хлібобулочних виробів. Наприклад, томні вироби типу rapetoni (італійський пірі) можуть бути охолоджені за 4 хвилини під вакуумом в порівнянні з двадцятьма чотирма годинними конвективним охолодженням. Це привело до того, що багато італійських виробників даного виробу перейшли на нову технологію охолодження [5]. Проте із-за структурних змін, викликаних надмірним перепадом тиску пари у області низької газопористості (хлібної скоринки), необхідна спеціалізована програма досягнення вакууму.

Використання модульованого вакуумного холодильника (MVC) дозволяє одержати швидке охолодження хлібобулочних виробів без несприятливої зміни їх об'єму і структури [3]. Замість того, щоб застосовувати вакумування з постійною швидкістю відкачування, тиск в герметич-

ній камері змінюється по заданому закону протягом всього часу охолодження.

Вакуумно-випарне охолодження хлібобулочних виробів здійснюється в температурному діапазоні 98 - 30 °C, який супроводжується втратою маси виробу приблизно на 1 % при зниженні його температури на кожні 10 °C, або на 6,8 % при зниженні температури від 98 °C до 30 °C. В той же час, звичайне конвективне охолодження приводить до втрати маси на 3-5 % залежно від швидкості охолоджуючого повітря [1, 3]. Різниця між втратою маси незначна. Пшеничний хліб - 2-кілограмові буханці, французькі батони, пироги з м'ясом, печення і пироги, що охолоджуються традиційно за 1±3 год., можуть бути охолоджені за час від 30 секунд до 5 хв. у вакуумно-випарній установці.

Процес вакуумно-випарного охолодження має переваги як за якістю і за зовнішнім виглядом виробу, так і за рахунок скорочення часу охолодження, коли зменшується кількість спожитої енергії. Крім того, продукція може довгий час зберігатися при плюсових температурах. Збільшений термін придатності виробів через відсутність зараження мікробами протягом охолодження поза сумнівом є великою гідністю вакуумно-випарного способу охолодження.

Дослідження, що проводяться, були направлені на виявлення кінетичних закономірностей і розробку фізичної моделі тепло- і масообміну у взаємозв'язаних процесах обезводнення, охолодження, перенесення вологості при вакуумно-випарному охолодженні.

Спосіб вакуумно-випарного охолодження ґрунтується на процесі, в якому вільна і розподілена в об'ємі продукту волога, випаровуючись, відбирає теплоту. Процес релаксації між змінами тиску насиченої пари і температури рідини протікає швидко. На основі систематизації відомостей про фізичні процеси, що протікають при вакуумно-випарному охолодженні харчових продуктів, фізична

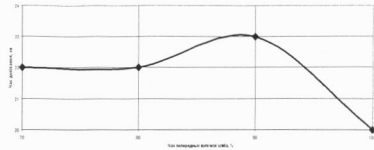


Рис. 1. Час допекання виробу високого ступеня готовності "Хліба французького бездріжджового" від часу попередньої випічки

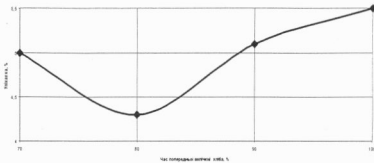


Рис. 2. Величина упікання виробу високого ступеня готовності "Хліба французького бездріжджового" від часу попередньої випічки

модель будувалася на наступних уявленнях і допущеннях:

- * хлібобулочний виріб після першого етапу випічки розглядається як капілярно-пористе тіло з пористістю 70 - 80 % і високої паропроникності;
 - * в процесі вакуумно-випарного охолодження може відбуватися перерозподіл маси вологості за об'ємом заготовки, при цьому вологість охолоджуваного напівфабрикату достатня для його вакуумно-випарного охолодження без утворення сухих зон і суцільних меж фазових переходів;
 - * фазові переходи "рідина-пара" відбуваються у всьому об'ємі напівфабрикату одночасно відповідно до локальних значень температури і тиску в кожній точці охолоджуваного виробу;
 - * фазовий перехід відбувається за відсутності підведення тепла ззовні за рахунок зменшення внутрішньої енергії виробу і, як наслідок, супроводжується зменшенням температури виробу.
- Принциповими є перше і третє допущення. Відповідно до них при виділенні водяної пари від

охолоджуваних продуктів, поміщених в герметичну камеру вакуумування, усередині продукту створюються умови для об'ємного адіабатичного випаровування і кипіння рідини. У відсутності теплопритоків ззовні випаровування і кипіння рідини приводить до одночасного охолодження кожної частинки продукту до температури насиченої пари води, відповідної тиску в камері.

Оскільки паропроникність виробів прийнята високою, то в об'ємі напівфабрикату не виникають помітні градієнти тиску і відповідні їм градієнти рівноважної температури. Тому, у міру відкачування газів, тиск насиченої пари над вільною поверхнею рідини можна ототожнити з тиском в камері охолодження. При відкачуванні повітря і водяної пари, що поступає в камеру від охолоджуваного продукту, усередині вологого пористого продукту створюються умови для ізоентропного об'ємного випаровування і кипіння рідини. У відсутності теплопритоків ззовні випаровування і кипіння рідини приводить до одно-

Сучасні технології

часного охолодження кожної частинки продукту до температури насиченої пари води.

У випадку вакуумно-випарного охолодження такі повільні процеси, як дифузія і теплопровідність, не грають помітної ролі, тому вакуумно-випарне охолодження протікає відносно швидко і у всьому об'ємі виробу одночасно. В результаті проведених чисельних досліджень встановлено, що вакуумно-випарне охолодження набагато інтенсивніше за конвективне. Воно забезпечує охолодження продукту від 80 °C до температури 0 - 2 °C за 3 - 6 хв.

При цьому на відміну від конвективного при вакуумно-випарному охолодженні температури на поверхні і в глибині тесту-хліба однакові за всім обсягом виробу. При збільшенні швидкості вакуування тривалість охолодження різко зменшується. Збільшення маси охолоджуваних виробів навпаки пропорційно збільшує час охолодження. Показано, що твір часу на відношення швидкості відкачування до маси охолоджуваного продукту може бути приведений до безрозмірної величини F_w , аналогічної критерію Фур'є, не зв'язаної, проте, з лінійними розмірами охолоджуваного виробу. Велике значення має вологість охолоджуваного продукту.

На підставі розрахунків встановлено, що при охолодженні продукту від 90 °C до 2 °C кількість вільної вологи в продукті повинна бути не менше 12 % від маси охолоджуваного виробу. Вплив об'єму камери на процес вакуумно-випарного охолодження може виявлятися двоюким чином: через збільшення об'єму відкачуваного середовища і збільшення площі поверхні теплообміну камери з навколишнім середовищем. При цьому абсолютна різниця в часі охолодження для камер різних об'ємів пов'язана з різницею часу відкачування початкового об'єму повітря. Таким чином, у всіх випадках об'єм камери повинен якомога менше відрізнятися від об'єму охолоджуваного продукту.

На рис. 1 - 4 наведено дослідні приклади виробу високого ступеня готовності "Хліба французького бездріжджового" від часу попередньої випічки

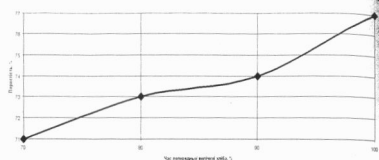


Рис. 3. Пористість виробу високого ступеня готовності "Хліба французького бездріжджового" від часу попередньої випічки

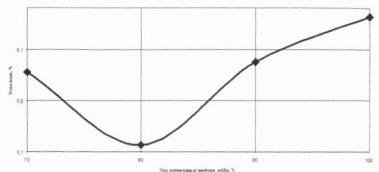


Рис. 4. Усихання виробу високого ступеня готовності "Хліба французького бездріжджового" від часу попередньої випічки

ського бездріжджового" з різним часом попередньої випічки.

З дослідів видно, що попередня випічка повинна бути в межах 80 % від загальної випічки. При попередній випічці, в межах 80 %, уліпання становить 4.25 %, усихання - 5.17 %, пористість - 72 %, час допекання - 22 хвилини. Допечені вироби мають рівномірну пористість та найкращі органолептичні показники.

Літературні джерела.

1. Effect of freezing and frozen storage of doughs on bread quality. Ribotta Pablo D., (Facultad de Ciencias Agropecuarias, Argentina and Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos). J. Agr. and Food Chem. 2001. 49, № 2, pp. 913-198.
2. Have M., Mankai M., Le Bail A. Influence of the freezing condition on the Baking performances of French frozen dough. (Dept. Genie des Procédés Alimentaires, ENITA-AA, BP 82225, France. J. Food Eng. 2000. 45, Ms 3, pp. 139-145.

3. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. K. McDonald, D.-W. Sun / Journal of Food Engineering 45 (2000), pp. 55t-65.

4. Di Risio, T. Vacuum cooling in food processing. Prepared Foods, 159, (1990). - pp. 195t-197.

5. Не теряя формы. - Гамбург: f2m food multimedia gmbh. Хлеб-выпечка. Ноу-хау от профи для профи. Первый русский выпуск. 2000 г. С. 8-10.

6. Маринюк Б.Т., Д.В. Заварухин. Вакуумно-испарительное охлаждение: особенности и перспективы. / Московский государственный университет инженерной экологии. - М. Известия вузов. Пищевая технология, № 1, 2000. - С. 47-48.

7. Эффективность вакуумно-испарительного охлаждения пищевых продуктов / Н. Б. Горбачев, Н. Н. Малахов, Т. В. Галаган // Материалы 1-ой региональной научно-практической интернет-конференции "Энерго- и ресурсосбережение XXI век". - Орел, 2002 г. - С. 67-68.