


УДК: 637.1:053

CONSIDERING THE POSSIBILITY OF INVERSE FLOW OF HEAT DURING THERMAL FOOD PROCESSING

V.G. Fedorov, O.I. Kepko,
Uman National university of horticulture
A.M. Skarboviychuk
National university of food technologies

Key words:	ABSTRACT
thermal treatment, heat meter, ballast heat flux	Result of direct measurement of heat flux with heat meter, which was mounted at the top center surface of the piece of a green cheese is unexpected: near 30 % of the heat which is released in the cheese and discharging with the cooling air is returned to the cheese.
Article history: Received 29.04.2015 Received in revised form 25.06.2015 Accepted 30.06.2015	Return of heat to cheese is a ballast load for the chiller of ripening cheese chamber. Its elimination or minimization is a source of energy and resources saving. Ballast heat fluxes can occur in the heat treatment of food products, for example, during stabilization of the surface layer of cooked sausages with oscillating infrared roasting. Inversion heat flow occurs when the heat meter is on the opposite side (in shadow) of the transmitter. The selection of the coagulation time and the voltage on the emitter managed to reduce ballast heat flux in the central layers to one-third and the inverse flow of these layers - to zero. The maximum heat flux (and with it the total energy consumption) is reduced by 15–20 %.
Corresponding author: alex.skarb@gmail.com	

ВРАХУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ІНВЕРСНИХ ПОТОКІВ ТЕПЛОТИ ПІД ЧАС ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

В.Г. Федоров, д-р. техн. наук, 
О.І. Кепко, канд. техн. наук,
Уманський національний університет садівництва
О.М. Скарбовійчук, канд. техн. наук
Національний університет харчових технологій

Експериментально встановлено, що під час охолодження харчових продуктів за допомогою компресійної холодильної машини або нагрівання варених ковбас осцилюючим інфрачервоним випромінюванням з метою стабілізації поверхневого шару, виникають зворотні баластні теплові потоки (до 30 % від корисної теплоти). Наведено рекомендації щодо зменшення втрат теплової енергії.

Ключові слова: холодильне або теплове оброблення, баластний тепловий потік, тепломір

Вступ. Технологічні параметри харчових продуктів (зовнішній вигляд, структура, жирність, вологість і т.п.) тісно пов'язані з їх теплофізичними характеристиками (інтенсивність переносу теплоти, теплоємність, температуропровідність, відбивна здатність тощо), як це показано в роботі [1] на прикладі молочних продуктів. Деякі фізичні характеристики є одночасно типовими технологічними параметрами — температура, густина, в'язкість,

температура плавлення або кипіння [2]. Використання новітніх засобів вимірювання теплофізичних характеристик на основі теплотрії і тепломасметрії [3] дозволяє отримувати нову інформацію про протікання технологічних процесів, економити сировину та енергію.

Об'єкти і методи досліджень. Під час вивчення дозрівання твердого сиру типу «Російський» автори встановили, що до 30 % теплоти, яка виділяється в голівці сиру за рахунок ферментативного розкладання білків, розщеплення лактози мікрофлорою та інших екзотермічних процесів і відводиться охолоджуючим повітрям, повертається в голівку сиру.

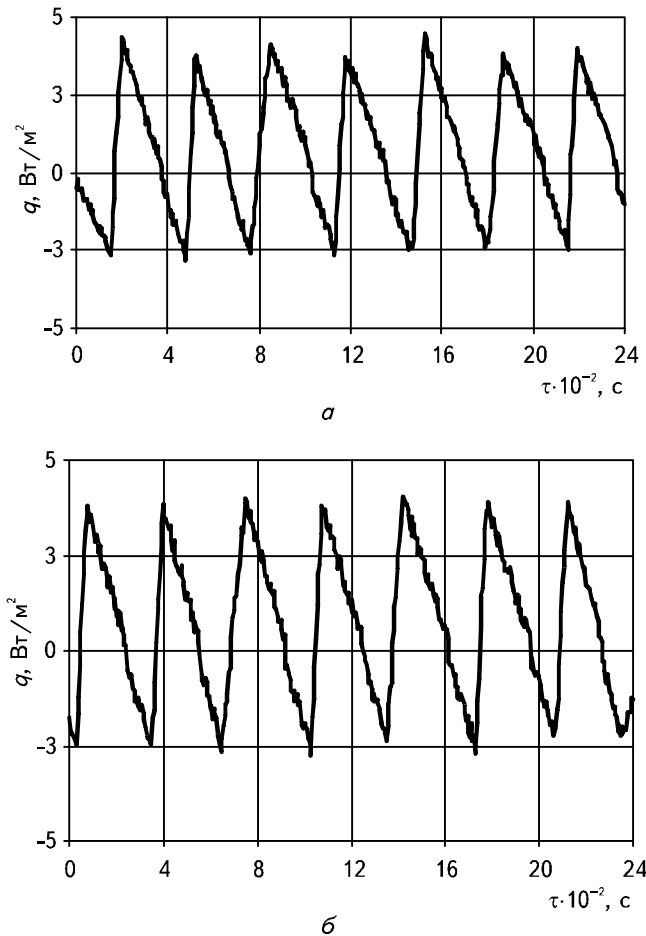


Рис. 1. Густина теплового потоку через поверхневий шар голівки сиру на 22-й (а) і 24-й (б) день дозрівання

Повернення теплоти в сир є баластним навантаженням на холодильну машину камери дозрівання сиру. Його ліквідація або зведення до мінімуму є джерелом енерго — і ресурсозбереження.

Наскільки відомо авторам, сам факт зворотних (інверсних) теплових потоків під час термічної обробки харчових продуктів не був вивчений ні у вітчизняній, ні у світовій науці.

Можливо, це пояснюється тим, що дані, представлені на графіках рисунка 1, отримані прямим виміром густини теплового потоку q , Вт/м², за допомогою малоінерційного малогабаритного і високочутливого тепломіра — диска діаметром 20 мм і товщиною 1,2 мм, який закріплювався в центрі верхньої поверхні голівки молодого сиру за допомогою парафіну. Тепломір реагує не тільки на включення і виключення холодильної установки, а й на флуктуації теплового потоку за рахунок зміни швидкості охолоджуючого повітря, що омиває голівку, які важко відобразити графічно при комп'ютерному виконанні малюнків.

В роботі [4] визначено глибину проникнення небажаного температурного впливу в середину голівки сиру за рахунок складного знакозмінного теплообміну — можливо, постійні зміни температури у поверхневому шарі сприяють розмноженню шкідливої мікрофлори.

Баластні теплові потоки можуть виникати не тільки під час холодильної, але і теплової обробки харчових продуктів. В роботі [3] наведені результати дослідження процесу теплообміну під час стабілізації поверхневого шару варених ковбас за допомогою осцилюючого інфрачервоного обсмаження. Тепломір діаметром 14 мм і товщиною 1,5 мм фіксувався на внутрішній стороні пустолілого циліндра, в якому шприцюванням сформовано батон за рецептурою молочної ковбаси, а другий аналогічний тепломір — під поверхневим шаром фаршу товщиною 2,5 мм. Після електрокоагуляції батон виймали з циліндра і поміщали в модель термокамери на опори, що дозволяють осьове обертання батона ковбаси.

Підведення енергії до батону 1 (рис. 2) досягалось за допомогою інфрачервоного випромінювача 3. Термін стабілізації поверхневого шару (обсмаження) становив 5 — 7 хвилин, швидкість обертання батона — приблизно 1 об./хв. Тепломіри 2 розташовували на протилежних сторонах діаметра батона, так що, коли показання одного з них максимальні (проти випромінювача), другого — близькі до мінімуму або навіть негативні (рис. 3).

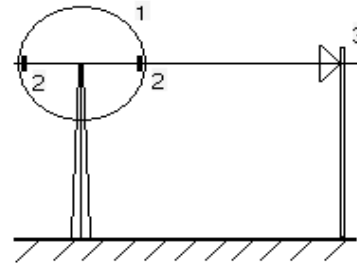


Рис. 2. Схема інфрачервоної стабілізації поверхневого шару ковбаси: 1 — батон ковбаси; 2 — тепломіри; 3 — випромінювач

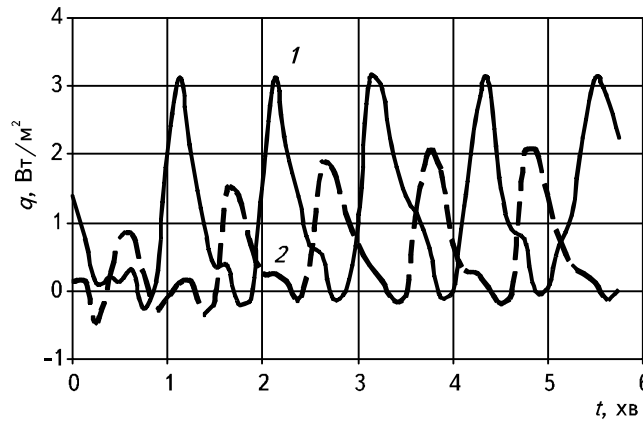


Рис. 3. Густина теплового потоку через поверхню батона (1) і на глибині 2,5 мм (2) до підбору раціональних параметрів обсмаження

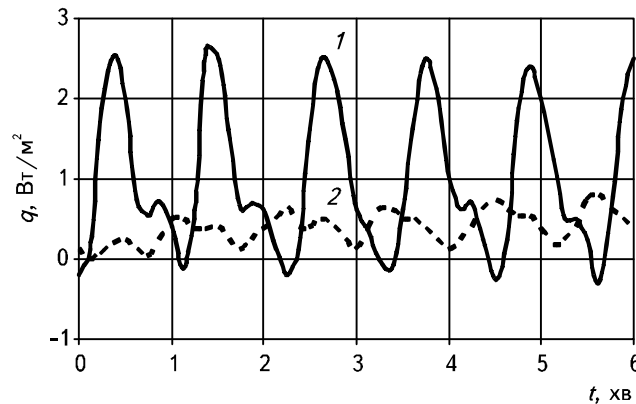


Рис. 4. Густина теплового потоку через поверхню батона (1) і на глибині 2,5 мм (2) після підбору раціональних параметрів обсмаження

Інверсія теплових потоків відбувається в момент, коли тепломір знаходиться на протилежній стороні (в тіні) від випромінювача, а температура навколишнього середовища нижча, ніж поверхня батона. Таким чином, причина виникнення зворотних теплових потоків та ж, що і під час дозрівання сиру — різниця температур «поверхня продукту - навколишнє повітря» змінює знак.

При вихідних режимних параметрах обсмаження: температура ковбаси після коагуляції 62 °С, максимальна густина теплового потоку через поверхню батона 3 — 3,3 кВт/м² — не потрібний за технологією транзитний потік до глибинних шарів становить до двох третин від вислідного потоку через поверхню. Інверсія теплового потоку зафіксована тепломірами не тільки на поверхні ковбаси, а й на глибині 2,5 мм. Підбором терміну коагуляції і напруги на випромінювачі вдалося знизити баластний теплоприток в центральні шари до однієї третини (крива 1 на рис. 4), а інверсний потік від цих шарів — до нуля (крива 2 на рис. 4). Максимальну густина теплового потоку (а разом з нею і загальну витрату енергії) знижено на 15—20 %.

Результати та їх обговорення. Таким чином, пряме вимірювання густини теплових потоків дозволяє розробляти раціональні режими термічної обробки харчових продуктів і виявляти особливості перенесення теплової енергії, недоступні при вимірюванні температур. Це пояснюється тим, що тепловий потік визначається не температурою в даній точці продукту, а її градієнтом в цій точці відповідно з першим законом Фур'є:

$$q = -\lambda \text{grad}(t) = -\lambda \frac{dt}{dn}, \quad (1)$$

де λ — теплопровідність продукту, Вт/(м·К), t — температура поверхні продукту, К, n — напрям перенесення теплоти. Знак мінус означає, що вектори густини теплового потоку q , Вт/м², і градієнта температури $\text{grad}(t)$, К/м, спрямовані в протилежні сторони. Іншими словами, температура показує потенціал теплової енергії, а густина теплового потоку — напрямок і інтенсивність її перенесення.

Якщо під час теплової обробки з баластними тепловими потоками порівняно легко боротися, то під час холодильної обробки необхідно проводити спеціальні заходи. Так, у розглянутому випадку дозрівання сиру відведення теплоти проводилося за допомогою компресорної холодильної установки, і підтримання температури охолоджуючого повітря на рівні 10±0,25 °С виконувалося терморегулюючим пристроєм. Зниження діапазону регулювання температури зменшило б кількість баластної теплоти, але при цьому пропорційно зменшилася б і кількість теплоти, що відводиться за кожен цикл включення - виключення. Разом з тим термін циклу скоротився б, що призвело б до більш швидкого зношування деталей холодильної машини. Єдиним корисним ефектом при зменшенні діапазону регулювання температури буде зменшення товщини поверхневого шару охолоджуваного продукту, в якому відбувається знакозмінне перенесення теплоти.

Висновок. Ідеальним рішенням у ліквідації баластних потоків теплоти при використанні компресорних холодильних машин є наявність в камері обробки продуктів буферної ємності — приміщення, де повітря добре перемішується. Якщо такої можливості немає, то терморегулюючий пристрій потрібно встановлювати якомога далі від охолоджуваних продуктів. Встановлений факт можливості виникнення баластних теплових потоків — ще один аргумент на користь переходу на абсорбційні холодильні установки з використанням вторинного тепла, потенціал якого досить великий на будь-якому харчовому підприємстві, включно з молочними та сироварними заводами.

Незалежно від того, яка застосовується система відведення тепла, слід уникати притоку зовнішнього повітря в камери охолодження і заморожування харчових продуктів, теплопритоків через огороження холодильної камери, залишати включені електричні лампи, оскільки все це є джерелом баластних теплових потоків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чернюшок О.А. Зв'язок технологічних і теплофізичних характеристик молочних продуктів /О.А. Чернюшок, О.В. Кочубей-Литвиненко, О.М. Скарбовійчук, В.Г. Федоров // Харчова промисловість. — 2011. — № 10,11. — С. 42—45.

2. Скарбовійчук О.М. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів. Довідник /О.М. Скарбовійчук, О.В. Кочубей-Литвиненко, О.А. Чернюшок, В.Г. Федоров. — Київ: НУХТ, — 2012. — 311 с.

3. Федоров В.Г. Основы тепломассометрии. / В.Г. Федоров. — Киев: Вища школа, 1987. — 184 с.

4. Федоров В.Г. Особливості охолодження сиру під час дозрівання/ В.Г. Федоров, О.І. Кепко, О.М. Скарбовійчук // Пищевая наука и технология. — 2013. — № 4 (25). — С. 114 — 115.

УЧЕТ ВОЗМОЖНОСТИ ИНВЕРСНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛОТЫ ВО ВРЕМЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

В.Г. Федоров, О.И. Кепко

Уманский национальный университет садоводства

А.М. Скарбовійчук

Национальный университет пищевых технологий

Експериментально встановлено, що во время охолодження пищевых продуктов с помощью компрессионной холодильной машины или нагревания вареных колбас осциллирующим инфракрасным облучением с целью стабилизации поверхностного слоя возникают обратные балластные тепловые потоки (до 30 % от полезной теплоты). Приведены рекомендации по уменьшению потерь тепловой энергии.

Ключевые слова: *холодильная или тепловая обработка, балластный тепловой поток, тепломер*