

Využitie infračerveného žiarenia v potravinárskom priemysle

A. ŠEPITKA

Dôležitý význam má prenikanie infračervených lúčov do materiálu a produktov a taktiež ich špecifický účinok na štruktúru. Obidve tieto závažné otázky sú v štádiu štúdia, no jednako ožarovanie produktov infračerveným žiarením, či už pre tepelné spracovanie alebo sušenie, treba považovať nielen ako metódu intenzívneho termického opracovania, ale tiež aj ako proces značného hlbokého účinku na fyzikálne, chemické a biologické vlastnosti materiálu.

Hoci sa za posledné roky venuje značná pozornosť štúdiu infračerveného žiarenia a jeho použitia v rôznych oblastiach techniky, zavedenie tejto progresívnej metódy do národného hospodárstva prebieha ešte celkom pomaly a v nedostatočnej miere sa zabezpečuje potrebnými technickými prostriedkami (sériová výroba dokonalých generátorov žiarenia, projektovanie a zhotovenie technologického zariadenia a pod.). Metódy optimálneho režimu termického opracovania materiálov infračerveným žiarením a taktiež výber konštrukčných riešení musia byť určené vlastnosťami samotných materiálov a mechanizmom potrebných procesov, ktoré v nich prebiehajú pri infračervenom ožiarení.

Potravinárske produkty ako objekty termického spracovania sú v podstate koloidné kapilárne porézne látky. Koloidná povaha potravín je podmienená prítomnosťou bielkovín, škrobu a pektínových látok. Ako ukázali pokusy, infračervené lúče vnikajú do bielkovín, škrobu, buničiny, tukov a iných zložkových látok potravín. Pri ohreve a sušení vlhkých potravín infračervenými lúčmi, vlnová energia sa premieňa na teplo, pričom javy výmeny tepla a vlhkosti sa rozvíjajú jednak mimo materiálu, tak aj vo vnútri materiálu.

Infračervené lúče boli objavené v r. 1800 astronómom W. Herschelom, ktorý pohybom teplomeru v poli slnečného spektra zistil, že najväčšie zvýšenie teploty nastáva v neviditeľnej oblasti spektra, uloženej za jeho červeným koncom. Prijal ich ako osobitne teplé lúče. V roku 1835 Amper vyslovil myšlienku, že neviditeľné lúče majú tie isté vlastnosti šírenia, odrazania, polarizácie a interferencie ako viditeľné lúče; líšia sa iba väčšou vlnovou dĺžkou. Vážnou udalosťou bola Maxwellom a Hertzom vytvorená elektromagnetická teória spektra.

Efektívnosť ohrevu a sušenia infračervenými lúčmi závisí od intenzity výmeny tepla žiarením medzi zdrojom žiarenia a ožarovaným materiálom. Z fak-

torov, ktoré podmieniajú túto intenzitu výmeny tepla, dôležitú úlohu hrajú (A. S. Ginzburg, 1):

1. rozdelenie intenzity žiarenia v spektre žiariča, ktoré závisí hlavne od jeho teploty;

2. optické a tepelno-fyzikálne charakteristiky ohrievaných a sušených potravín;

3. geometrické parametre, ktoré charakterizujú vzájomné rozloženie generátorov žiarenia a objektov ožiarenia, od čoho závisí hustota a rovnomernosť poľa ožiarenia;

4. fyzikálne charakteristiky a parametre prostredia pracovnej komory.

Na základe vlnovej dĺžky maxima žiarenia, čo závisí od teploty žiariča, môžeme hovoriť o týchto typoch generátorov (A. S. Ginzburg, 1 a W. Jubitz, 2):

- a) svetlé (krátkovlnné) žiariče o teplote 1500–1800 °C a viac, v ktorých spektre žiarenia časť energie pripadá viditeľnému žiareniu; ich maximum žiarenia pripadá na oblasť vlnovej dĺžky pod 1,3 mikrónu;

- b) tmavé (dlhovlnné) žiariče, v spektre ktorých prevládajú neviditeľné infračervené lúče s maximálnou vlnovou dĺžkou nad 1,3 mikrónu, pri teplote žiariča pod 400–350 °C, pričom lúče viditeľného svetla úplne chýbajú.

Podľa spôsobu ohrevu hovoríme o žiaričoch elektrických a plynových. (3, 4). K elektrickým patria: zrkadlové infračervené lampy, žiariče s kremennými rúrkami a odporové články. Prvé dva sú svetlé žiariče, tretí je tmavým žiaričom.

Podľa konštrukcie môžeme hovoriť o žiaričoch s kovovými a keramickými rúrkami, ďalej v prevedení tyčovitom, plošnom, kruhovom, hruškovitom a pod.

Plynové generátory bývajú:

1. s panelmi neprepúšťajúcimi plyn;

2. s porézными keramickými doskami alebo s kovovými perforovanými povrchmi, v ktorých prebieha bezplameňové spaľovanie plynu. Obyčajné plynové žiariče bývajú tmavými žiaričmi, hoci sú pokusy o vytvorenie plynových žiaričov s teplotou 1500–1600 °C.

Nároky na žiariče pre tepelné opracovanie a sušenie podľa W. Jubitza sú nasledovné:

1. stabilita rozdelenia intenzity žiarenia v spektre žiariča, v súlade s ktorou bol vybraný žiarič;

2. maximálna možná rovnomernosť ožiarenia sušeného (opracovaného) produktu, t. j. čo najväčšia rovnomernosť energetického osvetlenia na celom povrchu ožarovaného materiálu. Dá sa to doceliť aj racionálnym rozložením generátorov vo vzťahu k ožarovanému materiálu;

3. najmenšia amortizácia žiariča, t. j. čo najdlhšia jeho služba;

4. minimálna tepelná inercia, t. j. minimálny čas potrebný na dosiahnutie pracovného stavu;

5. stálosť k vlhkosti a chemickým agensom;

6. čo najväčšia energetická účinnosť, t. j. aby sa čo najväčšia časť energie privedenej do generátora premenila na energiu žiarenia.

V dôsledku vzájomného účinku elektromagnetických vln a ožarovaného potravínárskeho produktu časť energie sa pohlcuje produktom a časť energie sa vyžiarí ako druhotné elektromagnetické vlnenie samotným produktom. Produktom pohltená energia mení energetický stav jeho molekúl (energetická

úroveň molekúl u pevných látok je podmienená energetickými úrovňami v elektrónovom obale atómov, vlnivými a otáčavými pohybmi atómov vo vnútri molekuly) a mení sa na teplo.

V závislosti od vlastností produktu a teploty žiariča, od ktorej závisí vlnová dĺžka, infračervené lúče sú schopné prenikať do hĺbky produktu. Zvýšením teploty žiariča vlnová dĺžka sa skracuje a hĺbka vniku pre rad materiálov sa zväčšuje. Prenikanie materiálu infračervenými lúčmi závisí od štruktúry materiálu (poréznosť) a jeho optických vlastností, od jeho vlhkosti, od foriem väzby vlhkosti, od vlnovej dĺžky a pod.

Pre niektoré potravinárske produkty hĺbka prenikania krátkovlnných infračervených lúčov dosahuje 7–30 mm. Pritom treba brať do úvahy nielen maximálnu hĺbku prieniku, ale aj množstvo energie žiarenia, ktoré prenikne na túto vzdialenosť. Pre rad materiálov množstvo energie, ktorá prenikne do hĺbky 6–7 mm i viac, je pomerne malé. Jednako v dôsledku veľkej hustoty toku energie teplota tejto vrstvy sa zvyšuje intenzívnejšie ako pri konvektívnom ohreve.

Ak frekvencia žiarenia je svojou hodnotou blízka frekvencii vlastného vlnivého pohybu atómov materiálu (rezonancia), potom amplitúda vynúteného vlnenia atómov vzrastie a zväčší sa aj koeficient pohltienia energie (selektívnosť). Pri infračervenom žiarení v hrubom materiáli vznikajú pri ohrievaní značné teplotné gradienty (50–250 °C/cm) a značnú úlohu tu hrá jav vodivosti teploty a vlhkosti.

Sušenie infračervenými lúčmi prebieha tiež v dvoch fázach. V prvom prípade, keď teplota prostredia je nižšia ako teplota povrchu, zväčšenie rýchlosti vzduchu vyvoláva zníženie rýchlosti sušenia v prvej perióde na úkor intenzívnej výmeny tepla s povrchom materiálu. Charakter kriviek rýchlosti sušenia v druhej perióde závisí od vlastností a rozmerov materiálu a režimu sušenia. Efektívnosť sušenia sa zvyšuje použitím prerušovaného žiarenia a taktiež s kombináciou radiačno-konvektívneho sušenia. Prerušované žiarenie v mnohých prípadoch má kladný efekt na skrátenie doby sušenia, ako aj na spotrebu energie a taktiež aj na zvýšenie kvality produktov, najmä pri sušení hrubých termolabilných materiálov.

Optimálna teplota vzduchu pri sušení závisí od vlastností materiálu, od hodnoty koeficientu difúzie vlhkosti a termogradientného koeficientu, od optických vlastností materiálu a jeho rozmerov. Ak zníženie rýchlosti sušenia v dôsledku straty tepla z povrchu ožarovovaného materiálu od chladného prúdiaceho vzduchu je väčšie, ako je efekt vodivosti teploty a vlhkosti, je výhodné zvýšiť teplotu vzduchu v sušiarňi. Významný efekt infračerveného žiarenia pri sušení je v prvej perióde sušenia, keď teplota materiálu je pomerne malá a intenzita výmeny tepla sálaním dosahuje maximum.

Pri výbere režimu žiarenia treba brať do úvahy technologické vlastnosti materiálu (M. Deribere, 5). Pri sušení potravinárskych produktov (ovocie, zelenina, zemiaky, zrno, mlieko a pod.) pre zachovanie biologickej hodnoty treba znížiť energiu žiarenia. Tu sa hodí najmä kombinovaný spôsob radiačno-konvektívneho sušenia s prerušovaným žiarením. Pre také vysokotepelné procesy, ako je pečenie chleba, pečiva, sušenie suchárov, praženie zŕn kávy, bôbov kakaa a pod., použitie infračerveného žiarenia dáva značný efekt.

Termické spracovanie zrna infračervenými lúčmi sa vykonáva pre rôzne účely: pre sušenie vlhkého zrna s obsahom vlhkosti 25–30 %; na dosušenie

umytého zrna, ktoré ide zo skladov do mlyna; pre kondicionovanie zrna v mlynoch a pre dezinfekciu napadnutého zrna.

Použitie infračerveného žiarenia pri kondicionovaní zrna zabezpečuje značne vysoké výťažky múky a zlepšuje jej pekárenské vlastnosti. V termoradiačnom vibračnom zariadení sa zrno ohrieva z 20 na 60 °C počas 40 sekúnd pomocou kovových rúrkových žiaričov o výkone 26 kW. Výkon zariadenia býva napr. 25 ton zrna za 25 hodín, spotreba energie 25 kWh na tonu zrna (fy SIEMENS-Schukkert-SSW).

V poslednom čase sa rozpracúva problematika sušenia infračervenými lúčmi pšenice a kukurice. Zrno je termolabilný materiál so značnou schopnosťou inercie vlhkosti (pomer koeficientu difúzie vlhkosti a koeficientu teplotnej vodivosti = $0,3 \cdot 10^{-3}$), čo znamená, že zrno sa rýchlo ohreje na príslušnú teplotu a pomaly odovzdáva vlhkosť. Preto sa pre zrno (najmä pšenicu) používa cyklické sušenie pri oscilujúcom režime, t. j. cykly ohrievania sa striedajú s cyklami ochladenia (6). Komplexné štúdium všetkých optických charakteristík zrna sa doteraz ešte nevykonalo, no intenzívne sa študuje. V oblasti dĺžky vln 1,8–3 mikróv obaly zrn kukurice, jačmeňa, pšenice prepúšťajú v priemere 30–60 % lúčov a obaly raži a ovsu iba 10–18 %.

B. V Damman (7) na základe svojich pokusov odporúča tento režim sušenia pšenice infračervenými lúčmi: hustota žiarenia 0,25 W/cm²; teplota vzduchu 16–20 °C a jeho rýchlosť 0,01 m/sek. Pri takej hustote žiarenia teplota ohrevu zrna je 60 °C, doba sušenia zrna pri znížení vlhkosti z 22 na 14 % činí 35 min. Použitím kombinovaného sušenia s prerušovaným žiarením sa podstatne zníži energia na žiarenie, no proces sa stáva zložitejším. Kombinovaným radiačno-konvektívnym spôsobom sušenia zrna možno skrátiť čas sušenia na $\frac{1}{3}$ (20 min.) v porovnaní s konvektívnym sušením. Pre infračervené žiarenie je potrebné používať značne lacné zdroje energie (prírodný plyn, kvapalné palivá a pod.).

Takisto pri sušení sladu použitie radiačno-konvektívneho spôsobu pri konečnej etape sušenia (z 18 na 3,5 % vlhkosti) značne intenzifikuje proces, a to až 2–2,5-krát v porovnaní s obyčajným konvektívnym sušením. Pritom celková doba sušenia sladu (zo 72 na 3,5 %) sa zníži 1,6-krát.

Pokusy s použitím infračerveného žiarenia na praženie bôbov kakaa a orechových jadier dali veľmi dobré výsledky. Tento spôsob je energeticky menej náročný ako použitie vysokofrekvenčnej energie (8).

M. Deribere (5) ukázal, že použitie infračerveného žiarenia je vhodné pri sušení mrkvy, repy, zemiakov, kapusty, karfiolu, špenátu, rajčiakov, petržlenu, cesnaku, jabĺk, hrušiek, sliviek, broskýň, hrozna, banánov a húb. Experimenty ukázali, že natívne vlastnosti produktu sa lepšie zachovávajú pri značne tvrdom režime, ktorý zabezpečí skrátenie doby sušenia. Pre sušenie ovocia sa používajú malé zariadenia komorového tvaru so 4–8 lampami po 250 W, ktoré sú rozložené jednotlivito alebo do batérie v šachovitej zostave na vzdialenosť 25–30 cm od povrchu produktu. Vzdialenosť medzi osami lúčov je cca 25–30 cm. Konečná vlhkosť plodov je 15–20 %. Na podobnej sušiarňi možno dosiahnuť hodnoty, ktoré sú uvedené v tab. 1.

Pre vedecký výber typu žiariča a režimu žiarenia treba študovať optické charakteristiky ovocia a zeleniny. Ako najvhodnejšia vlnová dĺžka pre zeleninu a ovocie sa javí dĺžka 1,6–2,2 mikróv (8).

M. Delibere (5) uviedol tieto údaje o sušení zeleniny infračervenými lúčmi: tab. 2

T a b. 1. Ovocie sušené infračerveným žiarením

Ukazovatele	Ovocie				
	slivky	marhule	broskyne	jablká	hrušky
Charakteristika ovocia	celé	polené	polené	kúsky o rozmere 10 mm	
plnenie, kg/m ²	15	15	15	10	12
doba sušenia, h	3,0	3,5	4,0	4,0	4,5
spotreba energie, kWh/kg suroviny	0,72	0,84	0,90	1,40	1,35

T a b. 2. Zelenina sušená infračerveným žiarením

Ukazovatele	Celkový tvar				
	zelený hrášok očist.	zelená fazuľka očist.	krúžky mrkvy	krúžky repy	rezaná kapusta
hrúbka vrstvy, mm	10	10	5	6	10
plnenie, kg m ²	8	12	10	10	7
doba sušenia, h-min.	2-10	2-30	3	2	1-30
spotreba energie, kWh/m ²	7,8	9,0	10,8	7,2	5,4
spotreba energie, kWh/kg suroviny	0,97	0,75	1,08	0,72	0,77

Otázky vplyvu žiarenia infračervených lúčov na chemické zloženie a kvalitatívne znaky zeleniny sú ešte nedostatočne preštudované. Sušenie zeleniny treba vykonávať s použitím tmavých žiaričov o vlnovej dĺžke okolo 1,6 mikróna. Použitie infračervených lúčov žiarenia pri sušení ovocia a zeleniny je veľmi sľubné. Pri tomto sa skracuje doba sušenia, čo má vplyv na kvalitu produktu. Pri racionálne vybranom premennom režime žiarenia možno dosiahnuť aj priaznivé technicko-ekonomické ukazovatele.

Ďalšie štúdie treba zamerať na komplexné štúdium všetkých optických charakteristík produktov, štúdium vplyvu režimov ožiarenia na ich kvalitu a na výber žiariča a optimálnych režimov procesu sušenia z hľadiska technologického a ekonomického. Bolo by účelné študovať kombinovaný radiačno-konvektívny spôsob sušenia spojený s prefukovanou vrstvou, vibráciou a fluido-vibráciou.

S ú h r n

V článku sa rozoberajú princípy infračerveného ohrevu a možnosti a spôsoby použitia na ohrev a sušenie v potravinárskom priemysle. Poukazuje sa na faktory, ktoré ovplyvňujú intenzitu výmeny tepla pri infračervenom ohreve a tým aj na jeho efektívnosť.

Na niekoľkých príkladoch ohrevu a sušenia sa demonštruje význam tohto zdroja ohrevu pre potravinársky priemysel a načrtávajú sa cesty ďalšieho potrebného výskumu infračerveného ohrevu a sušenia.

Literatúra

1. Ginzburg A. S., *Infrakrasnaja tehnika v piščevoj promyšlennosti*, Moskva 1966.
2. Jubitz W., *Erfahrungen über das Backen mit Infrarot*, *Der Bäcker und Konditor*, 6, 1955.
3. Denne S., *Infrakrasnoje izlučenie*, Moskva 1965.
4. Ickson B. S., Denisov I. L., *Infrakrasnije gazovije izlučateli*, Moskva 1969.
5. Deribere M., *Praktičeskiye primenenija infrakrasnyh lučej*, Moskva 1959.
6. Lubošic I. L., Slobodkin L. S., Pikus I. F., *Suška dispersnyh termočuvstvitelnyh materialov*, Minsk 1969.
7. Damman B. V., *Issledovaniye processa suški zerna IK-lučami*, MTIPP, 1953.
8. Asselbergs F. A., Mohr W. P., Kemp I. G., *Studies on the application of infrared in food processing*, *Food Technol.*, 14, c. 9, 1960.

Использование инфракрасного излучения в пищевой промышленности

Выводы

В статье автор разбирает принципы инфракрасного нагрева и возможности и методы использования для нагрева и сушки в пищевой промышленности. Автор указывает на факторы влияющие на интенсивность обмена тепла при инфракрасном нагреве и тем самым и на его эффективность.

На некоторых примерах нагрева и сушки продемонстрировано значение этого источника нагрева для пищевой промышленности и указывается на путь дальнейшего необходимого исследования инфракрасных нагрева и сушки.

The utilization of infra-red radiation in the food industry

Summary

The paper deals with the principles of infra-red heating and the ways and means of its application for the heating up and desiccation in the food industry. The factors are pointed out which influence the intensity of the heat exchange in infra-red heating and thus its effectiveness.

The importance of this source of heating and desiccation for the food industry is demonstrated on a few samples of heating and desiccation, and some ways of further research into infra-red heating and desiccation are lined out.