

AKTUALNE PROBLEMY TEORII I TECHNOLOGII SUSZENIA PRODUKTÓW ROLNYCH I SPOŻYWCZYCH

A. S. GINZBURG — ZSRR

Suszenie jest skomplikowanym procesem technologicznym, który w szeregu przedsiębiorstwach przemysłu spożywczego powinien zabezpieczyć nie tylko zachowanie odżywczych właściwości materiału, lecz również ulepszenie tych właściwości. Dlatego rozwiązywanie aktualnych zadań w dziedzinie suszenia powinno bazować na naukowych zasadach technologii suszenia: od właściwości materiału (produktu) jako obiektu suszenia, do wyboru metod przebiegu procesu i tworzenia racjonalnych konstrukcji urządzeń suszarniczych.

Produkty spożywcze i rolne jako obiekty suszenia posiadają szereg specyficznych właściwości, które są uwarunkowane ich naturą (pochodzenie roślinne lub zwierzęce, skład chemiczny), strukturą (ciała koloidalne, kapilarno-porowate) oraz metodami obróbki wstępnej i przygotowania do suszenia. Posiadają one ponadto wysoką termolabilność lub niską termostateczność; znaczną inercję wilgotności, tzn. produkt szybko się nagrzewa do krańcowej temperatury i przy tym oddaje mało wody; w produktach rolnych występują różne formy związków wody, przy czym w warunkach „głębokiego” suszenia trzeba usuwać wodę, trwale związaną z twardym szkieletem produktu.

Badaniom właściwości materiałów i ich różnych charakterystyk poświęca się dużo uwagi.

Technologiczne właściwości materiałów mogą być opisywane przy pomocy charakterystyk termodynamicznych (potencjał przenoszenia wody, właściwa pojemność masy, energia związku i in.), tj. technologia suszenia wiąże się bezpośrednio z termodynamiką przenoszenia masy.

Obliczenia i analizę charakterystyk termodynamicznych ziarna pszenicy podajemy wspólnie z Dubrowskim.

Na podstawie eksperymentalnych izoterm sorpcji (desorpcji) produktów obliczono wartości potencjału chemicznego μ , który w zakresie higroskopijnej zawartości wody w produkcie u , mniej higroskopijnym od u_g , odpowiadającej względnej wilgotności powietrza $\varphi = 1$ równa się energii związku. Dla różnych produktów wielkość μ obniża się ze wzrostem zawartości wody, tj. największa energia odpowiada niewielkiej zawartości wody w produkcie. Dla obliczeń inżynierskich sporządziliśmy nomogram, według którego można określić energię związku w zależności od zawar-



tości wody w produkcji. Dla szeregu produktów przy niskiej wilgotności energia związku wynosi 10-40% ciepła właściwego powstawania pary.

W obliczeniach wymiany ciepła pojęcie pojemności właściwej masy c_m jest analogiczne pojęciu pojemności właściwej ciepła w obliczeniach ciepła.

Według wielkości c_m można sądzić o higroskopijności produktu: czym mniej higroskopijny jest produkt, tym większe c_m . Należy zaznaczyć, że wielkość równoważnej wilgotności produktu u_p , określana zazwyczaj metodą tensometryczno-staticzną, różni się od rzeczywistej wielkości u_p w warunkach zmiennych środowiska komory suszenia, dlatego należy uwzględnić zmianę u_p w realnych warunkach procesu suszenia.

Ważne znaczenie ma dalsze pogłębienie znajomości o formie związków wody z materiałem, z uwzględnieniem molekularnej struktury wody, analizując zmiany jej właściwości przy wzajemnym oddziaływaniu na suchą substancję materiału, jak też na zasadzie kompleksowego określania charakterystyk termodynamicznych, termofizycznych, reologicznych, wymiany ciepła itd.

Jednym z podstawowych zadań technologii suszenia jest sterowanie właściwościami obiektów suszenia i mechanizmem przenoszenia w nich wody, co daje możliwość otrzymywania materiału i produktów o żądanej jakości.

Zadanie to jest nadzwyczaj skomplikowane, ponieważ suszenie odbywa się nierównomiernie w objętości materiału i w procesie suszenia mają miejsce przenoszenia różnego rodzaju. Dlatego badanie mechanizmu i ustalenie prawidłowości przenoszenia masy wewnątrz ciała przeprowadza się metodami tak molekularno-kinetycznymi jak i termodynamicznymi.

Osiągnięcia nowoczesnej teorii suszenia dają możliwość regulowania i kierowania procesami, odbywającymi się wewnątrz materiałów kosztem zmiany mechanizmu przenoszenia wody w procesie suszenia.

Przy przenoszeniu wody w postaci płynnej rozpuszczone w niej substancje migrują ku powierzchni materiału. Jeżeli natomiast postawimy za zadanie zachowanie wewnątrz materiału różnych cennych substancji, np.: substancji aromatycznych, fermentów, witamin itp. przenoszenie wody powinno się odbywać w postaci pary, jak na przykład przy sublimacyjnym suszeniu kawy, herbaty i in. produktów w próżni.

Można również regulować koncentrację energii w różnych strefach materiału przy suszeniu promieniowaniem podczerwonym przy różnej temperaturze źródła promieniowania. W pracach Moskiewskiego Instytutu Technologicznego Przemysłu Spożywczego (Krasnikow, Sielukow) pokazano znaczenie korelacji charakterystyk widmowych generatorów promieniowania i obiektów suszonych.

Zazwyczaj obszarowi maksymalnego przenikania promieniowania przez materiał odpowiada również obszar maksymalnego odbijania, dlatego wybór generatora i warunków pracy należy przeprowadzać w zależności od przeznaczenia operacji technologicznych obróbki materiału. Jeżeli trzeba przeprowadzić intensywną obróbkę termiczną powierzchni materiału, to celowym będzie wybrać generator, dla którego maksimum promieniowania przypada na obszar minimalnego odbijania i nieznacznego przenikania promieni przez materiał.

Jeżeli natomiast trzeba zabezpieczyć nagrzewanie materiału na grubość, to należy użyć generatora, którego maksimum promieniowania odpowiada obszarowi wysokiej przenikalności. Jeżeli trzeba zabezpieczyć równomierne nagrzewanie materiału na grubość, to przy wyborze warunków promieniowania należy uwzględnić ogólną ilość energii, przekazywanej jednostce masy (objętości) materiału.

Stosowanie źródeł promieniowania o wysokiej temperaturze dla termicznej obróbki produktów spożywczych przedstawia znaczną korzyść. Na podstawie badania ich widmowych charakterystyk zbudowano piece do pieczenia i smażenia, które z powodzeniem pracują w przemyśle oraz urządzenia sublimacyjne do suszenia warzyw i innych produktów. Wskutek przenikania krótkofalowego promieniowania podczerwonego do wnętrza produktów czas trwania obróbki znacznie się skraca (mniej więcej dwukrotnie), co zabezpiecza podniesienie wskaźników techniczno-ekonomicznych przy wysokiej jakości produktów.

W pracach, które prowadzimy wspólnie z Gisińą, Syrojedowym, Ryżową, Kownackim i in. wykryto, że w procesie sublimacyjnego suszenia wewnątrz produktów powstają wysokie gradienty ciśnienia.

Szczególne znaczenia nabiera stosowanie metody impulsów przy obróbce wymagającej kolejno nagrzewania i chłodzenia; np. stosuje się suszenie wibracyjne, suszenie w akustycznym polu, obróbkę promieniami podczerwonymi przy naświetlaniu przerywanym, oddziaływanie zmiennego pola elektrycznego i magnetycznego.

Przy tych metodach (często różniących się swoją naturą fizyczną) osiąga się swoiste oddziaływanie na strukturę materiału i związek wody z jego szkieletem.

W naszych badaniach stwierdzono określoną rolę początkowego impulsu w procesach obróbki termicznej i suszenia produktów spożywczych, ma on znaczny wpływ na prędkość suszenia.

Dla technologii suszenia poważne znaczenie ma sprecyzowanie metod obliczenia przebiegu procesu, związanych z rzeczywistą zmienną prędkością jego przebiegu, tj. z kinetyką procesu.

Dla termolabilnych materiałów opracowaliśmy wspólnie z W. A. Riezczykowem metodykę obliczania czasu trwania cyklu suszenia według czasu osiągnięcia maksymalnej dopuszczalnej temperatury produktu. Jeżeli okaże się, że w ciągu tego czasu wyparowuje niewystarczająca ilość wody, stosuje się zmienne okresowo warunki i recyrkulację produktu, tzn. suszenie cykliczne.

Doszliśmy do wniosku, że wpływ początkowego impulsu jest charakterystyczny dla nieodwracalnych procesów technologicznych. Tu należy poszukiwać rezerw podniesienia intensywności procesu, oczywiście z uwzględnieniem termoodporności i wodoodporności suszonego produktu.

Dla wielu materiałów termolabilnych pochodzenia roślinnego i zwierzęcego ważnym wskaźnikiem technologicznym jest ich termoodporność. W pojęcie „termoodporność” wchodzi nie tylko maksymalna dopuszczalna temperatura nagrzewania materiału w procesie suszenia, lecz i prędkość nagrzewania oraz czas przetrzymywania materiału w tej temperaturze. Analogicznie do termoodporności celowym jest wprowadzenie pojęcia „wodoodporności”, które charakteryzuje się prędkością

oddania wody w procesie suszenia z uwzględnieniem dopuszczalnej nierównomierności suszenia.

Dla większości produktów spożywczych i rolnych jako wskaźnik wodoodporności należy przyjąć wielkość dopuszczalnego gradientu wilgotności na powierzchni materiału. Opracowaliśmy metodykę obliczania wielkości gradientu wilgotności i pól zawartości wody w ziarnie jako funkcję czasu.

Badanie zmian właściwości strukturalno-mechanicznych materiałów i kinetyki, związanych z tym zmian naprężeń i odkształceń w procesach suszenia powinno bazować na osiągnięciach nowoczesnej reofizyki. Dla wielu materiałów właśnie te właściwości powinny być przyjęte za podstawę automatycznego regulowania procesu suszenia. Wyraźnie widać, że najbardziej prawidłowym jest regulowanie procesu suszenia według parametrów samego obiektu suszenia (tj. suszonego materiału). Dlatego aktualnym zadaniem jest opracowanie i doskonalenie odpowiedniej aparatury (czujniki dla zapisu pól temperatury, zawartości wody, ciśnienia i naprężeń w materiale, mechanizmy wykonawcze itp.). Jak zostało powiedziane wyżej, obok stosowania metod termodynamicznych w dalszym ciągu ważne znaczenie dla analizy procesu suszenia i opracowania metod jego intensyfikacji ma stosowanie metod molekularno-kinetycznych.

Tak więc, jeżeli podwyższenie parametrów procesu często ograniczone jest wymaganiami technologicznymi, np. graniczne gradienty temperatury, wilgotności i in., to we wzroście współczynników kinetycznych są jeszcze znaczne nie wykorzystane rezerwy. Jako przykład rozpatrzmy możliwość wzrostu współczynnika dyfuzji wody wewnątrz materiału produktu kosztem wzrostu jego temperatury. Zostało to ustalone w swoim czasie dla mas ceramicznych przez J. M. Minkiewicza, natomiast dla ziarna podamy dane nasze i W. P. Dubrowskiego.

Współczynnik dyfuzji wody wewnątrz produktu przy temperaturze T wynosi:

$$a_m = a_{m_0} \left(\frac{T}{293} \right)^n,$$

gdzie:

a_{m_0} — współczynnik dyfuzji wody przy 20°C,

T — temperatura produktu w K,

n — wykładnik mieszczący się w granicach 8,3-18,1.

Znaczny wpływ temperatury na wielkość współczynnika dyfuzji wody świadczy o celowości wstępnego nagrzewania produktów przed suszeniem, co daje możliwość zaostrożenia parametrów suszenia i intensyfikacji procesu przy zabezpieczeniu wysokiej jakości produktów. Naturalnie, że dla wielu produktów wstępne nagrzewanie powinno się przeprowadzać w warunkach dużej wilgotności powietrza. W ZSRR przeprowadzono próby wstępnego nagrzewania produktów przed suszeniem w warunkach przemysłowych, które dało dodatnie wyniki.

Suszenie jako proces technologiczny w dużym stopniu zależy od wstępnego przygotowania materiału, dlatego należy zwrócić szczególną uwagę na operacje przygotowujące produkty do suszenia, np. spulchnianie, rozdrabnianie, obróbkę

wibracyjną materiałów w postaci pasty, obróbkę chemikaliami tkanek mięsnych itp.

W szczególności dużą korzyść przedstawia wstępna obróbka produktów i realizacja samego procesu suszenia przy nakładaniu się pól magnetycznych i elektromagnetycznych.

Na zakończenie sformułujemy niektóre podstawowe problemy w dziedzinie teorii i technologii suszenia.

Dalszy rozwój tego problemu jest związany:

- a) z pogłębieniem znajomości fizycznej istoty i prawidłowości przenoszenia energii i masy przy różnych metodach suszenia,
- b) dalszym badaniem właściwości charakterystyk produktów jako obiektów suszenia z zastosowaniem najnowszych fizykochemicznych metod badań,
- c) uzasadnieniem metod sterowania mechanizmem przenoszenia wody wewnątrz materiałów i intensyfikacją przenoszenia w procesach suszenia,
- d) utworzeniem i rozwojem metod obliczeń urządzeń suszarniczych, związanych z kinetyką procesu suszenia (z uwzględnieniem zmiennych parametrów),
- e) opracowaniem naukowo uzasadnionej metodyki oceny techniczno-ekonomicznej urządzeń suszarniczych.

Rozwiązanie tych zadań będzie bez wątpienia sprzyjać postępowi technologii suszenia.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ ПИЩЕВЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

А. С. ГИНЗБУРГ — СССР

Резюме

Тесная связь теории с практикой является основой развития проблемы сушки. Сушка — сложный технологический процесс, который должен обеспечить не только сохранение натуральных свойств пищевых продуктов, но и улучшение этих свойств. Технологические свойства продуктов могут описываться термодинамическими характеристиками — потенциал влагопереноса, удельная массоемкость, энергия связи. В докладе дается оценка этих характеристик применительно к зерновым культурам.

Рассматриваются вопросы уравнения свойствами объектов сушки и механизмом переноса влаги и нпх (жидкость — пар), а также пути интенсификации переноса влаги внутри продуктов, при этом обращается внимание на значение начального импульса в процессах сушки. Уточняются показатели термоустойчивости и вводится понятие влагоустойчивости продуктов (зерна). Важное значение имеет разработка методов инженерного расчета сушильных установок, увязанных с кинетикой процесса сушки. Особо рассматриваются новые методы сушки зерна в установках рециркуляционного типа. В заключение формулируются основные задачи в области дальнейшего развития теории и технологии сушки зерна.

ACTUAL PROBLEMS OF THE THEORY AND TECHNOLOGY OF FOOD- AND AGRICULTURAL CROP DRYING

A. S. GINZBURG — USSR

S u m m a r y

A close relationship between the theory and practice is the basic factor influencing the development of drying. Drying is a complicated technological process. It has not only to preserve the nutritive values of the food- and agricultural crops but it has to improve some of these values. The technological properties of products may be expressed by some thermal characteristics as e.g. water transfer potential, specific water capacity and the energy of association. These characteristics are being discussed in this paper in relation to grain. Control of drying objects and the mechanism of the water transfer as liquid or vapor out of them also due to the internal water movement here the initial drying impulses are being taken into consideration. There are heat resistance indicators and grain to moisture content indicators presented. Development of engineering calculations methods of grain drying related to drying process kinetics is of great importance. New grain drying methods used in recirculation driers are separately considered. Basic tasks for further development of the grain drying theory and technology have been formulated.

DIE TATSÄCHLICHEN FRAGEN DER THEORIE UND TECHNOLOGIE DER TROCKNUNG DER LEBENSMITTEL UND LANDWIRTSCHAFTLICHE PRODUKTE

A. S. GINZBURG — UdSSR

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die enge Verbindung der Theorie mit der Praxis bildet den Grund zur Entwicklung des Trocknungswesens. Die Trocknung stellt das komplizierte technologische Verfahren dar. Es soll nicht nur die Aufbewahrung der Ernährungswerte der Lebensmittel aber auch die Verbesserung dieser Werte zu versichern. Die technologischen Eigenschaften der Produkte können mit den thermodynamischen Charakteristiken beschrieben werden: das Potential der Übertragung des Wassers, der eigentliche Wassergehalt, die Energie der Verbindung. Im Referat wird die Beurteilung dieser Charakteristiken im Verhältnis zu den Getreidekulturen angegeben.

Es werden die Fragen der Leitung mit den Eigenschaften der Trocknungsobjekte und mit dem Mechanismus der Übertragung des Wassers in diesen Objekten (Flüssigkeit-Dampf) berücksichtigt, wie auch die Intensivierung der Übertragung des Wassers innerhalb der Produkte und dabei richtet man die Acht zur Bedeutung des Anfangsimpulses in den Trocknungsverfahren. Es werden die Koeffizienten der Wärmewiderstandsfähigkeit präzisiert und der Begriff der Feuchtewiderstandsfähigkeit der Produkte (der Körner) eingeführt.

Die grosse Bedeutung hat die Bearbeitung der Ingenieurberechnungsmethoden für die Trocknungseinrichtungen, die mit der Kinetik der Trocknung verbunden sind. Im besonderen berücksichtigt man die neuen Körnertrocknungsmethoden in den Umlaufeinrichtungen. Zur Beendigung werden die Hauptaufgaben in der Gegend der weiteren Entwicklung der Theorie und Technologie der Körnertrocknung formuliert.