**Погожих Микола Iванович. Науковi основи теорiї та технiки сушiння харчової сировини у масообмiнних модулях : Дис... д-ра наук: 05.18.12 – 2002**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Погожих М.І. Наукові основи теорії та техніки сушіння харчової сировини у масообмінних модулях. – Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Харківська державна академія технології та організації харчування Міністерства освіти і науки України, Харків, 2002.  Дисертацію присвячено розробці теорії сушіння у масообмінних модулях, теоретичному та експериментальному обґрунтуванню раціональних режимів виробництва асортименту сушених харчових продуктів. На підставі положень нерівноважної термодинаміки знайдено умови, за яких процеси тепло- і масообміну при сушінні можуть бути значно інтенсифіковані. Реалізувати ці умови запропоновано у масообмінному модулі, який є моделлю реальних пристроїв. У разі використання гарячого повітря, як теплоносія, цей пристрій названо функціональною місткістю (ФМ), а спосіб - сушіння змішаним теплопідводом (ЗТП). Доведено, що ФМ із сировиною треба розглядати як об’єкт сушіння, а кінетика і критичні особливості процесу залежать як від зовнішніх, так і від внутрішніх чинників здійснення процесу. Встановлено, що гідродинаміка обтікання масообмінного зазору ФМ є визначальним чинником процесу. Термодинамічна модель процесу стверджує, що ФМ має два стани, один з яких хитливий з максимумом вільної енергії, а другий - стійкий з мінімумом вільної енергії. Наведена модель формулює принцип сушіння у ФМ: створення зовнішніх умов для переходу системи зі слабовідкритого у відкритий стан; створення внутрішніх умов для підтримки нерівноваги на відрізку часу, достатньому для повного здійснення процесу. Перше стосується задач сушильної техніки, друге - технології сушіння. Дослідженнями і впровадженнями у виробництво доведено високу ефективність ЗТП- сушіння. | |
| |  | | --- | | 1. Сформульовано гіпотезу до теорії сушіння, як до процесу тепломасообміну у штучних пристроях - масообмінних модулях. Доведено, що штучні умови для утворення дисипативних структур можуть виключати чи істотно обмежувати негативну роль поверхні матеріалу в процесі масообміну. Встановлено, що для перевірки гіпотези необхідно використовувати масообмінний модуль, що утворює із зовнішнім середовищем активну границю розділу. Ідентифіковано два основних класи процесу зневоднювання: без зміни агрегатного стану води і сушіння. Визначено, що для сушіння необхідно застосовувати місткість, у якій розташовується сировина, що зневоднюється, - функціональна місткість (ФМ). За цих умов об’єкт сушіння (ФМ з вологим матеріалом) минає стан з максимумом вільної енергії. Принципи створення таких штучних умов для процесу тепломасообміну при сушінні є основою формулювання наукової концепції роботи.  2. Досліджено кінетику та встановлено особливості сушіння окремих видів харчової сировини у ФМ. Встановлено, що усадка сировини під час сушіння в ІФМ призводить до погіршення теплообміну та блокуванню зневоднення. З метою зменшення пластичних властивостей окремих видів сировини запропоновано використовувати їх попереднє заморожування.  Знайдено, що тривалість сушіння в УФМ визначається температурою та швидкістю сушильного агенту. При швидкості сушильного агенту 4,0 …2,5 м/с тривалість сушіння більша майже на порядок за тривалість сушінням при швидкостях 10…15 м/с. Такий вплив швидкості сушильного агенту на процес сушіння у ФМ є універсальним та не залежить від природи вихідної сировини. Встановлено, що режим сушіння та геометричні розмірами ФМ є зовнішніми, а ступінь здрібнювання та ступень заповнення ФМ – внутрішніми чинниками, що обумовлюють кінетику і критичні особливості процесу сушіння харчової сировини у ФМ.  Встановлено, що кінетика сушіння в ФМ має три періоди: період нагрівання матеріалу і зростання швидкості сушіння; період максимальної швидкості сушіння; період убутної швидкості сушіння. При цьому перші два періоди є “чутливими” стосовно режиму сушіння і властивостей сировини.  3. Визначено, що кінетика температури сировини має дві характерні критичні точки, одна з яких є максимумом величини температури, а друга - мінімумом. На положення цих точок у координатах температура – час (вологовміст) впливають як зовнішні, так і внутрішні чинники процесу сушіння. Отримано рівняння, які описують положення цих точок у залежності від швидкості сушильного агенту для різних видів харчової сировини.  Встановлено, що при сушінні у ФМ основний потік теплоти до зони випаровування вологи надходить через теплообмінну стінку ФМ. Рушійна сила переносу теплоти (градієнт температури) визначається її розсіюванням у зоні сировини де спостерігається максимальна інтенсивність випаровування вологи. Встановлено, що при сушінні у ФМ визначальними чинниками процесу теплопередачі є ефективний пористий простір та швидкість сушильного агенту. Доведено, що за умов сушіння у ФМ на зовнішній теплообмін не впливає процес масообміну, тому коефіцієнт тепловіддачі можна розраховувати за критеріальними рівняннями для теплообміну з твердою стінкою. Встановлено, що масообмінні зазори збурюють тепловий пограничний шар, тому для розрахунку числа Рейнольдса запропоновано використовувати поправку до швидкості сушильного агенту. Встановлено, що тільки за умов певної швидкості обтікання сушильним агентом масообмінного зазору може бути здійснено процес зневоднення сировини у ФМ.  Знайдено, що на протязі другого періоду сушіння випаровування вологи відбувається за рахунок накопиченої внутрішньої енергії сировини, а сам процес проходить через максимум вільної енергії. Доведено, що висока вологовбирна здатність сушильного агенту обумовлюється зростанням його ентальпії за рахунок теплоти, що надходить через стінку ФМ. Це обумовлює наближення витрат енергії на випаровування вологи при сушінні у масообмінних модулях до питомої теплоти пароутворення.  4. Запропонована термодинамічна модель процесу сушіння заснована на тому, що ФМ має два стани, один з яких хитливий з максимумом вільної енергії, а другий стійкий з мінімумом вільної енергії. Показано, що обидва стани не критичні стосовно температури (до 100С) і вологості (до 100%) сушильного агенту. Аналізом моделі встановлено, що у процесі сушіння не може існувати періоду постійної швидкості, а основними чинниками процесу є флуктуації зовнішнього середовища у масообмінному зазорі й усередині ФМ. Зовнішні флуктуації обумовлюються вихровою течією сушильного агенту поблизу массообмінного зазору, а флуктуації усередині ФМ – розвитком поверхні випару. Доведено, що розвиток поверхні випару визначає рівномірність зневоднювання і кінетику температури сировини по зонах. Встановлено, що конвекційна складова у загальному потоці пароповітряної суміші залежить від ефективного пористого простору та опору масообмінного зазору. За умов випаровування потік має упорядкований характер, а без випару - вихровий.  ЯМР- дослідженнями поводження вологи при сушінні встановлено, що вода минає три стійкі рівноважні стани, а перехід між цими станами визначає динаміку взаємодії води з сухою речовиною сировини.  За допомогою розробленої моделі сформульовано принципи сушіння у масообмінних модулях, пояснені всі особливості процесу, що доводить фізичну коректність моделі.  5. Встановлено, що на відновлюваність продукції впливає природа сировини, температура сушіння й ефективний пористий простір. Отримано рівняння для визначення кінетики і тривалості відновлюваності та обчислення рівноважних вологовмістів асортименту продукції.  Вплив процесу, що щадить на зміст біологічно активних речовин, обумовлений низькою інтегральною температурною дією на сировину, малою тривалістю процесу і відсутністю безпосереднього контакту з потоком сушильного агенту. Визначені гранично припустимі величини температури сушіння, що забезпечують збереженість колірної гами продукції. Величини цих температур коливаються в межах 70С… 85С та залежать від виду вихідної сировини. Визначено вимоги до пакувальних матеріалів для збереження сушеної продукції.  6. Розроблено універсальну технологічну схему ЗТП- сушіння харчової сировини та вимоги до операцій попередньої підготовки. Складено техноло- гічні карти раціональних режимів сушіння у масообмінних модулях.  Розроблено методику розрахунку сушарок з функціональними місткостями. Доведено, що обов’язковою умовою інженерно-конструкторських рішень є необхідність дотримання вимог до функцій масообмінного модуля. Вибір ефективного способу теплопідводу (у тому числі й радіаційного) та трансформація ФМ у стрічки, що рухаються, є основою для розробки промислових сушарок безупинної дії. За результатами досліджень визначено напрямки розвитку розробленої технології та техніки сушіння харчової сировини.  7. Розроблено техніко-економічне обґрунтування підприємства з виробництва високоякісних сушених харчових продуктів. У структуру підприємства входять фермерські і індивідуальні господарства, де виробляються сушені напівфабрикати, та головне підприємство, яке виробляє готову продукцію у вигляді наборів харчових концентратів, харчових фарбників тощо. Проведені іспити та впровадження у виробництво технологій, проектно-конструкторської документації і сушильного устаткування. Наявні відкликання й акти про впровадження результатів досліджень підтверджують ефективність і перспективність застосування технології і техніки сушіння у масообмінних модулях для виробництва сушених харчових продуктів. | |