

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ДЕСИК МИКОЛА ГРИГОРОВИЧ

УДК 664.6

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИПІКАННЯ ТА СУШІННЯ
СУХАРИКІВ, СФОРМОВАНИХ ЕКСТРУДУВАННЯМ**

05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та
фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ -2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій.
Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор
Теличкун Володимир Іванович,
Національний університет харчових технологій,
МОН України,
м. Київ, професор кафедри машин і апаратів
харчових та фармацевтичних виробництв

Офіційні опоненти:
доктор технічних наук, професор
Потапов Володимир Олексійович,
Харківський державний університет харчування та
торгівлі, МОН України,
м. Харків, завідувач кафедри холодильної та
торговельної техніки

кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник
Шапар Раїса Олексіївна,
Інститут технічної теплофізики,
Національна академія наук України,
м. Київ, провідний науковий співробітник відділу
нестационарного тепломасопереносу в процесах
сушіння

Захист відбудеться "05" червня 2014 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 по захисту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук при Національному університеті харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий "28" квітня 2014 р.

**Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доц.**

Л. О. Кривопляс-Володіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розширення асортименту сухарних виробів та підвищення попиту на ці вироби примушує промисловців створювати спеціалізовані виробництва по виготовленню сухариків, хлібних паличок та інших виробів.

Такі виробництва оснащені спеціалізованим обладнанням і вимагають значного використання ручної праці, оскільки виробництво сухарних виробів складається з багатьох етапів, які важко механізувати. Воно досить тривале і потребує громіздкого обладнання. Основними недоліками виробництва є значна тривалість процесів витримування сухарних плит перед нарізанням, застосування ручної праці та енергоємність. Найбільше енергоресурсів витрачається на випікання сухарних плит та сушіння скибок. Крім того повторне нагрівання сухарних скибок до температури випаровування вологи після охолодження сухарних плит перед нарізанням призводить до додаткових витрат тепла. За нашими розрахунками кількість витраченої енергії на повторне нагрівання складає 15-20% від загальної енергії, витраченої корисно на випікання сухарних плит та сушіння скибок. На сушіння скибок витрачається приблизно в 1,5 рази більше енергії, ніж на випікання плит. Для забезпечення якісних показників готових виробів необхідно рівномірно розміщувати скибки на поду печі, що призводить до зниження подозавантаження печі для висушування скибок в 2-2,5 рази порівняно з піччю для випікання.

Під час виробництва тонких виробів, таких як печиво, соломка, хрусткі хлібці, процеси випікання та сушіння поєднані в одній пекарній камері і здійснюються послідовно. Впровадження у виробництво технології для виготовлення сухарної продукції з поєднанням процесів випікання і сушіння в одній пекарній камері є актуальним завданням, вирішення якого забезпечить більш ефективне використання енергоресурсів та виробничих площ з меншими витратами часу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано відповідно до планів науково-дослідної роботи НУХТ, а саме до теми «Розроблення наукових основ тепломасообмінних та інших процесів харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв з метою створення вискоєфективних технологій та обладнання, засобів механізації та автоматизації для харчових та переробних галузей АПК» (схвалено вченою радою НУХТ, протокол №7 від 25.03.2006 р.), а також планів науково-дослідної роботи кафедри «Машини і апарати харчових та фармацевтичних виробництв» - «Інтенсифікація тепломасообмінних та інших процесів з метою створення вискоєфективного обладнання харчових виробництв».

Виконана робота відповідає Закону України №2623-3 від 11 липня 2001 року «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки».

Мета і завдання досліджень. Метою даної роботи є удосконалення процесів випікання та сушіння сухарних виробів, сформованих екструзуванням.

У відповідності з поставленою метою сформульовані наступні задачі дослідження:

- встановити особливості безперервного процесу випікання та сушіння тістових заготовок з вибродженого тіста в одній робочій камері;
- дослідити вплив температури робочої камери на тепломасообмінні процеси;
- встановити вплив геометричних параметрів тістових заготовок, сформованих екструдуюванням, на зовнішні та внутрішні тепломасообмінні процеси при випіканні та сушінні виробів із дріжджового тіста;
- встановити межі геометричних розмірів заготовок і режимних параметрів робочої камери, за яких доцільно поєднати процеси випікання та сушіння в одній робочій камері;
- обґрунтувати раціональні параметри режиму випікання-сушіння сухарних плит за результатами експериментальних досліджень та проведення обчислювального експерименту за математичною моделлю прогрівання тістової заготовки циліндричної форми з урахуванням динаміки ефективних теплофізичних характеристик;
- обґрунтувати шляхи інтенсифікації тепломасообмінних процесів та зниження витрат енергоресурсів при виробництві сухарних виробів і розробити удосконалений спосіб виробництва сухарних виробів;
- розробити бродильно-формувальний агрегат для формування безперервних сухарних плит з одночасним їх розрихленням безпосередньо на під печі;
- запропонувати машино-апаратурну схему виробництва сухариків.

Об'єкт і предмет досліджень. *Об'єктом досліджень є безперервний в одній робочій камері процес випікання та сушіння сухарних виробів, сформованих екструзією з дріжджового тіста. Предметом досліджень є режими процесу випікання-сушіння, зовнішні та внутрішні тепломасообмінні процеси, в залежності від геометричних параметрів тістових заготовок.*

Методи дослідження. Дослідження виконані методами математичного моделювання, фізичного експерименту з математико-статистичною обробкою результатів. Фізичні експерименти здійснювалися на розроблених установках для формування та випікання-сушіння тістових заготовок, із застосуванням радіаційно-конвективного обігріву, обладнаних сучасними методами керування та вимірювання. Оброблення експериментальних даних виконувались із застосуванням сучасних інтегрованих систем MathCAD, Excel, FlowVision.

Наукова новизна отриманих результатів.

- науково обґрунтовано та експериментально доведено доцільність поєднання процесів випікання та сушіння сухарних виробів невеликого розміру в одній робочій камері;
- встановлено, що інтенсивність тепломасообмінних процесів періоду випікання характеризується визначальним розміром, який залежить від розмірів та форми заготовки, а інтенсивність періоду сушіння за значного температурного градієнта обмежується площею поверхні масообміну, яка зменшується в процесі сушіння внаслідок заглиблення зони випаровування і утворення скоринки.

Отримана аналітична залежність зміни площі поверхні випаровування в умовах високотемпературного процесу сушіння від кількості видаленої вологи;

– встановлено межі геометричних розмірів заготовок і режимних параметрів робочої камери, за яких доцільно поєднати процеси випікання та сушіння в одній робочій камері;

– запропоновано метод розрахунку визначального розміру, який враховує геометричні розміри та форму заготовки для теплових розрахунків процесу випікання-сушіння; розроблено спосіб визначення площі поверхні подового хліба в залежності від геометричних розмірів заготовки; запропонована формула для знаходження визначального розміру та встановлено залежність між інтенсивністю вологовіддачі та визначальним розміром заготовки;

– обґрунтовано раціональні параметри режиму випікання-сушіння сухарних плит за результатами експериментальних досліджень та проведення обчислювального експерименту за математичною моделлю прогрівання тістової заготовки циліндричної форми з урахуванням динаміки ефективних теплофізичних характеристик;

– теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено доцільність досушування та охолодження заготовок в умовах розрідження.

Практичне значення отриманих результатів.

В роботі обґрунтовано та розроблено новий спосіб виробництва сухарних виробів, який передбачає поєднання процесів випікання та сушіння в одній робочій камері та подальше охолодження виробів в умовах розрідження.

На основі проведених досліджень сформульовані рекомендації щодо геометричних розмірів тістових заготовок та режимних параметрів робочої камери при безперервному процесі випікання-сушіння сухарних виробів.

Розроблена конструкція бродильно-формуального агрегату для оброблення тіста, виготовлено експериментальний зразок агрегату, який встановлений на Хлібокомбінаті №11 м. Києва в лінію виробництва сухариків, на якій організовано безперервний процес випікання-сушіння. Запропонована машино-апаратна схема лінії для виробництва сухариків.

Особистий внесок здобувача.

Полягає в дослідженні тепломасообмінних процесів під час випікання та сушіння сухарних виробів, створенні установки та розробленні методики визначення тепломасообмінних характеристик при суміщених процесах випікання-сушіння, проведенні експериментальних досліджень. Автором виконано оброблення та узагальнення результатів фізичних та обчислювальних експериментів, розроблено рекомендації щодо зниження енерговитрат та інтенсифікації процесу виробництва сухарних виробів.

Апробація результатів досліджень. Матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на 73, 74, 75, 76, 77, 78-й наукових конференціях молодих учених, аспірантів і студентів; Міжнародній ювілейній наук.-практ. конф. „Інноваційні енерго-й ресурсозберігаючі технології та обладнання в хлібопекарській, макаронній, харчоконцентратній і зернопереробній галузях харчової промисловості” 2008р.; Международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств» (Могилев);

Міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка» (Святогірськ). 23-24 October, "Food science engineering and technologies 2010" 15-16 October, Plovdiv.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 28 наукові роботи, із них: 8 статей в фахових виданнях, включаючи 4 міжнародних, 5 патентів на корисну модель та 1 патент на винахід, 14 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 124 найменувань. Основний зміст викладено на 141 сторінці, включаючи 53 рисунки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульована мета та основні завдання досліджень, наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, проаналізовано основні тенденції розвитку хлібопекарної галузі.

У першому розділі розглянуто традиційні способи виробництва сухарних виробів, проаналізовано основні тенденції розвитку техніки та технологій виробництва сухарних виробів, обґрунтовано спосіб розроблення тістових заготовок екструдуванням, досліджено тепломасообмінні процеси, які відбуваються під час випікання і сушіння та визначено характер їх проходження в залежності від режимних параметрів робочої камери та геометричних розмірів заготовок. Розглянуто аналітичні закономірності тепло та масообміну процесів випікання та сушіння.

Аналіз літературних джерел дав можливість сформулювати мету і задачі досліджень.

У другому розділі наведено опис дослідних установок для формування тістових джгутів екструдуванням, випікання і сушіння сухарних плит; описані об'єкти і методи досліджень.

Дослідження зовнішніх та внутрішніх тепломасообмінних процесів під час випікання-сушіння сухарних виробів виконувались на лабораторній установці (рис.1), яка складається з пекарної камери 1 з верхньою та нижньою 2 гріючими поверхнями, в якій на подику 3, що тримається на підвісці 4 знаходяться джгути тіста завантажені через дверцята.

Підвіска прикріплена до штанги 5, яка з'єднана з ваговим тензометричним датчиком 6, з якого через аналоговий модуль 10 та модуль перетворення 11 знімаються та реєструються на ЕОМ 13 значення ваги тіста під час процесів випікання та висушування.

Піч має автономне автоматичне регулювання підведення кількості теплоти окремо до верхньої та нижньої нагрівальних поверхонь, керування якими здійснюється з щитка керування 14. Також на даному щитку відображається температура пекарної камери.

Вимірювання температури в шарах тістових джгутів відбувається термопарами, потенціал з яких надходить на аналоговий модуль ICP CON I-7018 10, який живиться від блока живлення 11, та за допомогою модуля перетворення

ICP CON I-7520 12 сигнал перетворюється та передається в ЕОМ 13. Для реєстрації даних в ЕОМ застосоване відповідне програмне забезпечення.

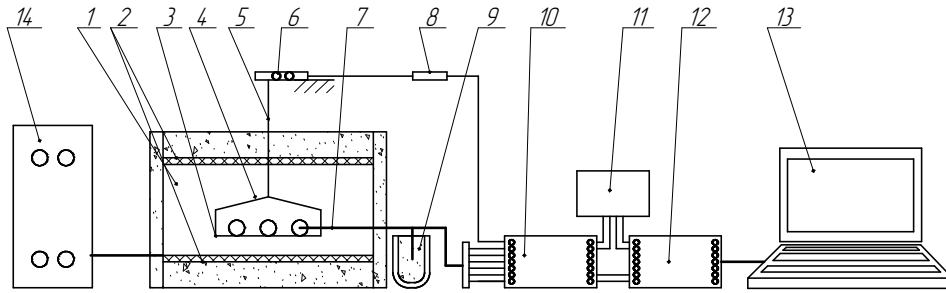


Рис.1. Схема лабораторної установки для випікання та сушіння сухарних виробів:

1 – пекарня камера; 2 – верхня та нижня нагрівальні поверхні; 3 – під; 4 – підвіска; 5 – штанга; 6 – ваговий тензометричний датчик; 7 – блок термопар; 8 – підсилювач сигналу; 9 – посудина Дюара; 10 – аналоговий модуль; 11 – блок живлення; 12 – модуль перетворення; 13 – ЕОМ; 14 – щиток керування.

У третьому розділі досліджено зовнішній та внутрішній тепло-масообмін для безперервного процесу випікання-сушіння сухарних плит в одній робочій камері для виробництва сухариків.

В загальному випадку суміщені процеси випікання та сушіння в одній робочій камері доцільно розглядати як процес сушіння, на початку якого існує період прогрівання заготовки. Температурні криві цього періоду характерні для колоїдних капілярно-пористих тіл (рис. 2).

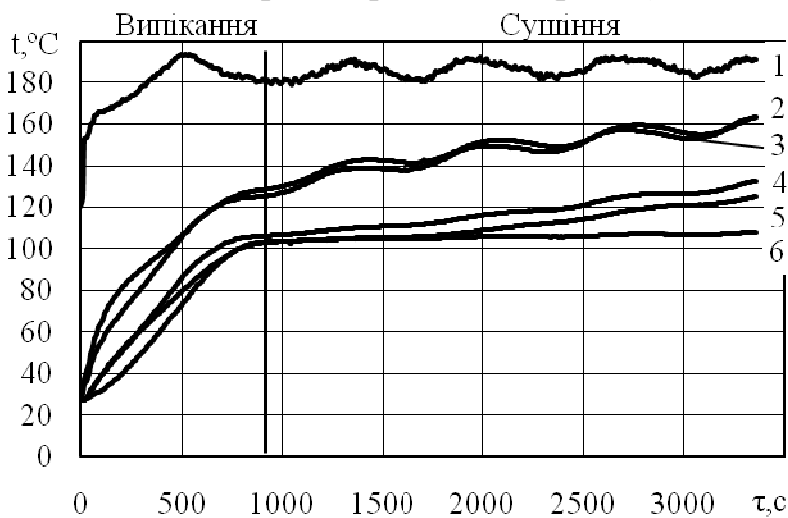


Рис.2. Температурні криві процесу випікання–сушіння виробів циліндричної форми з дріжджового тіста (висота заготовки 0,029 м): 1 – пекарня камера; 2 – верхня скоринка; 3 – нижня скоринка; 4 – 7 мм від верхньої поверхні; 5 – 8 мм від нижньої поверхні; 6 – центр заготовки.

Процес прогрівання супроводжується рядом фізико-хімічних, мікробіологічних, колоїдних процесів, що призводить до утворення структури м'якушки і тістова заготовка перетворюється на випечений хліб. За період випікання заготовка нагрівається без видалення вологи з основної маси матеріалу, лише частковим видаленням її з поверхні, як за рахунок випаровування в середовище пекарної камери, так і внаслідок дифузії вологи під дією сил термовологопровідності в центральні шари заготовки, підвищуючи їх вологість та інтенсифікуючи прогрівання. Всі перераховані явища пов'язані зі складними та значними змінами теплофізичних властивостей шарів заготовки в процесі прогрівання.

Після прогрівання градієнт температури зменшується, сили термовологопровідності знижуються і визначальними в подальшому періоді, власне сушіння, стають сили вологопровідності, які обумовлюють переміщення вологи з центру заготовки до її поверхні, і основна кількість теплоти витрачається на випаровування вологи. Для цього періоду характерне поступове заглиблення зони випаровування, яке супроводжується підвищенням температури зневодненого шару та її наближенням до температури середовища пекарної камери і кипіння рідини. В центральних шарах зневоднення відбувається менш інтенсивно і волога, здебільшого, рухається до зони випаровування у вигляді рідини.

Отримана крива вологовіддачі (рис.3) і отримана диференціюванням крива швидкості сушіння свідчать, що на початку прогрівання швидкість вологовіддачі збільшується до максимального значення, після чого починається період зі зниженням швидкості вологовіддачі. Для заготовок, які відносяться до перехідної області від тонких до масивних тіл, відповідно до критерію Біо період постійної швидкості вологовіддачі незначний. Це пояснюється незначною інтенсивністю масообміну всередині заготовки за порівняно інтенсивної вологовіддачі, тобто швидкість переміщення вологи всередині заготовки менше швидкості вологовіддачі від поверхні в середовище пекарної камери. Це призводить до того, що за час прогрівання вологість поверхні заготовки знижується до рівня рівноважної, зона випаровування заглиблюється всередину заготовки, утворюється скоринка, яка перешкоджає тепломасообмінним процесам між середовищем пекарної камери та заготовкою.

Найбільший вплив на інтенсивність тепло-масообміну між заготовкою та середовищем пекарної камери має температура пекарної камери, максимальне значення якої обмежується товщиною та забарвленням скоринки сухарних виробів, які залежать від її температури, тривалості процесу теплового оброблення та рецептурного складу.

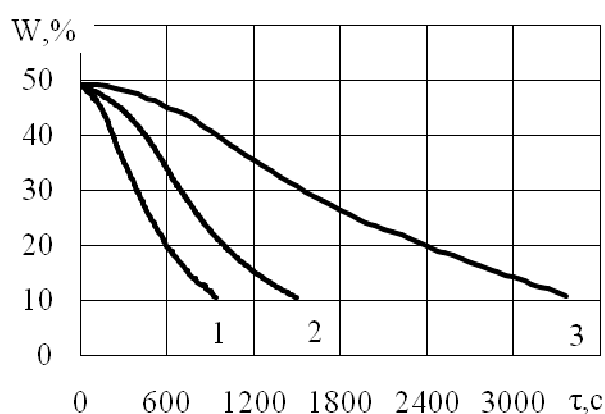


Рис.3. Крива вологовіддачі при випіканні-сушінні сухарної плити циліндричної форми з дріжджового тіста при діаметрах заготовок: 1 – 0,009 м, 2 – 0,018 м, 3 – 0,030 м.

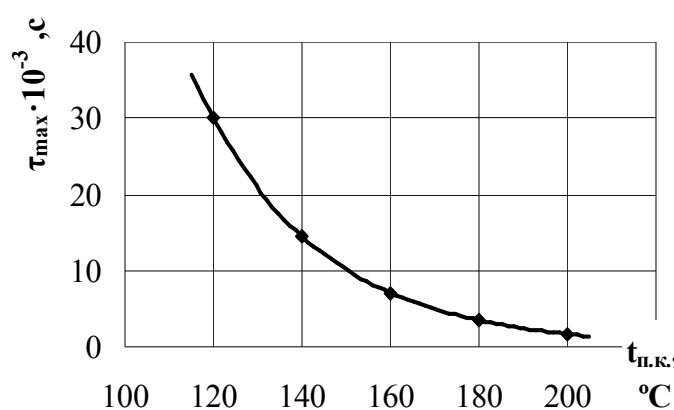


Рис.4. Залежність тривалості теплового оброблення, за якої забезпечується якісна поверхня від температури пекарної камери.

На рис.4 показана максимальна тривалість процесу, за якої забезпечується якісна поверхня виробів, в залежності від температури середовища пекарної камери t . Ця залежність має експоненційний характер і може бути описана рівнянням:

$$\tau_{\max} = 2,25 \cdot 10^6 \cdot e^{-0,036t} \quad (1)$$

Запропоновано метод розрахунку визначального розміру R , який враховує геометричні розміри та форму заготовки для теплових розрахунків процесу випікання-сушіння, запропонована формула для його визначення як відношення об'єму заготовки V до площі її поверхні F

$$R = i \frac{V}{F} \quad (2)$$

Коефіцієнт співвідношення розмірів тіла i визначається як сума співвідношень розмірів, уздовж якого проходить нагрівання до всіх замірів заготовки:

$$i = \frac{x}{x} + \frac{x}{y} + \frac{x}{z}, \quad (3)$$

де x – розмір заготовки, вздовж якого спрямований тепловий потік, м
 y, z – два інших розміри, м.

Для тіл, що мають три розміри однакового порядку (куля, куб) цей коефіцієнт дорівнює 3; для тіл, які мають два розміри однакового порядку (циліндр) отриманий коефіцієнт дорівнює 2; тіла які мають один розмір однакового порядку (пластина) даний коефіцієнт дорівнює 1.

Нами досліджено вплив геометричних параметрів заготовок на інтенсивність зовнішніх тепло-масообмінних процесів. Встановлена залежність тривалості безперервного процесу випікання та сушіння в залежності від визначального розміру за різних температур робочої камери (рис.5).

Зі збільшенням визначального розміру тривалість процесу випікання-сушіння збільшується за степеневим законом. Підвищення температури пекарної камери призводить до зменшення тривалості процесу.

Після оброблення експериментальних даних отримана формула для розрахунку тривалості процесу випікання-сушіння τ в залежності від температури та визначального розміру:

$$\tau = 15,3 \cdot 10^6 \cdot e^{-0,0157t} \cdot R^{-0,001t+1,5} \quad (4)$$

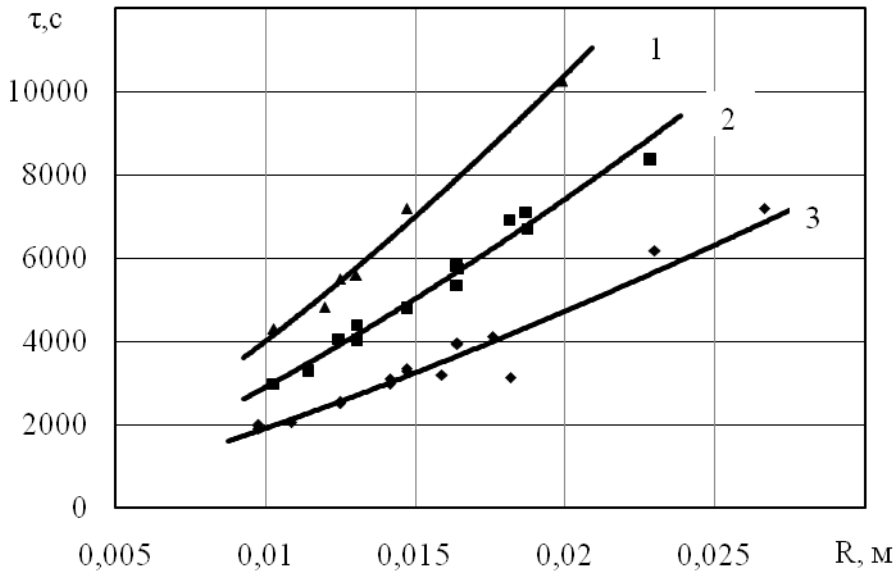


Рис. 5. Тривалість процесу випікання-сушіння сухарних джгутів в залежності від визначального розміру при температурі пекарної камери $t_{п.к.}$, °C: 1 - 120, 2 - 150; 3 - 190.

Проведені дослідження та порівняльний аналіз тривалості сушіння сухарних плит та скибок з однаковими межами визначальних розмірів (рис.6).

Збільшення еквівалентного розміру призводить до збільшення тривалості сушіння обох видів зразків: для сухарних плит – за степеневою залежністю (5):

$$\tau_{суш}^{пл} = (-34264 \cdot t + 8,1 \cdot 10^6) \cdot R^{1,5}, \quad (5)$$

для скибок – за лінійною залежністю (6):

$$\tau_{суш}^{ск} = (-3428 \cdot t + 0,786 \cdot 10^6) \cdot R. \quad (6)$$

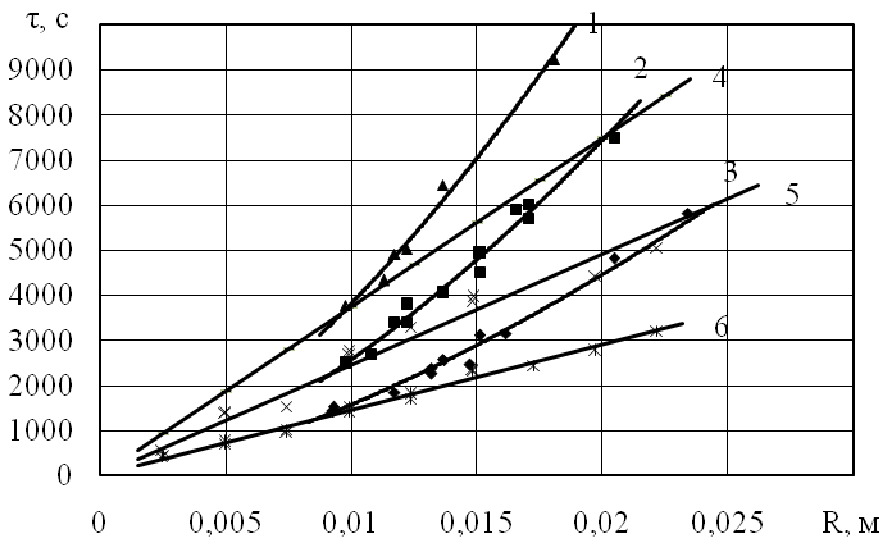


Рис. 6. Тривалість сушіння сухарних плит та скибок в залежності від визначального розміру: 1, 2, 3 - сухарних плит за температури пекарної камери відповідно 120, 150, 190 °C; 4, 5, 6 – скибок за температури пекарної камери відповідно 120,150, 190 °C.

Такий характер кривих свідчить про те, що для процесу сушіння очевидно еквівалентний розмір має менше значення, ніж для процесу прогрівання заготовки. Дане явище пояснюється тим, що основним фактором, який визначає інтенсивність вологовіддачі в умовах радіаційно-конвективного сушіння

матеріалу з однаковими властивостями, аналогічною температурою та швидкістю сушильного агенту є площа поверхні випаровування.

Для визначального розміру $R \approx 0,01$ м існує характерна точка, за якої спостерігається перетин кривих тривалості процесу сушіння. До досягнення визначальним розміром цього значення процес сушіння сухарних плит має більшу швидкість порівняно з сушінням скибок. На нашу думку дане явище пов'язане з періодом прогрівання охолодженої скибки до температури випаровування, що має місце на початку процесу сушіння. Зі збільшенням визначального розміру вплив цього фактору зменшується і відповідно тривалість сушіння сухарних плит починає перевищувати тривалість сушіння скибок.

Отримані залежності середньої інтенсивності вологовіддачі процесу сушіння сухарних плит циліндричної форми та скибок від визначального розміру (рис. 7) показують, що середня інтенсивність процесу сушіння скибок та джгутів експоненційно зменшується зі збільшенням визначального розміру, що обумовлено збільшенням критерію Біо, та зниженням температури пекарної камери:

$$I_{суш}^{пл} = 3,33 \cdot 10^{-10} \cdot t^{2,06} \cdot R^{-1,5}; \quad (7)$$

$$I_{суш}^{ск} = 8,46 \cdot 10^{-10} \cdot t^{2,37} \cdot R^{-1}. \quad (8)$$

Зі збільшенням визначального розміру вплив температури пекарної камери на інтенсивність вологовіддачі стає мінімальним, оскільки визначальним фактором, який обмежує процес сушіння, стають теплофізичні властивості матеріалу. Починаючи з величини визначального розміру 0,01 м. швидкість сушіння скибок перевищує швидкість сушіння джгутів.

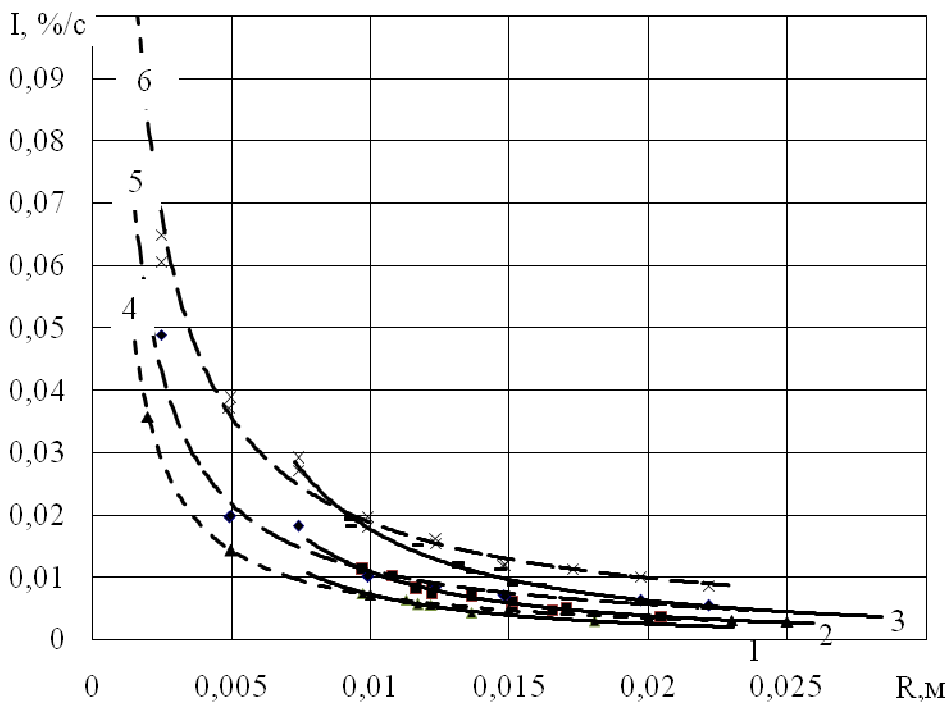


Рис. 7. Середня інтенсивність вологовіддачі в залежності від визначального розміру: 1, 2, 3 - сухарних плит при температурі пекарної камери відповідно 120, 150, 190 °С; 4, 5, 6 - скибок при температурі пекарної камери відповідно 120, 150, 190 °С.

За значного температурного градієнту процес сушіння відбувається без розподілення вологи в заготовці за параболічним законом, внаслідок чого інтенсивність вологовіддачі буде знижуватись в основному за рахунок зменшення площі поверхні випаровування в циліндричній заготовці внаслідок заглиблення зони випаровування. Інтенсивність вологовіддачі для скибок знижується зі збільшенням визначального розміру менш інтенсивно, порівняно із циліндричними плитами, внаслідок більшої площі поверхні масообміну (рис.8).

Отримані криві свідчать про те, що питома інтенсивність вологовіддачі сухарних плит циліндричної форми перевищує цю величину для сухарних скибок при значеннях визначального розміру менше 0,015 м.

Шляхом математичної обробки експериментальних даних отримані залежності середньої питомої інтенсивності вологовіддачі від температури пекарної камери t та визначального розміру R :

$$I_{суш}^{пл} = (22,65 \cdot 10^{-6} \cdot t^2) \cdot e^{-68 \cdot R}; \quad (9)$$

$$I_{суш}^{ск} = (2,2 \cdot 10^{-6} \cdot t^{2,36}) \cdot e^{-36 \cdot R}. \quad (10)$$

Одним з основних показників, який характеризує процес, що проходить в пекарній камері, є величина подозавантаження, яка показує продуктивність одиниці площі печі за одиницю часу. З метою визначення меж геометричних розмірів сухарних плит, за яких доцільно поєднувати процеси випікання та сушіння з точки зору подозавантаження нами проведено порівняльний аналіз цього параметру для різних геометричних розмірів заготовок, які характерні для сухарних виробів.

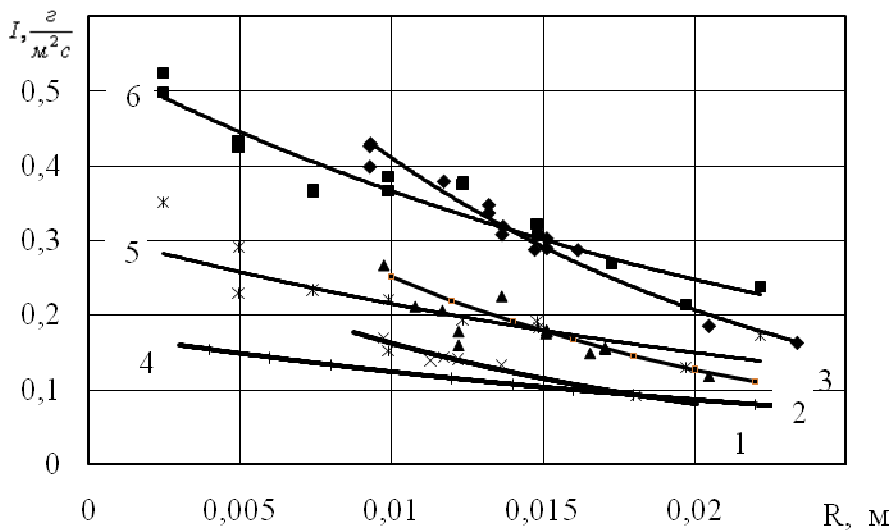


Рис.8. Залежність середньої питомої інтенсивності вологовіддачі від визначального розміру сухарних плит та скибок: 1, 2, 3 - сухарних плит за температури пекарної камери відповідно 120, 150, 190 °С; 4, 5, 6 - скибок за температури пекарної камери відповідно 120, 150, 190 °С.

Зі збільшенням визначального розміру (рис.9) величина подозавантаження знижується внаслідок зростання тривалості процесу висушування для всіх температур пекарної камери. Крім того, для процесу сушіння сухарних плит характерне більш інтенсивне зниження подозавантаження порівняно зі скибками

того ж розміру. В інтервалі значень визначального розміру $R=0,0075\dots 0,01$ м існує точка перетину між дослідними значеннями подозавантаження під час сушіння скибок та плит, яка показує межу визначального розміру за якої доцільно поєднувати процеси випікання та сушіння в одній пекарній камері з точки зору величини подозавантаження.

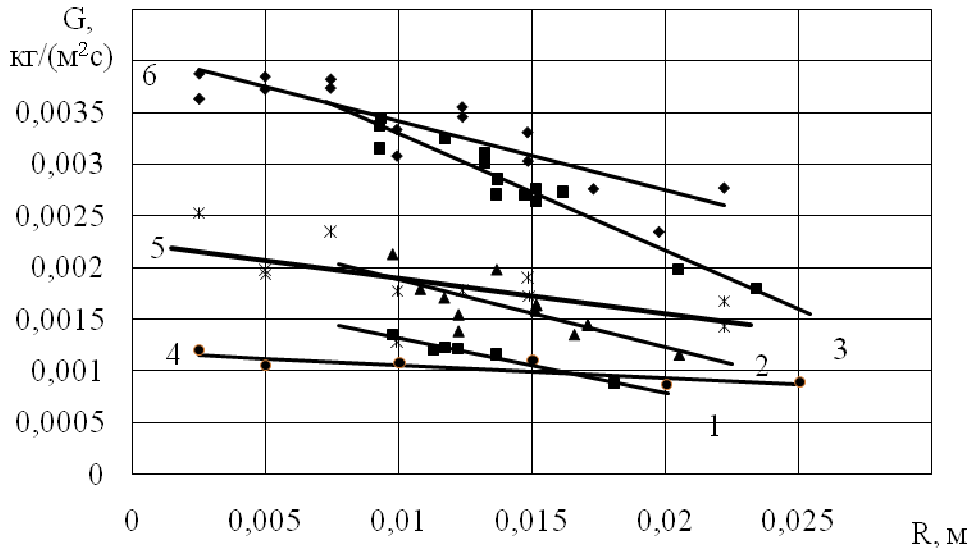


Рис.9. Залежність подозавантаження від визначального розміру під час сушіння: 1, 2, 3 – сухарних плит за температури пекарної камери відповідно 120, 150, 190 °С; 4, 5, 6 – скибок за температури пекарної камери відповідно 120, 150, 190°С.

В результаті проведених експериментальних та аналітичних досліджень встановлено: розмір сухарних плит, за якого доцільно поєднувати процеси випікання та сушіння; максимально допустимий розмір заготовки, при якому забезпечується інтенсивність забарвлення поверхні, характерна для якісних виробів; максимальний визначальний розмір з точки зору подозавантаження ($R=0,0085$ м).

Аналіз витрат теплової енергії за результатами проведених досліджень показує доцільність поєднання в одній робочій камері процесів випікання і сушіння сухарних виробів, сформованих екструзуванням. Це дозволяє зменшити витрати теплоти на прогрівання і сушіння до 10% порівняно з традиційним способом, зменшити загальну тривалість процесу виробництва сухарних виробів. Крім того, поєднання процесів випікання та сушіння в одній робочій камері дозволяє зменшити кількість обслуговуючого персоналу, створити умови для механізації виробничого процесу.

З метою скорочення тривалості процесу виробництва сухарних виробів нами запропоновано проводити процес охолодження та доведення до рівноважної вологості готових виробів в умовах розрідження.

Дослідження показали, що зниження тиску до 5 кПа дає можливість знизити температуру до 30 °С і видалити близько 5% вологи від загальної маси заготовки в результаті випаровування вологи за рахунок теплоти акумульованою заготовкою. Що в свою чергу зменшує витрати енергії на сушіння сухарних виробів на 16% і скорочує тривалість процесу випікання-сушіння на 22-25%.

Запропонований нами потоковий спосіб виробництва сухарних виробів, формування яких здійснюється екструзуванням, дозволяє виготовляти безперервні по довжині поду печі заготовки під час виробництва сухариків. Оскільки діаметр виробів значно менше їх довжини, $d=0,015\dots 0,030$ м, тому ці

вироби можна розглядати як необмежене циліндричне тіло. Прогрівання таких виробів має свої особливості, які обумовлені їх діаметром. Тому, що відповідно до критерію Біо вони знаходяться в перехідній області тіл від тонких до масивних.

Прогрівання сухарних плит описується диференціальним рівнянням теплопровідності в циліндричних координатах:

$$\frac{\partial t(r, \tau)}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 t(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right] + \frac{\mu}{c\rho} (1 - \omega) q_0 \exp(-\mu(R - r)), \quad (11)$$

$$\tau > 0,$$

$$0 < r < R.$$

При розв'язанні задачі прогрівання тістової заготовки звичайним є рівномірність початкового розподілу температури, яку приймаємо за початкову температуру. Тоді граничні умови формулюються так:

$$t(r, 0) = const; \quad (12)$$

$$\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial r} = 0; t(0, \tau) \neq \infty; \quad (13)$$

$$\lambda \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial r} = \alpha (t_c(\tau) - t(R, \tau)) \quad (14)$$

$$t(r, \tau) = f(\tau),$$

$$\tau > 0, \quad (15)$$

$$0 \leq r \leq R,$$

де $t(r, \tau)$ – температурне поле циліндра, К; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м²·К); a – коефіцієнт температуропровідності, м²/с; ρ – густина, кг/м³; c – питома теплоємність, Дж/(кг·К); α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К).

Перейшовши до безрозмірних величин $X = \frac{r}{R}$, $Fo = \frac{\alpha \cdot \tau}{R^2}$ отримуємо наступне рівняння та граничні умови:

$$\frac{\partial T(X, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T(X, Fo)}{\partial X^2} + \frac{1}{X} \cdot \frac{\partial T(X, Fo)}{\partial X}; \quad (16)$$

$$T(X, 0) = 0; \quad (17)$$

$$\frac{\partial T(0, Fo)}{\partial X} = 0; \quad (18)$$

$$\frac{\partial T(1, Fo)}{\partial X} = -Bi(T(1, Fo) - \theta(Fo)), \quad (19)$$

де $Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}$ – критерій Біо.

Для розрахунку представленої моделі використаємо програмний комплекс FlowVision. Ефективні теплофізичні характеристики заготовок представлено у вигляді залежностей отриманих експериментальним шляхом, що враховують масообмінні процеси при прогріванні виробу:

Теплопровідність в залежності від температури, Вт/(м·К):

$$\lambda(t) = \begin{cases} 0,0068 \cdot t + 0,339 & \text{при } t = 30 \div 70^\circ\text{C} \\ \frac{1}{(55 - 0,533 \cdot t)^{\frac{1}{2,9}}} & \text{при } t = 70 \div 100^\circ\text{C} \\ 0,055 & \text{при } t > 100^\circ\text{C} \end{cases} \quad (20)$$

Теплоємність тіста-хліба в залежності від температури, кДж/(кг·К):

$$c(t) = \begin{cases} 10^{0,1418+0,00694t} & \text{при } t = 30 \div 100^\circ\text{C} \\ 2,2 & \text{при } t > 100^\circ\text{C} \end{cases} \quad (21)$$

Густина тіста-хліба в залежності від температури, кг/м³:

$$\rho(t) = \begin{cases} -6,875t + 952,5 & \text{при } t = 30 \div 70^\circ\text{C} \\ 470 & \text{при } t > 70^\circ\text{C} \end{cases} \quad (22)$$

Результати обчислювального експерименту (рис.10) прогрівання циліндричної заготовки діаметром 24 мм за температури робочої камери 190 °С.

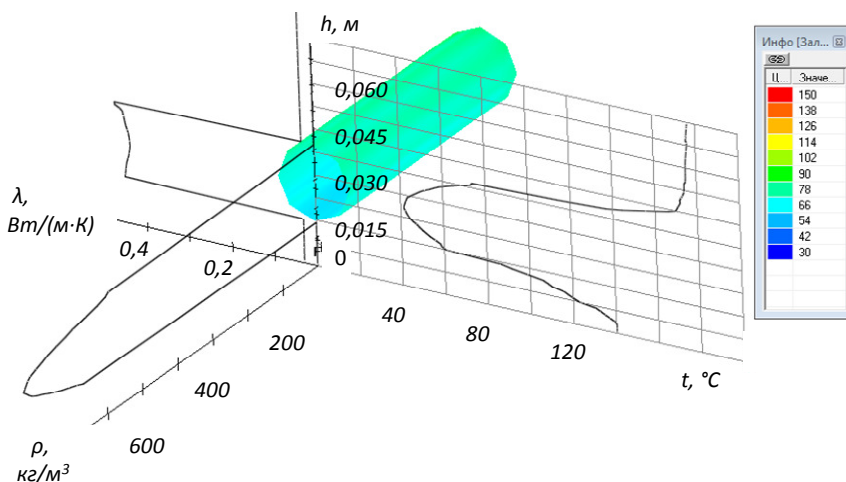


Рис. 10.
Результати обчислювального експерименту прогріву тістової заготовки в моменти часу $\tau=120\text{с}$.

Геометричні розміри робочої камери відповідають габаритним розмірам фізичної моделі.

Порівняння результатів обчислювального експерименту з експериментальними результатами дозволяє зробити висновок про адекватність математичної моделі періоду прогрівання тістової заготовки (рис 11). Розбіжність результатів експериментальних і обчислювальних експериментів не перевищує 5 %.

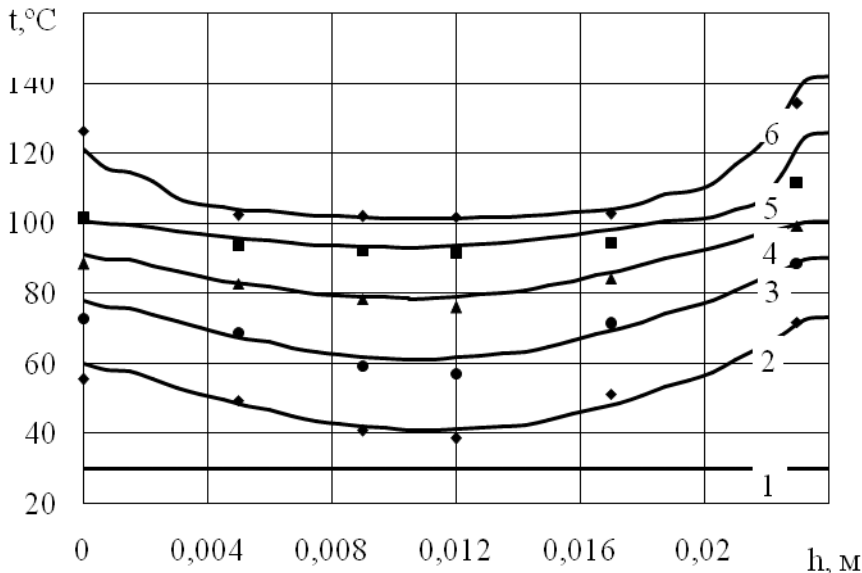


Рис. 11. Зміна температурного поля сухарної плити при прогріванні заготовки циліндричної форми, діаметром 24 мм в лабораторній печі в момент часу, хв.: 1- в початковий момент, 2-2, 3-4, 4-6, 5-8, 6-10.

Результати експериментальних досліджень та розрахунок математичної моделі прогрівання тістової заготовки циліндричної форми з урахуванням динаміки ефективних теплофізичних характеристик дозволяє обґрунтувати раціональні параметри режиму випікання-сушіння сухарних плит.

В четвертому розділі наведено практичне застосування результатів досліджень.

Нами розроблена конструкція бродильно-формуального агрегату (рис.12) для формування сухарних плит, яка дозволяє виконувати всі операції оброблення тіста в одному агрегаті.

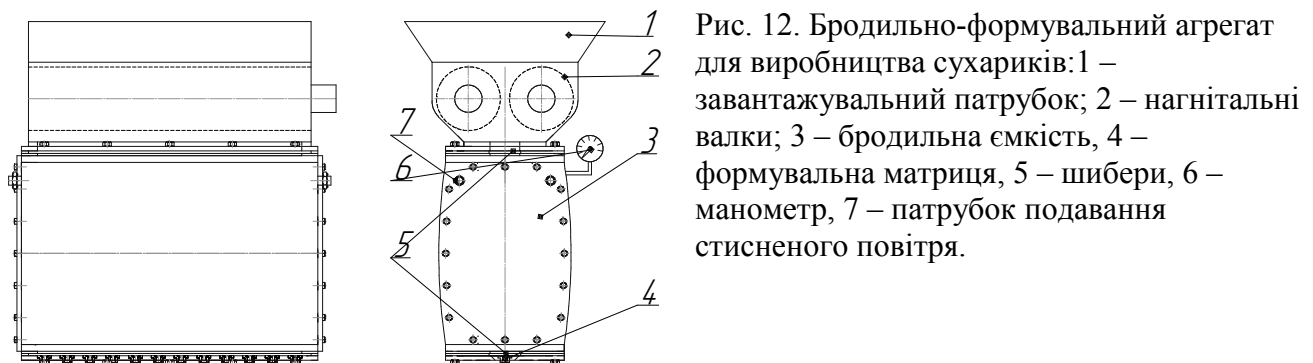


Рис. 12. Бродильно-формувальний агрегат для виробництва сухариків: 1 – завантажувальний патрубок; 2 – нагнітальні валки; 3 – бродильна ємкість, 4 – формувальна матриця, 5 – шибери, 6 – манометр, 7 – патрубок подавання стисненого повітря.

На даний агрегат розроблена конструкторська документація на дослідний зразок. Агрегат виготовлено на ЗАТ «Дослідний завод харчового обладнання»

м.Київ, встановлено для промислових випробувань на Київському хлібокомбінаті №11 в лінію виробництва сухариків.

Аналіз проведених експериментальних досліджень внутрішніх та зовнішніх тепломасообмінних процесів, в залежності від визначального розміру тістових заготовок дозволяє сформулювати практичні рекомендації для визначення температури робочої камери (рис.13).

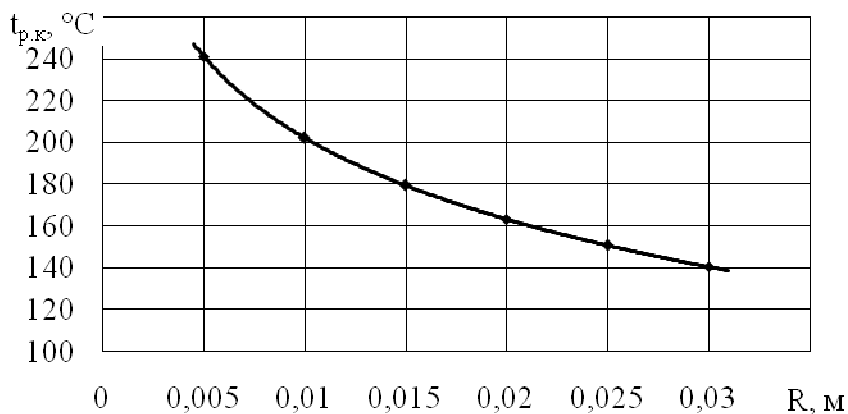


Рис.13.Залежність температури робочої камери від визначального розміру заготовок, при якій забезпечуються органолептичні показники інтенсивності забарвлення скоринки.

Залежність температури робочої камери від визначального розміру має логарифмічний характер:

$$t_{p.к.} = -56 \ln(R) - 55,67 \quad (23)$$

Запропонована машино-апаратурна схема лінії виробництва сухариків (рис.14), в якій оброблення заготовок з дріжджового тіста відбувається екструдуюванням на під печі, в якій організовано процес безперервного випікання та сушіння заготовок до вологості на 4÷5 % більше кінцевої вологості. Після чого відбувається різання сухаря в потоці і його досушування та охолодження в умовах розрідження і пакування готових виробів.

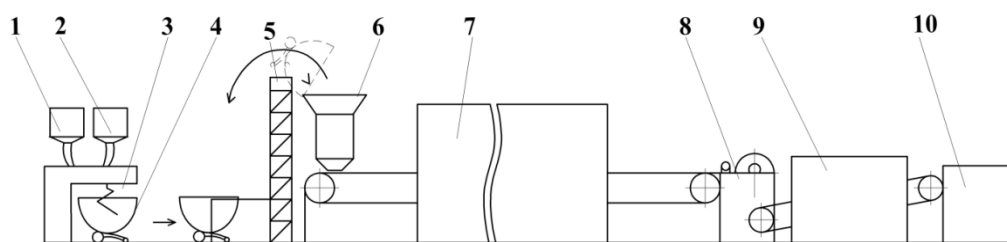


Рис. 14 Машино-апаратурна схема виробництва сухариків:

1 – дозатор борошна; 2 – дозатор рідких компонентів; 3 – тістомісильна машина; 4 – діжа, 5 – діжеперекидач; 6 – бродильно-формульний агрегат (екструдер); 7 – піч-сушарка; 8 – різальна машина; 9 – охолоджувальна камера; 10 – пакувальна машина.

Спосіб виробництва сухариків, формування джгутоподібних виробів та конструкції бродильно-формульного агрегату захищено авторськими свідоцтвами та патентами.

ВИСНОВКИ

Аналіз літературних джерел свідчить, що на сучасному етапі підвищився попит на дрібні сухарні вироби зі смаковими добавками, виробництво яких традиційним способом не є доцільним, тому що пов'язане з великими витратами часу, ручної праці, застосуванням громіздкого обладнання.

Застосування оброблення тістових заготовок в динамічних умовах методом екструдуювання безпосередньо на під печі з безперервним процесом випікання-сушіння сухарних виробів є перспективним і економічно обґрунтованим.

Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень дозволив зробити такі висновки:

1. Встановлено, що безперервний процес випікання-сушіння сухарних виробів складається з двох періодів, які проходять послідовно: перший період - прогрівання заготовок, характеризується збільшенням швидкості вологовіддачі до максимального значення; другий період – сушіння, для якого характерне поступове зниження швидкості вологовіддачі до кінця процесу сушіння. Тривалість періоду сушіння перевищує тривалість періоду випікання в 4-5 разів, в залежності від визначального розміру виробів.

2. Визначено, що максимальна тривалість теплового оброблення заготовок, яка забезпечує виробництво якісних виробів, знижується за експоненційним законом зі збільшенням температури робочої камери.

3. Запропоновано метод розрахунку визначального розміру, який враховує геометричні розміри та форму заготовки для теплових розрахунків процесу випікання-сушіння; розроблено спосіб визначення площі поверхні подового хліба в залежності від геометричних розмірів заготовки; запропонована формула для знаходження визначального розміру та встановлено залежність між інтенсивністю вологовіддачі та визначальним розміром заготовки.

4. Встановлено, що тривалість процесу випікання-сушіння виробів збільшується зі збільшенням визначального розміру за степеневим законом.

5. Визначено, що середня питома інтенсивність вологовіддачі зменшується зі збільшенням визначального розміру та зниженням температури робочої камери.

6. Встановлено, що процеси випікання та сушіння в одній робочій камері доцільно поєднати за значень визначального розміру заготовок $R \leq 0,015$ м; рекомендована температура робочої камери описується залежністю: $t_{p.k}^{pac} = -56 \ln(R) - 55,67$.

7. Обґрунтовано раціональні параметри режиму випікання-сушіння сухарних плит за результатами експериментальних досліджень та проведення обчислювального експерименту за математичною моделлю прогрівання тістової заготовки циліндричної форми з урахуванням динаміки ефективних теплофізичних характеристик.

8. Розроблено новий спосіб виробництва сухарних виробів, який передбачає поєднання процесів випікання та сушіння сухарних плит, сформованих екструдуюванням в одній робочій камері і їх подальше охолодження

в умовах розрідження. Впровадження даного способу дозволяє: на 10% зменшити енерговитрати на тепломасообмінні процеси за рахунок організації в одній робочій камері безперервного процесу випікання-сушіння; знизити енерговитрати на 16% та скоротити тривалість процесу випікання-сушіння на 22...25% при сушінні до заданої вологості за рахунок теплоти, яка акумулювалась виробом під час охолодження в умовах розрідження.

9. Розроблено бродильно-формувальний агрегат безперервної дії для формування з одночасним розрихленням тістових плит на під печі, який забезпечує потоковість та безперервність виробництва (Патент на корисну модель № 37822, Патент на корисну модель № 48701, Патент України на винахід № 91314, Патент на корисну модель № 63879, Патент на корисну модель № 68251).

10. Запропоновано машино-апаратну схему виробництва сухариків, яка дозволяє організувати потокове механізоване виробництво.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Теличкун В.І. Виробництво сухариків екструзією / В.І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, О.О.Губеня, М.Г. Десик // Наукові праці НУХТ. – Київ НУХТ.- 2008. - № 25. Частина 2. – с. 77-78.

2. Теличкун В. И. Поточно-механизованная линия производства сухариков экструзией / В. И. Теличкун, Ю.С. Теличкун, А.А. Губеня, Н.Г.Десик // Хранительна наука, техника и технология 2009, Пловдив, 23-24 октомври 2009: Научни трудове, Том LVI, Свितък 2. с. 295 – 300.

3. Десик М.Г. Шляхи економії енергоресурсів при виробництві сухарних виробів / М.Г. Десик, В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун, І.В. Житнецкий // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2011. -№11-12. –с.13-15.

4. Десик М.Г. Дослідження впливу геометричних параметрів хліба на тепломасообмінні процеси / М.Г. Десик, В.І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, А.І. Германчук // Харчова промисловість. - 2012. - №12. - с. 203-207.

5. Yu. Telichkun. Perspective direction of complex improvement of rusk wares/ Yu. Telichkun, V. Telichkun, M. Desik, O. Kravchenko, A. Marchenko, A. Birca, S. Stefanov // Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies, №2, 2013, p. 67-71.

6. Десик М.Г. Процес високотемпературного сушіння сухарних виробів та охолодження в умовах розрідження / / М.Г. Десик // Наукові праці НУХТ. – Київ НУХТ.- 2013. - № 53. – С. 71-75.

7. Германчук А.И. Исследование тепло-массообменных процессов в камере гигротермической обработки тестовых заготовок/ А.И. Германчук, В.И. Теличкун, Ю.С. Теличкун, Н.Г.Десик // Научни трудове на русенски университет “Ангел Кънчев” - 2012, том 51, серия 9.2 Биотехнологии и хранителни технологии: г.Разград. с 44-48.

8. Н. Десик. Охлаждение сухарных изделий в условиях разрежения / Н. Десик, А. Щербина, Ю. Теличкун, В. Теличкун// Научни трудове на русенски университет “Ангел Кънчев” - 2013, том 52, серия 10.2 Биотехнологии и хранителни технологии: г.Разград. с. 139-142.

9. Патент України на винахід №91314, МПК А 21С1/08, А21С/13/00; Бродильно-формувальний агрегат / В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун, М.Г.Десик,, О.В. Василенко; заявник НУХТ. - № а200911210; Заявлено 04.11.2009; Опубліковано 12.07.2010, бюл. №13.

10. Патент на корисну модель №37822 Україна, МПК А 21С11/08, А21С/13/00; Бродильно-формувальний агрегат / В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун, М.Г.Десик, С.В.Цибуля; заявник НУХТ. – №u200808749; Заявлено 02.07.2008; Опубліковано 10.12.2008, бюл. №23.

11. Патент на корисну модель №48701 Україна, МПК А 21С11/08, А21С/13/00; Бродильно-формувальний агрегат/ В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун, М.Г.Десик, О.В. Василенко; заявник НУХТ. – № u200911209; Заявлено 04.11.2009; Опубліковано 25.03.2010, бюл. №6.

12. Патент на корисну модель №63879 Україна, МПК А 21С11/08, А21С/13/00; Бродильно-формувальний агрегат для тороподібних тістових заготовок/ В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун, М.Г.Десик, О.І. Кравченко; заявник НУХТ. - № u201103101; Заявлено 16.03.2011; Опубліковано 25.10.2011, бюл. №20.

13. Патент на корисну модель №68251 Україна, МПК А 21С1/08, А21С/13/00; Змішувально-бродильно-формувальний агрегат/ В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун, М.Г.Десик, О.І. Кравченко; заявник НУХТ. - № u201108495; Заявлено 06.07.2011; Опубліковано 26.03.2012, бюл. №6.

14. Патент на корисну модель №76221 Україна, МПК А 21С1/08, А21С/13/00; Змішувально-бродильно-формувальний агрегат/ В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун, О.І. Кравченко, М.Г.Десик; заявник НУХТ. - № u201207590; Заявлено 20.06.2012; Опубліковано 25.12.2012, бюл. №24.

15. Теличкун В.І. Лінія виробництва сухариків з використанням бродильно-формувального агрегату/ В.І. Теличкун, М.Г.Десик, Ю.С. Теличкун // Міжнародна науково-практична конференція "Інноваційні енерго- і ресурсозберігаючі технології та обладнання в хлібопекарській, кондитерській, макаронній, харчоконцентратній і зернопереробній галузях харчової промисловості": Тези доповідей. – К.: НУХТ, 2008. – С.

16. Десик М.Г. Дослідження процесу випікання-сушіння сухарної шпали / М.Г. Десик, А.М. Максимчук, В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун // Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: програма і матеріали 73 – наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, 23-24 квітня 2007 року. – К.: НУХТ, 2007. –Ч. II. –С. 41.

17. Десик М.Г. Агрегат для формування сухарних виробів екструзією/ М.Г. Десик, О. Хвостенко, В.І. Теличкун // Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: програма і матеріали 74-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 21-22 квітня 2008 р. – К.:НУХТ, 2008 – С.234

18. Десик М.Г. Новий спосіб виробництва сухариків/ В.І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, М.Г. Десик// Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання організація і економіка: тези доповідей міжнар. наук.-техн. конф. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. С.60-62.

19. Десик М.Г. Вплив геометричних параметрів хліба на динаміку зовнішнього масообміну/ В.І. Теличкун,Ю.С. Теличкун, М.Г.Десик// 75-а наукова конференція

молодих учених, аспірантів і студентів, 12-13 квітня 2009 р: тези доповідей. - Ч.2. - Київ, НУХТ. - 2009. - С. 115.

20. Губеня А.А. Усовершенствование нарезания свежего хлеба/А.А.Губеня, В.И. Теличкун, М.Г.Десик // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VII Междунар. науч.-техн. конф., 21-22 мая 2009 г. – Могилёв: УО МГУП, 2009. - С.103.

21. Десик М.Г. Інтенсифікація процесів випікання та сушіння / В.І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, М.Г.Десик// 76-а наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, 12-13 квітня 2010 р: тези доповідей. - Ч.2. - Київ, НУХТ. - 2010. - С. 117.

22. Десик М.Г. Удосконалення процесів випікання та сушіння сухарних виробів/ В.І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, М.Г.Десик// Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи: Тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф., 27-28 вересня 2010 р. – Частина 1. – К.: НУХТ, 2010. С. 68.

23. Десик Н.Г. Интенсификация процесса производства сухарных изделий/ В.И. Теличкун., Ю.С. Теличкун, Н.Г.Десик// Техника и технология пищевых производств: тез. Докл. VII Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов, 22-23 апреля 2010 г., Могилёв. УО «Могилёвский государственный университет продовольствия», 2010. – С. 86 – 87.

24. Теличкун В.И. Создание комплексно- механизированной линии производства сухариков/ В.И. Теличкун, В.М. Таран, Ю.С. Теличкун, Н.Г.Десик А.А. Губеня // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновации в интеграционных процессах образования, науки, производства» г.Мелеуз, 25-26 марта 2010г. Часть I, Уфа: Вагант, 2010.- С. 270-275.

25. Теличкун В.И. Продолжительность процесса выпечки-сушки изделий цилиндрической формы из дрожжевого теста/ Теличкун В.И., Теличкун Ю.С., Десик Н.Г.// Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: доклады Международной научно-практической конференции: Минск, 14–15 апреля 2011 г. – В 2 ч. Ч. 2. – Минск: БГАТУ, 2011. –С. 105-107.

26. Десик М.Г. Дослідження зовнішнього та внутрішнього тепломасообміну при суміщених процесах випікання та сушіння виробів з дріжджового тіста / В.І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, М.Г.Десик// Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: програма і матеріали 77-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 11-12 квітня 2011 р. – К.: НУХТ, 2011 – С. 17-18.

27. Десик М.Г. Комплексне вирішення виробництва сухарних виробів / В.І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, М.Г.Десик, О.І. Кравченко// Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: програма і матеріали 77-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 11-12 квітня 2011 р. – К.: НУХТ, 2011 – С. 18-19.

28. Михалевич І.А. Аналіз витрат енергоресурсів при випіканні хлібобулочних виробів/ І. А. Михалевич, А.В. Телішко, М.Г.Десик, В.І. Теличкун// Науково-технічна творчість студентів з процесів і обладнання харчових виробництв: зб. тез. міжнар. студ. наук. практ. конф. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2011. – С. 34-35.

Особистий внесок у роботах (1, 2, 6, 8, 15, 17, 18, 20, 24): аналіз способів виробництва сухарних виробів, обґрунтування нового способу виробництва, підготовка матеріалів до публікації.

Особистий внесок у роботах (4, 5, 7, 16, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 27): постановка задачі, розробка методики досліджень та їх проведення, опрацювання та узагальнення експериментальних даних, підготовка матеріалів до публікації.

Особистий внесок у роботах (9-14): розробка конструкції обладнання, підготовка матеріалів заявок.

Особистий внесок у роботах (3, 28): аналіз витрат енергоресурсів при виробництві сухарних виробів та шляхів їх зниження, підготовка матеріалів до публікації.

АНОТАЦІЯ

Десик Микола Григорович. Удосконалення процесів випікання та сушіння сухариків, сформованих екструдуюванням: - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2013.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню процесів випікання та сушіння сухариків, сформованих екструдуюванням, обґрунтуванню способу виробництва та його раціональних параметрів. В роботі представлені результати теоретичних та експериментальних досліджень закономірностей інтенсивності тепломасообмінних процесів в залежності від режимних параметрів та геометричних розмірів заготовок.

За результатами експериментальних досліджень та проведеного обчислювального експерименту за математичною моделлю прогрівання тістової заготовки циліндричної форми з урахуванням динаміки ефективних теплофізичних характеристик встановлено межі геометричних розмірів заготовок і режимних параметрів робочої камери, за яких доцільно поєднати процеси випікання та сушіння в одній робочій камері та обґрунтовано раціональні параметри режиму випікання-сушіння сухарних плит.

Запропоновано спосіб виробництва сухариків, в якому оброблення тіста відбувається екструдуюванням розрихлених тістових заготовок на під печі; випікання та сушіння здійснюється в одній робочій камері; висушені безперервні джгути нарізаються на скибочки, які досушують та охолоджують в умовах розрідження. Для забезпечення запропонованого способу виробництва розроблена конструкція бродильно-формуального агрегату для виробництва сухарних виробів, надано практичні рекомендації режимних параметрів тунельної печі з радіаційно-конвективним обігрівом, запропонована ефективна машино-апаратна схема виробництва сухариків.

Ключові слова: випікання, сушіння, сухарики, теплообмін, масообмін, кінетика, геометричні розміри, визначальний розмір, охолодження в умовах розрідження.

АННОТАЦИЯ

Десик Николай Григорьевич. Совершенствование процессов выпечки и сушки сухариков, сформованных экструдированием: - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 - Процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. Национальный университет пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Киев, 2013.

Диссертация посвящена усовершенствованию процессов выпечки и сушки сухариков, сформированных экструдированием, обоснованию способа производства и его рациональных параметров. В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований закономерностей интенсивности тепломассообменных процессов в зависимости от режимных параметров и геометрических размеров заготовок.

В результате исследований установлены основные закономерности прохождения совмещенных процессов выпечки и сушки в одной пекарной камере, зависимость между продолжительностью сушки и температурой рабочей камеры, определена максимальная продолжительность процесса сушки, при которой обеспечивается определённая окраска поверхности корочки в зависимости от температуры рабочей камеры. Определено влияние геометрических размеров заготовок на внешние и внутренние тепломассообменные процессы, построены кривые средней интенсивности влагоотдачи и продолжительности процесса от определяющего размера. Предложен метод расчета определяющего размера, который учитывает геометрические размеры и форму заготовки для тепловых расчетов процесса выпечки-сушки, разработан способ определения площади поверхности круглого подового хлеба в зависимости от геометрических размеров заготовки, предложена формула для расчета определяющего размера и установлена зависимость между интенсивностью влагоотдачи и определяющим размером заготовки. Установлены границы геометрических размеров заготовки и режимных параметров рабочей камеры, при которых целесообразно совмещать процессы выпечки и сушки в одной рабочей камере.

Обоснованно рациональные параметры режима выпечки-сушки сухарных плит по результатам экспериментальных исследований и проведения вычислительного эксперимента по математической модели прогрева тестовой заготовки цилиндрической формы с учетом динамики эффективных теплофизических характеристик.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований, сравнительного анализа расхода теплоты нами предложен способ производства сухариков, в котором разделка теста происходит экструдированием разрыхленных тестовых заготовок на под печи; выпечка и сушка осуществляется в одной рабочей камере; высушенные непрерывные жгуты нарезаются на ломтики, которые досушивают и охлаждают в условиях разрежения, после чего изделия упаковывают. Для обеспечения предлагаемого способа производства разработана конструкция бродильно-формующего агрегата для производства сухарных изделий, даны практические рекомендации режимных параметров тоннельной печи с радиационно-конвективным обогревом, предложенная эффективная машино-аппаратурная схема производства сухариков.

Ключевые слова: выпечка, сушка, сухарики, теплообмен, массообмен, кинетика, геометрические размеры, определяющий размер, охлаждение в условиях разрезания.

ANNOTATION

Desyk Mykola Improvement of the processes of baking and drying of rusks, formed by extruding: - Manuscript

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.18.12 - Processes and equipment of food , microbiological and pharmaceutical productions. – National University of Food Technology, Department of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2013.

Dissertation work is devoted to improvement of the processes of baking and drying of rusks, formed by extruding through the development process, grounding method and its rational modes. This paper presents the results of theoretical and experimental studies of patterns mass transfer intensity depending on the operating conditions and geometrical dimensions of workpieces.

Established limits appropriate mix the baking rusks and dry plates, to the value of oven productivity, operational parameters of the working chamber and the geometric dimensions of the workpiece.

Developed the mathematical model of the process of heating the dough pieces with the thermal properties of materials and their changes during the process.

On the basis of theoretical and experimental studies, comparative analysis of the flow of heat we have proposed a method of producing rusks in which the dough is extruded processing of loose pieces of dough on the hearth; pastries and drying is carried out in one working chamber, the dried continuous strands are cut into slices which are cooled and evaporated to dryness under vacuum. To ensure that the proposed method of production of design Fermentation - forming unit for the production of rusks, practical recommendations of operating parameters of tunnel oven with radiation - convection heating, proposed an efficient machine – instrumental production scheme rusks.

Keywords: baking, drying, croutons, heat transfer, mass transfer, kinetics, geometric dimensions, defining the size, cooling under vacuum.