

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ТЕХНОЛОГІЙ
ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ХАРЧУВАННЯ

На правах рукопису

ПОПЕРЕЧНИЙ ІГОР АНАТОЛІЙОВИЧ

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ОБСЛАДЖУВАННЯ ЗЕРНИСТОЇ
ХАРЧОВОЇ Сировини

Спеціальність 05.18.12 - процеси, машини та агрегати
харчової промисловості

Аннотує
дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

Харків 1994

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00756123 (O)

№ 31.457

№ 00756123

ЛННБ України ім. В. Стефаника

Київ, вул. М. Коцюбинського, 15/1

Київ, вул. М. Коцюбинського, 15/1

ЛННБ України ім. В. Стефаника

ЛННБ України ім. В. Стефаника

Київ, вул. М. Коцюбинського, 15/1

ЛННБ України ім. В. Стефаника

Київ, вул. М. Коцюбинського, 15/1

ЛННБ України

Київ, вул. М. Коцюбинського, 15/1

ЛННБ України ім. В. Стефаника

ЛННБ України

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ТЕХНОЛОГІЙ
ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ХАРЧУВАННЯ

На правах рукопису

ПОНІРЄВИЙ ІГОР АНАТОЛІЙОВИЧ

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ОБЛАРОВАННЯ ЗЕРНІСТОЇ
ХАРЧОВОЇ СЕРОВИНИ

Спеціальність 05.18.12 - процеси, машини та агрегати
харчової промисловості

Автореферат
дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

Київ: 1994

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв Харківської Державної Академії технології та організації харчування.

Науковий керівник: член-кореспондент ВАСГНІЛ, доктор технічних наук, професор БЕЛЯСЯ Михайло Іванович, кандидат технічних наук, доцент, академік Української Академії наук національного прогресу ЧЕРЕВКО Олександр Іванович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор ГРИШИН Михайло Олександрович
доктор технічних наук, професор ПАХОМОВ Павло Леонідович

Провідна організація: Полтавський кооперативний інститут

Захист відбудеться "22" грудня 1994 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.131.07.01 в Харківській Державній Академії технології та організації харчування за адресою: 310051, м.Харків, вул.Клочківська, 333

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківської Державної Академії технології та організації харчування за адресою: 310051, м.Харків, вул.Клочківська, 333

Автореферат розісланий "22" листопада 1994 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д.131.07.01,
кандидат технічних наук, доцент

О.І. Червко
О.І. Червко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. В сучасних умовах з метою не допустити скорочення випуску продуктів харчування перед підприємствами України поставлене завдання зробити свою продукцію конкурентноспроможною та доступною для споживача.

У зв'язку з цим виникає проблема економії та оптимальної заміни значно коштуючої імпоротної сировини на недефіцитну дешеву місцеву з розробкою принципово нових прогресивних технологій. Це стосується таких видів зернистої харчової сировини як какао-боби, соя, кава, деякі види горіхів.

Серед різноманітних процесів переробки зернистої харчової сировини на підприємствах кондитерської, хлібопекарної, харчоконцентратної промисловості та масового харчування треба виділити як головні процеси обжарювання. Зараз на підприємствах харчової промисловості процеси обжарювання здійснюються в головному на імпортному обладнанні, яке не відповідає в повному обсязі вимогам виробництва з техніко-економічних показників та якості продукції.

Аналіз процесів з використанням інфрачервоного (ІЧ) енергопідводу до віброкиплячого шару зернистої харчової сировини показав перспективність та значну перевагу цього способу термічної обробки: значно скорочується час обробки, підвищується якість обжареного продукту, зникає трудомісткість та енергоємність процесу.

Таким чином, недосконалість існуючих апаратів для термічної обробки зернистої харчової сировини з одного боку, відсутність необхідних даних для проектування обжарювальних апаратів з ІЧ-енергопідводом до віброкиплячого шару зернистої харчової сировини, з другого, передвизначили тему дисерт

тації "Інтенсифікація процесів обжарювання зернистої харчової сировини".

Мета і завдання досліджень. На основі аналізу процесів та апаратів для обжарювання зернистої харчової сировини, а також способів його здійснення, сформульована основна мета досліджень. Вона полягає в теоретичному та експериментальному вивченні процесів обжарювання зернистої харчової сировини у віброкиплячому шарі ІЧ-випромінюванням і сушки в псевдосвідженому шарі гарячим повітрям, у розробці на цій основі вискоєфективних обжарювальних та сушильних апаратів.

Для досягнення основної мети необхідно розв'язати ряд взаємопов'язаних між собою завдань:

- визначити основні параметри процесів сушки і обжарювання, теоретичні розрахункові співвідношення, на основі котрих можливо було б проводити інженерні оцінки та вибирати оптимальні режими проведення процесів;

- дослідити характерні особливості та гідродинамічні характеристики псевдосвідженого шару топінambuру;

- вивчити кінетику сушки топінambuру і розробити раціональні режими сушки топінambuру в псевдосвідженому шарі;

- вивчити кінетику обжарювання топінambuру, кави та гороху у віброкиплячому шарі ІЧ-нагрівом та розробити раціональні режими обжарювання для кожного з цих продуктів;

- розробити технології виробництва нових виробів з обжареної сировини;

- на базі одержаних даних розробити конструкції нових вискоєфективних апаратів для обжарювання та сушки зернистої харчової сировини;

- впровадити результати досліджень в практику.

Наукова новизна роботи полягає в вивченні комплексу питань і визначенні характерних особливостей процесів сушки топінамбуру в псевдоарідженому шарі і обжарювання кави, гороху і топінамбуру у віброкиплячому шарі ІЧ-випромінюванням. В результаті експериментальних досліджень сушки топінамбуру встановлені критеріальні та емпіричні залежності для розрахунку гідродинамічних параметрів процесу з врахуванням стану шара, визначено вплив окремих факторів на кінетику тепло- та масообміну. Проведені дослідження обжарювання кави, гороху і топінамбуру з точки зору тепло-масоперенесення також дали можливість визначити основні закономірності процесу і одержати узагальнені емпіричні рівняння з кінетики обжарювання для кожного виду продукту. Із цих залежностей можливо оцінювати як відбувається процес за умови будь-яких амін режимів термічної обробки.

Технічна новизна підтверджена позитивним рішенням НДІДПЕ на видання патенту за заявкою №5028515/13/082812 "Устройство для термічної обробки зернистих харчових продуктів".

Практична цінність роботи полягає у розробці інтенсивних способів термічної обробки зернистих матеріалів, визначенні раціональних режимів процесу для кожного виду сировини, розрахунку і створенні дослідно-промислового зразку апарата для обжарювання зернистих харчових продуктів ІЧ-випромінюванням, розробці конструкторської документації обладнання для сушки та обжарювання топінамбуру, створенні технологій виробництва і рецептур жирових глазурей "Рижик" і "Травнева", нерозчинного кавового напою "Молодість" з використанням нетрадиційної обжареної зернистої сировини.

Апробація роботи. Результати роботи обговорювалися і

одержали схвалення на:

- Всесоюзній науковій конференції "Оtrasлева наука в забезпеченні перебудови громадського харчування" /Москва, 1988р./;

- Всесоюзній науковій конференції "Проблеми індустріалізації громадського харчування країни" /Харків, 1989р./;

- Всесоюзній науковій конференції "Проблеми впливу теплової обробки на харчову цінність продуктів харчування" /Харків, 1990р./;

- Всесоюзній науковій конференції "Механіка сипучих матеріалів" /Одеса, 1991р./;

- Міжнародній конференції "Перспективи розвитку масового харчування і торгівлі в умовах переходу до ринкової економіки" /Харків, 1994р./;

- наукових конференціях професорсько-викладацького складу Харківської Державної Академії технології та організації харчування /1989...1994р.р./.

Публікації. Результати роботи знайшли відображення у 8 публікаціях, у тому числі позитивне рішення НДІДПЕ про видачу патенту на винахід.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків. Робота викладена на 220 сторінках машинописного тексту, містить 20 таблиць, 29 малюнків. Список літератури включає 207 джерел.

На захист вносяться:

- теоретичне обґрунтування процесу обмарювання зернистої харчової сировини в віброкиплячому шарі ІЧ-випромінюванням;

- розрахункові залежності для визначення основних гідродинамічних параметрів процесу сушки топінамбуру в псевдоорідженому шарі з врахуванням стану шара, результати досліджень впливу окремих технологічних факторів на кінетику сушки;

- кінетика обжарювання зерен кави, гороху, частинки топінамбуру для кожного з цих продуктів;

- апарати для термічної обробки зернистих харчових продуктів;

- технології виробництва нових виробів із обжареної зернистої харчової сировини.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступній частині з'ясовується актуальність теми дисертаційної роботи, її наукова та практична цінність.

В першому розділі визначені сучасні тенденції у виробництві і використанні обжарених зернистих продуктів. Розкрито технологічна і фізико-хімічна суть термічної обробки кави, гороху та топінамбуру. Наведено аналіз апаратів, які зараз використовуються для термічної обробки зернистої сировини. Недоліки сучасних апаратів викликають необхідність проведення досліджень, спрямованих на удосконалення конструкцій та інтенсифікацій тепло-масообмінних процесів, що відбуваються під час обжарювання. На основі розгляду прогресивних способів і методів теплової обробки визначені шляхи інтенсифікації процесу за рахунок використання інфрачервоного (ІЧ) енергопідводу до віброкиплячого шару зернистої харчової сировини. Сформульовані основна мета і часткові завдання досліджень, що логічно випливають з матеріалів, викладених у першому розділі.

В другому розділі подані теоретичні передумови розробки прийнятого способу обжарювання зернистої харчової сировини - у віброкшиплячому шарі ІЧ-випромінюванням.

При теоретичному розгляданні процесу обжарювання був застосований наступний підхід: динаміка зміни температури та вологості визначалась для окремих зерен, а при встановленні граничних умов (визначенні густини теплового потоку і коефіцієнта тепловіддачі) виходили з уявлення про шар зерен як о "тілі", що поглинає та віддає теплоту як єдине ціле.

При складанні рівнянь, описуючих динаміку нагріву і виділення вологи зерен в розглядуваному процесі виходили з того, що кількість теплоти P , яка виділяється в окремому зерні за час $d\tau$, витрачається на нагрівання зерна на температуру dt , випаровування з нього деякої кількості вологи dm_g та тепловіддачу в оточуване середовище з температурою t_c :

$$P d\tau = c m dt + r dm_g + \alpha \cdot S_z (t - t_c) \cdot d\tau \quad (1)$$

Керуючись вищевизначаним методичним підходом здобуто рівняння, у яке входять всі основні параметри процесу:

$$\frac{q \epsilon}{h_p} = c \frac{dt}{d\tau} + r \frac{dW}{d\tau} + \frac{\alpha_c}{h_p} (t - t_c) \quad (2)$$

де q - густина потоку ІЧ-випромінювання, Вт/м²; ϵ - ступінь чорноти тіла; h - товщина шару зерен, м; ρ - густина зерна, кг/м³; c - теплоємність, Дж/(кг·К); α_c - коефіцієнт тепловіддачі від шару в цілому, Вт/(м²·К).

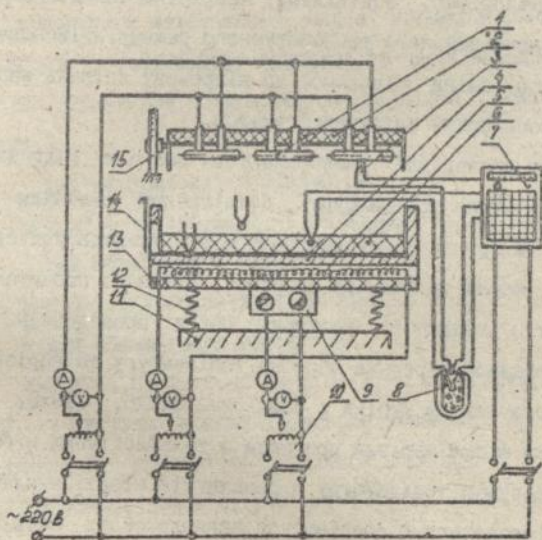
Усі значення величин залежності (2) можливо визначити експериментальним шляхом без принципових ускладнень. Розглянуті конкретні приклади ілюстрації здобутих формул.

В третьому розділі охарактеризовані об'єкти досліджень - кава, горох і топінамбур з їх фізико-хімічними та теплофі-

зичними показниками, викладені методики досліджень процесів обжарювання зернистої харчової сировини і сушки топінамбуру, розглянуто експериментальні установки, наведені результати математичного планування усіх експериментальних досліджень, дано аналіз похибок дослідних даних та вимірних величин.

В обжарених зернах кави, гороху і топінамбуру визначали вологість, масову долю екстрактивних речовин, насипну та фізичну густину, порозність. Органолептична оцінка проводилась за модифікованою методикою Тільгнера, для чого спеціально були розроблені шкали органолептичних показників.

Дослідження процесу обжарювання зернистої харчової сировини проведено на експериментальній установці, принципова схема якої наведена на мал.1.



Мал.1. Принципова схема експериментальної установки для дослідження процесів обжарювання зернистої харчової сировини: 1-ТЕН; 2-відбивач; 3-термопара; 4-сковорода; 5-спіраль; 6-продукт; 7-потенціометр; 8-посудина дьварівська; 9-вібратор; 10-автотрансформатор; 11-рама; 12-пружина; 13-термоізоляція; 14-заслінка; 15-стілка.

Величину опромінювання продукту можна було змінювати завдяки переміщенню та фіксації на визначеній відстані вузла 14-випромінювачів відносно поверхні сковороди. Для вимірювання температур продукту при обжарюванні гарячі спайні хромель-копелевих термопар закріплювали в аернах кави, гороху, кубіках топінамбуру в відносних координатах x/R , що дорівнювали: 1, 1/2, 0.

У зв'язку з тим, що технологія сушки топінамбуру в реальних виробничих умовах не реалізується, то науковий і практичний інтерес має проведення досліджень сушки топінамбуру в псевдосвідженому шарі гарячим повітрям на спеціально створеній експериментальній установці. Установа складається з таких основних вузлів: циліндрична вертикальна камера з скла, калоріфер, вентилятор, повітрянорозподільна решітка. Підтримання заданого температурного режиму здійснювалося за допомогою зміни подаваної на ніхромову спіраль напруги через лабораторний автотрансформатор.

При проведенні експериментів вивчали гідродинаміку і кінетику сушки топінамбуру. Дослідження охопили діапазон впливу на процес наступних факторів: температури сушильного агента, форми та розміру частинок, питомого навантаження матеріалу, швидкості повітря. Перед проведенням дослідів здійснювалась первинна обробка топінамбуру та нарізка очищеного продукту на кубіки з розмірами 6x6x6, 8x8x8, 10x10x10 мм. Така форма нарізки прийнята з технологічних міркувань. В процесі сушки топінамбуру в розвинутій стадії киплячого шару кубіки безперервно обертаються навколо своїх осей, завдяки чому відбувається зрив пограничного шару випаровуваної вологи, і процес інтенсифікується.

З метою виявлення кількісної залежності між окремими фізичними і технологічними факторами розглядаємих процесів сушки та обжарювання здійснено математичне планування за допомогою повного факторного експерименту типу $N = 2^3$. Параметром оптимізації Y усюди прийнята вологість продукту.

В експериментах з сушки топінамбуру в псевдовідріженому шарі варіювались три фактори: X_1 - температура сушильного агенту; X_2 - розмір частинок; X_3 - тривалість процесу. Здобуте рівняння регресії має вигляд :

$$Y = 22,11 - 9,74 \cdot X_1 + 3,81 \cdot X_2 - 10,81 \cdot X_3 + 2,34 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,46 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (3)$$

Аналіз залежності (3) дає змогу відзначити, що на зменшення вологості в процесі сушки додатно і найзначніше впливають збільшення температури сушильного агенту та тривалості процесу, в меншій мірі - зменшення розмірів нарізки.

Розрахунки математичної моделі процесів обжарювання кави, гороху і топінамбуру виконані на персональному комп'ютері IBM PC/AT-386 по розробленій програмі і мають наступний вигляд:

- для обжарювання топінамбуру

$$Y = 3,07 - 1,1 \cdot X_1 + 0,58 \cdot X_2 - 1,85 \cdot X_3 + 0,52 \cdot X_1 \cdot X_3 \quad (4)$$

- для обжарювання кави

$$Y = 2,9 - 1,1 \cdot X_1 + 0,49 \cdot X_2 - 1,51 \cdot X_3 + 0,47 \cdot X_1 \cdot X_3 \quad (5)$$

- для обжарювання гороху

$$Y = 3,17 - 1,29 \cdot X_1 + 0,82 \cdot X_2 - 1,07 \cdot X_3 - 0,23 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,37 \cdot X_1 \cdot X_3 \quad (6)$$

де X_1 - густина потоку ІЧ-випромінювання; X_2 - висота шару продукту; X_3 - тривалість термічної обробки.

На основі аналізу рівнянь (4)-(6) можна зробити висновок, що на зменшення вологості в процесі обжарювання позитивно і найзначніше впливають збільшення густини потоку

ІЧ-випромінювання та тривалості процесу, в меншій мірі - висота шару матеріалу.

Четвертий розділ присвячено обробці результатів експериментальних досліджень процесів обжарювання зернистої харчової сировини. Попередні експерименти по обжарюванню топінамбуру показали, що найбільш раціональні технології з його термічної обробки повинні включати два етапи: сушку до вологості 9...14% і обжарювання до вологості 2,5...3,5%. Тому в цьому розділі наведені також результати досліджень гідродинамічних та тепло-масообмінних характеристик топінамбуру в процесі сушки в псевдозрідженому шарі. Топінамбур має значну початкову вологість (до 81%), наявність поверхневої вологи є основною причиною зціплення частинок між собою і гідродинамічні характеристики шару продукту залежать від його вологості. На мал.2 представлені криві псевдозрідження прямого та зворотнього ходу для кубиків топінамбуру з розміром грані 6 мм.

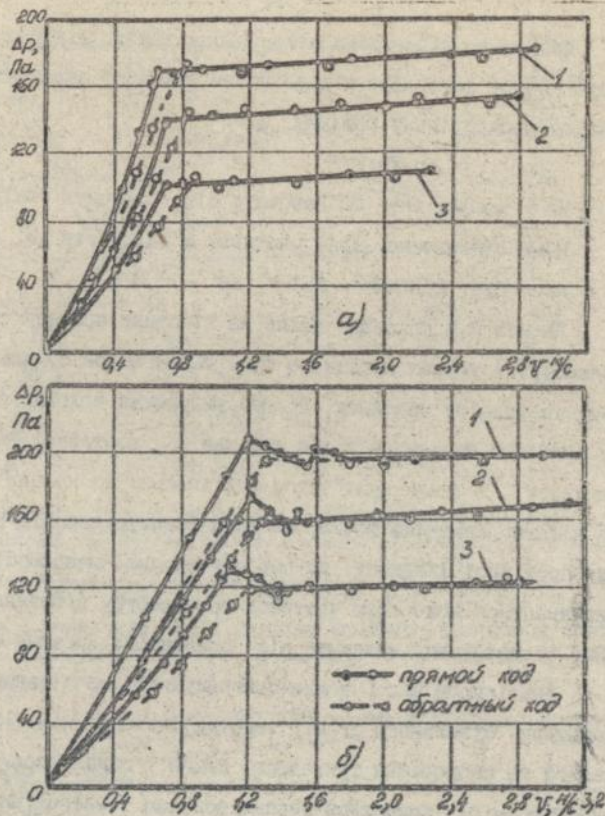
В результаті досліджень встановлено:

- швидкість початку псевдозрідження при вологості 10% і 78% відповідно складає 0,85...0,9 м/с і 1,3...1,4 м/с;

- швидкість початку псевдозрідження майже не залежить від величини питомого навантаження на газорозподільну решітку;

- при значенні вологості продукту більше 60% особливо проявляється властивість агрегування частинок між собою, прилипання до решітки і стінок камери, при цьому переведення їх в псевдозріджений стан без додаткових зворушень (вібрації, ударів) стає неможливим.

Результати експериментальних досліджень гідродинаміки



Мал.2. Криві псевдоорідження шару кубиків топінамбуру
 а) вологості $W=10\%$; б) вологості $W=78\%$;
 при питомому навантаженні: 1-25 $\text{кг}/\text{м}^2$; 2-20 $\text{кг}/\text{м}^2$; 3-15 $\text{кг}/\text{м}^2$.

процесу псевдоорідження частинок топінамбуру оброблені у вигляді критеріальної залежності $Re = f(Fe)$, де Re - критерій Рейнольдса; Fe - критерій Федорова.

При переході шару з нерухомого в киплячий стан :

$$Re = 3,73 Fe - 380 \quad (7)$$

Для розвинутої стадії киплячого шару :

$$Re = 6 Fe - 540 \quad (8)$$

Нашими дослідженнями встановлена також лінійна залежність опору шара Δp від величини питомого навантаження на повітрянорозподільну решітку G/F :

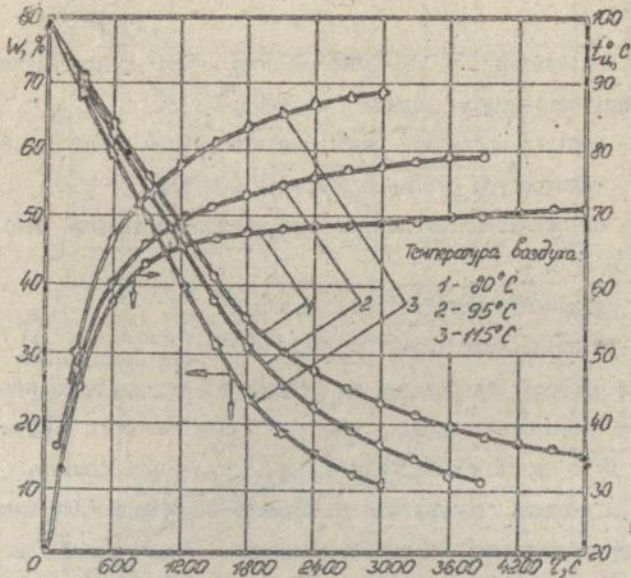
$$\Delta p = K_w \cdot G/F \quad (9)$$

де K_w - коефіцієнт, що залежить від вологості топінамбуру. Нами визначено для частинок з вологістю $W = 10\%$ - $K_w = 6,8$; при $W = 78\%$ - $K_w = 8,0$.

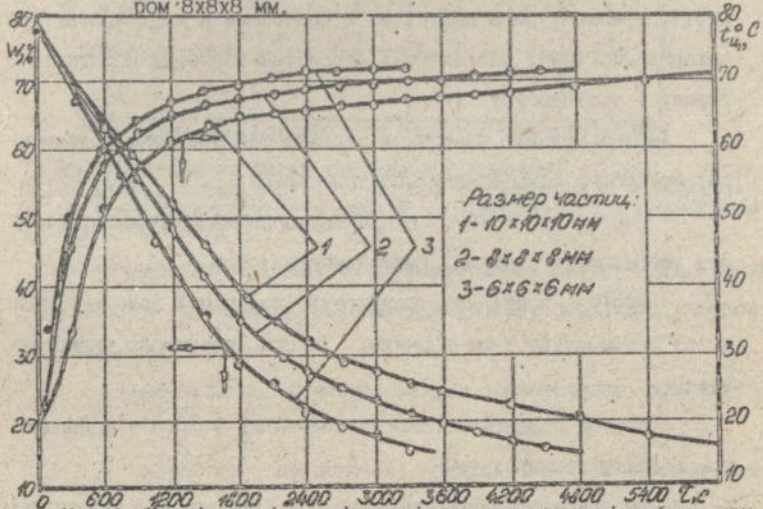
На мал.3,4 показано вплив на кінетику процесу сушки топінамбуру в умовах киплячого шару температури сушильного агенту та розміру частинок. Процес вилучення вологи із продукту протікає практично в два періоди - постійної та спадної швидкості, ділянки яких чітко виділяються на кривих вилучення вологи. Критична точка, що характеризує перехід від періоду постійної швидкості до періоду спадної швидкості сушки, визначається вологістю частинок топінамбуру в границях 30...40%, її положення залежить від прийнятого режиму сушки.

Аналізуючи мал.3 можна стверджувати, що підвищення температури сушильного агенту веде до інтенсифікації вилучення вологи та скорочення тривалості сушки, однак при цьому в більшій мірі лишається нереалізованим температурний напір. Треба тут також відзначити, що для термічно чутливих продуктів, до яких треба віднести і топінамбур, температура теплоносія обмежується 100°C .

Розмір частинок також суттєво впливає на тривалість сушки (мал.4). Це можна пояснити тим, що із зменшенням розміру частинок підвищується поверхня контакту висушуемого матеріалу з сушильним агентом. При цьому збільшується і коефіцієнт вологообміну, який обернено пропорційний величині еквівалентного діаметру частинок.



Мал.3. Криві сушіння і нагріву частинок топінамбуру розміром 8x8x8 мм.



Мал.4. Криві сушіння і нагріву частинок топінамбуру при температурі повітря 80°C.

Підводячи підсумки розгляду гідродинаміки і кінетики

сушки топінambuру в псевдбарідженому шарі рекомендуються наступні раціональні режими і параметри :

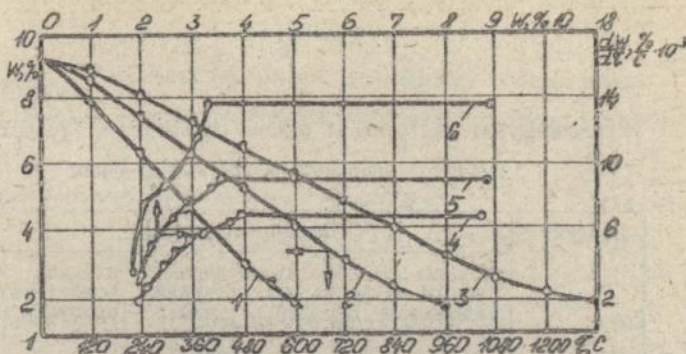
- нарізка продукту - кубіками з розміром грані 6...8 мм;
- температура сушильного агента 80...100°C;
- питоме навантаження на повітрянорозподільну решітку 20...25 кг/м²;
- швидкість повітря 2,0...2,4 м/с;
- кінцева вологість 10...12%.

В процесі обжарювання за рахунок фізико-хімічних перетворень формується смак, колір та запах готового продукту. Розглянуто процеси обжарювання як тепло- масообмінні. На мал.5,6 подані результати досліджень по обжарюванню кави в віброкиплячому шарі ІЧ-випромінюванням. Аналогічний вигляд мають криві змінювання вологості, швидкості виділення вологості, температури в центрі та в поверхневій шарі зразку при обжарюванні інших розглянутих зернистих харчових продуктів - гороху і топінambuру.

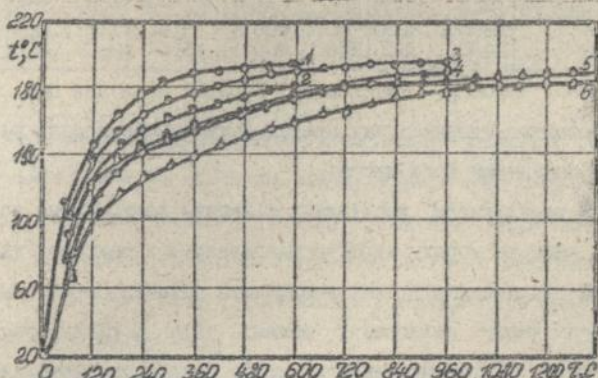
Аналіз кривих наведених залежностей дозволяє відзначити, що процес обжарювання має три періоди :

- період підігріву, охарактеризований швидким зростанням температури і поволі виділяємою вологою;
- період постійної швидкості виділення вологи, коли зріст температури дуже значний, волога інтенсивно випаровується;
- період спадної швидкості виділення вологи - з незначним зростом температури.

Вивчення впливу величини густини потоку ІЧ-випромінювання на процес обжарювання зернистих продуктів показує, що



Мал.5. Криві вологості (1,2,3) та швидкості вилучення вологи (4,5,6) зерен кави при обжарюванні в віброкиплячому шарі ІЧ-випромінюванням (1,6- $q=3400\text{Вт/м}^2$; 2,5- $q=2600\text{Вт/м}^2$; 3,4- $q=2000\text{Вт/м}^2$)



Мал.6. Динаміка зміни температури поверхні (1,3,5) і умовного центру зерна кави (2,4,6) при обжарюванні в віброкиплячому шарі ІЧ-випромінюванням (1,2- $q=3400\text{Вт/м}^2$; 3,4- $q=2600\text{Вт/м}^2$; 5,6- $q=2000\text{Вт/м}^2$).

із збільшенням густини ІЧ-випромінювання процес інтенсифікується в незначним подовженні періоду постійної швидкості вилучення вологи.

Визначені раціональні режими обжарювання наведені в табл.1.

В роботі відображені результати експериментальних досліджень зміни фізичних показників продукту (насної та фізичної густини, екстрактивності, порозності) в процесі

Таблиця 1

Рекомендуємі раціональні режими обжарювання зернистої харчової сировини ІЧ-випромінюванням

Продукт	Показники режиму				
	густина потоку ІЧ-випромінювання $q, \text{Вт/м}^2$	тривалість теплової обробки $t, \text{с}$	характерний розмір обжарюваних частинок $h, \text{мм}$	кінцева вологість продукту $W, \%$	максимальна температура продукту $t, ^\circ\text{C}$
Топінамбур	1800...2000	600...1000	5...6	2,5...3,5	150
Кава	2800...3200	700...900	5,9	1,7...2,2	200
Горох	2400...2600	660...860	5,0	2,0...3,0	175

термічної обробки. Установлені середні значення цих величин для готового продукту, які можуть бути рекомендовані як кількісні показники його якості.

З результатів досліджень кінетики обжарювання топінамбура, кави та гороху одбуто узагальнені залежності для кожного з цих продуктів, які дозволяють оцінити перебіг процесу при будь-якому змінюванні режиму. Для періоду постійної швидкості вилучення вологи можна використовувати загальну формулу :

$$W = W_0 - N \cdot t \quad (10)$$

а також рівняння, одержані математичною обробкою даних на ЕОМ ЕС-1055 для кожного з досліджуваних продуктів :

- для топінамбуру $W = W_0 - 0,64 \cdot 10^{-5} \cdot q \cdot t \quad (11)$

- для кави $W = W_0 - 0,35 \cdot 10^{-5} \cdot q \cdot t \quad (12)$

- для гороху $W = W_0 - 0,54 \cdot 10^{-5} \cdot q \cdot t \quad (13)$

де W_0 - початкова вологість продукту, %; W - поточна вологість продукту, %; N - поточна швидкість процесу вилучення вологи, %/с; t - поточний час періоду, с; q - густина потоку ІЧ-випромінювання, Вт/м^2 .

Формули, виражаючи залежності для періоду спадної швидкості вилучення вологи при обжарюванні, мають наступний вигляд :

- для топінамбуру $W=7-0,7 \cdot N \cdot \tau + 0,025(N \cdot \tau)^2$ (14)

$$W=14,57-1,83 \cdot 10^{-5} \cdot q \cdot \tau + 0,07 \cdot 10^{-10} (q \cdot \tau)^2 \quad (15)$$

- для кави $W=22,68-4,8 \cdot N \cdot \tau + 0,28(N \cdot \tau)^2$ (16)

$$W=20-1,48 \cdot 10^{-5} \cdot q \cdot \tau + 0,03 \cdot 10^{-10} (q \cdot \tau)^2 \quad (17)$$

- для гороху $W=18,5-2,76 \cdot N \cdot \tau + 0,12(N \cdot \tau)^2$ (18)

$$W=17,7-1,4 \cdot 10^{-5} \cdot q \cdot \tau + 0,03 \cdot 10^{-10} (q \cdot \tau)^2 \quad (19)$$

В узагальнені результатів досліджень наведені також графіки зміни середньооб'ємної температури, критерію Ребіндера, поглинаємого теплового потоку в процесі обжарювання та зроблено їх аналіз. Розрахунки указаних величин виконані виходячи з прийнятого нами параболічного закону розподілу температури по перерізу тіла.

У п'ятому розділі подано опис конструкції і розрахунки розробленого автором універсального апарату для термічної обробки зернистої харчової сировини ІЧ-випромінюванням (мал.7).

Робота апарату перевірена на дослідно-промисловому зразку. Випробування підтвердили його роботоздатність і кращі техніко-економічні показники у порівнянні з апаратами систем Ліндгрєнц, Пробат, ТНА, найбільш широко застосованих на підприємствах харчової промисловості, і апаратом конструкції Л.З.Товта для підприємств масового харчування (табл.2).

Таблиця 2

Результати порівняльних технічних характеристик та випробувань запропонованого апарату з існуючими апаратами на прикладі обжарювання зерен кави

Показники	Апарат				
	запропонований	Л.З.Товта	Ліндгренц	Пробат	ТНА
1. Продуктивність, кг/г	200	40	200	700	1500
2. Споживання теплоти, кДж/г $\times 10^3$	108	108	1846	1676	2514
3. Питома витрата теплоти, кДж/кг	540	2700	9230	2394	1676

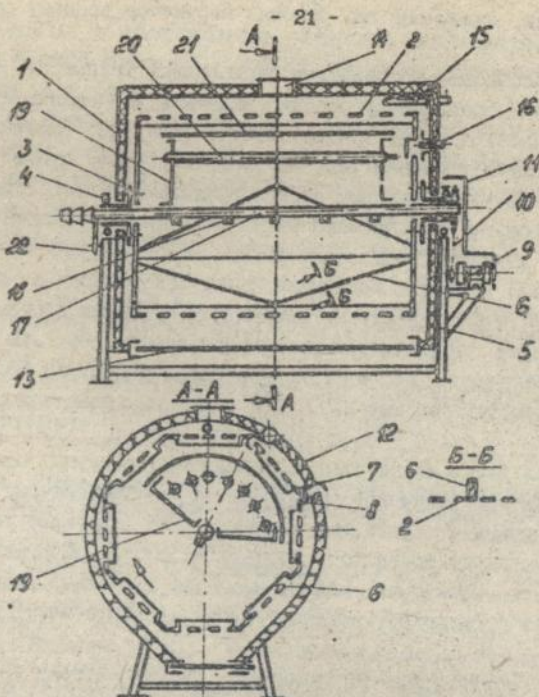
Здобуті опорні дані з сушки топінambuру в псевдозрідженому шарі та обжарювання у віброкиплячому шарі ІЧ-випромінюванням лежать в основі конструкцій двох пропонуємих установок для сушки та обжарювання топінambuру.

З врахуванням проведених досліджень нами розроблені рецептури та технології виробництва жирових глазурей, основний зміст яких складають недефіцитні дешеві продукти місцевого рослинного походження. Рецептури та технологічні інструкції затверджені і прийняті до впровадження на Харківській кондитерській фабриці.

Запропонована рецептура та технологічна схема виробництва нерозчинного кавового напою "Молодість" із обжарених топінambuру, цикорію і кави. Напій, не зважаючи на незначний зміст натуральної кави (10%), дає добру імітацію натурального кавового екстракту і рекомендований для дієтичного, насамперед діабетичного, харчування.

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу апаратів і способів обжарювання зернистої сировини в харчовій промисловості та масовому хар-



Мал.7. Схема апарату для обжарювання зернистої харчової сировини ІЧ-випромінюванням:

1-корпус;2-барабан багатограний перфорований;3-опора;4-підшипник;5-станина;6-перегородка;7-грань знімальна;8-гачискач;9-мотор-редуктор;10-передача ланцюгова;11-кожух;12-лок завантаження;13-пристрій розвантаження;14-вентиляційний патрубок;15-датчик контролю температури;16-пробник;17-труба;18-форсунка;19-сегмент;20-блок ІЧ-випромінювачів;21-відбивач;22-сектор.

чуванні з точки зору підвищення інтенсивності процесу, зниження його енергоємності і покращення якості продукції запропоновано метод обжарювання у віброкиплячому шарі ІЧ-випромінюванням.

2. Теоретично досліджений процес обжарювання зернистої харчової сировини у віброкиплячому шарі при ІЧ-енергопідводі з використанням підходу, заснованому на сполученні "інтегральних" рівнянь перенесення теплоти і води в зерні з врахуванням характеру поглинання і віддачі теплоти зернами як єдиним (суцільним) шаром, а також на залученні даних експериментальних досліджень. Одержано просте та зручне для ана-

лізу рівняння, включає всі основні параметри процесу обжарювання.

3. Установлено, що найбільш раціональні технології термічної обробки топінамбуру повинні включати два етапи: сушку та обжарювання. Одержані критеріальні і емпіричні залежності для розрахунку гідродинамічних параметрів процесу сушки топінамбуру в псевдосвідженому шарі з врахуванням його стану і вологості продукту, визначено вплив окремих технологічних факторів на кінетику тепло-масообміну. Рекомендовані наступні раціональні режими і показники сушки топінамбуру в псевдосвідженому шарі: нарізка продукту - кубиками з розміром грані 6...8 мм; температура сушильного агента 80...100 °С; питоме навантаження на повітрянорозподільну решітку 20...25 кг/м²; швидкість повітря 2,0...2,4 м/с; кінцева вологість 10...12%.

4. Досліджено вплив різних факторів на кінетику обжарювання зернистої харчової сировини у віброкиплячому шарі ІЧ-випромінюванням. Найбільш значні - це густина потоку ІЧ-випромінювання, тривалість процесу та висота шару матеріала. Здобуто математичні моделі процесів термічної обробки розглядаємих продуктів. Визначені наступні раціональні режими:

- для обжарювання топінамбуру - густина потоку ІЧ-випромінювання 1800...2000 Вт/м²; тривалість теплової обробки 600...1000 с; розмір обжарюваних частинок 6х6х6 або 6х6х6 мм; кінцева вологість 2,5...3,5%; максимальна температура продукту 150 °С;

- для обжарювання кави - густина потоку ІЧ-випромінювання 2800...3200 Вт/м²; тривалість теплової обробки 700...900 с; кінцева вологість 1,7...2,2%; максимальна температура продукту 200 °С;

- для обжарювання гороху - густина потоку ІЧ-випромінювання 2400...2600 Вт/м²; тривалість теплової обробки 660...860 с; кінцева вологість 2...3%; максимальна температура продукту 175 °С.

Установлені узагальнюючі залежності кінетики обжарювання кави, гороху і топінамбуру.

5. Розроблені рецептури і технологічні схеми виробництва жирових глазурей "Ріжик", "Травнева" та кавового напою

"Молодість" з використанням обжареної нетрадиційної зернистої харчової сировини - гороху, цикорію, топинамбуру, виноградних кісточок.

6. Виконані розрахунки і запропоновані конструкції трьох апаратів для термічної обробки зернистої харчової сировини. Виготовлено дослідно-промисловий зразок одного апарату, який успішно пройшов виробничі випробування.

Основні положення дисертації надруковані в таких роботах :

1. Поперечный И.А. Облучение кофейных зерен при терморadiационной обжарке//Технология и качество пищевых продуктов: Сб. науч. тр./Харьк. ин-т обществ. питания.-Харьков,1992.-с.39-41.

2. Устройство для термической обработки зернистых пищевых продуктов/Поперечный И.А. Заявка №5028515/13/082812. Положительное решение НИДТЭ от 24.02.93.

3. Поперечный И.А. Напиток "Молодость" сохранит вам молодость//Вечерний Донецк.-1994.-№132(6071).

4. Поперечный И.А. Новый способ жарки картофеля//Проблемы индустриализации общественного питания страны: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф./Харьк. ин-т обществ. питания,-Харьков,1989.-с.127.

5. Поперечный И.А. Обжарка зерен кофе при комбинированном нагреве//Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф./Харьк. ин-т обществ. питания,-Харьков,1990.-с.185-186.

6. Поперечный И.А. Изменение массооблагодобменных и физических характеристик кофейных зерен при терморadiационной обжарке//Механика сыпучих материалов: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф./Одесский технол. ин-т пищ. пром.-сти,-Одесса,1991.-с.221.

7. Черевко А.И., Поперечный И.А. Термическая обработка топинамбура - компонента кофейных напитков//Перспективы развития массового питания и торговли в условиях перехода к рыночной экономике: Тез. докл. междунар. конф./Харьк. ин-т обществ. питания.-Харьков,1994.-с.240-241.

8. Черевко А.И., Поперечный И.А. Жировые глазури на нетрадиционного сырья//Перспективы развития массового питания и торговли в условиях перехода к рыночной экономике: Тез. докл. междунар. конф./Харьк. ин-т обществ. питания.-Харьков,1994.-с.241-243.

Поперечный И.А. Интенсификация процессов обжарки зернистого пищевого сырья.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 - процессы, машины и агрегаты пищевой промышленности, Харьк. Госуд. Академия технол. и орг-ции питания, Харьков, 1994.

Защищается 8 научных работ, 1 патент на изобретение, 2 нормативно-технические документации, которые содержат данные об исследовании комплекса вопросов по сушке топинамбура в псевдосжиженном слое и обжариванию кофе, гороха и топинамбура в виброкипящем слое инфракрасным излучением. На основе теоретических и экспериментальных исследований установлено, что указанные методы термической обработки по сравнению с

традиційними значительно підвищують інтенсивність процесу, знижують його енергоємність, уділюють якість обжареного продукту. Осуществлено промислове впровадження запропонованих способів термічної обробки. Розроблені рецептури і технологічні схеми виробництва нових видів продукції з використанням обжареного нетрадиційного зернистого піщового сиров'язу - топінамбура, гороха, цикорія, виноградних насіння.

Poperechny I.A. The processes of frying grainy food-stuff.

The thesis for competition of a candidate of technical science degree. Speciality 05.18.12.- Processes, machines and units in catering industry, Kharkiv State Academy of Food Sciences and Management, Kharkiv, 1994.

8 scientific articles, 1 invention patent & 2 industry specifications are defended. They include the results of research of a complex of problems on ground pear drying in a pseudoliquid layer and frying of coffee, peas and ground pear in a vibroboiling layer by infra-red radiation. On the basis of theoretic and experimental research it was determined that new methods of heating compared to traditional methods raise intensity of the process, reduce energy capacity, increase quality of a fried product. These new methods of heating have been introduced. Formulas and technologic schemes of new products with the use of fried non-traditional grainy food-stuff - ground pears, peas, chicory, grape seeds - have been developed.

Ключові слова:
обжарювання, зерниста сировина, інфрачервоне випромінювання, псевдопрісідження, віброкиплячий шар, вологість.

Підписано до друку 24.10.94, формат 60x84 1/16.
Напір для м'яч. апаратів. Друк. офсет. Ум. друк. 1,1
Обліг.-вид. л. 1,0. Тираж 100 прим. Замов. № 117

AP 3.1.100

155049

AB 31.466