

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Шофул Ігор Іванович

УДК 641.12:641.52

**УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ
ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ОВОЧІВ**

спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій

Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор

Іванова Ліна Олександрівна,

Одеська національна академія харчових технологій, кафедра фізики і матеріалознавства, професор кафедри

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор

Гладушняк Олександр Карпович,

Одеська національна академія харчових технологій, кафедра технологічного обладнання харчових виробництв, завідувач кафедри

- кандидат технічних наук, доцент

Гаврилов Олександр Вікторович,

Південний філіал Національного університету біоресурсів і природокористування України "Кримський агротехнологічний університет", кафедра технологічного обладнання переробних підприємств та комп'ютерних систем управління, доцент кафедри

Захист відбудеться " ____ " _____ 2011 року о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 при Одеській національній академії харчових технологій, за адресою: вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, ауд. А – 234.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039.

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2011 року.

Вчений секретар спеціалізованої

вченої ради, д. т. н., професор

К.Г. Іоргачова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах ринкової економіки проблема підвищення якості продуктів і конкурентоспроможності технологічних процесів для харчової галузі набуває особливого значення. Створення ефективних технологій та устаткування для обробки овочів і фруктів обумовлює необхідність розробки принципово нових і вдосконалення традиційних процесів обробки продуктів.

Проблема розробки конкурентоздатних конструкцій, корозійностійких матеріалів металевих ємностей, методів обробки овочів, які забезпечують збереження вітамінів і екологічну безпеку для здоров'я населення залишається однією з найбільш актуальних. Існуючі науково - обґрунтовані результати дослідження впливу вітамінів і відсутності шкідливих складових в овочевих продуктах при різних видах теплової обробки настільки суперечливі, що не приводять до появи різноманітних рекомендацій щодо засобів застосування устаткування різних фірм для обробки овочів, так і до надійності та гарантії технічних запропонованих рішень.

Аналіз вітчизняної і зарубіжної інформаційної бази з проблеми підвищення якості харчових продуктів і результатів науково – дослідницьких робіт, опублікованих в різних джерелах, показав, що вибраний напрям дослідження є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконувалися відповідно до плану держбюджетних робіт кафедри фізики і матеріалознавства Одеської національної академії харчових технологій "Синтез гетерогенних металевих і неметалевих систем" (№ держреєстрації 0109u001695).

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесу теплової обробки овочів при відсутності водо - жирових середовищ.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі основні наукові завдання:

- визначити умови теплової обробки овочів у металевих конструкціях, які забезпечують зниження енерговитрат і збереження вмісту вітаміну С;
- розробити нову конструкцію металевих ємностей для теплової обробки овочів без водо - жирового середовища;
- розробити математичну модель процесу теплової обробки овочів без водо - жирового середовища для визначення оптимальних значень термо - часових параметрів;
- визначити геометричні співвідношення конструкційних елементів металевих ємностей, які забезпечують заданий температурний режим при обробці овочів без води і жирів для збереження вітаміну С;
- провести експериментальні дослідження контактних процесів овочевого середовища та металевої поверхні конструкцій з підвищеною теплоакумуючою здатністю;

- обґрунтувати конкурентоздатність конструкцій металевих ємностей з окремим композиційним металокерамічним елементом з підвищеною теплоакumuлюючою здатністю для забезпечення теплової обробки овочів без водо - жирового середовища і збереження вітаміну С.

Предмет дослідження – конструкція теплоакumuлюючих елементів в металевих ємностях для обробки овочів.

Об'єкт дослідження – процес теплової обробки овочів.

Методи дослідження – теоретичні та експериментальні методи дослідження тепло - масообміну; методи аналітичного розв'язання рівняння Фур'є; фізичне і математичне моделювання процесу тепло- і вологопереносу в контактному середовищі; фізико - хімічні методики аналізу структурних змін в овочевому середовищі; термометрії і рентгено - дифракційний метод аналізу контактних поверхонь.

Наукова новизна отриманих результатів:

- встановлено, що тепла обробка рослинних продуктів без додавання води і жирів забезпечує зниження енерговитрат і збереження вітаміну С при підвищенні теплоакumuлюючої здатності обладнання;

- показано, що метод імітаційного моделювання процесу теплової обробки овочів без водо-жирового середовища дозволяє звести багатокритеріальні показники п'яти груп овочів до узагальненого якісного критерію;

- визначена конструкція в обладнанні для теплової обробки овочів без води і жирів, яка забезпечує підвищення теплоакumuлюючої здатності;

- обґрунтовані теплофізичні характеристики контактних поверхонь металевої ємності, композиційного металокерамічного елемента і овочевого середовища при тепловій обробці без води і жирів;

- виявлено умови формування плівкового ефекту в обладнанні для теплової обробки, які визначають ефективність виділення природної вологи з рослинних продуктів і скорочення термочасових показників процесу;

- отримано методом розв'язання інтеграла помилок Гауса максимально допустиме значення контактної температури для процесу теплової обробки овочів без води і жирів для трьох середовищ: овочі, металева ємність устаткування і теплоакumuлюючий елемент.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

- на базі проведених наукових досліджень встановлена і обґрунтована оптимізація термочасових параметрів процесу теплової обробки овочів без внесення води і жирів, яка забезпечила розробку нової конструкції теплоакumuлюючого елемента для збереження вітамінів і екологічної безпеки харчових продуктів;

- апробоване обладнання для інтенсифікації процесу теплової обробки овочів без води і жирів на базі запропонованого металокерамічного елемента з підвищеною теплоакумуючою здатністю;

- пройшла апробацію нова конструкція відокремленого металокерамічного елемента, яка забезпечує зниження енерговитрат на 15 %.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримані особисто здобувачем. Постановка задач, інтерпретація і узагальнення результатів, формулювання основних положень і висновків проведені разом з науковим керівником. Зі спільних публікацій здобувачу належить наступне: виконаний інформаційно-аналітичний аналіз літературних джерел і патентний пошук нових технічних рішень, теоретично обґрунтована та експериментально доведена технологія теплової обробки овочів без води і жирів, доведений вплив конструкції металевої ємності та режиму теплової обробки овочів на економічність процесу, розроблена технологія процесу формоутворення теплоакумуючих конструкційних елементів, проведений розрахунок витрат теплової енергії при приготуванні їжі в устаткуванні за традиційною і новою методикою теплової обробки овочів без додавання води та жирів, розроблене устаткування для теплової обробки харчових продуктів, досліджені контактні процеси при тепловій обробці овочів, розроблена технологія процесу формоутворення теплоакумуючих конструкційних елементів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися і обговорювалися на наукових конференціях професорсько-викладацького складу ОНАХТ (2007-2008 рр.), на III міжнародній науково-практичній конференції "Наука і освіта без меж – 2007. Сільське господарство" (Софія, 2007); на VIII щорічній міжнародній промисловій конференції "Ефективність реалізації наукового, ресурсного і промислового потенціалу в сучасних умовах" (п. Славське, Карпати, 2009).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 1 монографію та 7 робіт, з них 3 статті у фахових виданнях, 2 патенти України на корисну модель та тези 2 доповідей в міжнародних науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 160 сторінок, з них 133 основного тексту, 42 рисунки (18 сторінок), 21 таблиця (13 сторінок), список використаних джерел з 96 найменувань (8 сторінок) та 5 додатків (19 сторінок).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета і завдання дослідження, наукові положення, показана наукова новизна й практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, апробація результатів, публікації за темою дисертації.

У **першому розділі** представлений аналітичний огляд першоджерел, в яких розглядається проблема підвищення якості обробки харчових продуктів на основі нових технологічних рішень. Наведений детальний аналіз найбільш поширених методів теплової обробки овочів і характеристики обладнання. Аналітичний огляд, виконаний в роботі, показав, що проблема збереження вітамінів при тепловій обробці харчових продуктів на базі нових технологічних процесів і устаткування практично не розробляється. Висока енергоємність теплових процесів обробки овочів практично стримує розвиток принципово нових підходів при розробці ефективного і конкурентоздатного устаткування. Для підвищення якості харчових продуктів і зниження енергоємності устаткування для обробки овочів необхідно виявити основні недоліки традиційних методів теплової обробки. Відсутність обґрунтованих параметрів для термо-часових процесів обробки при різних рівнях початкової вологи в овочах, вмісту існуючих вітамінів стримує аргументованість як якісних, так і кількісних характеристик для порівняння.

У **другому розділі** "Методики аналітичного і експериментального дослідження процесів теплової обробки харчових продуктів" наведені розрахунки вхідних і вихідних параметрів для імітаційного моделювання. Визначені значення узагальнених критеріїв для п'яти груп овочів (картопля, білокачанна і кольорова капуста, кабачки, баклажани). Алгоритм побудови математичної моделі полягав у визначенні діапазону параметрів X_1 (початкова волога продукту), X_2 (тривалість теплової обробки) і X_3 (вміст вітаміну С).

Як показано на рис. 1 оптимізаційні значення узагальнених критеріїв процесу (Y_1, Y_2, Y_3) вкладалися в розрахункове поле допуску (Y_1 – температура; Y_2 – тривалість обробки; Y_3 – вміст вітаміну С після теплової обробки):

$$98 > Y_1 > 85 \quad 45 > Y_2 > 30 \quad 40 > Y_3 > 20$$

Полігон, імітуючий гіпотетичний технологічний процес для кожної з п'яти досліджених груп овочів, приймався внаслідок обчислень всіх вхідних параметрів.

Методика визначення термофізичних коефіцієнтів ґрунтувалася на побудові температурних полів і обчислення показника параболи n із зіставлення площ F_1 і F_2 під параболою в координатах "температура – час теплової обробки" (рис. 2).

З аналітичних залежностей обчисленої теплоти Q , підведеної до продукту, і значення глибини прогрівання X , обчислювали коефіцієнт теплопровідності:

$$a = \frac{x_2}{2 \cdot n \cdot \sqrt{n+1} \cdot \tau}, \quad (1)$$

де x – товщина шару продуктів, м; τ – тривалість процесу, хв; n - показник параболи.

Коефіцієнт теплоємності:

$$c = \frac{(n+1) \cdot Q}{F_1 \cdot x \cdot \rho \cdot (T_2 - T_1)}, \quad (2)$$

де ρ – щільність металевої конструкції, Q – теплота підведена до продукту, Дж; F_1 – площа під параболою, T_1 , T_2 – відповідно температура першого періоду виділення природної вологи, температура другого періоду, °С.

Коефіцієнт теплопровідності:

$$\lambda = \frac{Q \cdot x}{T_2 - T_1}. \quad (3)$$

Теплоакумулюючу здатність конструкційного елемента b розраховували за аналогічною методикою:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}. \quad (4)$$

Контактну температуру в період теплової обробки овочів без води і жирів визначали аналітично на основі розв'язання рівняння Фур'є через інтеграл помилок Гауса і експериментально в залежності від початкової вологи продукту і періоду теплової обробки. Процес виділення природної вологи із продукту при досліджених режимах теплової обробки фіксували для двох схем процесу: із теплоакумулюючим елементом різної конструкції (одне, двох і тришарового) і при зміні товщини стінки.

Контактну температуру обчислювали за формулою:

$$T_k = T + (T_1 - T_2) \cdot \left(1 - \operatorname{erf} \cdot \frac{x}{2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}} \right), \quad (5)$$

де T , T_1 , T_2 – відповідно початкова температура, температура першого періоду виділення природної вологи, температура другого періоду, °С; x – товщина шару продуктів, м, a – коефіцієнт температуропровідності; τ – тривалість процесу, хв.

У **третьому розділі** досліджувалися контактні процеси при тепловій обробці овочів в обладнанні з теплоакумулюючим елементом. Основний етап в досліджуваному процесі теплової обробки овочів без води і жирів полягає у визначенні максимально допустимої температури витримки продукту у контакті з теплоакумулюючим елементом, яка забезпечує збереження вітаміну С при економній витраті електроенергії. Оптимізаційні значення узагальнених критеріїв для кожної групи досліджуваних овочів дозволяють визначити період теплової обробки і допустиму зону нагрівання теплоакумулюючого елемента. Аналізуючи вплив зміни конструкції елемента від одно-

шарової до тришарової і товщини стінки від 5 до 20 мм (рис. 3), визначили, що при товщині елементу більше 15 мм, коефіцієнт b для тришарової конструкції складає $348,6 \text{ кДж/м}^2 \text{с}^{1/2} \text{°C}$ і для одношарового елементу аналогічного розміру ця величина не перевищувала $201,6 \text{ кДж/м}^2 \text{с}^{1/2} \text{°C}$. Вплив матеріалу і геометричних розмірів конструкційного елементу на теплоакumuлюючу здатність (рис. 3 а, б) дозволив оптимізувати параметри теплового процесу обробки овочів .

Досягнення максимально допустимої температури нагріву контактної поверхні елементу залежно від величини b показано на рис 4.

На відміну від процесу традиційної теплової обробки овочів при безперервному кипінні води або жирів виділення природної вологи із овочів в розробленій конструкції завершується при досягненні рівня вологовмісту всередині устаткування $\varphi=1,0$.

Якщо розміри овочів (товщина шару) більше, ніж висота підйому рідини в капілярах (h), то на поверхні утворюється плівка.

Як видно із рис. 5, у момент прогрівання τ_1 розподіл температури усередині устаткування і теплоакumuлюючого елементу відрізняється на $20...40 \text{ °C}$.

На схемі процесу теплопередачі та вологообміну в устаткуванні при тепловій обробці овочів без води і жирів (рис. 6) вказано, що пара (11) в міжканальному просторі шару продуктів конденсується та утворює шар $\delta_{ж2}$ в початковий період τ_2 , після досягнення вологості $\varphi = 100 \%$.

Дослідження кінетики виділення природної вологи в експериментальному устаткуванні (рис. 7) показали ефект формування на межі контактуючих металевих поверхонь (кришка) плівкового ефекту.

Якщо в обладнанні відбувається утворення пари із природної вологи, то на межі контактуючих поверхонь, які мають мікрорельєф нерівностей на рівні $R_a = 2,5...1,5 \text{ мкм}$, конденсат заповнює мікрорельєф і утворює плівковий ефект.

Це явище забезпечує герметизацію устаткування. У звичайних конструкціях устаткування для теплової обробки герметизація досягається механічними пристроями, кріпленнями, що ускладнює в цілому умови експлуатації обладнання.

З результатів дослідження витікає, що розподіл температури в шарі продуктів із вологістю $\approx 78 \%$ дорівнює $n = 8,25$. Для умов аналітичного знаходження значення оптимальної температури прогрівання для картоплі (при шарі в $0,05 \text{ м}$) в інтервалі $(\tau_2 - \tau_1)$.

$$T = T_{1C} - (T_{1C} - T_{1n}) \cdot \left(\frac{X_1}{X} \right)^n \quad (6)$$

Отримані експериментальні результати дослідження характеру розподілу температури в період початкового прогрівання овочів.

Для картоплі:
$$\tau_{\text{прогріву}} = \frac{1 \cdot x^2}{2 \cdot n \cdot (n+1) \cdot n} \quad (7)$$

При шарі $x = 0,025$ м, $n = 1,5$ і $a = 0,00036$ м²/с (за даними експериментальних досліджень) визначено, що за період 13,5 хвилин увесь шар прогрівається до оптимальної температури 88,5 °С (рис. 5).

Розподіл температури в устаткуванні для теплової обробки овочів без води і жирів в період τ_2 і τ_3 (рис. 8 і 9) характеризується плавною зміною температурних полів при показнику параболи $n = 1,5$.

Вплив тривалості витримки овочів в обладнанні з теплоакумуючим елементом для дослідженої групи овочів показано на графіку (рис. 10). Результати досліджень збереження вітаміну С в овочах відрізняються початковим вмістом вологи при максимально допустимій температурі для кожного виду продукту знаходяться в межах 72...80 %. На рис. 10 представлені результати експериментального та аналітичного розрахунку оптимальної температури для п'яти груп досліджуваних овочів при тепловій обробці без води і жирів.

У **четвертому розділі** "Вплив конструкції теплоакумуючого елемента на процес теплової обробки овочів" розглядаються конструкційні особливості устрою теплоакумуючого елемента.

Забезпечення щільного контакту між кришкою і устаткуванням через водяну плівку, яка утворюється в результаті конденсату природної вологи в період теплової обробки, здійснюється за схемою, представленою на рис. 11.

Конструкція устаткування для теплової обробки овочів без води і жирів включає металеву ємність з легованої нержавіючої сталі (Х18Н9) з товщиною стінки 0,8...1,0 мм і кришку. Для забезпечення змикання фланців кришки та металевої ємності без зазору ширина кільцевого елемента змикання фланцем повинна бути не менше 0,002 м. Теплоакумуючий елемент виконується змінним з селективною конструкцією (табл. 1).

Збереження вітаміну С для картоплі досягло 75 % при $T = 95 - 98$ °С і тривалості теплової обробки 40 – 42 хв. Для кабачків показники процесу такі, контактна температура, не перевищує 98 °С, забезпечує збереження вітаміну С на рівні 84 % за період обробки 32 хв. Збереження вітаміну С для баклажан досягла 86 % при значенні контактної температури 95 °С. Для забезпечення умов збереження вітаміну С і зниження енерговитрат на теплову обробку, слід застосовувати конструктивний елемент з підвищеною теплоакумуючою здатністю.

На рис. 12 представлені зразки теплоакумуючих елементів. Основна вимога до якості контактної поверхні полягає в корозійній стійкості, однорідності мікрорельєфу і забезпечення необхідних теплофізичних характеристик, які створюють ефект теплоакумуючого дна конструкції.

Схеми теплоакумуючих елементів

Кількість шарів	Матеріал шару	Метод формоутворення
Одношаровий	Алюмінієво - кремнієвий сплав АК - 12	Штапування, лиття, механічна обробка.
Двошаровий	Металокераміка	Шлікерна технологія з гідрофільним оснащенням.
Тришаровий	Пориста кераміка з просякненням алюмінієвим сплавом	Лиття

Якісні характеристики мікрорельєфу стінок, дна і кришки металевої конструкції повинні забезпечувати відсутність адгезії овочевих продуктів, які обробляються в діапазоні вибраних параметрів теплового процесу при відсутності жирів і водного середовища.

На рис. 13 показано опорні криві контактних поверхонь при різних формоутвореннях.

Як показали результати дослідження (рис. 14) сплав АК12, що має температуру плавлення 690 °С, забезпечує формування контактної поверхні з високим ступенем однорідності мікрорельєфу. Сплав СЧ32 (температура плавлення 1280 °С) і сталь 25Л (температура плавлення 1510 °С) при формуванні контактної поверхні теплоакумуючого елемента характеризуються різними значеннями величини R_a . Так, наприклад, для сірого чавуну R_a склав близько $1,47 \cdot 10^{-3}$ м, для сталі ця величина склала $3,01 \cdot 10^{-3}$ м. Литя поверхня із сплаву на основі алюмінію і кремнію (АК12) характеризувалася величиною $R_a = (0,8 - 1,1) \cdot 10^{-3}$ м.

Чим тонші ємності із сталі, тим менший термін їх експлуатації і надійність в роботі через здатність нержавіючої сталі до викривлення при нагріванні. Викривлення викликає зміну розмірів ємності, що порушує щільність контакту кришки і ємності. Це приводить до додаткових втрат пари, які постійно мають місце внаслідок кипіння рідини усередині обладнання.

Металева ємність з нержавіючої сталі виготовлявся на 47 підприємствах України. Товщина стінок (0,001 м) обладнання не забезпечувала його довговічність і стійкість. Більшість обладнання для теплової обробки овочів від вітчизняного виробника мають одношарове дно, виняток становили ємності від ВО "Автогенмаш", в яких дно було двошаровим із загальною товщиною 0,002 м.

Обладнання для теплової обробки овочів без води і жирів повинно виготовлятися з нержавіючої сталі. Марка сталі повинна відповідати технічним умовам, які забезпечують не тільки високий рівень її хімічної стійкості в лужних або солоних харчових середовищах, але і мати хорошу полірованість для можливості надання обладнанню високої якості зовнішньої поверхні, що підвищує рівень його дизайну.

Місцезнаходження точок конкурентоздатності (рис. 15) для обладнання кожної фірми, показує її положення на розглядаємому секторі ринка країн Західної Європи та України. Розроблена

конструкція обладнання для теплової обробки овочів згідно патенту знаходиться в зоні конкурентоздатності.

Для створення конструкції теплоакumuлюючого елемента доцільно застосовувати плавлений кварц і харчовий сплав алюмінію АК 12, оскільки досягнуте оптимальне температурне поле, а саме допустима температура нагріву не повинна перевищувати 95 °С.

ВИСНОВКИ

1. В дисертації наведене теоретичне та експериментальне узагальнення енергозберігаючого процесу теплової обробки овочів без води та жирів. Отримано оптимальні параметри процесу теплової обробки в обладнанні з теплоакumuлюючими конструкційними елементами.

2. Розроблено процес формування конструкційного елемента з підвищеною теплоакumuлюючою здатністю, обґрунтовані параметри процесу теплової обробки овочів без води і жирів: $T = 87 - 95$ °С, тривалість обробки $\tau = 30 - 40$ хв, які забезпечують збереження вітаміну С в овочах, і зниження енерговитрат.

3. Розроблено метод імітаційного математичного моделювання процесу теплової обробки овочів без води і жирів, який забезпечує визначення оптимальних значень термо-часових параметрів, а саме $T_{\text{конт}} = 88$ °С.

4. Показано, що період виділення природної вологи з овочевого середовища при тепловій обробці без води і жирів визначається інтенсивністю теплового потоку, величиною теплоакumuлюючої здатності конструкційного елемента й характером мікро- і макрорельєфу контактуючих поверхонь в обладнанні, а саме

$$R_a = (0,63 \dots 1,5) \cdot 10^{-6} \text{ м} .$$

5. Отримано експериментальні значення контактних температур для овочевого середовища п'яти груп овочів (картопля, білокачанна і кольорова капуста, кабачки і баклажани), металевої ємності і теплоакumuлюючого елемента при тепловій обробці. Наведений аналітичний розрахунок цих значень на основі рішення рівняння тепло - масообміну методом інтеграла помилок Гауса, які забезпечують процес теплової обробки без води і жирів при скороченні періоду обробки на 22 %.

6. Визначено розподіл температури та кількість теплоти в шарі вологовмістких продуктів, в обладнанні, яке містить теплоакumuлюючий елемент. Температурне поле в шарі продуктів з вологістю 38 % характеризується показником параболи

$n = 3,25$, і для періоду стаціонарного нагріву з мінімальними витратами теплової енергії 0,18 кДж /с оптимальне значення $T_{\text{opt}} = 87$ °С. Втрати природної вологи овочевого середовища становлять 3...6 %.

7. Об'ємна профілізація контактних металевих поверхонь фланця і кришки показала, що при величині середньоарифметичного показника якості мікрорельєфу контактної поверхні $R_a = (0,63...1,5) \cdot 10^{-6}$ м виникає ефект адгезії за рахунок формування водної плівки конденсату пари при тепловій обробці овочів без води та жирів з витратою енергії в межах 0,18...0,34 кДж /с, що забезпечує герметичність обладнання.

8. Показано, що втрати енергії в процесі теплової обробки традиційним методом у водному середовищі при додаванні жирів, в обладнанні через зазор між фланцями становлять близько 40...45 % при нагріванні води до 100 °С і втрати вітаміну С на 38 %.

9. Застосування шлікерного процесу формоутворення в гідрофільному оснащенні, конструкційних елементів при поєднанні алюмінієвих сплавів (АК 12), сірих чавунів (СЧ 32), легованої сталі (Х18Н9) з пористою гетерогенною системою стабілізованого кремнію забезпечує підвищення теплоакumuлюючої здатності в 2,5 рази.

10. Розроблена конструкція обладнання для теплової обробки овочів без води і жирів включає в себе: металевий корпус з хромонікельової сталі з товщиною стінки $1 \cdot 10^{-3}$ м, співвідношення діаметра та висоти обладнання 1,5...1,6, контактні поверхні фланців вигнуті усередину із шириною $(4...5) \cdot 10^{-3}$ м, з'ємного теплоакumuлюючого елемента товщиною $(15...20) \cdot 10^{-3}$ м.

11. Втрати вітаміну С при тепловій обробці овочів без води та жирів в удосконаленому обладнанні з теплоакumuлюючим елементом складає 2,5 – 3 %, економія енерговитрат – 15 %.

Список опублікованих наукових праць

1. Іванова, Л.О. Теорія і технологія теплової обробки овочів без води і жирів [Текст] моногр. /Л.О. Іванова, І.І. Шофул. – О.: Поліграф, 2008. – 152с.

Особистий внесок: здобувач теоретично обґрунтував та експериментально довів технологію теплової обробки овочів без води і жирів.

2. Іванова Л.О. Вплив конструкції металевої місткості і режиму теплової обробки овочів на економічність процесу [Текст] / Л.О. Іванова, І.І. Шофул //Пробл. техніки. – 2007. - №4. – С. 93-103.

Особистий внесок: здобувач довів вплив конструкції металевої ємкості та режиму теплової обробки овочів на економічність процесу.

3. Іванова, Л.О. Удосконалення процесу теплової обробки харчових продуктів [Текст] / Л.О. Іванова, Т. Фостер, І.І. Шофул // Наук. пр. /ОНАХТ. –О., 2008. - Вип. 32. – С. 258-262.

Особистий внесок: здобувач розробив технологію теплової обробки харчових продуктів без води та жирів.

4. Іванова, Л.О. Розрахунок витрат теплової енергії на приготування їжі в металевому посуді по традиційній і новій методиці [Текст] / Л.О. Іванова, І.І. Шофул, М.О. Косіцин // Наук. праці: наук.-метод. журн. Миколаїв. держ. гуманіт. ун-ту ім. Петра Могили. Сер. Техноген. Безпека. - Миколаїв, 2008. - Вип. 72. – С. 52-54.

Особистий внесок: здобувач провів розрахунок витрат теплової енергії при приготуванні їжі в металевому посуді по традиційній і новій методиці теплової обробки овочів без води та жирів.

5. Пат. на корисну модель 30065 Україна, МПК (2006) А47J 27/00. Посуд для теплової обробки харчових продуктів [Текст] / Іванова Л.О., Шофул І.І.; власник Одес. нац. акад. харч. технологій. - № U 200711333; заявл. 12.10.07; опубл. 11.02.08, Бюл. № 3.

Особистий внесок: здобувач розробив посуд для теплової обробки харчових продуктів.

6. Пат. на корисну модель 32197 Україна, МПК (2006) А47J 27/00. Посуд для теплової обробки харчових продуктів [Текст] / Іванова Л.О., Шофул І.І., Косіцин М.О.; власник Одес. нац. акад. харч. технологій. - № U 2007 14064; заявл. 14.12.07; опубл. 12.05.08, Бюл. № 9.

Особистий внесок: здобувач розробив посуд для теплової обробки харчових продуктів.

7. Іванова, Л.О. Дослідження контактних процесів при обробці овочів [Текст] / Л.О. Іванова, І.І. Шофул. // Ефективність реалізації наукового, ресурсного і промислового потенціалу в сучасних умовах: матеріали Восьмої щоріч. Міжнар. пром. конф., п. Славське, 11 – 15 лют. 2008 р. – К., 2008. – С. 335-337.

Особистий внесок: здобувач дослідив контактні процеси при тепловій обробці овочів.

8. Іванова, Л.О. Технологія теплової обробки овочів [Текст] / Л.О. Іванова, І.І. Шофул // Наука і освіта без меж – 2007 : матеріали за III міжнар. наук. практич. конф., Софія, 16 – 27 грудня 2007 р. Т. 15. Сільське господарство. Ветеринар. наука. Екологія. Географія і геологія. – Софія, 2007. – С.5-7.

Особистий внесок: здобувач розробив процес теплової обробки овочів.

АНОТАЦІЯ

Шофул І.І. Удосконалення обладнання для теплової обробки овочів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси і обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Одеська національна академія харчових технологій.

У дисертації отримані теоретичні узагальнення та нові рішення науково-технічної задачі, яка полягає у визначенні параметрів процесу теплової обробки овочів у відсутності водо-жирового

середовища. Практичне значення отриманих результатів полягає в зниженні енерговитрат на 15% і зниження втрат вітаміну С при тепловій обробці овочів на 2,5...3%. Розроблено нову конструкцію теплоакумулюючого устаткування на основі селективності структури металокерамічного елемента для забезпечення оптимального режиму теплової обробки: температура обробки $T = 85...98$ °С, тривалість процесу 25...30 хв. Розроблена конструкція обладнання для теплової обробки овочів забезпечує інтенсивність процесу при геометричному співвідношенні діаметра та висоти 1,5...1,6 і товщині теплоакумулюючого елемента 0,015...0,020 м. Зниження втрати теплового потоку при обробці відбувається в результаті адгезійного контакту поверхні фланців, кришки і ємності шириною 0,004 ... 0,005 м, вигнутих всередину ємності і перешкоджаючих витоку пароповітряного середовища. Виконаний аналітичний розрахунок контактної температури овочевого середовища, поверхні металевої ємності і теплоакумулюючого елемента на основі розв'язання рівняння тепломасообміну методом інтеграла помилок Гауса визначив умови зниження періоду теплової обробки овочів на 22%.

Дослідження температурних полів в овочевому середовищі п'яти груп при початковій вологості продукту в інтервалі 15...38% дозволили методом імітаційного моделювання визначити для кожної групи мінімальні витрати теплової енергії на рівні 0,18...0,25 кДж / с. Зниження природної вологи в овочах при тепловій обробці в удосконаленому обладнанні з теплоакумулюючим металокерамічним елементом відбувається на рівні 3...6%, оптимальна температура становить 85...87 °С. Герметичність контактуючих поверхонь обладнання при тепловій обробці забезпечується за рахунок формування водної плівки конденсату при значенні показника мікрорельєфу, який не перевищує $R_a = (0,63...1,5) \cdot 10^{-6}$ м. Виконані розрахунки енерговитрат в процесі теплової обробки традиційним засобом у водному середовищі і при високій температурі показали, що в обладнанні через зазор між фланцями втрати склали 40...45% і втрати вітаміну С - 38%. Результати оцінювання конкурентоздатності удосконаленого обладнання для теплової обробки овочів з теплоакумулюючим елементом за показниками якості та ціни в порівнянні з цінами вітчизняних і зарубіжних фірм - виробників показали реальну зону ринку, яка забезпечує перспективу розробки.

АННОТАЦИЯ

Шофул И.И. Усовершенствование оборудования для тепловой обработки овощей. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Одесская национальная академия пищевых технологий.

Развитие эффективных и экологически безопасных технологических процессов пищевой отрасли в условиях рыночной экономики непосредственно связано с разработками новых материалов, конструкций и технологий обработки пищевых продуктов. В современных условиях тенденция применения разнообразных методов тепловой обработки основана на применении высокозатратных энергетических и технологических процессов обработки овощей с применением воды и жиров в металлических емкостях различной конструкции из алюминиевых и железоуглеродистых сплавов.

В диссертации получены теоретические обобщения и новые решения научно-технической задачи, которая заключается в определении параметров процесса тепловой обработки овощей в отсутствие водо-жировой среды. Практическое значение полученных результатов заключается в снижении энергозатрат на 15 % и снижение потерь витамина С при тепловой обработке овощей на 2,5 – 3 %. Разработана новая конструкция теплоаккумулирующего устройства на основе селективности структуры металлокерамического элемента для обеспечения оптимального режима тепловой обработки: температура обработки $T = 85 - 98$ °С, продолжительность процесса 25 – 30 мин.

Разработанная конструкция оборудования для тепловой обработки овощей обеспечивает интенсивность процесса при геометрическом соотношении диаметра и высоты 1,5 – 1,6 и толщине теплоаккумулирующего элемента 0,015 – 0,020 м.

Снижение потери теплового потока при обработке происходит в результате адгезионного контакта поверхности фланцев, крышки и ёмкости, шириной 0,004 – 0,005 м, изогнутых во внутрь ёмкости и препятствующих утечке паровоздушной среды. Выполненный аналитический расчёт контактной температуры овощной среды, поверхности металлической ёмкости и теплоаккумулирующего элемента на основе решения уравнения тепло-массообмена методом интеграла ошибок Гаусса, определил условия снижения периода тепловой обработки овощей на 22 %.

Исследование температурных полей в овощной среде пяти групп при исходной влажности продукта в интервале 15 – 38 % позволили методом имитационного моделирования определить для каждой группы минимальные затраты тепловой энергии на уровне 0,18 – 0,25 кДж/с. Снижение природной влаги в овощах при тепловой обработке в усовершенствованном оборудовании с теплоаккумулирующим металлокерамическим элементом происходит на уровне 3 – 6 %, оптимальная температура составляет 85 – 87 °С. Герметичность контактирующих поверхностей оборудования при тепловой обработке обеспечивается за счёт формирования водной плёнки конденсата при значении показателя микрорельефа, не превышающего

$$R_a = (0,63 - 1,5) \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

Выполнены расчёты энергозатрат в процессе тепловой обработки традиционным способом, в водной среде и при высокой температуре, показали, что в оборудовании через зазор между фланцами потери составили 40 – 45 % и потери витамина С – 38 %. При всей значимости пробле-

мы выбора экономичного и биологически безвредного материала для различных конструкций пищевого назначения в настоящее время не уделяется должного внимания сопоставления основных параметров технологических процессов и теплофизических свойств материалов, обеспечивающих эффективность технологических процессов. В условиях рыночной экономики и повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции появляются новые технологии обработки различных продуктов, в том числе овощей и фруктов, качество которых обуславливается в ряде случаев режимами их тепловой обработки. Основным этапом процесса тепловой обработки овощей является определение максимально допустимой температуры нагрева овощей, обеспечивающей сохранность витаминов, оптимальной продолжительности тепловой обработки, скорости нагрева и продолжительности выдержки при той или иной температуре.

Для изготовления металлических конструкций в пищевой отрасли применяются в основном материалы: нержавеющая сталь, пищевые алюминиевые сплавы, серые чугуны, обладающие высокой текучестью и пластичностью для получения тонкостенных изделий. Основные металлические конструкции емкостей для обработки овощей методом тепловой обработки классифицируют по следующим признакам: назначению (с использованием жидкости, жиров, обработка паром); материалу и объёму ёмкости. Для материалов металлических емкостей, применяемых в процессах тепловой обработки пищевых продуктов, основные требования заключаются в первую очередь в обеспечении заданных технических и санитарно-экологических характеристик. Независимо от метода, применяемого при изготовлении металлических емкостей, особое внимание необходимо уделять таким эксплуатационным свойствам как коррозионная стойкость, деформационным характеристикам при изменении температуры, теплофизическим свойствам, определяющим тепловой режим обработки в этих емкостях пищевых продуктов.

Результаты оценивания конкурентоспособности усовершенствованного оборудования, для тепловой обработки овощей, с теплоаккумулирующим элементом по показателям качества и цены по сравнению с отечественными и зарубежными фирмами производителями показали реальную зону рынка, обеспечивающую перспективу разработки.

ANNOTATION

Shoful I.I. Improving of equipment for thermal processing of vegetables. - Manuscript.

Candidate's thesis of technics on speciality 05.18.12 - Processes and equipment for food, microbiological and pharmaceutical industries. - Odessa National Academy of Food Technologies.

In the dissertation, theoretical generalizations and new solutions of scientific and technical problems have been obtained that consisted in defining of parameters of the vegetables thermal processing in absence of the water-lipid environment The practical significance of the results is in reducing of the ener-

gy consumption by 15% and reducing the loss of vitamin C in cooked vegetables by 2,5...3%. A new design of the thermal storage device has been developed on the basis of the selectivity of the metal-ceramic element structure to ensure the following optimal heat treatment regime: treatment temperature $T = 85...98$ ° C, duration of the treatment is 25...30 minutes. The developed construction of the equipment for the thermal processing of vegetables provides for the process intensity under the geometric ratio between the diameter and the height of 1,5...1,6 and under the thickness of the thermal storage element of 0,015...0,020 m. Reduced loss of the heat flow during the processing occurs as a result of the contact flanges adhesion, caps and containers having width of 0,004...0,005 m, which are curved inward and prevent leakage of the steam-and-air environment. Performed analytical calculations of the contact temperature of the vegetable environment, as well as the surface of the metal tank and the thermal storage element based on the solution of heat and mass transfer equations using the Gauss error integral defined conditions for reducing the period of the vegetables thermal processing by 22%. Investigation of temperature fields in the vegetable medium of five groups under the initial humidity of the product in the range of 15...38% allowed to determine for each group by the imitating modeling the minimum cost of the thermal energy at the level of 0,18...0,25 kW. Reduction of the natural moisture in vegetables during the thermal processing in the improved equipment with the thermal accumulating metal-ceramic element is at level of 3...6%, while the optimum temperature is 85...87 ° C. Calculations of the energy consumption during the traditional heat treatment process in the aqueous medium and at high temperature have showed that the loss of energy through the gap between the flanges amounted to 40...45% and that of vitamin C - 38%. Results of the competitiveness estimation of the improved thermal processing equipment for vegetables with the thermal accumulating element using indicators of quality and price compared with domestic and foreign producing companies have shown a real market zone, providing for the prospects of the development.

Підписано до друку

2011 р. Формат 60×90/16

Об'єм 0,9 умов. друк. арк. Замовлення №

Тираж 100 прим.

ОНАХТ 65039, м. Одеса – 39, вул. Канатна 112