

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**



**СЕМЕНОВ ОЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ**

**УДК 664.933**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ  
ПАСТЕРИЗАЦІЙНОЇ І СТЕРИЛІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ  
ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ І НАПОЇВ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Дисертацією є рукопис**

Робота виконана в Подільському державному аграрно-технічному університеті Міністерства аграрної політики України.

Наукові керівники: кандидат технічних наук, доцент

**Варфоломеєв Антон Йосипович**

доктор технічних наук, професор

**Соколенко Анатолій Іванович**

Національний університет харчових технологій,

завідувач кафедри технічної механіки і пакувальної техніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

**Мирончук Валерій Григорович**

Національний університет харчових технологій,

завідувач кафедри технологічного обладнання харчових виробництв

кандидат технічних наук

**Лензіон Валентин Йосипович**

Київський завод шампанських вин «Столичний»,

головний інженер заводу

Захист відбудеться “06” квітня 2011р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 у Національному університеті харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія A-311.

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

Автореферат розісланий “09” лютого 2011р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
к.т.н., доц.



Л.О. Кривопляс-Володіна

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Пошуки заходів по інтенсифікації процесів стерилізації і пастеризації з одночасним обмеженням температурних впливів і їх перепадів при забезпеченні необхідних термінів зберігання продукції є важливим і актуальним напрямком розвитку консервної промисловості. Особливо важливо це для продукції дитячого, лікувального та профілактичного харчування. Інтенсивний теплообмін у сполученні обробки продукції в потоці і одержаних упаковках дозволить наблизити параметри цих процесів до показників технологій високотемпературної короткочасної стерилізації з суттєвим підвищенням якісних показників продукції.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота пов'язана з Програмою Кабінету Міністрів "Україна-2010" (проект 4 – "Технологічне та технічне оновлення виробництва") і виконувалася у відповідності з пріоритетним напрямком робіт Подільського державного аграрно-технічного університету (державний реєстраційний номер 01080004513).

Автор особисто приймав участь у проведенні теоретичних і експериментальних досліджень, розробленні методик досліджень, обробці, аналізі й узагальненні отриманих результатів.

**Мета та завдання досліджень.** Метою досліджень є розробка заходів по інтенсифікації процесів теплової обробки і покращення якісних показників консервованої продукції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити впливи співвідношень геометричних параметрів упаковок на показник питомої поверхні;
- дослідити впливи геометричних параметрів упаковок на процеси теплообміну в режимах пастеризації і стерилізації продукції;
- здійснити оцінку методів інтенсифікації тепломасообміну в герметизованих упаковках;
- розробити аналітичні моделі по оцінці факторів інтенсифікації тепло- та масообміну продукції в герметизованих упаковках;
- розробити заходи по інтенсифікації теплообміну в упаковках на основі сполучення у своїй дії потенціальних полів сил тяжіння і сил інерції;
- здійснити оцінку щодо фізичних і хімічних впливів параметрів зовнішнього середовища на мікроорганізми з метою досягнення бактеріостатичних та летальних ефектів;
- дослідити впливи вакуумування тари до і в режимах фасування на асептичний стан упаковок і продукції;
- виконати дослідження по інтенсифікації теплової обробки продукції в потоці;
- розробити рекомендації по використанню результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

**Об'єкт дослідження:** перехідні процеси нагрівання і охолодження фасованої та герметизованої продукції в упаковках і в потоці, для досягнення параметрів, які відповідають летальним ефектам по мікрофлорі.

**Предмет дослідження:** взаємозв'язки між геометричними параметрами упаковок, теплофізичними характеристиками продукції та динамікою теплообміну.

*Методи дослідження:* дослідження проводились із застосуванням аналітичного моделювання інтенсифікації теплообмінних процесів; лабораторних експериментів; апробації результатів у промислових умовах. В їх основі лежать закони термодинаміки, кінетика хімічних і біохімічних реакцій, загальноживані і спеціальні гіпотези і припущення.

**Наукова новизна одержаних результатів.** На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень науково обґрунтовано технологію інтенсифікації перехідних режимів в процесах стерилізації і пастеризації фасованої продукції.

Розроблено аналітичні моделі по визначенню часу нагрівання продукції до температури стерилізації за умови зміни геометричних параметрів упаковок.

Встановлено взаємозв'язки між геометричними параметрами упаковок, теплофізичними параметрами оброблюваних середовищ і перебігом термодинамічних процесів.

Розроблено аналітичні моделі по оцінці впливів вакуумування упаковок на рівень фізичних ефектів у підготовці тари і досягненні її асептичних станів.

Розроблено заходи по інтенсифікації процесів масо- і теплообміну за рахунок створюваних потенціальних інерційних полів в рідинних і газорідинних потоках.

**Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.** Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням сучасних методів теоретичних та експериментальних досліджень, ЕОМ та вимірювальних приладів. На основі підтверджених теоретичних та експериментальних даних виявлені закономірності дозволили встановити напрями щодо інтенсифікації процесів теплообміну харчових продуктів та напоїв. Запропоновано нові конструктивні рішення, підтвердженні патентами України.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати теоретичних і експериментальних досліджень реалізовані за такими напрямками:

- розроблена методика розрахунків по визначенню питомої поверхні упаковок в умовах зміни масштабних переходів;
- розроблена методика розрахунків по оцінці змін питомої поверхні упаковок за рахунок зміни співвідношень геометричних параметрів і форми упаковок;
- показана можливість досягнення асептичних станів жорстких упаковок за рахунок їх вакуумування;
- запропоновано заходи по інтенсифікації тепло- і масообміну в трубопроводах за рахунок генерації сил інерції в рідинних і газорідинних потоках;
- досягається можливість обмеження температурних перепадів в оброблюваних середовищах.

**Особистий внесок здобувача** полягає в поглибленому аналізі теорії та практики досягнення асептичних станів продукції в результаті її пастеризації та стерилізації, формулюванні задач досліджень та напрямків їх розв'язання, розробці теоретичних моделей, які стосуються взаємозв'язків між геометрією та формою упаковок з динамікою їх теплової обробки, створенні лабораторної установки, проведенні експериментальних досліджень і обробленні їх результатів, розробці заходів по впровадженню рекомендацій щодо інтенсифікації теплообміну. Автор був основним виконавцем під час проведення і математичного опрацювання результатів експериментів, у підготовці публікацій і оформленні патентної

документації.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідалися на наукових конференціях Подільського державного аграрно-технічного університету, 74 науковій конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (Київ НУХТ), міжнародній Науково – практичній конференції «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи» (Київ НУХТ), наукових семінарах кафедри механізації переробки та зберігання сільськогосподарської продукції (ПДАТУ), технічних конференціях спеціалістів промисловості.

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових робіт, в тому числі 7 статей у фахових виданнях, 5 деклараційних патентів України та 4 тези доповідей на наукових конференціях.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

Робота викладена на 145 сторінках машинописного тексту, містить 41 рисунок, 20 таблиць та додатки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

**У вступі** висвітлено стан проблем, обґрунтовано актуальність проведення дослідження, встановлено зв'язок із науковими програмами організацій, де виконувалася робота, визначено мету роботи та завдання; сформульовано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, що виносяться на захист; визначено особистий внесок здобувача; подано перелік наукових конференцій, де були оприлюднені результати наукових досліджень.

**У першому розділі** виконано аналіз літературних джерел процесів пастеризаційної і стерилізаційної обробки харчової продукції і напоїв, які складають у своїй сукупності загальні технології. Аналіз методів досягнення асептичного стану продукції, тари та пакувальних матеріалів дозволяють відмітити наступне:

1. Теплові методи досягнення асептичного стану продукції продовжують займати чільне місце серед методів безпечної обробки, що особливо важливо стосовно продуктів, напоїв та соків для дитячого харчування.

2. Неконтрольоване розповсюдження хімічних методів консервації на нетрадиційні для них види продуктів харчування і напоїв слід вважати як таке, що створює екологічну небезпеку для населення в умовах обмеженої інформативності.

3. Досягнення індустрії нових пакувальних матеріалів створює нові можливості для розвитку технологій у тому числі і асептичного пакування харчових продуктів. На ринку напоїв, соків, пива тощо скляну та жерстяну тару активно витісняють полімерні упаковки та матеріали. Однак у випадках, коли здійснюється пастеризаційна або стерилізаційна обробка продукції скляна і жерстяна тара залишаються поза конкуренцією.

4. Асептична обробка продукції, соків і напоїв знаходить розвиток в потоках нефасованої і фасованої продукції. Сучасні технології і обладнання забезпечують високий рівень надійності в забезпеченні довготривалого зберігання продукції.

5. До недоліків теплової обробки фасованої продукції підвищеної в'язкості і консистенції слід віднести обмежені значення коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha_2$  та теплопередачі продукту. Досягнення позитивних результатів слід шукати на шляху використання упаковок збільшеної питомої поверхні за рахунок геометричних параметрів і у тому числі за рахунок зменшення їх розмірів.

6. Досягнення тріади умов "асептичний продукт в асептичних умовах фасується у асептичну тару" може досягатися сполученням теплової, хімічної і вакуумної обробки упаковок.

7. Значна кількість досліджень пов'язана з удосконаленням вузлів герметизації упаковок. Це потребує уточнення у зміні таких термодинамічних параметрів, як тиск і температура, що змінюються в режимах нагрівання і охолодження.

8. Цінність запропонованих моделей по теплопередаванню певною мірою нівелюється введенням початкових і кінцевих умов, які складно реалізувати в умовах промислової експлуатації обладнання.

9. Відсутня оцінка асептичного і фізичного впливу залишкового вакууму в герметизованих упаковках.

10. До числа напрямків інтенсифікації теплообміну в герметизованих упаковках відноситься використання потенціального поля сил тяжіння. За межами інтересів досліджень залишаються можливості використання сил інерції і сил внутрішнього тертя.

11. Відцентрові сили в потокових системах створюються за рахунок геометрії теплообмінних ділянок кінетичної і потенціальної енергії потоку.

12. Регенерація теплової енергії стосовно фасованої стерилізованої продукції залишається в ряду актуальних задач.

**У другому розділі** наведено методика досліджень і результати експериментального визначення параметрів.

Вибір напрямів інтенсифікації ґрунтувався на аналізі класичних положень термодинаміки з використанням поняття фактору інтенсивності теплоперенесення:

$$i=Q/(S\tau), \quad (1)$$

де  $Q$  – кількість перенесеної енергії;

$S$  і  $\tau$  – відповідно поверхня і час теплопередавання,  $m^2$ ,  $s$ .

Фактор інтенсивності теплопередавання одержано на основі лінійних кінетичних рівнянь, які не завжди відображують багатогранність і складність масо- і теплоперенесення. В цих дослідженнях прийнято припущення про незначні відхилення процесів від стану термодинамічної рівноваги і малі градієнти потенціалу перенесення.

На основі формального аналізу процесів теплової пастеризаційної та стерилізаційної обробки визначено повний набір параметрів, що відповідають за рівні їх інтенсивності. Певні міркування додатково приводять до висновку, що лише силові втручання за інших рівних умов приводять до позитивних результатів. На це вказують набори критеріїв гідродинамічної подібності Фруда, Ейлера і Рейнольдса, які виражають відповідно відношення сил інерції і тяжіння, сил тиску та інерції, сил інерції і тертя (в'язкості). Сили інерції, як бачимо, виступають складовою кожного з критеріїв.

Присутність останніх означає присутність прискорень як на макро- так і мікрорівнях. Саме тому перехід від конвективного теплообміну до кондуктивного у цьому дослідженні розглядається як один з числа найбільш важливих факторів інтенсифікації. Його відсутність в умовах кондуктивного теплообміну приводить лише до одного параметра впливу, яким є геометричний розмір (товщина теплопровідного шару продукту).

Відмічене дає підстави стверджувати, що до числа факторів впливу можуть бути віднесені:

- співвідношення показників потенціальних полів сил тяжіння і сил інерції, сил тиску і непотенціальних сил внутрішнього тертя;
- співвідношення геометричних параметрів та форма упаковок, які визначають питому площу поверхні останніх і еквівалентну (віднесену до площі) товщину шару продукту;
- змінні значення кінематичних параметрів потоків і перебудова їх структури.

Співвідношення геометричних параметрів упаковок визначають питому площу поверхні упаковки як відношення цієї площі до об'єму продукту в ній. Звідси витікає можливість інтенсифікації теплообміну за рахунок зміни форми упаковки або за рахунок зменшення її об'єму. Останнє ґрунтується на тому, що площа поверхні упаковки пропорційна квадрату геометричного параметра, а об'єм – його кубу. Одним з напрямків збільшення питомої поверхні упаковок є використання складних геометричних фігур і у тому числі таких, які є технологічними у виготовленні.

На основі використання принципу суперпозиції і припущень, що покладаються в основу розв'язання диференціальних рівнянь теплопровідності, введено поняття еквівалентної товщини шару продукту  $\delta_{\text{екв}}$ . Це дозволило виконувати розрахунки по визначенню часу теплової обробки упаковок у порівнянні з аналогічним показником для якогось довільного типорозміру упаковки з однаковими продуктами і у межах однакових температур в умовах кондуктивного теплоперенесення.

Розроблена теорія підлягала експериментальній перевірці. Лабораторна установка мала у своєму складі термостат, термозонди у формі термопар, блок перетворень первинного сигналу і комп'ютер. У якості продукту, що підлягав тепловій обробці, було обрано м'ясні паштети, які використовувалися у всіх дослідах. Це забезпечило стабілізацію теплофізичних параметрів продукту.

Для зручності проведення експериментів вони здійснювалися з відкритими упаковками в умовах теплообміну через дінце і бокові стінки банок. Цій умові відповідає рівняння:

$$\delta_{\text{екв}} = \frac{di}{4(i + 0,25)} \quad (2)$$

де  $d$  – внутрішній діаметр упаковки, м;

$i = h/d$ ;

$h$  – висота шару продукту в упаковці, м.

Експеримент складався з двох частин. У першій визначався час  $\tau_1$ , за який продукт у центральній частині установчої упаковки нагрівався до заданої кінцевої температури  $t_{(к)}$  при фіксованій температурі теплоносія  $t_T$  у термостаті. За

фіксованих температур  $t_r$ , початкової температури  $t_{(п)}$  і кінцевої  $t_{(к)}$  продукту у порівнюваних дослідах стабілізується середній температурний напір.

Таким чином, кінцевий час процесу  $\tau_{(к)1}$  визначається експериментально, а за переходу на інший типорозмір банки з параметрами  $d_2$  та  $h_2$  розрахунковий час  $\tau_{(к)2}$  в межах тих же температур визначається за формулою:

$$\tau_{(к)2} = \frac{(\pi d_1^2 + 4\pi h_1 d_1) d_2^2 h_2^2 \left( \frac{h_1}{d_1} + 0,25 \right)}{(\pi d_2^2 + 4\pi h_2 d_2) d_1^2 h_1^2 \left( \frac{h_2}{d_2} + 0,25 \right)} \tau_{(к)1}. \quad (3)$$

У другій частині досліду величина  $\tau_{(к)2}$  визначалася експериментально і знайдене значення порівнювалося з розрахунковим.

Результати експериментальної перевірки встановили відповідність теоретичної моделі реальним процесам з відхиленнями у межах 6,87%. Це дало підстави встановити відповідну залежність для герметизованих банок:

$$\tau_{(к)2} = \frac{(\pi d_1^2 + 2\pi h_1 d_1) d_2^2 h_2^2 \left( \frac{h_1}{d_1} + 0,5 \right)}{(\pi d_2^2 + 2\pi h_2 d_2) d_1^2 h_1^2 \left( \frac{h_2}{d_2} + 0,5 \right)} \tau_{(к)1}. \quad (4)$$

У **третьому розділі** виконано дослідження, пов'язані з пошуком взаємозв'язків між геометричними параметрами упаковок та інтенсивністю теплообміну в герметизованих упаковках.

При цьому предметом досліджень були перехідні процеси нагрівання і охолодження, які у значній кількості випадків лімітують загальний процес.

У технологіях теплової пастеризації і стерилізації витрати часу пов'язані з процесами нагрівання, витримки при температурі стерилізації і охолодження. Числові значення цих часових витрат відображені у відповідних формулах пастеризації та стерилізації. Очевидно, що зі зростанням об'ємів упаковок зростають час нагрівання і час охолодження. Особливо подовженими ці процеси є для консистентної продукції, у якої є обмеженим або взагалі відсутнім конвективний теплообмін. Підвищення швидкості перебігу цих перехідних процесів має вирішальне значення, тим більше, що воно важливе не тільки з точки зору продуктивності технологічного обладнання, а стосується і якісних показників продукції. Якщо самою технологією ведення процесів можливо обмежити час нагрівання герметизованої упаковки за рахунок фасування гарячої продукції, то в процесах охолодження для консистентної продукції єдиним і лімітуючим є процес передавання теплоти теплопровідністю.

У зв'язку з цим важливим фактором теплообміну слід вважати конструктивний фактор упаковки:

$$K_{п.у} = \frac{S}{V} = \frac{k_{пр}}{l}, \quad (5)$$



де  $S$  – поверхня упаковки,  $m^2$ ;  $V$  – об'єм упаковки,  $m^3$ ;  $k_{пр}$  – приведений коефіцієнт форми упаковки;  $l$  – характерний геометричний розмір упаковки.

В цій формулі через приведений коефіцієнт форми упаковки наведено лише односторонню форму впливу на конструктивний фактор упаковки. Однак існує інший фактор впливу, пов'язаний з абсолютними розмірами упаковки (рис. 1).

Пошук взаємозв'язків між параметром  $K_{п.у}$  і динамікою теплообмінних процесів здійснено з використанням класичних співвідношень:

$$Q = kS\Delta t, \quad (6)$$

де  $Q$  – потужність теплового потоку;  $k$  – коефіцієнт теплопередачі;  $\Delta t$  – температурний напір.

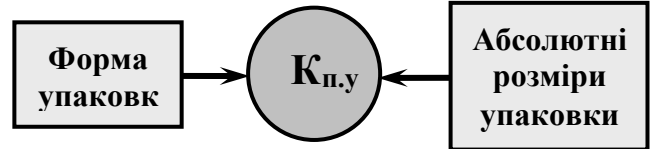


Рис. 1. Схема для оцінки впливу на конструктивний фактор упаковки.

Кількість теплової енергії, задіяної у процесі:

$$E = Q\tau = mc(t_{(к)} - t_{(п)}) = kS\Delta t\tau, \quad (7)$$

де  $m$  і  $c$  – відповідно маса і теплоємність продукту.

Оскільки  $m = V\rho$ , де  $\rho$  – густина продукту, одержуємо:

$$\frac{S}{V} = \frac{\rho c(t_{(к)} - t_{(п)})}{k\Delta t} \cdot \frac{1}{\tau}. \quad (8)$$

Позначивши стабілізовані параметри як:

$$\beta = \frac{\rho c(t_{(к)} - t_{(п)})}{k\Delta t}, \quad (9)$$

остаточно одержуємо:

$$\tau = \beta \frac{V}{S}. \quad (10)$$

Звідси витікає, що для ізооб'ємних упаковок ( $V = \text{const}$ ) за інших рівних умов час нагрівання (охолодження) упаковки обернено-пропорційний її поверхні  $S$ .

Умовам (6)-(10) відповідає ліва частина зв'язку по рис. 1 між формою упаковки і конструктивним фактором  $K_{п.у}$ . Відхід від цього положення вказує на вплив абсолютних розмірів упаковок на умови теплопередачі. За такого переходу принципова роль починає належати коефіцієнту кратності переходу  $k_{кр}$  (масштабному переходу тих самих форм) і  $k_{кр} = d_i/d_{(п)}$ .

Так для циліндричної упаковки, коли  $h = d$  маємо:

$$\frac{S_{ц}}{V_{ц}} = \frac{6}{k_{кр}d}. \quad (11)$$

Результати розрахунків питомої поверхні упаковки за заданими значеннями кратності  $k_{кр}$  наведено на рис. 2.

Якщо позначити співвідношення  $\psi = h/d$  для циліндричних упаковок, то одержуємо залежність:

$$\frac{S_{\Pi}}{V_{\Pi}} = \frac{4\psi + 2}{\psi d}. \quad (12)$$

Для аналізу умови (12) представлено графічну залежність на рис. 3. З графіка можливо зробити наступні висновки. Відступ від умови  $d=h$ , як ліворуч, так і праворуч пов'язаний з порушенням умови мінімізації поверхні упаковки. Це означає, що за значень  $1 < \psi < 1$  відношення  $S_{\Pi}/V_{\Pi}$  зростає. Однак межею зростання є ордината  $\psi=1$  і їй відповідає умова  $\psi < 1$ . В той же час за умови  $\psi > 1$ , має місце хоча і сповільнене зниження відношення  $S_{\Pi}/V_{\Pi}$ . Спадаюча гілка залежності від  $\psi=1$  до  $\psi=2$  вказує на зниження цільової функції  $S_{\Pi}/V_{\Pi}$  у зв'язку зі зростанням об'єму упаковки.

Очевидно, що подібний характер повинен бути притаманним для тіл інших форм.

Так для відкритого циліндра маємо:

$$\frac{S_{\Pi}}{V_{\Pi}} = \frac{4\psi + 1}{\psi d}. \quad (13)$$

Для кубічної закритої упаковки з ребром  $a$  одержуємо:

$$S_{\text{к}}/V_{\text{к}} = 6/a, \quad (14)$$

для відкритого куба:

$$S_{\text{к}}/V_{\text{к}} = 5/a, \quad (15)$$

а для паралелепіпеда з квадратною основою за умови  $h=\psi a$ :

$$\frac{S_{\Pi}}{V_{\Pi}} = \frac{4\psi + 2}{\psi a}. \quad (16)$$

Співвідношення  $S/V$  в наведених формулах представлені як функції геометричних параметрів. Однак останні по кожній фігурі різні, а тому для отримання числових даних і можливості порівняння результатів необхідно різні випадки привести до однакових об'ємів. Додамо від зазначених геометричних форм дані щодо багатогранників, а саме тетраедра, октаедра, додекаедра і ікосаедра.

Так тетраedr має чотири вершини і шість ребер довжиною  $a$ . Для нього:

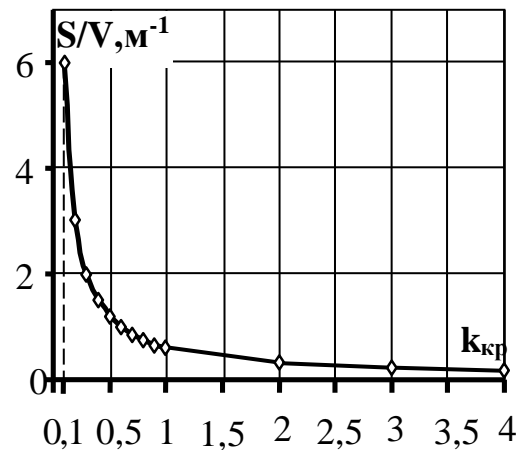


Рис. 2. Вплив коефіцієнта кратності на питому площу поверхні упаковки.

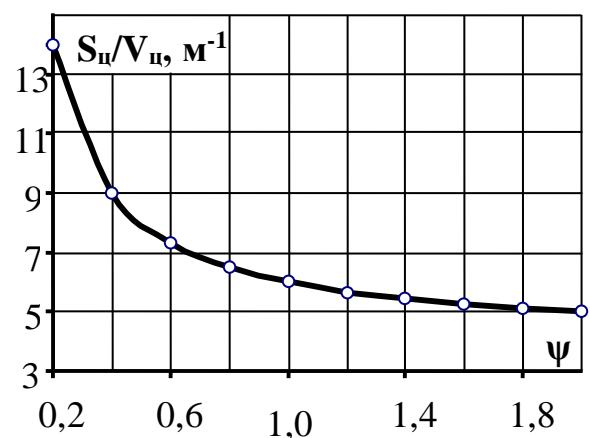


Рис. 3. Графік залежності  $S_{\Pi}/V_{\Pi}(\psi)$  для умови  $d=\text{const}=1\text{м}$ .

$$V_{\text{тет}} = \frac{a^3 \sqrt{2}}{12}; S_{\text{тет}} = a^2 \sqrt{3}; R = \frac{a\sqrt{6}}{4}; r = \frac{a\sqrt{6}}{12}; h = \frac{a\sqrt{6}}{3}, \quad (17)$$

де  $R$  – радіус описаної сфери;  $r$  – радіус вписаної сфери;  $h$  – висота.

$$S_{\text{тет}} / V_{\text{тет}} = 14,669 / a. \quad (18)$$

Для октаедра, додекаедра та ікосаедра аналогічно одержуємо:

$$\frac{S_{\text{окт}}}{V_{\text{окт}}} = \frac{7,35}{a}; \frac{S_{\text{дод}}}{V_{\text{дод}}} = \frac{2,694}{a}; \frac{S_{\text{ікос}}}{V_{\text{ікос}}} = \frac{3,969}{a}. \quad (19)$$

Вирішуючи задачу співставлення різних форм упаковок приймемо для зручності підрахунків  $V=1$  та  $V=0,5\text{м}^3$  і за таких умов вирахуємо параметри  $d$ ,  $a$  та співвідношення  $S/V$ . Дані розрахунків представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльні співвідношення геометричних параметрів упаковок

Параметр	Сфера	Ікосаедр	Додекаедр	Циліндр	Октаедр	Куб	Тетраедр
$d, \text{м}$	$\frac{1,241}{0,985}$	-		$\frac{1,084}{0,86}$	-		
$a, \text{м}$	-	$\frac{0,77}{0,612}$	$\frac{0,507}{0,4}$	-	$\frac{1,285}{1,06}$	$\frac{1}{0,794}$	$\frac{2,039}{1,618}$
$S/V, \text{м}^{-1}$	$\frac{4,835}{6,091}$	$\frac{5,15}{6,485}$	$\frac{5,3}{6,735}$	$\frac{5,535}{6,977}$	$\frac{5,72}{6,934}$	$\frac{6}{7,557}$	$\frac{7,208}{9,085}$
Кратність зростання	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26

Порядок представлення даних упаковок різної форми, у табл. 1 відповідає зростанню показника  $S/V$ , а значення параметрів записані у формі дроби. Дані чисельника відповідають умові  $V=1,0$ , а знаменника –  $V=0,5\text{м}^3$ . Найменше значення  $S/V$ , як бачимо, відповідає сфері, а найбільше – тетраедру. Кратність зростання питомої площі становить 1,26, що відповідає зменшенню об'єму у 2 рази.

Дані, що стосуються циліндра і куба, які мають найбільший інтерес, наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Співвідношення геометричних параметрів для циліндра і куба

Циліндр										
$V, \text{м}^3$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$d, \text{м}$	0,503	0,634	0,726	0,798	0,860	0,914	0,963	1,006	1,046	1,084
$S/V, \text{м}^{-1}$	11,928	9,464	8,250	7,519	6,977	6,650	6,230	5,964	5,736	5,535
Куб										
$V, \text{м}^3$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$d, \text{м}$	0,464	0,585	0,669	0,737	0,794	0,843	0,888	0,928	0,965	1,0
$S/V, \text{м}^{-1}$	12,930	10,256	8,969	8,147	7,565	7,117	6,757	6,466	6,218	6,0

Наведені дані свідчать про те, що співвідношення енергетичних витрат відповідають співвідношенням у зміні об'ємів. Визначено, що співвідношення часу перехідних процесів за інших рівних умов дорівнюють кубічному кореню із співвідношення у зміні їх об'ємів (рис. 4).

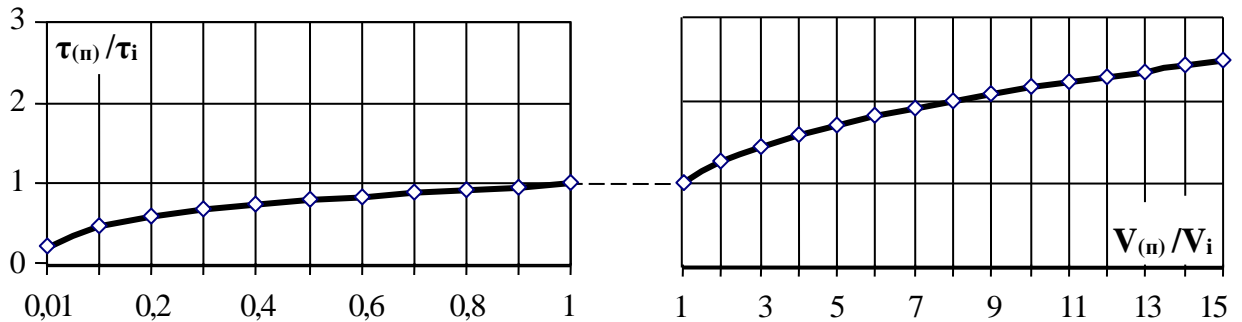


Рис. 4. Графіки, що відображують зміну часу обробки упаковок в залежності від зміни їх об'ємів:  $V_{(n)}$  – об'єм початкової упаковки;  $V_i$  – об'єм  $i$ -ої упаковки;  $\tau_{(n)}$  – час обробки початкової упаковки;  $\tau_i$  – час обробки  $i$ -ої упаковки.

Останній висновок стосується випадків конвективного теплообміну в середині банок, коли співвідношення  $S/V$  може розглядатися як фактор інтенсифікації. Для випадку кондуктивного теплообміну до нього додається ефект зміни термічного опору продукту у зв'язку з товщиною шару останнього.

Виконаємо оцінку таких змін на основі поняття еквівалентної товщини шару продукту  $\delta_{екв}$ . Нехай базовому варіанту відповідають значення геометричних параметрів банки  $d_1$  та  $h_1$  і при цьому  $d_1=h_1$ . Тоді:

$$V_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} h_1 = \frac{\pi d_1^3}{4}. \quad (20)$$

Аналогічно для порівнюваного варіанту маємо:

$$V_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} h_2 = \frac{\pi d_2^3}{4}.$$

Позначимо  $V_2/V_1=k_{кр}$  і тоді:

$$d_2 = \sqrt[3]{k_{кр}} d_1. \quad (21)$$

У табл. 3 наведено співвідношення геометричних параметрів порівнюваних об'єктів.

Таблиця 3

Співвідношення геометричних параметрів банок у зв'язку з коефіцієнтом кратності

Коефіцієнт кратності $k_{кр}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$d_2/d_1$	0,464	0,585	0,669	0,737	0,793	0,843	0,888	0,928	0,965	1,0
$h_2/h_1$	0,464	0,585	0,669	0,737	0,793	0,843	0,888	0,928	0,965	1,0

Таким чином, прискорення нагрівання продукту пов'язано зі зменшенням термічного опору як у радіальному, так і в осьовому напрямках.

На основі принципу цієї позиції вважаємо, що кількість теплової енергії сприйнята упаковкою, дорівнює сумі енергій, одержаних через бічну і торцеві поверхні:

$$E_{\text{сум}} = E_{\text{біч}} + E_{\text{тор}}. \quad (22)$$

Нехтуючи термічним опором оболонки упаковки, який суттєво менший за термічний опір консистентного продукту, в опосередкованому випадку записуємо:

$$E_{\text{сум}} = S_{\text{сум}} \frac{\lambda}{\delta_{\text{екв}}} \Delta t \tau, \quad (23)$$

де  $\Delta t_c$  – середній для об'єкта температурний напір;  $\tau$  – час перебігу процесу;  $S_{\text{сум}}$  – сумарна поверхня теплопередавання;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності продукту.

Зважаючи на прийняту умову  $V = S_{\text{сум}} \delta_{\text{екв}}$ , знайдемо:

$$\delta_{\text{екв}} = \frac{\pi d^2 h}{4 \left( \pi d h + \frac{\pi d^2}{2} \right)}. \quad (24)$$

За умови  $d=h$ :

$$\delta_{\text{екв}} = \frac{\pi d^3}{4 \left( \pi d^2 + \frac{\pi d^2}{2} \right)} = \frac{d}{6}. \quad (25)$$

За співвідношення  $h/d=i$  одержуємо:

$$\delta_{\text{екв}} = \frac{di}{4(i+0,5)}. \quad (26)$$

Тоді термічний опір:

$$\rho_{\text{екв}} = \frac{\delta_{\text{екв}}}{\lambda} = \frac{di}{4\lambda(i+0,5)}. \quad (27)$$

Для упаковки у формі куба:

$$\rho_{\text{екв}} = \frac{a}{6\lambda}, \quad (28)$$

для паралелепіпеда з квадратним перерізом і довжиною ребра  $s$  та при  $s=ai$ :

$$\rho_{\text{екв}} = \frac{ai}{2\lambda(1+2i)}. \quad (29)$$

У випадку порівнювання процесів з двома типорозмірами банок маємо:

$$E_1 = S_1 \frac{\lambda}{\delta_{1\text{екв}}} \Delta t_1 \tau_1; \quad (30)$$

$$E_2 = S_2 \frac{\lambda}{\delta_{2 \text{ екв}}} \Delta t_2 \tau_2. \quad (31)$$

Тоді:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{S_1 \lambda \delta_{2 \text{ екв}}}{S_2 \lambda \delta_{1 \text{ екв}}} \cdot \frac{\Delta t_1 \tau_1}{\Delta t_2 \tau_2} = \frac{S_1 \delta_{2 \text{ екв}}}{S_2 \delta_{1 \text{ екв}}} \cdot \frac{\tau_1}{\tau_2}, \quad (32)$$

якщо прийняти  $\Delta t_1 = \Delta t_2$ . Звідси:

$$\tau_2 = \frac{S_1 E_2 \delta_{2 \text{ екв}}}{S_2 E_1 \delta_{1 \text{ екв}}} \tau_1. \quad (33)$$

З врахуванням  $E_1 = m_1 c(t_{(к)} - t_{(п)})$ ;  $E_2 = m_2 c(t_{(к)} - t_{(п)})$  одержуємо рівняння виду (4).

Складністю у інтенсифікації перехідних процесів є та обставина, що теплообмін обмежується коефіцієнтом теплопровідності  $\alpha_2$  від стінки упаковки до продукту. Вплив на гідродинамічний режим в упаковках розшукується на шляху використання потенціальних полів сил тяжіння і сил інерції. Розроблено аналітичну модель у визначенні силових параметрів за сполучення дії сил тяжіння і сил інерції, коли останні генеруються і є недоліком законів руху упаковок. Ця частина досліджень привела до висновку про те, що інтенсифікація теплообміну в упаковках ґрунтується на перемішуванні в них середовищ, що потребує виконання одного з двох варіантів:

- сили, що прикладаються до об'єкта змінні за величиною або напрямком;
- об'єкт змінює свою орієнтацію в стаціонарному потенціальному силовому полі.

Оскільки до останніх в наших умовах відносяться гравітаційне поле і потенціальне поле сил інерції, то саме на основі цих чинників можливою є зміна гідродинамічних режимів продукції в герметизованих упаковках.

**В четвертому розділі** до числа задач дослідження віднесено наступне:

- виконати поглиблений аналіз даних літературних джерел, що стосуються механізмів, фізичних, хімічних впливів, факторів зовнішнього середовища та їх комбінацій на мікроорганізми і одержання бактеріостатичних та летальних ефектів;
- розробити заходи термодинамічних параметрів і перебігу перехідних процесів за вакуумування тари перед процесами фасування продукції;
- виконати дослідження по підвищенню інтенсивності процесів тепло- і масообміну за термічної обробки продукції в потоці.

Вибір методів обробки тари і пакувальних матеріалів повинен враховувати резистентні властивості мікрофлори. Так термостійкість мікроорганізмів у вологому середовищі помітно нижча, ніж у сухому повітрі або у перегрітій парі. На термостійкість також впливає активність води ( $a_w$ ). Саме тому зміна активної вологості продукції за рахунок додавання цукру, солі та інших хімічних компонентів і тим самим зниження  $a_w$  приводить до зниження летальних ефектів. На стійкість мікроорганізмів щодо різних фізичних (у тому числі термічних) факторів впливають не лише рН і  $a_w$ , але й концентрація іонів органічних кислот, вуглеводів, білків жирів тощо.

Узагальнення останньому переліку у дії на мікроорганізми очевидно слід пояснити сумарною величиною осмотичного тиску середовищ.

Вибір методів обробки тари і пакувальних матеріалів, як правило, ґрунтується на тому, що рівень досягнення летальних ефектів стосується всієї популяції мікроорганізмів. Останнє на рівні гіпотези знаходить своє відображення у формі рівняння Арреніуса:

$$K = A \exp\left(-\frac{E_{\text{акт}}}{RT}\right), \quad (34)$$

де  $K$  – константа швидкості загибелі, функція наслідкових властивостей, фізіологічного стану мікроорганізмів, умов і температур нагрівання;  $A$  – передекспоненціальний множник, с;  $E_{\text{акт}}$  – енергія активації, кал/моль;  $R$  – газова стала;  $T$  – абсолютна температура.

Загальновизнаними зі значного числа можливих технологій асептичної обробки продукції продовжують залишатись теплова на рівні пастеризації і стерилізації та застосування консервантів.

На рівні бактеріостатичних впливів ефективними є стабілізація показників продукції за рахунок охолодження та заморожування, використання вакуумних упаковок або модифікованих газових середовищ.

При цьому має бути виконана тріада умов, а саме: асептичний продукт в асептичних умовах фасується в асептичну тару.

Перша складова тріади виконується за рахунок використання пастеризаторів для теплової обробки продукції в потоці. Виконання двох інших умов є дещо складнішим, і це ускладнення пов'язане з особливостями роботи машин і застосуванням для обполіскування пляшок (банок) у фінальній стадії питної води, яка не є асептичною. Неасептичним є також повітряне середовище робочих приміщень.

При цьому присутність операції вакуумування можлива лише за міцної і жорсткої тари, яка спроможна витримувати різницю зовнішнього тиску і залишкового тиску вакуумування. Вакуумування скляних пляшок з максимальною технологічно можливою глибиною призводить до переходу за точку адіабатного кипіння залишків вологи, що супроводжуються летальними ефектами щодо мікрофлори і на додаток зумовлюють фізичне вилучення мікроорганізмів, що перебувають у газовій частині об'єму пляшки. Між операціями вакуумування відбувається заповнення пляшок діоксидом вуглецю з тиском, що відповідає тиску при фасуванні продукції.

Враховуючи важливість вибраної послідовності технологічних операцій сукупність позитивних наслідків, які при цьому виникають, будуть наступними:

- обмежується рівень контактування напоїв з повітрям і киснем завдяки першочерговому вакуумуванню пляшок (банок);
- перехід через температуру адіабатного кипіння залишкової вологи на внутрішній поверхні тари знижує вірогідність мікробіального забруднення, оскільки адіабатне кипіння її супроводжується видаленням мікробних структур разом з утвореною парою;

- адіабатне кипіння залишків вологи приводить до охолодження тари, зближуючи температури останньої з температурою фасованого продукту (0-4°C). Наслідком такого зближення є обмеження термічних напружень при фасуванні і зменшення втрат тари і продукції при ізобаричному фасуванні;
- чергування операцій вакуумування і заповнення пляшок (банок) діоксидом вуглецю при тисках фасування (0,258-0,35МПа) супроводжується зміною напрямків масоперенесення на поверхні мікробних клітин. Різке зниження тиску в упаковках приводить до критичних режимів десатурації клітинного соку мікробних клітин, що залишаються на внутрішній поверхні у газовій фазі, і летальних ефектів;
- фасування напоїв в газову фазу CO<sub>2</sub> при рівноважних тисках забезпечує утримання в напоях діоксиду вуглецю в розчиненому стані і розрахункові режими заповнення тари. З цієї точки зору важливо обмежувати температурні перепади напоїв і тари, оскільки невиконання цієї умови на початковій фазі фасування приводить до активної десорбції CO<sub>2</sub>, утворення пінної фракції і недозаповнення тари.

Вивчення особливостей фасування пива і напоїв у скляну тару, що супроводжується попереднім вакуумуванням останньої і наповненням CO<sub>2</sub>. Переваги таких впливів відображено на схемі рис. 5.

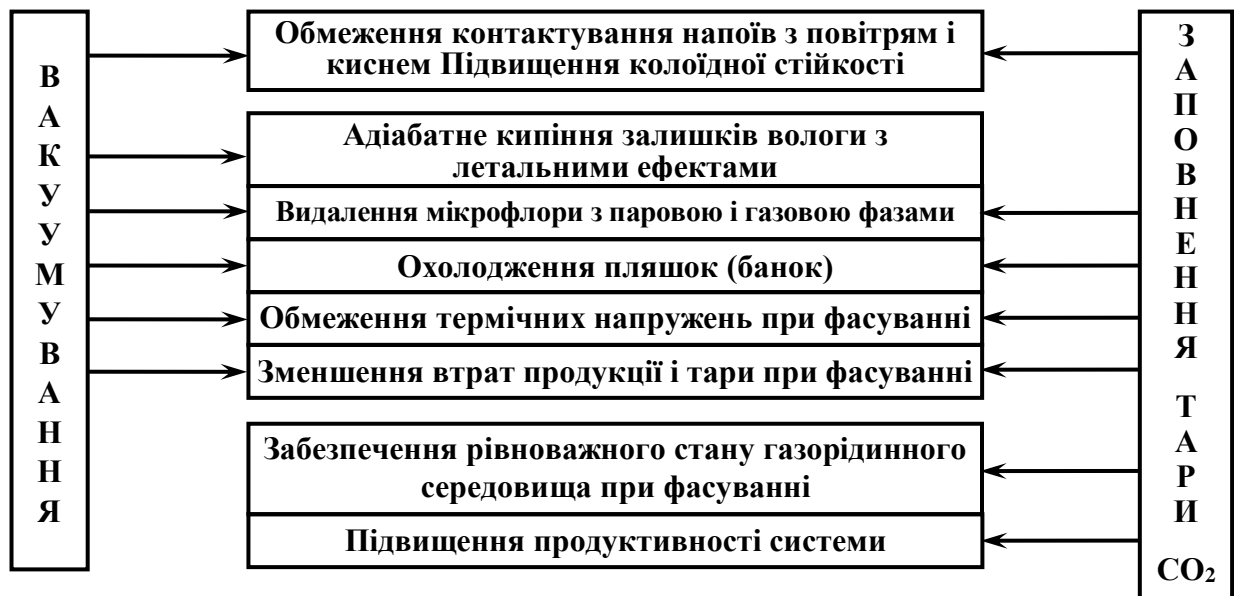


Рис. 5. Схема до визначення сукупності фізичних впливів на скляну тару в режимі передфасувальної обробки.

Перехід до використання ПЕТ-тари (матеріал тари поліетилентерафталат) окрім переваг супроводжується певною сукупністю недоліків (рис. 6).

Екологічні проблеми, що супроводжують цю технологію, мають подвійний рівень. Один з них стосується необхідності використання консервантів, а другий – з необхідністю збирання, сортування і переробки використаної упаковки.

До числа ж важливих переваг технологій на основі ПЕТ-тари слід віднести зниження енергетичних витрат на одиницю продукції, що відображено в розділі 4 відповідними розрахунками.



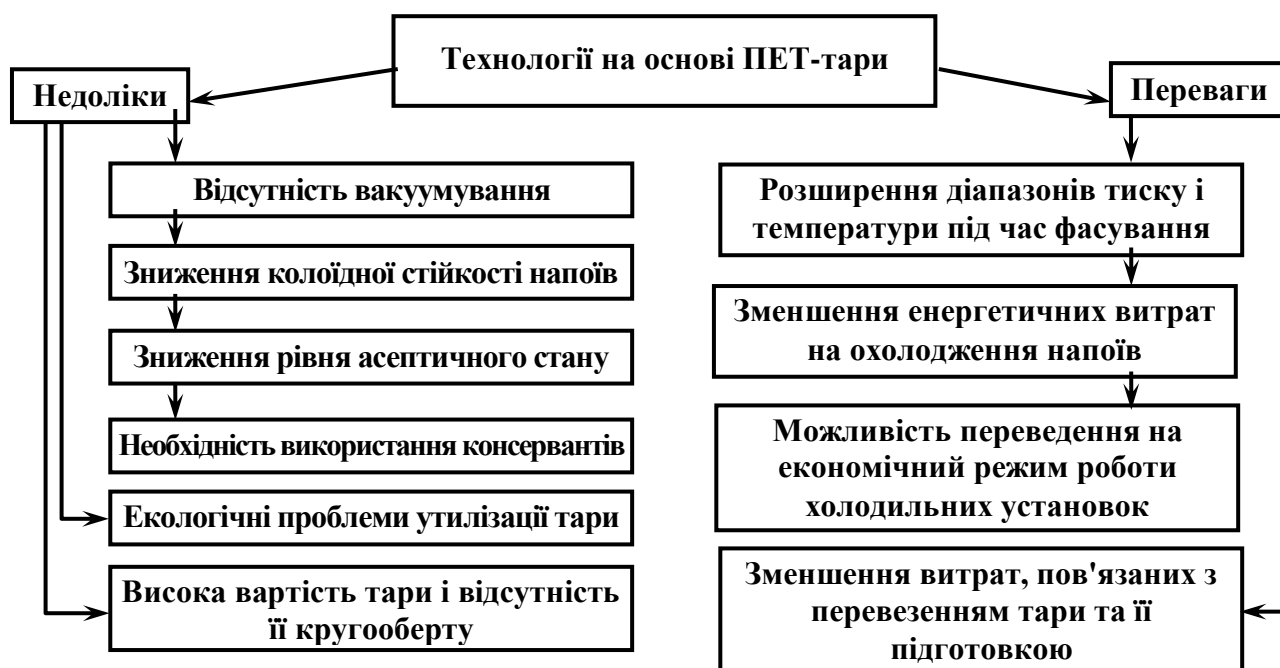


Рис. 6. Схема щодо фізичних і економічних недоліків і переваг технологій фасування газованих напоїв на основі ПЕТ-тари.

Пастеризаційна і стерилізаційна обробка продукції в потоці стала складовою значної кількості виробництв. Питання інтенсифікації теплообміну розглядалися на основі використання потенціальних полів сил інерції, що генеруються за криволінійних ділянок трубопроводів. При цьому відносно нескладно досягаються задані параметри частоти і амплітуд силових впливів. Виникає можливість створення у самому потоці інерційних відцентрових сил з програмованими закономірностями, які можливо використати для внутрішнього перемішування та інтенсифікації теплообміну по коефіцієнту тепловіддачі  $\alpha_2$ .

Створення змінних за величиною і напрямком відносно потоку інерційних відцентрових сил має підвищену ефективність щодо газорідних систем, оскільки зазначені пульсаційні впливи можуть створюватися на фоні підвищених тисків в потоках. Це означає можливість впливу на масообмін на рівнях поверхонь поділу фаз і на рівнях перемішування середовищ. Останнє супроводжується інтенсифікацією теплообміну через оболонку потоку за рахунок його кінетичної і потенціальної енергій.

## ВИСНОВКИ

Виконаний аналіз літературних джерел, аналітичні дослідження та їх експериментальна апробація щодо інтенсифікації тепло- та масообміну дозволяють відмітити наступне:

1. Визначено вплив співвідношень фізичних значень і геометричних параметрів упаковок на показник питомої поверхні, який за інших рівних умов пропонується рахувати визначальним в умовах кондуктивного теплопередавання.

2. Теоретично і експериментально визначено впливи геометричних параметрів на перехідні процеси теплообміну в режимах пастеризації та стерилізації продукції.

3. Розроблено аналітичні моделі по оцінці факторів і методів інтенсифікації тепло- та масообміну продукції в герметизованих упаковках. Визначено, що збільшення питомої поверхні упаковки є вагомим фактором інтенсифікації цього процесу.

4. Запропоновано до використання в аналітичних моделях поняття еквівалентної товщини шару продукту і еквівалентного термічного опору.

5. Розроблені заходи по інтенсифікації теплообміну в упаковках на основі сполучення у своїй дії потенціальних полів сил тяжіння і сил інерції.

6. Удосконалено фізичні впливи вакуумування упаковок з метою досягнення бактеріостатичних та летальних ефектів.

7. Встановлено закономірності по інтенсифікації масо- і теплообміну під час обробки продукції в умовах штучного створення інерційних полів зі змінними параметрами.

8. Розроблені рекомендації по впровадженню результатів досліджень і розробок передано технічним керівникам підприємств. Економічний ефект по їх впровадженню складе 143 тис. грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Масообмін в процесах змішування рідинних і газових потоків / А.І. Соколенко, М.Д. Хоменко, В.А. Піддубний [та ін.] // Цукор України. - 2006. – № 6. – С. 19-21.

*Особистий внесок здобувача* – сформулював фізичне підґрунтя енергетичних витрат.

2. Піддубний В.А. Високоенергетичні технології обробки молока і молочних продуктів / В.А. Піддубний, А.І Соколенко, О.М. Семенов // Молочное дело. - 2006. – № 9. – С. 62-63.

*Особистий внесок здобувача* – обґрунтував доцільність і перспективність вакуумної гомогенізації молока.

3. Про ефективність використання холодильних установок / А.І. Соколенко, О.М. Семенов, В.А. Піддубний [та ін.] // Молочное дело. - 2006. – № 5. – С. 24-27.

*Особистий внесок здобувача* – розрахував енергетичну доцільність ефективного використання холодильних установок.

4. Семенов О.М. Вибір геометрії упаковки / О.М. Семенов, В.А. Піддубний, А.І. Соколенко // Упаковка. - 2006. № 5. – С. 30-32.

*Особистий внесок здобувача* – розробив теоретичну частину.

5. Семенов О.М. Оцінка фізичних впливів на тару в процесах підготовки її до фасування рідинної продукції / О.М. Семенов, В.С. Костюк, А.Й. Варфоломеев // Харчова промисловість. - 2006. – № 5. – С. 79-82.

*Особистий внесок здобувача* – розробив аналітичний апарат.

6. Інтенсифікація теплообміну в умовах стерилізаційної обробки фасованої продукції / О.М. Семенов, А.І. Соколенко, Ю.О. Мальська [та ін.] // Харчова промисловість. - 2008. - № 6. – С. 84-87.

*Особистий внесок здобувача* – встановив взаємозв'язки між співвідношеннями геометричних параметрів упаковок з еквівалентною товщиною шару продукту і еквівалентним термічним опором.

7. Семенов О.М. Оцінка перспектив інтенсифікації процесів стерилізації і пастеризації харчової продукції / О.М. Семенов, В.С. Костюк, О.О. Бойко // Харчова промисловість. - 2008. - № 6. – С. 87-90.

*Особистий внесок здобувача* – обґрунтував залежність між розмірами упаковки певного об'єму та інтенсивністю протікання теплообмінних процесів між продуктом та навколишнім середовищем.

8. Інтенсифікація теплообміну при ротаційній стерилізації / А.І. Соколенко, К.В. Васильківський, Ю.О. Ступак [та ін.] // Харчова промисловість. - 2008. - № 7. – С.64-66.

*Особистий внесок здобувача* – обґрунтував використання потенціальних полів сил інерції, за рахунок відцентрових сил.

9. Інтенсифікація тепло- і масообміну при стерилізації консервів за рахунок силових полів / А.І. Соколенко, К.В. Васильківський, В.С. Костюк [та ін.] // Харчова промисловість. - 2008. - № 7. – С.67-69.

*Особистий внесок здобувача* – запропонував аналітичний апарат щодо оцінки ротаційних впливів у вигляді сил інерції та тяжіння.

10. Пат. 21960 Україна, МПК В01D 3/18. Масообмінний апарат / Піддубний В.А., Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Блаженко С.І., Семенов О.М.; заявник і патентовласник НУХТ. - №200611503; заявл. 01.11.2006; опубл. 10.04.2007, Бюл. №4.

*Особистий внесок здобувача* – сформулював необхідність оснащення дифузора клапаном-генератором гідравлічних ударів.

11. Пат. 25561 Україна, МПК С12М 1/02. Апарат для вирощування мікроорганізмів / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Блаженко С.І., Шевченко О.Ю., Семенов О.М.; заявник і патентовласник НУХТ. - №200704080; заявл. 13.04.2007; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.

*Особистий внесок здобувача* – запропонував організувати зустрічні потоки газової і рідинної фаз.

12. Пат. 25944 Україна, МПК А23N 1/00. Спосіб одержання соків при переробці плодів та ягід / Соколенко А.І., Васильківський К.В., Піддубний В.А., Мальська Ю.О., Семенов О.М.; заявник і патентовласник НУХТ. - №200704080; заявл. 27.04.2007; опубл. 27.08.2007, Бюл. № 13.

*Особистий внесок здобувача* – запропонував здійснювати вакуумування подрібненої маси.

13. Пат. 31049 Україна, В65D 85/00. Пристрій для інтенсифікації та масообміну в герметизованих упаковках / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Семенов О.М., Шевченко О.Ю., Бендера І.М., Полатайло Д.М.; заявник і патентовласник НУХТ. - №200712449; заявл. 09.11.2007; опубл. 25.03.2008, Бюл. № 6.

*Особистий внесок здобувача* – обґрунтував необхідність примусового обертання навколо власної осі периферійних утримувачів упаковок.

14. Пат. 84986 Україна, МПК С13D 1/00. Спосіб одержання соків при переробці плодів та ягід / Соколенко А.І., Васильківський К.В., Піддубний В.А., Мальська

Ю.О., Семенов О.М.; заявник і патентовласник НУХТ. - №200704729; заявл. 27.04.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 23.

*Особистий внесок здобувача* – запропонував здійснювати вакуумування подрібненої маси.

15. Масообмінний апарат : матеріали I Всеукраїнської студентської науково-методичної конференції [„Перші наукові кроки”], (Кам’янець - Подільський 24-25 квіт. 2007 р) / М-во аграр. політики, Поділ. держ. аграр. - техн. ун-т. - Кам’янець-Подільський: Аксіома, 2007. – 168 с.

*Особистий внесок здобувача* – сформулював необхідність оснащення дифузора клапаном-генератором гідравлічних ударів.

16. Стабілізація соків і напоїв : матеріали 74 наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів [«Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті»], (Київ 21-22 квіт. 2008 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т. харч. техн. – К.: НУХТ, 2008. – 338 с.

*Особистий внесок здобувача* – запропонував здійснювати вакуумування подрібненої маси.

17. Перспективи інтенсифікації процесів теплової обробки харчової продукції : матеріали 74 наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів [«Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті»], (Київ 21-22 квіт. 2008 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т. харч. техн. – К.: НУХТ, 2008. – 338 с.

*Особистий внесок здобувача* – обґрунтував вибір раціональних параметрів упаковок.

18. Особливості теплової стерилізаційної та пастеризаційної обробки фасованої продукції : матеріали Міжн. конф. [«Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодні та перспективи»], (Київ 27-28 вер. 2010 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т. харч. техн. – К.: НУХТ, 2010. – 91 с.

*Особистий внесок здобувача* – обґрунтував необхідність інтенсифікації кондуктивного теплообміну.

## Анотація

**Семенов О.М. Удосконалення процесів пастеризаційної і стерилізаційної обробки харчової продукції і напоїв: – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. Подільський державний аграрно-технічний університет Міністерства аграрної політики України, Кам’янець-Подільський, 2011.

В дисертації представлено результати аналізу сучасного стану технологій пастеризаційної та високотемпературної стерилізаційної обробки продуктів харчування і напоїв, метою яких є забезпечення їх довгострокового зберігання.

Показано можливість інтенсифікації перехідних режимів нагрівання і охолодження герметизованих упаковок з продукцією за рахунок збільшення питомої поверхні, що визначається відношенням площі поверхні до їх об’єму. Наведено дані щодо двох шляхів у цьому напрямку.

Розроблено аналітичні моделі по оцінці рівнів впливів запропонованих заходів по інтенсифікації теплообміну. Здійснено перехід від співвідношень геометричних параметрів упаковок до швидкості перебігу процесів теплопередавання. Експериментальна перевірка підтвердила адекватність запропонованих аналітичних моделей реальним процесам.

Виконано розробку теоретичного обґрунтування інтенсифікації кондуктивного теплообміну в умовах висококонсистентної продукції.

Розроблено математичні моделі по оцінці силових впливів на продукцію в герметизованих упаковках за рахунок сполучення потенціальних полів сил тяжіння і сил інерції. Здійснено оцінку впливів вакуумування і хімічної обробки в процесах підготовки тари і пакувальних матеріалів до фасування продукції. Розроблено заходи по інтенсифікації тепло- і масообміну щодо середовищ в потоці.

Здійснено промислове впровадження розробок у виробництво.

**Ключові слова:** стерилізація, упаковка, мікроорганізми, продукція, геометричні параметри, теплообмін.

### Аннотація

**Семенов А.М. Совершенствование процессов пастеризационной и стерилизационной обработки пищевой продукции и напитков: – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05. 18. 12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. Подольский государственный аграрно-технический университет Министерства аграрной политики Украины, Каменец-Подольский, 2011.

В диссертации представлены результаты анализа современного состояния технологий пастеризационной и стерилизационной высокотемпературной обработки продуктов питания и напитков.

Показана возможность интенсификации переходных режимов нагревания и охлаждения герметизированных упаковок с продукцией за счет увеличения удельной площади, которая определяется отношением площади поверхности к объему последней.

Объектом исследования являются переходные процессы нагревания и охлаждения фасованной и герметизированной продукции в упаковках и в потоке, целью которых является достижение параметров, соответствующих летальным эффектам по микрофлоре.

Во введении отображено состояние проблем, обоснована актуальность кандидатского исследования, установлена связь с научными программами учреждений, где выполнялась работа, определены цель и задачи работы; получены практические значения результатов, которые выносятся на защиту; определен личный вклад соискателя; представлен список научных конференций, где докладывались результаты научных исследований.

Первый раздел посвящен анализу литературных источников, обобщению опыта применяемых технологий и теоретической базы в их основе. Показаны особенности прохождения переходных процессов нагревания и охлаждения продукции.

Второй раздел посвящен методикам теоретических и экспериментальных исследований, приведено обоснование в выборе направлений интенсификации теплообмена применительно к упакованной и герметизированной продукции. Изложены результаты, связанные с созданием алгоритма экспериментальной проверки теоретических моделей и непосредственные результаты их проверки на адекватность.

В третьем разделе излагаются результаты исследований, связанные с определением взаимосвязей между геометрией упаковок и геометрических параметров с термодинамикой тепловой обработки упаковок.

Определены два направления в интенсификации такого теплообмена. Первый из них связан с формой упаковок, а второй – с габаритными размерами последних. В качестве меры возможности такой интенсификации предложена величина удельной площади поверхности упаковки в форме отношения площади поверхности к объему. Такой фактор интенсификации соответствует обоим указанным направлениям. Выполнен анализ различных геометрических форм упаковок по показателю удельной площади с точки зрения перспектив их использования. На основе объединения геометрии упаковок и классических уравнений теплообмена разработана методика моделирования по параметру времени переходных процессов для стабилизированных теплофизических условий теплопередачи и характеристик продукта. Такая методика подтверждена экспериментальной проверкой в широком диапазоне изменения геометрических параметров.

В качестве фактора интенсификации теплообмена рассматривается сочетание влияний потенциальных полей сил тяжести и сил инерции. При этом силы инерции представлены центробежными силами, наибольшая эффективность воздействия которых связана с режимами перемещений упаковок.

Выполнена оценка интенсификации теплообмена в потоках сред за счет нестационарных их оболочек.

В четвертом разделе приведена информация, касающаяся влияния вакуумирования и химической обработки тары и упаковочных материалов перед фасованием продукции, разработаны соответствующие теоретические модели.

Осуществлено промышленное внедрение результатов исследования.

**Ключевые слова:** стерилизация, упаковка, микроорганизмы, продукция, геометрические параметры, теплообмен.

### **Annotation**

**Semenov O.M. Improvement of processes of pasteurization and sterilization treatment of food products and drinks: it is Manuscript.**

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after speciality 05.18.12 are processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical productions. Podilsk state agrarian-technical university of, Kam'yanetz-Podilskiy, 2011.

The results of analysis of the modern state of technologies of pasteurization and high temperature sterilization treatment of food and drinks stuffs are represented in dissertation, the purpose of which there is providing of their long-term storage.

Possibility of intensification of transient behaviors of heating and cooling of the pressurized packing is shown with products due to the increase of specific surface that is determined by attitude of area of surface toward their volume. Information is resulted in relation to two ways in this direction. The first from them is up to the form of packing, and the second is offered as direction of diminishment of overall sizes.

Analytical models are developed by estimation of levels of influencing of the offered measures after intensification of heat exchange. Transition is carried out from correlations of geometrical parameters of packing to speeds motion of processes of heat-transfer experimental verification confirmed adequacy of the offered analytical models to the real processes.

Development of theoretical ground of intensification of contact- heat exchange is executed in the conditions of high-consistency products.

Mathematical models are developed by estimation of power influences on products in the pressurized packing due to connection of the potential fields of attractive and forces of inertia powers. Estimation of influencing of vacuum treatment and chemical treatment is carried out in the processes of preparations container and materials to packing of products. Measures are developed on intensification heat- and mass-transfer in relation to environments in a stream.

The industrial is carried out introduction developments in production.

**Keywords:** sterilization, packing, microorganisms, products, geometrical parameters, heat exchange.