

**III. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА**

Берник І. М.

*Вінницький
національний
аграрний
університет*

Bерnyk I. M.

*Vinnitsya National
Agrarian University*

УДК 621.031:664.292

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ
СЕРЕДОВИЩ**

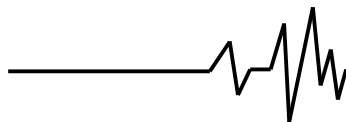
***Анотація.** В статті розглянуто методи інтенсифікації обробки харчових середовищ. Здійснена оцінка існуючих класичних моделей, що відображають їх внутрішні властивості. Встановлено, що одним з перспективних методів підвищення ефективності обробки харчових середовищ, в тому числі в акустичному полі дії, можливо на основі врахування взаємодії та оцінки взаємовпливу збудника коливань та оброблювального харчового середовища. Рішення цієї задачі пропонується розглянути на основі моделювання харчового середовища розподіленими параметрами, а робочого органу дискретними параметрами. Отримані аналітичні залежності для визначення амплітуди коливань та контактної тиску.*

***Ключові слова:** модель, харчове середовище, збудник коливань, інтенсифікація, амплітуда коливань, контактний тиск.*

Постановка проблеми дослідження. Інтенсифікація будь-якого технологічного процесу передбачає отримання прямого або опосередкованого ефекту за рахунок збільшення продуктивності, ККД, зменшення енерго- і матеріалоемності обладнання, довготривалості лімітуючих стадій, підвищення якості продукту, ергономічних і соціальних показників. Існує низка методів інтенсифікації технологічних процесів, за рахунок яких досягається забезпечення зазначених вище параметрів. Цілком очевидно, що задоволення одночасно всіх не може бути реалізовано, оскільки визначення та збільшення одного параметра можливе при певному обмеженні або навіть зменшенні інших, зазначається [1], що інтенсифікація може забезпечувати прискорення технологічного процесу при покращеній або погіршеній якості продукції або при незмінній якості. Варто відмітити, що в більшості випадків виникає потреба в підвищенні якості продукту за умов зменшення енергоемності та тривалості технологічного процесу і, як наслідок, підвищення продуктивності. Існуючими методами інтенсифікації технологічних процесів, які класифікуються як режимно-технологічні та

апаратно-конструктивні [1] вирішити таку оптимізаційну задачу досить складно. Пояснюється це тим, що оптимальні технологічні параметри мають бути забезпечені відповідними характеристиками обладнання, які не завжди є раціональними з точки зору енергоемності і матеріалоемності. Рішення задачі можливе за умови спільного моделювання системи «обладнання – середовище», як єдиної, із врахуванням внутрішніх властивостей підсистем в загальному їх русі, які використовують ціле направлено. Іншими словами, загальна система розраховується і здійснює технологічний процес із максимальним використанням енергії, що витрачається на обробку того чи іншого середовища. На цій гіпотезі і формулюється мета роботи.

Мета роботи полягає в інтенсифікації технологічних процесів обробки харчових середовищ на основі встановлення фізико-механічної моделі середовища, що адекватно відображає реальний процес і розглядаючи систему "апарат – харчове середовище" як єдину із ціле направленим раціональним використанням внутрішніх, пружно-інерційних, характеристик кожної із підсистем.



Методика досліджень та результати. Методика досліджень формується за наступними напрямками.

1. Вибір та обґрунтування реологічної моделі харчового середовища, що підлягає обробці.

2. Оцінка машин і апаратів за їхніми загальними та питомими параметрами і критеріями з метою визначення оптимальної схеми та розрахункової моделі.

3. Обґрунтування та встановлення загальної (спільної) розрахункової схеми «апарат – середовище».

4. Складання рівнянь спільного руху раціональної схеми та визначення основних параметрів технологічного циклу обробки середовища.

5. Розробка алгоритму інтенсифікації технологічного процесу обробки харчового продукту.

Реологічна модель має враховувати такі основні властивості: пружність, в'язкість, пластичність, міцність. Доцільність їхнього

врахування залежить від ступеня впливу на параметри машин, що зумовлено видом технологічної операції робочого процесу (подрібнення, перемішування, ущільнення, різання, пакування і т.п.).

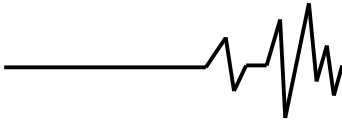
Процедура врахування вказаних властивостей полягає у виборі фізичної моделі із подальшим математичним описом й оцінкою впливу у вигляді розрахункових залежностей, у процесі визначення тих чи інших параметрів машин. З фізичного погляду вибір моделі зумовлений основними характеристиками – деформацією і напруженням, які виникають під час будь-якої технологічної операції й утворюють так званий напружено-деформований стан.

Зазначені основні властивості оброблюваних середовищ є основою будь-якого матеріалу. Відомі три моделі ідеалізованих матеріалів: ідеально пружне тіло (Гука); ідеально в'язка рідина (Ньютона); ідеально пластичне тіло (Сен-Венана) (табл. 1).

Таблиця 1

Фізико-механічні моделі ідеалізованих матеріалів

н/п	Назва моделі	Графічна інтерпретація	Графік	Рівняння	Умовні позначення
1	Гука			$\sigma = E\varepsilon;$ $\tau = G\gamma$	σ, τ – нормальне і дотичне напруження, Па; E, G – модулі пружності за мінімальної та кутової деформації, Па
2	Ньютона			$\sigma = \eta_T \zeta$ $\tau = \eta \dot{\nu}$	η – в'язкість при зсуві, Па·с; η_T – в'язкість при повздовжній течії, Па·с; ζ – швидкість повзучості, с ⁻¹ ; $\dot{\nu}$ – швидкість зсуву, с ⁻¹
3	Сен-Ванана			При $\tau < \tau_T$ відсутня деформація, при $\tau = \tau_T$ течія	τ_T – межа текучості при зсуві, Па



В ідеально пружному тілі енергія витрачається на деформацію під час навантаження і повертається внаслідок розвантаження. Закон Гука описує поведінку кристалічних й аморфних тіл за малих деформацій, а також рідин за ізотропного розширення-стискування:

$$p = E_v \Delta, \quad (1)$$

де p – гідростатичний тиск, Па; E_v – модуль об'ємного розширення (стискування), Па; Δ – відносне об'ємне розширення-стиск (відношення зміни об'єму до об'єму у вихідному стані).

Ідеально в'язка рідина характеризується тим, що в ній напруження пропорційні швидкості деформації. В'язка течія відбувається внаслідок дії будь-яких сил, проте швидкість деформації зменшується за зменшення сил, а за їхньої відсутності дорівнює нулю. Для таких рідин в'язкість є постійною, пропорційальною напруженню зсуву.

Закон Ньютона описує поведінку в'язко-молекулярних рідин під час зсуву і повздовжньої течії (води, бензину та ін.). Модель ньютонівської системи являє собою демпфер, складається з поршня, який переміщується в циліндрі з рідиною. Під час

переміщення поршня рідина кризь отвори між поршнем і циліндром перетікає з однієї частини циліндра в іншу, а опір при цьому вважають пропорційним швидкості поршня.

Ідеально пластичне тіло Сен-Венана уявляється у вигляді елемента, який складається з двох притиснутих одна до одної пластинок. За відносного переміщення пластин між ними виникає постійна сила тертя, яка не залежить від нормальної сили. Тіло Сен-Венана не починає рухатися доти, доки напруження зсуву не стане більшим від критичного значення – межі текучості (див. табл. 1), що має назву *граничне напруження зсуву*. За цієї умови, елемент може рухатися із будь-якою швидкістю.

У реальних середовищах, що мають складну будову, можуть проявлятися всі три реологічні властивості. Для побудови моделі їх з'єднують між собою послідовно або паралельно. До таких основних моделей належать пружно-пластичні тіла Сен-Венана, в'язко-пружні тіла Кельвіна-Фойгта і Максвелла, в'язко-пластичні тіла Шведова-Бінгама та інші, застосування яких зумовлено тими чи іншими властивостями (рис. 1).

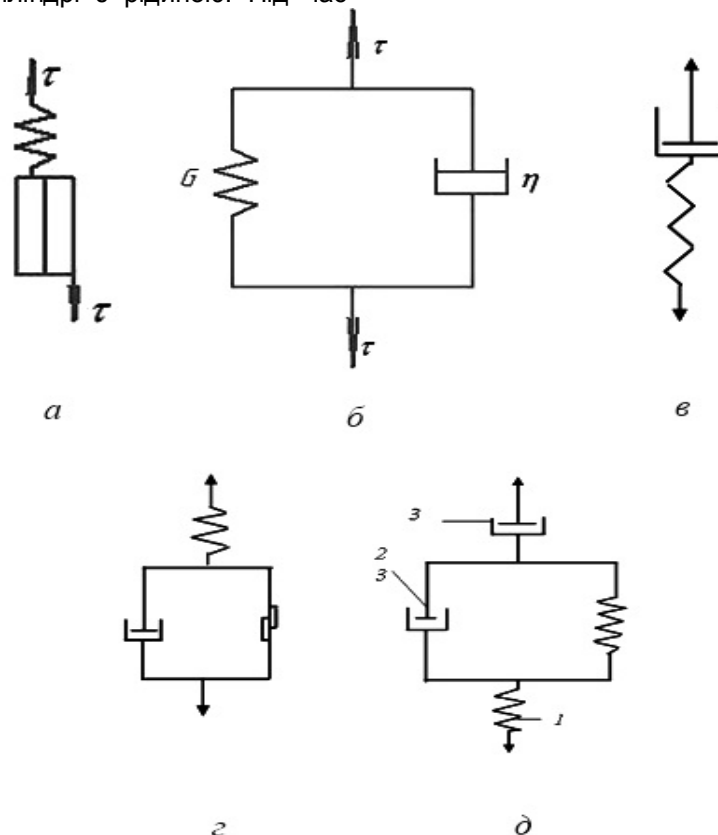
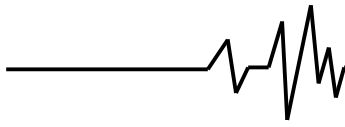


Рис. 1. Реологічні моделі:

а – модель пружно-пластичного тіла; б – модель Кельвіна-Фойгта; в – модель Максвелла; г – модель Шведова – Бінгама; д – модель в'язкопружності



Аналіз реологічних властивостей харчових продуктів [2] засвідчує, що їм притаманні пружні, в'язкі та пластичні, і їх вибір обумовлюється конкретним технологічним станом виготовлення або обробки. На етапі попереднього вибору у якості моделі приймається модель Кельвіна-Фойгта, для якої залежність між напруженням σ і деформацією ε має вигляд:

$$\sigma = E\varepsilon + \eta\dot{\varepsilon} \quad (2)$$

де E , η – постійні, що характеризують пружні та в'язкі властивості харчового середовища.

Варто відмітити, що вибір будь-якої моделі (див. рис. 1) обумовлюється конкретним середовищем.

Оцінка машин і апаратів за їх загальними та питомими характеристиками визначається низкою критеріїв, які класифікують за певною групою ознак (рис. 2).

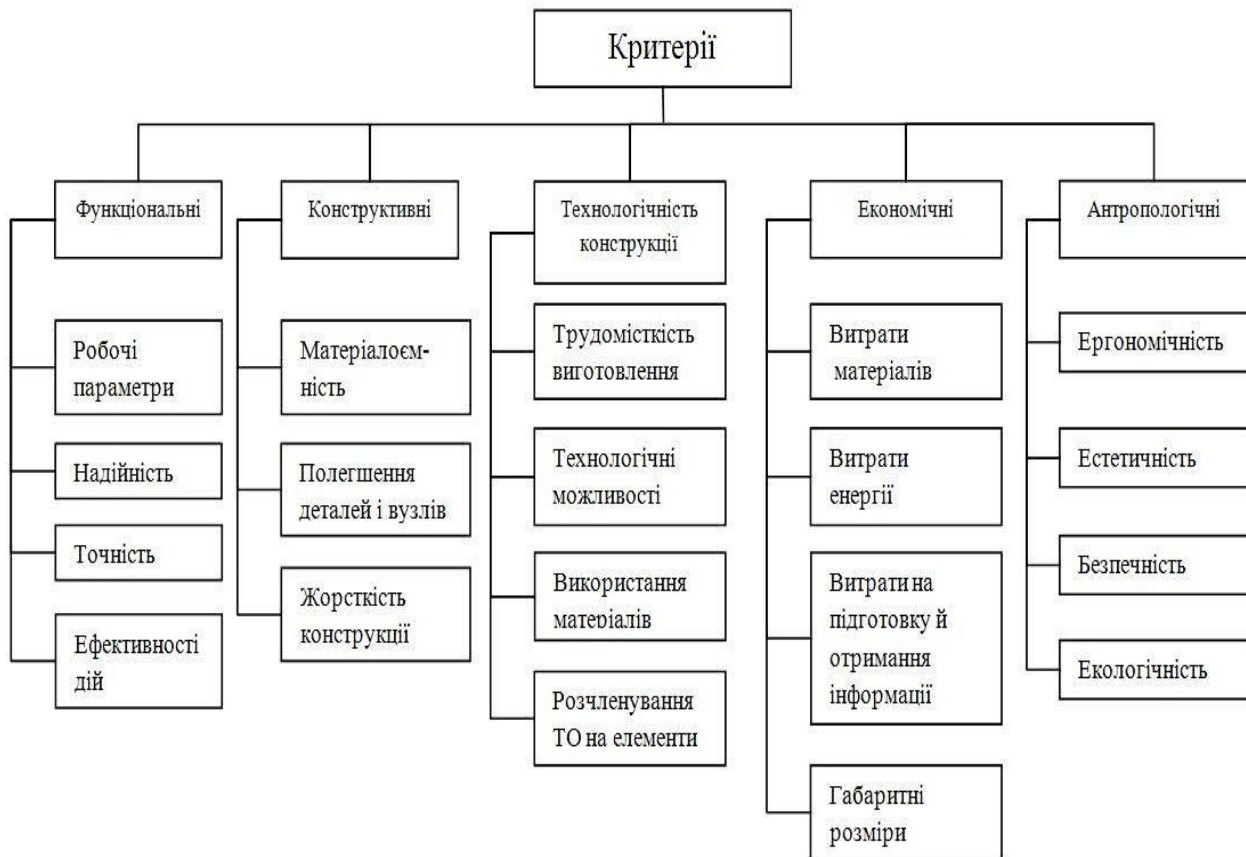


Рис. 2. Класифікація критеріїв розвитку техніки

Функціональні критерії характеризують найважливіші показники реалізації функції машини або обладнання.

Критерії, за якими оцінюють конструкцію машини, визначають матеріаломісткість, способи зменшення ваги деталей і вузлів та жорсткість конструкцій.

Технологічні критерії, пов'язані тільки з можливістю і простотою виготовлення машин.

Економічні критерії визначають економічну доцільність тих чи інших методів розробки та створення як деталей, вузлів, так і машин загалом.

Антропологічні критерії, пов'язані з питаннями людського чинника або впливу

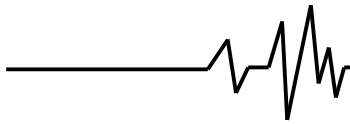
позитивних і негативних чинників на людей, викликаного створенням машин.

Для здійснення аналізу застосовуються такі відносні параметри:

- **загальний коефіцієнт корисної дії** (ККД);

- **продуктивність** $\Pi = m/T$, кг/с(Дж/с) визначає величину потоку маси або енергії за одиницю часу;

- **індекс продуктивності** $I_{\Pi} = m_2/m_3$ засвідчує відношення кількості готового продукту m_2 до загальної маси m_3 , витраченої на виробництво;



- **матеріаломісткість** $M = G / m$, кг/кг(кг/Дж) показує кількість маси на одиницю перенесеної речовини або енергії;
 - **енергоємність** $E = P / m$, Вт/кг(Вт/Дж) визначає кількість потоку енергії на одиницю перенесеної речовини або енергії;
 - **ексергетичний ККД**, $K_e = E_{ex} / E_{вих}$, де E_{ex} , $E_{вих}$ – ексергія вхідних і вихідних потоків (ексергія – максимальна робота, яку виконує система, взаємодіючи з навколишнім середовищем);
 - **термодинамічний ККД**, $K_T = E_e / E_n$, де E_e , E_n – ексергія, що реально використовується, і ексергія наявна;
 - **коефіцієнт використання об'єму** $k_V = V_{z.n.} / V_{z.o.}$ визначає відношення об'єму готового продукту до геометричного об'єму машини;
 - **ступінь перетворення** $k_{пер} = m / m_{max}$ відображає відношення реально отриманого продукту до його максимального значення, який можна отримати за конкретних умов роботи машин.
- Серед існуючих методів обробки харчових середовищ найбільш ефективним є

застосування ультразвукових коливань [3], механізм дії яких розглянуто в ряді робіт [4, 5] і полягає у використанні фізичних ефектів у дисперсних системах при швидкій зміні зовнішнього тиску (ефект кавітації). Реалізація цього методу передбачає існування або створення великої кількості бульбашок, які рівномірно розподіленні в рідині. За різкої зміни тиску кожна бульбашка стискається, а потім захоплюється. У результаті виділяється імпульс високого тиску у формі ударної хвилі і при захопленні бульбашки можлива її високочастотна осциляція із випромінюванням значної акустичної енергії в зону обробки харчового середовища. Наявність хвильового процесу із високочастотними складовими є передумовою отримання суттєвих значень питомої потужності в зоні обробки, можливим проявленням ефектів багаторежимності (суб- і суперрезонансів).

Виходячи з цього важливу складовою забезпечення заданого технологією процесу обробки є вибір моделі середовища, що здійснює коливання. У першому наближенні приймається модель залежності між напруженням і деформацією у вигляді формули 2, за розрахунковою схемою (рис. 3).

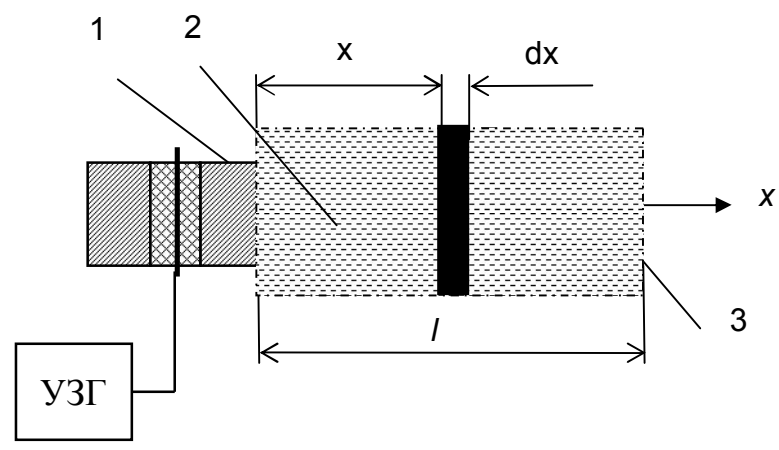


Рис. 3. Розрахункова схема:
1 – віброюча поверхня, 2 – середовище, 3 – виділений елемент

Хвильове рівняння має вигляд

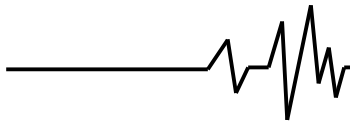
$$\frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x^2} + \frac{\eta}{\rho} \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x^2 \partial t} = \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial t^2}, \quad (3)$$

де ρ – щільність харчового середовища; ε – переміщення у напрямку розповсюдження хвиль по осі x .

Рішення рівняння (3) для випадку періодичної сили:

$$\varepsilon_{\pm} = A_0 \pm e^{\pm \alpha + l(\pm r x - \omega t)}, \quad (4)$$

де A_0 – амплітуда коливань в точці збудження хвилі; α – коефіцієнт згасання енергії в



середовищі; κ – хвильове число ($\kappa = \frac{\omega}{c}$); ω – основна частота коливань; c – швидкість розповсюдження хвиль в середовищі; l – довжина середовища у напрямку розповсюдження хвилі.

Рішенням (4) рівняння (3) можна тримати амплітуду коливань середовища

$$A = A_0 \sqrt{\frac{ch2\pi\beta' + \cos 2\pi\beta''}{ch2\pi\beta'_0 + \cos 2\pi\beta''_0}}, \quad (5)$$

де A_0 – амплітуда коливань джерела енергії; β' β'' – величини, що визначаються із граничних умов.

Також можна отримати і основні реологічні характеристики харчового середовища:

модуль пружності

$$E = \frac{\rho\omega^2(\kappa^2 - \alpha^2)}{\sqrt{(\kappa^4 - \alpha^4)^2 + 4\kappa^2\alpha^2(\alpha^2 + \kappa^2)^2}}, \quad (6)$$

коефіцієнт згасання

$$\eta = 2E \frac{\alpha}{c(\kappa^2 - \alpha^2)}. \quad (7)$$

Є можливим визначити і динамічний тиск P_d , як одного з головних параметрів системи «збудник коливань – середовище»:

$$P_d = \frac{\omega\rho s A \sqrt{c_1^2 + c_2^2}}{1 + \left(\frac{\eta c}{\omega}\right)^2}, \quad (8)$$

де

$$c_1 = \frac{\frac{\eta c}{\omega} ch4\pi \frac{\eta c}{\omega} \cdot \frac{e}{\lambda} + \sin 4\pi \frac{e}{\lambda}}{ch4\pi \frac{\eta c}{\omega} \cdot \frac{e}{\lambda} + \cos 4\pi \frac{e}{\lambda}},$$

$$c_2 = \frac{sh4\pi \frac{\eta c}{\omega} \cdot \frac{e}{\lambda} - \frac{\eta c}{\omega} \sin 4\pi \frac{e}{\lambda}}{ch4\pi \frac{\eta c}{\omega} \cdot \frac{e}{\lambda} + \cos 4\pi \frac{e}{\lambda}}, \quad (9)$$

де c_1 і c_2 за фізичною суттю є хвильовими коефіцієнтами, що враховують вплив середовища на загальний рух системи «збудник коливань – середовище». Практичне застосування залежностей (4) ... (9) потребує визначення реологічних параметрів харчового середовища, що є задачами подальших досліджень.

Висновки

1. Розроблена методика оцінки параметрів обладнання та оброблювального харчового середовища з метою інтенсифікації робочих процесів.

2. Визначені критерії оцінки технологічного процесу обробки харчового середовища.

3. Отримані аналітичні залежності для описання хвильового поля харчового середовища, практична реалізація яких потребує знань реологічних констант оброблювальних харчових середовищ.

Список використаних джерел

1. Назаренко І.І. Основи проектування і конструювання машин та обладнання переробних виробництв: Навч. посібник / І.І. Назаренко, І.М. Берник // К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 544 с.

2. Кузнецов О.А. Реология пищевых масс: Учебное пособие / О.А. Кузнецов, Е.В. Волошин, Р.Ф. Сагитов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. – 106 с.

3. Луговской А.Ф. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях / А.Ф. Луговской, Н.В. Чухраев.- К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007.-244 с.

4. Хмелев В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности: Курс лекций / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков и др. – Бийск: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2010. – 203 с.

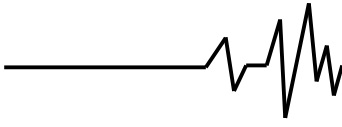
5. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика / М.А. Промтов. – М.: Машиностроение, 2001. – 260 с.

Список джерел в транслітерації

1. Nazarenko I.I. Osnovy proektuvannya y konstruyuvannya mashyn ta obladnannya pererobnykh vyrobnytstv : Navch. posibnyk / I.I. Nazarenko, I.M. Bernyk // K. : Ahrar Media Hrup, 2013. – 544 s.

2. Kuznetsov A.A. Reologii pishchevykh mass: Uchebnoye posobiye / O.A. Kuznetsov, Ye.V. Voloshin, R.F. Sagitov. – Orenburg: GOU OGU, 2005. – 106 s.

3. Lugovskoy A.F. Ultrazvukovaya kavitatsiya v sovremennykh tekhnologiyakh / A.F. Lugovskoy, N.V. Chukhrayeva. – M.: Izdatel'sko – poligraficheskiy tsentr "Kiyevskiy universitet" 2007. – 244 s.



4. Khmelev V.N. Primeneniye ultrazvuka vysokoy intensivnosti v promyshlennosti: Kurs lektsiy / V.N. Khmelev, A.N. Slivina, R.V. Barsukov i dr. – Biysk: Izd-vo Alt. gos. un-ta, 2010. – 203 s.

5. Promtova M.A. Pulsatsionnyye apparaty rotornogo tipa: teoriya i praktika / M.A. Promtova. – M. : Mashinostroyeniye, 2001. – 260 s.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ СРЕД

Аннотация. В статье рассмотрены методы интенсификации обработки пищевых сред. Осуществленная оценка существующих классических моделей, которые отображают их внутренние свойства. Установлено, что одним из перспективных методов повышения эффективности обработки пищевых сред, в том числе в акустическом поле действия, возможно на основе сочетания взаимодействия и оценки взаимовлияния возбудителя колебаний и обрабатываемой пищевой среды. Решение этой задачи предлагается рассмотреть на основе моделирования пищевой среды распределенными параметрами, а рабочего органа дискретными параметрами. Полученные аналитические зависимости для определения амплитуды колебаний и контактного давления.

Ключевые слова: модель, пищевая среда, возбудитель колебаний, интенсификация, амплитуда колебаний, контактное давление.

INTENSIFICATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF TREATMENT OF FOOD ENVIRONMENTS

Annotation. The methods of intensification of treatment of food environments are considered in the article. Realizable estimation of existent classic models that represent them internal properties. It is set that one of perspective methods of increase of efficiency of treatment of food environments, including in the acoustic field of action, maybe on the basis of taking into account of cooperation and estimation of cross-coupling of causative agent of vibrations and processing food environment. The decision of this task it is suggested to consider on the basis of design of food environment by the up-diffused parameters, and working organ by discrete parameters. The got analytical dependences are for determination of amplitude of vibrations and pin pressure.

Key words: model, food environment, causative agent of vibrations, intensification, amplitude of vibrations, pin pressure.