

УДК 663.62

Піддубний В.А., кандидат технічних наук

*Національний університет харчових технологій*

## **АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ І ПЕРЕВАГ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ**

Перехідні процеси є складовими більшості динамічних явищ, пов'язаних зі зміною електромагнітних, механічних, акустичних, термодинамічних, масообмінних, гідродинамічних та інших параметрів. Їм відповідає змінна швидкість перебігу, прискорення або гальмування аж до стабілізації та досягнення умов статичної або динамічної рівноваги, за яких настають усталені режими.

Фізичне підґрунтя особливостей перехідних процесів добре ілюструється динамікою механічних систем. Наприклад, фазами розгону, усталеного руху і вибігу в переміщенні маси  $m$  під дією рушійної сили  $P_p$  і при наявності сили опору  $P_{оп}$ . У відповідності з принципом Д'Аламбера вважається, що рух такої маси характеризується сукупністю сили інерції  $m\ddot{x}$  (де  $\ddot{x}$  – друга похідна від координати переміщення) та сил рушійної і опору.

Важливо, що у процесі розгону рушійна сила виконує роботу, пов'язану з подоланням сили опору на певному переміщенні і одночасно робота рушійної сили є джерелом зростання кінетичної енергії рухомої маси. За період усталеного руху має місце рівність робіт сил рушійних та сил опору, а накопичена кінетична енергія витрачається в режимі вибігу найчастіше у формі дисипативних явищ.

Звідси витікає, що найбільші навантаження на джерело рушійної сили відповідають режиму розгону, що одночасно синхронізується з найбільшими механічними навантаженнями складових системи. Вказана особливість у подібній структурі притаманна перебігу значної більшості процесів тепло- і масообміну, характерних для харчових технологій. Однак за певних умов і режими вибігу можуть характеризуватися значними рушійними перепадами.

Важливо, що сам рушійний фактор (як рушійна сила в механічній моделі) може і не діяти, але накопичена кінетична енергія спрацьовує як інерційний силовий фактор, або роль енергоджерела з наступним перетворенням може відігравати накопичена потенціальна енергія.

Всяка рухома маса в складі машини і спеціальні рухомі маси у вигляді маховиків відіграють роль накопичувачів кінетичної енергії. Важливо, що таке накопичення може відбуватися як завгодно подовженим у часі і досягати значних рівнів за обмежених потужностей рушійних сил.

Логічно стверджувати, що для систем накопичувачів кінетичної енергії вирішальне значення мають рухомі маси і швидкості їх переміщення. При цьому в значимості переважає саме лінійна або кутова швидкість рухомої маси,

оскільки кінетична енергія тіла або системи матеріальних тіл пропорційна їх квадрату.

Якщо кінцевою метою процесу є досягнення максимально можливої силової дії на тіло або середовище, то воно відповідає умові якнайшвидшого переведення їх до стану з мінімізованою кінетичною або потенціальною енергією. Такий перехід відповідає принципу Ле Шател'є, однак цього разу він виглядає не як самоплинний, а цілком організований процес. Підкреслимо, що максимуму наслідків такого енергетичного стрибка відповідає мінімальний час його перебігу. Класичними прикладами подібної ситуації є явище гідравлічного удару, кавітаційний колапс парових бульбашок, різка розгерметизація реакторів з рідинною фракцією, що має температуру вищу, ніж температура її кипіння за атмосферного тиску тощо [1-4].

З цієї точки зору названі механічні, гідродинамічні, гідравлічні, газорідинні системи та системи з тепловим енергетичним потенціалом можуть розглядатися як своєрідні концентратори кінетичної та потенціальної енергій. Очевидно, що саме різке зниження енергетичного потенціалу всякої системи має в собі зародки як негативних, так і позитивних впливів на середовища і їх структурні компоненти. Важливо, щоб в загальній масі наслідків можна було б визначати придатність їх до використання в тих чи інших технологіях.

Саме на цьому шляху одержали розвиток дискретно-імпульсні, екструдерні, електрогідравлічні, електророзрядні технології, технології різкої зміни тисків стосовно газорідинних середовищ тощо. Вони знаходять все більш широке використання відносно харчових технологій на рівні цілеспрямованої організації перехідних процесів з метою інтенсифікації масообміну і теплообміну як безпосередньо за їх перебігу, так і для прискорення наступних етапів обробки середовищ.

У зв'язку з викладеним до числа задач цього дослідження віднесено наступне:

- виконати структурний аналіз дискретно-імпульсних технологій та перехідних процесів за їх застосування з оцінкою енергетичного потенціалу;
- виконати структурний аналіз технологій різких змін тисків і їх енергетичного підґрунтя.

Зупинимося детальніше на структурі перехідних процесів названих впливів.

**Дискретно-імпульсні технології.** Звичайно під цією назвою розуміють сукупність технологій, в яких реалізується швидкісне зниження енергетичного (теплого) потенціалу. На рис. 1 наведено структурну схему складових таких технологій на прикладі рідинної системи. У відповідності з останньою саме через адіабатне кипіння та кавітаційні процеси досягаються механічні впливи на середовища з усіма їх наслідками у вигляді прискореного масообміну, руйнування біологічних структур тваринного та рослинного походження тощо.

Важливо відмітити, що останні можуть досягатися на макрорівнях та рівнях міжклітинних і навіть клітинних структур, що може суттєво прискорювати наступні процеси екстракції, десорбції, гомогенізації тощо.

Метастабільному стану власне відповідає переведення середовища у перегрітий стан, перебування у якому звичайно короткочасне і при цьому важливе значення має глибина входження до нього.

Тиск з числа названих для системи термодинамічних параметрів є єдиним, для якого можлива реалізація швидкоплинного перепаду. При цьому нижня межа визначається атмосферним або тиском вакуумізованого об'єму, з яким з'єднується (або створюється) оброблюване середовище.

Звичайно, що технологічно простіше організувати процеси з обмеженням нижнього тиску величиною атмосферного. Але це означає межу кінцевої температури середовища  $t_{(к)} \approx 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , яка відповідає завершенню адіабатного кипіння. Звідси зрозуміло, що діапазон температур, в якому здійснюється весь перебіг процесів, більший за  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Якщо початкова температура середовища відповідала температурі  $t_{(п)}$ , то температурний діапазон адіабатного кипіння складає

$$\Delta t = t_{(п)} - t_{(к)}. \quad (1)$$

Звідси енергетичний потенціал перехідного процесу становить

$$\Delta E = mc\Delta t, \quad (2)$$

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

Оцінку зовнішнього впливу на середовище здійснюють на основі показника питомої енергії, що вводиться в нього, і у нашому випадку маємо можливість виконати відповідні розрахунки, прийнявши значення  $m = 1 \text{ кг}$ ,  $c = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

Їх результати наведено в таблиці.

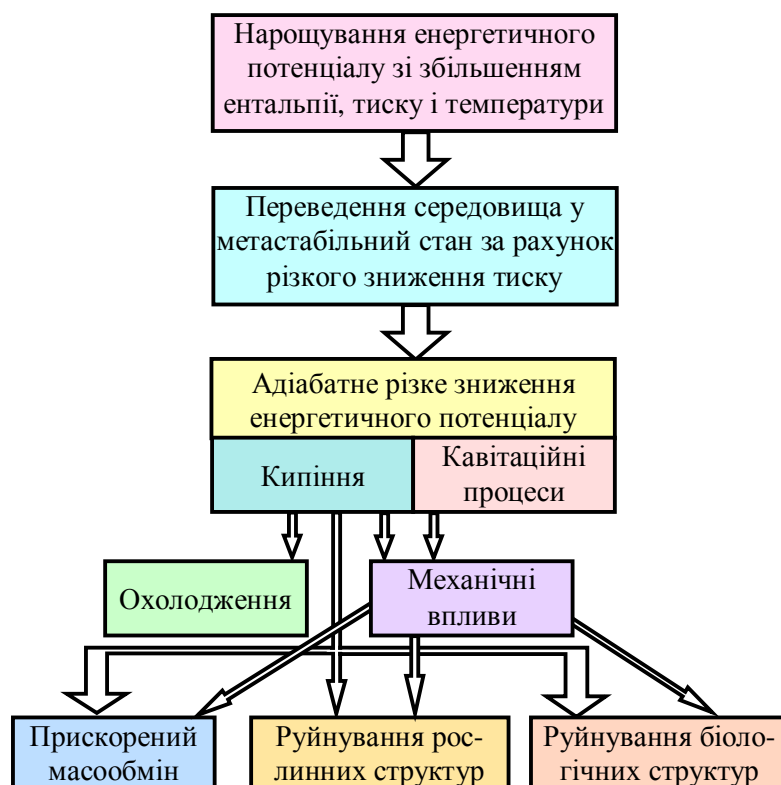


Рис. 1. Структурна схема дискретно-імпульсних технологій

### Результати розрахунків по визначенню енергетичного потенціалу рідинної системи

Різниця температур $\Delta t$ , °C	2	4	6	8	10	12	14	20	30
Енергетичний потенціал $\Delta E$ , кДж	8,38	16,76	25,14	33,52	41,9	50,28	58,66	83,8	125,7

Концентрація енергетичних впливів важлива не лише у просторі або об'ємі, але й у часі перебігу процесу. Саме швидкоплинність останнього в значній мірі визначає кінцевий результат. Наприклад, стосовно екструдерних технологій, у яких розширення утворюваної парової фази здійснюється практично у необмежений об'єм, кінцевий тиск для системи однозначно відповідає атмосферному. Крім того відсутній вплив гідростатичного тиску, який є певною мірою обмежувальним для рідинної фази у замкненому об'ємі. В результаті вихідний матеріальний потік з екструдера підлягає руйнівній дії генерованої пари, що виділяється з його повного об'єму в часі, що наближається до миттєвої дії.

**Екструдерні технології.** Хоча в загальній постановці екструдерні технології близькі до дискретно-імпульсних (в їх основі та ж сама швидка зміна енергетичного потенціалу), однак їх організація має свої відмінності. Важливо, що за їх перебігу всі складові процесів відбуваються у безперервному режимі і стосуються відносно обмеженої частини оброблюваного середовища. Структурна схема узагальненої екструдерної технології наведена на рис. 2.

Висока ефективність щодо рівня механічних впливів обумовлена корот-

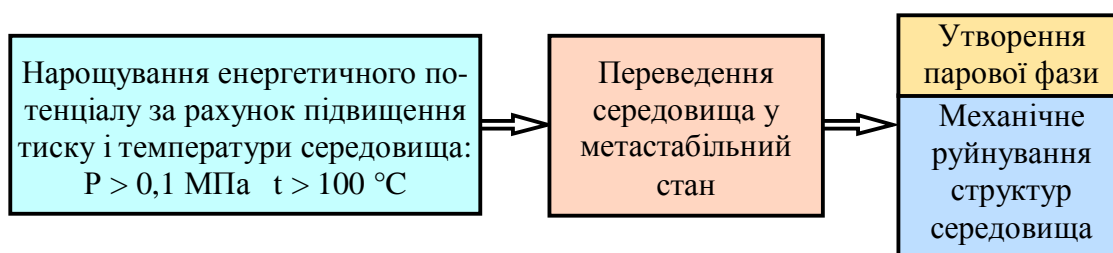


Рис. 2. Структурна схема перехідних процесів екструдерних технологій

кочасністю перебігу процесу утворення парової фази. Величина енергетичного потенціалу і у цьому випадку визначається різницею початкової і кінцевої температур, тобто глибиною входження середовища у метастабільний стан.

Хоча процес генерування парової фази оцінюється як швидкоплинний або миттєвий, однак феноменологічні міркування приводять до висновку, що швидкість пароутворення  $dG/dt$  залежить від рушійної сили цього процесу, тобто від різниці температур плинної і кінцевої.

$$\frac{dG}{d\tau} = \frac{dG}{d\tau}(t - t_{(к)}). \quad (3)$$

Очевидно, що максимуму  $dG/d\tau$  відповідає найбільша різниця температур, коли  $t = t_{(п)}$ , хоча пароутворення не припиняється за досягнення  $t = t_{(к)}$ . Однак за останньої умови характер пароутворення стає іншим, оскільки процеси на рівні кипіння припиняються.

Величина енергетичного перепаду, що спрацьовується в режимі екструзії визначається за формулою (2), однак значення теплоємності зернового чи іншого продукту буде меншою, оскільки їх вологість обмежена. Найбільшу ж теплоємність, як відомо, з відомих речовин у оточуючому світі має вода. Саме тому для підвищення ефективності екструзійних процесів зернові продукти зволожують.

Таким чином, порівняння дискретно-імпульсних технологій у їх класичному розумінні і екструдерних технологій приводить до висновку про наявність подібних і відмінних явищ у їх основі. Очевидно, що це вказує на можливість поєднання в одному комплексі їх елементів. Наприклад, підготовка бурякової стружки до процесу дифузії потребує якомога більшого рівня плазмолізу клітинних структур. В існуючих технологіях він досягається за рахунок температурних впливів на рівні 70 °С в результаті відповідної обробки в ошпарювачах. Разом з тим така теплова обробка має і негативні наслідки, пов'язані з денатурацією протоплазми бурякових тканин і наступною екстракцією. Зменшення недоліків і підвищення виходу цільового продукту можливо розшукувати на шляху використання впровадження на ділянці між ошпарювачем і дифузійним апаратом вакуумної камери, через яку безперервним потоком в режимі адіабатного кипіння транспортується бурякова стружка.

**Технології різкої зміни тисків (ТРЗТ).** Віднесемо ці технології до газорідних процесів в умовах аеробного культивування мікроорганізмів, бродильних процесів пивної, спиртової, виноробної галузей виробництва газованих напоїв, шампанського, сатураційних апаратів цукрової промисловості тощо. Газовою фазою для мікробіологічних процесів є повітря, а стосовно інших названих виробництв такою газовою фазою є діоксид вуглецю, який безпосередньо синтезується в бродильних процесах або примусово розчиняється в рідинній фазі.

Важливою ознакою взаємодії рідинних середовищ з діоксидом вуглецю є відносно високий рівень розчинності останнього і такий, що суттєво залежить від парціального тиску у відповідності до закону Генрі. Останнє положення приводить до висновку про можливість використання потенціальної енергії розчиненого  $CO_2$  для інтенсифікації, сорбції, абсорбцій, десорбції в газорідних системах, системах "газ – рідина – тверде тіло" тощо.

Виконаємо первинну оцінку щодо можливого накопичення енергетичного потенціалу в системі "газ – вода".

Розчинність газів у воді, як відомо, залежить від величини їх парціальних тисків і температури і, наприклад, при  $t = 20$  °С і  $P = 0,75$  МПа розчинність  $CO_2$  складе 14 г/л. Припустимо, що в інтенсивному режимі десорбції за тиску 0,1 МПа вміст діоксид вуглецю зменшиться до 4 г/л.

Об'єм газової фази, що виділяється при цьому складе

$$V_r = \frac{MRT}{P} = \frac{0,01 \cdot 188,9 \cdot 293}{10^5} = 0,554 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3, \quad (4)$$

де  $M = 0,01$  кг – маса десорбованого газу;  $R = 188,9$  Дж/(кг·К) – газова стала;  $T = 293$  К – температура середовища;  $P = 10^5$  Па – тиск за нормальних умов.

Таким чином, в зворотному процесі абсорбції за рахунок парціального тиску  $0,75$  МПа ми досягаємо розчинення об'єму газу в перерахунку на нормальні умови  $0,554 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ . Утримання такої кількості  $\text{CO}_2$  у розчиненому стані можливе при стабілізованій температурі  $20$  °С лише за підтримання тиску  $0,75$  МПа. Різке падіння останнього означає перехід газонасиченого середовища до нового стану рівноваги. За значень вказаних параметрів енергетичний потенціал, втрачений за десорбції, складає

$$\Delta E = P_{0,75} V_r = 0,75 \cdot 10^6 \cdot 0,554 \cdot 10^{-2} = 4155 \text{ Дж}.$$

Порівняння одержаного результату з даними таблиці показує, що вони одного порядку. При цьому існує можливість суттєвого нарощування параметра  $\Delta E$  як за рахунок підвищення розчинності в умовах знижених температур середовищ, так і за підвищення парціальних тисків газової фази.

У відповідності з цим розрахункова формула по визначенню перепаду енергетичного потенціалу приводиться до форми

$$\Delta E = P_{(п)} \frac{(M(P_{(п)}; t_{(п)}) - M(P_{(к)}; t_{(к)}))RT}{P_{(к)}}. \quad (5)$$

де  $M(P_{(п)}; t_{(п)})$  – залежність масової розчинності діоксиду вуглецю від тиску  $P_{(п)}$  і температури  $t_{(п)}$  абсорбції;  $M(P_{(к)}; t_{(к)})$  – масова розчинність  $\text{CO}_2$  по завершенню десорбції;  $P_{(к)}$  і  $t_{(к)}$  – відповідно кінцевий тиск і температура по завершенню десорбції.

Як і у перших двох випадках вирішальним фактором впливу щодо переведення середовища у метастабільний стан залишається тиск, хоча температура теж є відповідальною за глибину входження в нього. Тому розширення меж енергетичних потенціалів доцільно досягати за рахунок зростання тиску і зниження температури середовища в режимі нарощування і, навпаки, зниження тиску в умовах попередньо нагрітого в герметичних умовах середовища, в умовах "спрацювання" потенціалу.

**Висновки.** Виконаний аналіз особливостей перехідних процесів дозволяє відмітити наступне.

1. Дискретно-імпульсні, екструдерні технології і технології різкого зниження тисків мають спільне підґрунтя у формі початкового накопичення енергетичних потенціалів. Керуючою функцією енергетичного потенціалу при цьому виступає тиск рідинної, газорідинної системи або систем з додаванням до вказаних твердої фази.

2. Для більшості процесів у харчових технологіях існує можливість швидкоплинного зниження такого термодинамічного параметру, як тиск. Відповідно до динаміки зміни останнього відбувається імпульсна зміна енергетичного

потенціалу з потужностями, які перевищують традиційні технології на порядок або навіть на кілька порядків. Саме це визначає суттєві перспективи поширення дискретно-імпульсних, екструдерних технологій та технологій різкого зниження тисків для газонасичених середовищ.

### Література

1. Кардашов Г.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии. – М.: Химия. – 1990. – 208 с.
2. Авакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. – Новосибирск. Наука. – 1986. – 306 с.
3. Долинский А.А. Использование принципа дискретно-импульсного ввода энергии для создания эффективных энергосберегающих технологий // Инженерно-физический журнал. – 1996. – Т. 69, № 6. – С. 855-896.
4. Сажин Б.С., Булеков А.П. Эксергетический метод в химической технологии. – М.: Химия, 1992. – 208 с.