

## ПЕРЕХІДНІ РЕЖИМИ І ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Піддубний В.А., к.т.н., с.н.с.,

Соколенко А.І., д.т.н., проф.,

Українець А.І., д.т.н., проф.,

Шевченко О.Ю., д.т.н., доцент,

*Національний університет харчових технологій*

Збільшення швидкості технологічних процесів і продуктивності технологічного обладнання, підвищення якості продукції, зменшення питомих енергетичних і матеріальних витрат на виробництво продукції завжди були і залишаються в сфері уваги виробників.

Одним з найбільш ефективних способів досягнення вказаних результатів є імпульсні енергетичні впливи на оброблювані середовища. Наукова база процесів з такими впливами знаходиться в стані активного розвитку і поширення на різні галузі харчової промисловості.

При цьому створювані методології враховують взаємні впливи енергетичних полів, фізико-хімічні ефекти, трансформацію та інверсію різновидів енергетичних впливів. Аналіз сукупності фізико-хімічних ефектів, що виникають за акустичних, механічних, електричних, теплових, магнітних та хімічних впливів на оброблювані речовини, показує можливість зміни агрегатного стану (повного або часткового), фізико-хімічних властивостей суцільного середовища, подрібнення або коагуляції дисперсних частинок, збільшення рівня дисперсності газової фази в рідинній, гомогенізацію середовища тощо.

Метод інтенсифікації технологічних процесів на основі дискретно-імпульсного введення енергії ґрунтується на використанні фізичних ефектів в парі рідинних середовищах за рахунок зміни зовнішнього тиску. За різкого стискання стає можливим колапс парових бульбашок з синтезом імпульсу високого тиску у формі сферичної ударної хвилі або, якщо поблизу знаходиться жорстка поверхня, утворюється кумулятивна цівка у напрямку цієї поверхні.

У процесі колапса парової бульбашки можливою є її високочастотна осциляція з випроміненням у навколишню рідинну фазу акустичної енергії в ультразвуковому діапазоні. За умови швидкоплинного зниження зовнішнього тиску виникає ефект миттєвого закипання, який супроводжується утворенням імпульсу тиску значної амплітуди і турбулізацією прилеглих шарів рідинної фази. Наслідком цих явищ є утворення в міжбульбашковому просторі інтенсивних мікро течій з високими значеннями локальних швидкостей, прискорень і тисків [1, 2, 3].

Множина парових бульбашок, що знаходяться в стані динамічних змін, виступає в ролі мікротрансформаторів, що перетворюють акумульовану в системі потенціальну енергію в кінетичну енергію рідинної фази, розподілену дискретно в просторі та часі.

Структурна схема дискретно-імпульсних технологій відображена на рис. 1.

Інтенсифікація процесів тепло-масообміну пов'язана з трансформацією енергетичних впливів у суто механічні, у тому числі в

силову взаємодію між фазами. Якщо кінцевою метою перетворень є вказана взаємодія, то вона відповідає умові якнайшвидшого переведення системи до

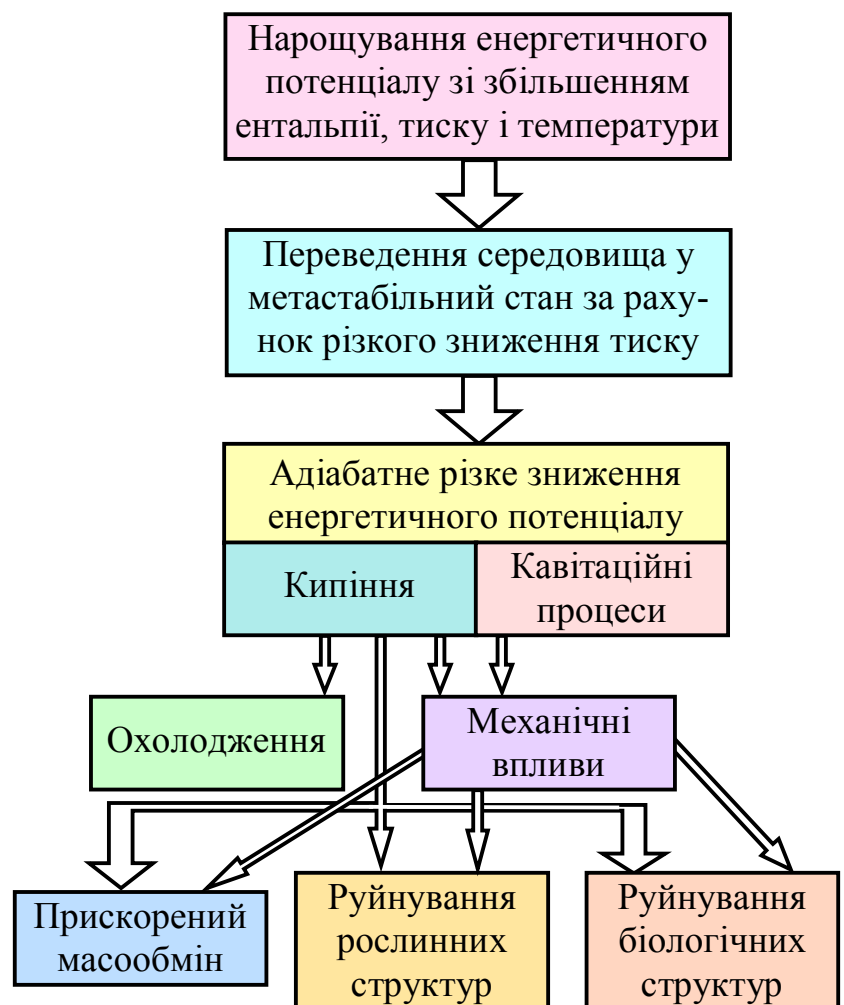


Рис. 1. Структурна схема дискретно-імпульсних технологій

стану з мінімізованою кінетичною або потенціальною енергією. Такий перехід відповідає принципу Ле Шатель'є, однак у цьому випадку він виглядає не як самоплинний, а цілком організований процес. Підкреслимо, що максимуму наслідків такого енергетичного стрибка відповідає мінімальний час його перебігу. До класичних прикладів подібної ситуації відносяться явище гідравлічного удару, кавітаційний колапс парових бульбашок, різка розгерметизація реакторів з рідиною фракцією, що має температуру вищу, ніж температура її кипіння за атмосферного тиску, різко розгерметизовані газонасичені системи.

З цієї точки зору названі приклади відповідають поняттю своєрідних концентраторів потенціальної та кінетичної енергії.

Очевидно, що різке зниження енергетичного потенціалу всякої системи має в собі зародки як негативних, так і позитивних впливів на середовища та їх структурні компоненти. Важливо, щоб у загальній масі наслідків можливо було визначити придатність їх до використання в тих чи інших технологіях. Саме на цьому шляху знайшли розвиток дискретно-імпульсні, екструдерні, електрогідравлічні, електророзрядні технології, технології різкої зміни тисків стосовно газорідних середовищ тощо.

На рис. 2 та 3 наведено структурні схеми відповідно екструдерних та технологій різкого зниження тисків в газонасичених середовищах.

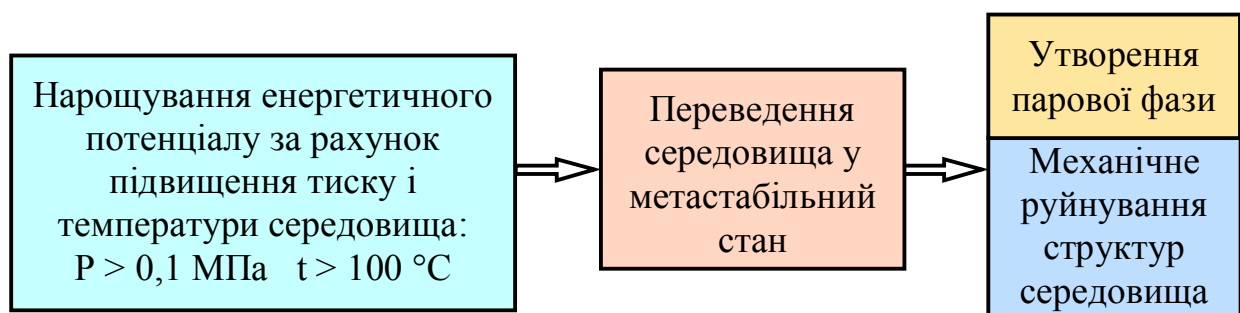


Рис. 2. Структурна схема перехідних процесів екструдерних технологій

З рис. 1 видно, що саме через адіабатне кипіння та кавітаційні процеси досягаються механічні впливи на середовища з їх наслідками у вигляді прискореного масообміну, руйнування біологічних структур рослинного та тварин-

ного походження тощо. Важливо, що останні можуть досягатися на макро-

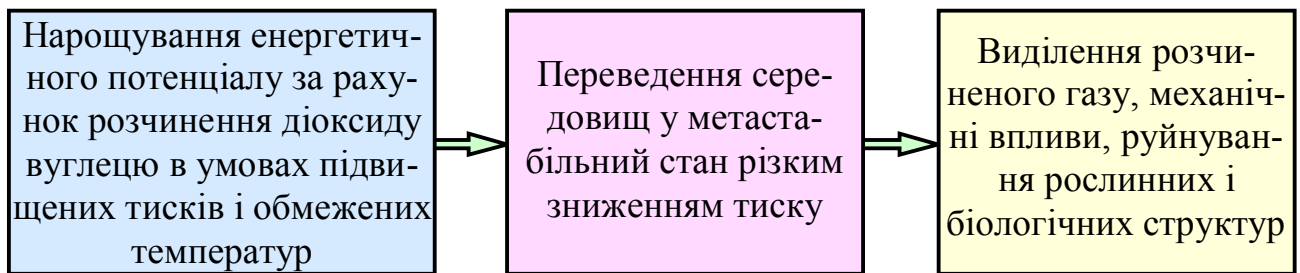


Рис. 3. Структурна схема технологій різкого зниження тисків в газонасичених середовищах

рівнях та рівнях міжклітинних і навіть клітинних структур, що може суттєво прискорювати процеси екстракції, десорбції, гомогенізації тощо.

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

Оцінка енергетичного впливу на середовище за рахунок адіабатного кипіння визначається залежністю

$$\Delta E = mc\Delta t,$$

де  $m$  – маса середовища;  $c$  – теплоємність маси;  $\Delta t$  – різниця між початковою і кінцевою температурами.

У таблиці наведено розрахунки по визначенню енергетичного потенціалу середовища масою 1 кг за теплоємності 4,19 кДж/(кг·К).

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 і у часі перебігу процесу.

Так в екструдерних технологіях, у яких розширення генерованої пари здійснюється практично у необмежений об'єм, кінцевий тиск відповідає атмосферному. В результаті вихідний матеріальний потік з екструдера підлягає руйнівній дії утворюваної пари в часі, що наближається до миттєвої дії.

Повернувшись до таблиці, відмітимо, що масі рідинного середовища 1 кг відповідає об'єм біля 1 л. Якщо вважати, що перебіг процесу займає біля 10 с, то питома потужність складає від 0,8 до 12,5 кВт/л. Введення енергетичних імпульсів такої потужності для інших способів виглядає достатньо проблематичним. Технології різкої зміни тисків на основі розчинення діоксиду вуглецю за показником питомої потужності його десорбції з газорідинних середовищ наближаються до дискретно-імпульсних способів введення енергії.

Важливою ознакою взаємодії рідинних середовищ з діоксидом вуглецю є відносно високий рівень розчинності останнього і такий, що суттєво залежить від парціального тиску (закон Генрі). Останнє приводить до висновку про можливість використання потенціальної енергії розчиненого  $\text{CO}_2$  для інтенсифікації, сорбції, абсорбції, десорбції в газорідинних системах, системах "газ – рідина – тверде тіло", "газ – вологомісткий продукт".

Наведемо приклад оцінки енергетичного потенціалу системи "газ – вода".

Розчинність газів у воді залежить від їх тиску і температури рідинної фази. Наприклад, при  $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$  і тиску  $P = 0,75\text{ МПа}$  розчинність  $\text{CO}_2$  складає 14 г/л. Припустимо, що в інтенсивному режимі десорбції при тиску 0,1 МПа концентрація  $\text{CO}_2$  зменшиться до 4 г/л. Об'єм десорбованого газу при цьому складе  $0,554 \cdot 10^{-2}\text{ м}^3$ .

Тоді втрачений за десорбції потенціал

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

Порівняння одержаного результату з даними таблиці показує, що енергетичні потенціали двох процесів є одного порядку. При цьому існує можливість суттєвого нарощування потенціалу  $\Delta E$  за рахунок підвищення розчинності в умовах зниження температур рідинних середовищ і підвищення парціальних тисків.

Важливою галуззю прикладання технологій різкої зміни тисків є можливість одержання соків з ягід і фруктів в умовах обмежених температурних впливів і повним збереженням їх вітамінних комплексів та біологічно цінних структур. Такі соки і "зірвані" продукти можуть виступати як наповнювачі морозива виробів кондитерської та молочної промисловості, пюре, джемів з ягід, фруктів та овочів. На додаток відмітимо асептичні властивості технологій різких змін тисків особливо в поєднанні з вакуумним упакуванням продукції.

Висновки. 1. Наведений аналіз сучасних тенденцій в розвитку інтенсивних технологій тепло- і масообміну вказує на необхідність використання концентрованих енергетичних впливів. кінцевим результатом трансформації яких є механічні впливи з такими факторами, як удар, зсув, розтягування, вібрація, формування спрямованих потоків, швидкостей і прискорень.

2. Найменшим енергетичним витратам при реалізації енергетичних впливів мають імпульсні форми реалізації (принцип дискретності).

#### Література

1. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях / А.А. Долинский, Б.И. Басок, И.С. Гулый и др. Киев: ИГТФ НАНУ, – 1996. – 206 с.
2. Долинский А.А. Использование принципа дискретно-импульсного ввода энергии для создания эффективных энергосберегающих технологий // Инженерно-физический журнал. – 1996. – Т. 69, № 6. – С. 885–896.
3. Долинский А.А., Накорчевский А.И. Принципы оптимизации массообменных технологий на основе метода дискретно-импульсного ввода энергии // Промышленная теплотехника. – 1997. – Т. 19, № 6. – С. 5–9.