

УДК 004.942:623.565:623.451.2

П.О. Головарь, І.А.Гришко

Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОЧНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ХОЛОДНОЇ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА

Особливість багатьох компонентів молока в тому, що природа не повторює їх в будь-якому іншому продукті харчування. Поживна цінність молока в значній мірі визначається розмірами частинок жиру в молоці. Відомо, що роздрібнення жирових кульок молока до менших, ніж в початковому стані розмірів, на третину підвищує поживну цінність молока. При ультразвуковій обробці молока, не відбувається руйнування найбільш лабільної частини вітаміну С і його зміст залишається практично рівним вихідному - 0,83мг. Слід зазначити ще кілька позитивних сторін УЗ обробки молока, здатних знайти широке застосування:

1. Оброблене УЗ та заморожене для тривалого зберігання молоко після розморожування повністю зберігає свої поживні і смакові якості;
2. Сухе молоко, вироблене з обробленого ультразвуком, зберігається значно довше. При відновленні не відрізняється від натурального;
3. При УЗ придатного до вживання молока (в т.ч. пастеризованого) в домашніх умовах протягом декількох хвилин, кислотність молока не підвищується більше 5 годин.

На даному етапі активно проводяться впровадження УЗ реакторів у технологічний процес виробництва молока. Відомими є такі прототипи реакторів, як проточний УЗ реактор та хімічний УЗ реактор.

1. Схема установки

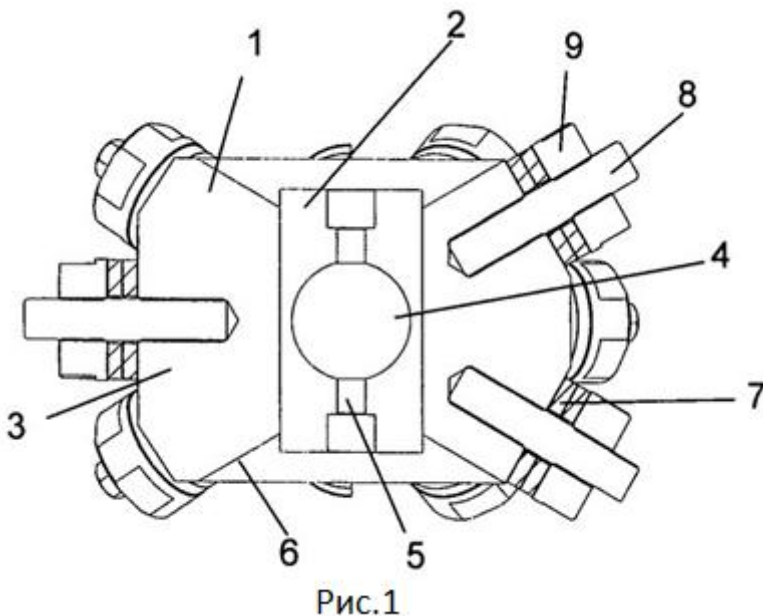


Рис.1 – УЗ реактор в розрізі

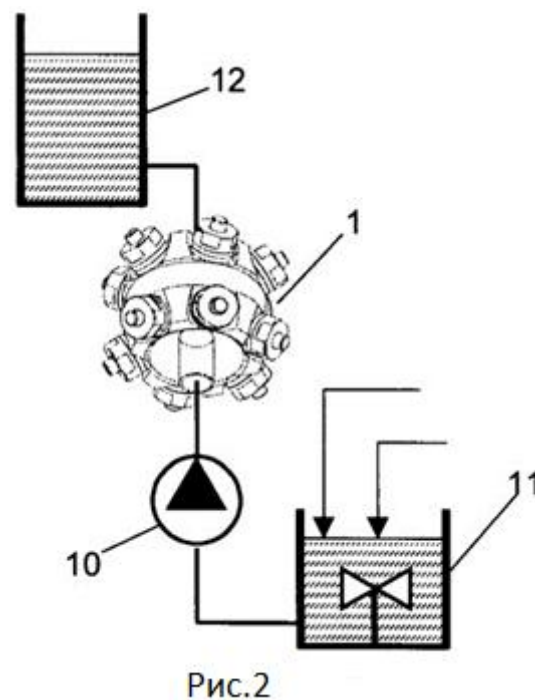


Рис.2 – технологічна схема роботи УЗ реактора

Проточний УЗ реактор 1 містить внутрішню циліндричну робочу камеру 2, впресовану в циліндричний канал зовнішнього цільного хвилеводу 3. Технологічний обсяг робочої камери

виконаний у вигляді сфери 4. Всі конструктивні елементи робочої камери 2 утворюють тіла обертання і виготовляються на токарному обладнанні з великою точністю, в тому числі з великою точністю прив'язки до базових поверхонь. Це дозволяє виготовити простими технологічними прийомами правильну сферу внутрішнього технологічного обсягу реактора і правильно зорієнтувати і розташувати на зовнішніх гранях хвилеводу ультразвукові перетворювачі.

Наскрізний канал 5 для підведення і відведення оброблюваної технологічного середовища розташований на одній осі з циліндричним каналом хвилеводу 3. Показане на фігурах конусне розточування 6 каналу хвилеводу виконано так, що утворює конус паралельно лінії поширення акустичної хвилі ближніх ультразвукових перетворювачів. Посадка циліндричної робочої камери гарячим пресуванням не порушує хвиле-водних властивостей та якість реактора в цілому порівняно з монолітним виробом.

Поверхня хвилеводу 3 виконана у вигляді об'ємного багатогранника (див. рис.1). На його гранях закріплені ультразвукові перетворювачі 7 за допомогою шпильок 8 і гайок-відбивачів 9. Нормалі до граней, уздовж яких поширюється акустична хвиля, орієнтовані в центр сфери реактора. Виготовлення багатогранника також спрощено порівняно з прототипом. Грані розміщені по кільцевим лініях навколо наскрізного каналу в необхідній кількості з забезпеченням технологічного проміжку для зручності складання реактора. Монолітність і точність виготовлення реактора дозволяють (наприклад, на фрезерному обладнанні) утворити межі рівновіддаленими від центру сфери, що сприяє створенню розрахункової інтенсивності ультразвукового випромінювання.

Відстань від межі кріплення ультразвукових перетворювачів 7 до стінки внутрішнього сферичного об'єму і діаметр сфери 4 задаються технологічно із забезпеченням створення кавітаційного режиму в рідкому технологічному середовищі в режимі потоку. Діаметр сфери внутрішнього обсягу реактора кратний парним кількостям чвертей довжини акустичної хвилі, що викликає кавітацію, і не перевищує половини довжини хвилі в матеріалі оброблюваного технологічного середовища. Відстань від зовнішньої межі хвилеводу до стінки сфери уздовж лінії поширення плоскої акустичної хвилі кратна непарному кількості чвертей довжини акустичної хвилі в матеріалі хвилеводу.

Реактор 1 виконаний з можливістю обробки технологічного середовища в режимі потоку, тобто наскрізний канал 5 робочої камери має вентилі, насос 10, змішувальне обладнання 11 для підготовки технологічного середовища у вигляді рідкої суміші, ємності 12, контрольну апаратуру, що включають датчики тиску, об'ємної витрати й ін. (рис.2).

При подачі напруги на п'єзоелектричні елементи електричні коливання перетворюються в ультразвукові коливання. На резонансній частоті коливань, що виникають при дотриманні названих конструктивних параметрів, здійснюється передача енергії коливань з найбільшою інтенсивністю по нормалі до стінок реактора. У кавітаційному режимі рідка технологічне середовище, що подається з невеликим напором, піддається активації і гомогенізації.

Був виготовлений дослідний зразок реактора $300 \times 300 \times 300$ мм. Живлення здійснювалося від електричного генератора. УЗ реактор був випробуваний для подрібнення водної суміші, що включає тверді гранули розміром ≈ 1 мм. Надмірний тиск в реакторі і натиск в проточному каналі створювалися гвинтовим насосом. При невеликому розмірі реактора швидкість потоку забезпечувала продуктивність 1 куб.м / год. Дисперсність активованого діятимуть близько 5 мкм.

У дослідженнях порційним способом (при відсутності переміщення оброблюваного рідкого середовища) довелося варіювати час обробки від 7 до 29 хвилин при невисоких температурах. Для організації потокової обробки потрібно закріплювати рух порцій продукту приблизно так, як показано на рис. 3. Вертикальний високий циліндр в правій частині установки - п'єзоелектричний реактор для ультразвукової обробки пропускною спроможністю 5 тонн молока на годину, над яким розміщений невеликий генератор акустичних імпульсів. З нижньої судини, що зліва, продукт подають знизу ж в працюючий реактор. Піддане одноразовій обробці рідке середовище переміщується у верхню судину. По завершенню циклу порцію самопливом перепускають з верхньої судини в нижню - і операцію повторюють. Результат хороший, та ось тільки підсумкова продуктивність всієї циклічно діючої системи не задовольняє заводчан.



Рис. 3. Фотографія установки

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Представлений УЗ реактор забезпечує високу продуктивність обробки текучих технологічних середовищ в режимі безперервного потоку, який є невід'ємною умовою при пастеризації молока на виробництві.

2. УЗ реактор характеризується простотою конструкції як з технологічної точки зору, так і за кількістю простих деталей і економною металообробкою. Його перевагою з технологічної точки зору є форма всіх основних деталей у вигляді тіл обертання, що виготовляються за відомим режимам механічної обробки.

3. Все ж досягти за рахунок одного ультразвуку повної стерилізації молока і молочних продуктів складно, тому що потрібен тривалий час впливу на бактерії через труднощі рівномірного поширення ультразвукових коливань на реакційну масу великого обсягу.

4. Втім, досягнення холодної пастеризації з гарантованим знищенням бактерій в 10 разів ($\lg 1$) при збереженні вітамінів - теж непоганий результат. Але рішення задачі заміни теплової пастеризації на ультразвукову вимагає внесення доповнень до єдиних технологічних інструкцій процесу, для чого спочатку необхідні серйозні попередні клінічні випробування ефективності нової техніки, що підтверджують гарантоване знищення життєдіяльності бактерій.

Список використаних джерел

1. Перник, А. Д. Проблемы кавитации. — Л.: Судостроение, 1966. — 439 с.
2. Розенберг, Л. Д. Кавитационная область // В кн.: Мощные ультразвуковые поля./ Под ред. Л. Д. Розенберга. — М.: Наука, 1968. — С. 221—266.
3. Сиротюк, М. Г. Акустическая кавитация. — М.: Наука, 2008. — 271 с.
4. <https://www.ippe.ru/cooperation/food-production/141-cool-pasterisation>
5. Пирсол И. Кавитация. Пер. с англ. Ю. Ф. Журавлева. М., «Мир», 1975. 95 с.
6. Nyborg, W.L. Physical Mechanisms for Biological effects of Ultrasound. DHEW 78-8062. — Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office. — 1977.