

УДК 532.528

Луппол А.Ю., Гришко І.А.

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

УЛЬТРАЗВУКОВА КАВІТАЦІЙНА ОБРОБКА МОЛОКА

Коров'яче молоко займає значуще місце в раціоні людини протягом декількох тисячоліть. Ще до моменту одомашнення корів люди вже могли його видобувати. На сьогоднішній день коров'яче молоко зазнало значного поширення в порівнянні із молоком усіх інших тварин. Це обумовлене високими поживними і смаковими властивостями притаманними коров'ячому молоку. За різноманітністю та багатством хімічного складу коров'яче молоко в деякій степені перевершує інші продукти харчування. Близько 50 різноманітних мікро- і макроелементів містяться в коров'ячому молоці. Основними речовинами мінерального походження, що містяться в молоці є кальцій, хлор, магній, калій, фосфор і сірка. Білок та жир, з коров'ячого молока, є будівельним матеріалом для клітин, а також джерелом енергії для організму [1].

З розвитком технологій гостро постало питання обробки молока, адже обладнання, що зараз використовується в промисловості потребує значних витрат енергії, робочих площин та коштів. [3] Тому постало питання в пошуку альтернативних методів обробки. Як було зазначено в наших попередніх працях метод обробки молока ультразвуковою кавітацією є одним з найперспективніших завдяки своїй низькій енерговитраті та високій мобільності [4].

В наших попередніх статтях було детально описано переваги пастеризації молока ультразвуком[2], були надані відомості про значний позитивний вплив на властивості молока гомогенізації молока ультразвуком[2]. Також в праці Скиби та Хмельова [6] було проведено досліді із стерилізації молока ультразвуком та більш детально описано переваги та недоліки цього методу. Нами була розроблена та представлена математична модель, яка дає змогу порахувати енергію що виділяється при схлопуванні кавітаційного пухирця[2], після чого ми описали які варіанти розподілення енергії можливі залежно від умов та параметрів кавітаційної установки та молока[5]. Як було зазначено в наших статтях, на відміну від вже проведених багатьох досліджень, ми ставили собі ціль дослідити здатність ультразвукової кавітації гомогенізувати та пастеризувати молоко в потоці[5]. Цьому наша математична модель значно потребувала перевірки на практиці. Для цього ми використовували проточний ультразвуковий кавітатор, описаний в нашій попередній статті [4] із вхідною потужністю 400Вт.

Ми сконструювали стенд (рис. 1) для проведення експериментів та за допомогою математичної моделі спрогнозували результати проведення іспитів за наших параметрів[5].



Рис. 1. Експериментальний стенд

Після отримання прогнозу результатів обробки залишилося провести експерименти, обробити отримані результати та зробити висновки щодо обробки молока ультразвуком в потоці та достовірності математичної моделі.

Нами було прогнозовано, що сумарно одиниця об'єму молока піддається близько 520 000 схлопуванням, доки цей об'єм протікає крізь кавітатор. Також було зазначено, що одночасно відбувається близько 40 схлопувань, та ці схлопування відбуваються розповсюджуючи радіальні хвилі [4].

Надалі постає питання: «Яку частину всього об'єму знезаражують ці 40 схлопувань?» Для відповіді на це запитання ми звернемося до роботи Дж.Лайтхілла [8], де зазначена методика проведення розрахунків при відомих параметрів рідини, свідки слідує що за наших умов в молоці коефіцієнт розсіяння приблизно дорівнює 11, або вразлива сила хвилі при схлопуванні розповсюджується на відстань приблизно $11R$ від центру бульбашки. Тобто, одна бульбашка покриває об'єм(1):

$$\dots \dots \dots (1)$$

де R – радіус кавітаційної бульбашки.

Коли ми знаємо яку площу знезаражує одна бульбашка, за припущення що бульбашки розташовані рівномірно у рідині, ми можемо порахувати необхідну кількість кавітаційних пухирців для повного знезараження молока(2).

$$\dots \dots \dots (2)$$

де V – об'єм активної зона кавітатора.

Як можна побачити, в одиничному об'ємі молока за нашою математичною моделлю ми отримали 520000 схлопувань, але нам для успішної пастеризації молока необхідно лише 455000 пухирців за наших припущень.

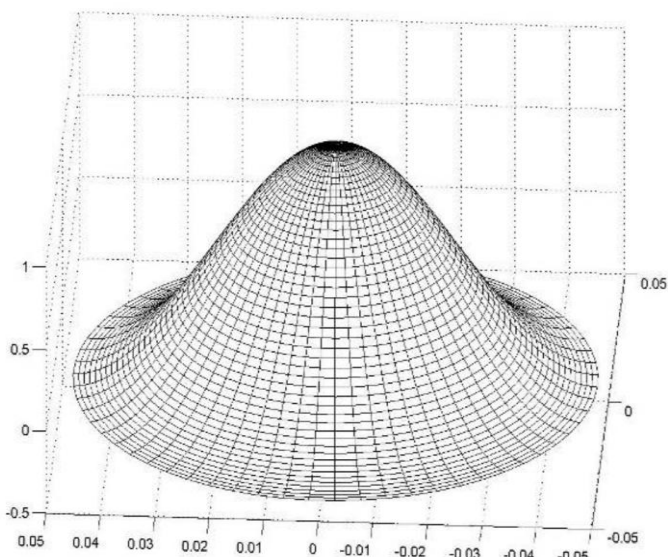


Рис. 2. Форма ультразвукового поля в циліндричній камері при збудженні радіальних коливань.[7]

Тобто кількість прогнозованих схлопувань на 65 000 перевищує необхідне значення, або в молоці проходить на 14 % схлопувань більше, ніж необхідно.

Також необхідно врахувати особливості експериментального кавітатора, а саме форму ультразвукового поля в циліндричній камері при збудженні радіальних коливань (рис. 2). З рис. 2 видно, що вздовж стінок кавітатора тиск звукового поля найменший. Тому ми введемо коефіцієнт корегування, що дорівнює 0.99, тобто враховуємо, що 1% молока, що знаходяться

вздовж самих стінок залишається необробленим. Враховуючи, що кількість пухирців перевищує необхідне значення, робимо прогноз, що 99% хвороботворних бактерій буде знешкоджене.

Іспитовий стенд зібраний на ДП "Старокостянтинівському молочному заводі". В необробленому молоці містилося 2 500 000 КОЕ хвороботворних бактерій. Після обробки їх концентрація впала до 40 000 КОЕ, що відповідає 1,6% від початкової кількості (рис. 3).

Як ми бачимо існує невелика розбіжність між прогнозом та практичним результатом, це обумовлене тим, що ми задавалися усередненими даними в нашій математичній моделі та ймовірно саме цьому ми отримали невелику розбіжність кінцевих результатів. Також існує певна

неточність, що обумовлена явищем нерівномірного розподілення ультразвукового поля в площині перерізу кавітатора. В наслідок саме цього явища, не має можливості точно визначити кількість молока, що не піддається кавітаційній обробці. Але завдяки існуючим даним[8], можливо досить точно підібрати цей коефіцієнт, як можна побачити з результатів дослідів. Та беручи до уваги, що стінки активної зони кавітатора зазнали деякого руйнування внаслідок кавітаційної ерозії, заключаємо, що вздовж стінок також як і в середині рідини протікає процес кавітації, але вздовж стінок він характеризується нижчою інтенсивністю.

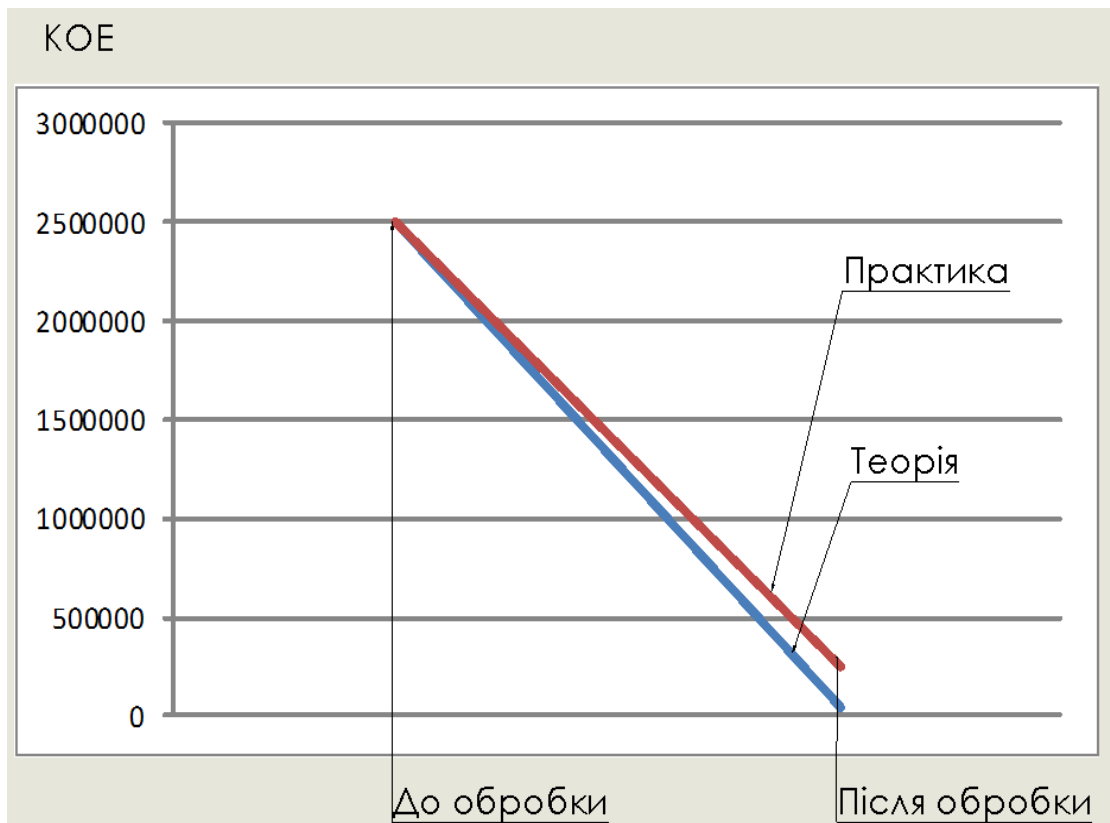


Рис 3. Результати обробки молока

Нами було обґрунтована доцільність використання ультразвукової кавітаційної обробки молока[2, 5] та експериментально досліджена можливість використання цього методу обробки молока. Було розроблено та перевірено математичну модель, яка здатна досить точно спрогнозувати результати обробки молока.

Надалі ці роботи використовувати для полегшення проектування обладнання для кавітаційної обробки молока та налаштування ультразвукового кавітаційного обладнання на оптимальні параметри обробки.

Список використаних джерел

1. Інтернет видавництво «Что Ем» [Електронний ресурс] URL:<http://чтоем.ru/napitki/polza-i-vred-moloka.html> (дата звернення 05.04.2018).
2. Інтернет видавництво «Інновації молоді - машинобудуванню 2017» [Електронний ресурс] URL:<http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2017/paper/download/7823/2823> (дата звернення 05.04.2018).
3. Інтернет видавництво «Агроосвіта» [Електронний ресурс] URL: http://rodak.if.ua/mot/teoria/tema_9.htm (дата звернення 05.04.2018).
4. Інтернет видавництво «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления» [Електронний ресурс] URL:<https://www.gstu.by/science/conferencies/2018/1> (дата звернення 05.05.2018).
5. Інтернет видавництво «Гідромеханіка в інженерній практиці» [Електронний ресурс] URL:<http://conf.pgm.kpi.ua/2017/schedConf/presentations> (дата звернення 05.05.2018).
6. Е.А.Скиба, В.Н. Хмелев. Стерилизация молока с помощью ультразвука, 1962, vol.7, n.319, 382-385.
7. Гришко И.А., Новосад А.А. Проточный кавитатор с высокой интенсивностью ультразвука для обработки жидких сред. – НТУУ «КПИ» г. Київ, 2015.
8. Дж.Лайтхилл - «Волны в жидкостях» - М.: Мир, 1981. – 598с.