**III. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА****Берник І. М.***Вінницький
національний
аграрний
університет***Луговський О. Ф.****Мовчанюк А. В.***Національний технічний
університет України
“Київський
політехнічний
інститут”***УДК 621.031:664.292****УЛЬТРАЗВУКОВА КАВІТАЦІЙНА
ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ
ЕКСТРАГУВАННЯ РОСЛИННОГО
МАТЕРІАЛУ ТА ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ**

В статье представлены экспериментальные исследования распределения ультразвукового поля в жидкой среде с дисперсными частичками. Предложены конструкции проточных ультразвуковых кавитационных аппаратов для экстрагирования растительного сырья.

The paper presents the experimental investigation of the distribution of the ultrasonic field in a liquid medium with dispersed particles. The design of ultrasonic cavitation flow apparatuses for extraction of plant material.

Вступ

З метою вилучення цільових компонентів із рослинної сировини використовують процеси екстрагування, які набули поширення в переробних та аграрних виробництвах [1, 2]. Для їх реалізації використовують загальноприйняті у світовій практиці технологічні рішення, які мають ряд недоліків, що в більшості випадків полягають у енерго- і ресурсоемкості, екологічно небезпечні та ряд інших. Тому пошуком способів інтенсифікації процесів екстрагування та створенням обладнання для їх реалізації займаються вчені багатьох країн світу.

Перспективним та актуальним напрямом розвитку технологічних рішень екстрагування рослинного матеріалу є розробка фізичних способів. Особливої уваги заслуговують ультразвукові кавітаційні технології [3]. Реалізація технологічних процесів ефективно відбувається за умов створення та підтримання у рідинному середовищі «розвиненої кавітації» при накладанні потужного ультразвукового поля, що забезпечує максимальний енергетичний вплив на клітинному та молекулярному рівнях.

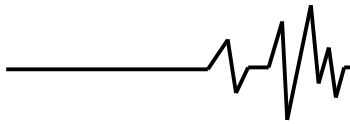
Метою статті є дослідження особливостей розповсюдження ультразвуку у воді з дисперсним рослинним матеріалом при збудженні коливань малоамплітудними та високоамплітудними приводами-

випромінювачами і розробка технологічного обладнання із залученням ультразвукової енергії для реалізації процесу екстрагування.

**Дослідження параметрів
ультразвукового поля**

Дослідження параметрів ультразвукового поля проводилося за допомогою гідрофону, що занурювався в технологічну рідину. Вимірювана за допомогою мілівольтметра ВЗ-38А електрична напруга на гідрофоні прямо пропорційна амплітуді звукового тиску [4]. Досліджувались три типи кавітаційних камер, а саме, камера з ультразвуковими приводами-випромінювачами на утворюючій поверхні, кавітаційна камера з ультразвуковим приводом-випромінювачем на дні, високоамплітудний кавітаційний привід-випромінювач з трансформатором коливальної швидкості [5, 6].

Результати експериментального дослідження зміни звукового тиску по осі між приводами-випромінювачами свідчать, що при збудженні радіально-згинальних коливань циліндричної поверхні кавітаційної камери спостерігається падіння тиску в центральній частині (рис. 1). У технологічному середовищі спостерігається майже 10 кратне падіння тиску в центральній частині камери, що свідчить по сутеві поглинальні властивості. Причому, встановлено, що ступінь поглинання ультразвукової енергії не суттєво залежить від



концентрації рослинного матеріалу у воді у межах її промислової доцільності (15...30%).

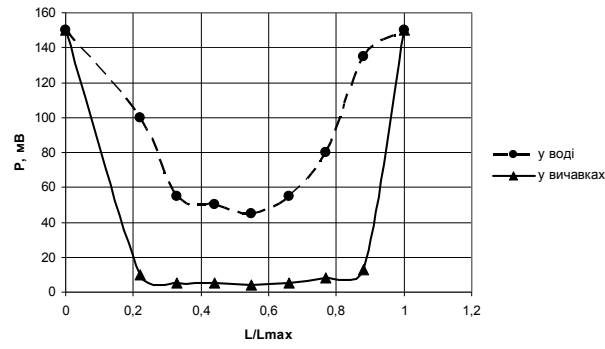


Рис. 1. Розподіл звукового тиску в циліндричній кавітаційній камері по осі приводів-випромінювачів

На внутрішній поверхні кавітаційної камери спостерігається максимальний рівень звукового тиску і відповідно максимальний рівень кавітаційної активності, що може негативно позначитися на ерозійній стійкості поверхні камери, але забезпечить у цій зоні максимальну ефективність кавітаційного впливу на органічні структури.

При застосуванні в технологічному обладнанні для екстрагування рослинного матеріалу циліндричній кавітаційній камері з радіально-згинальними коливаннями необхідно конструктивними засобами відокремити малоефективну з кавітаційної точки зору центральну частину камери і забезпечити прохід технологічної рідини крізь зону максимальної кавітаційної активності, тобто, біля внутрішньої поверхні циліндричній камери.

У разі розрахунку циліндричній камери під резонансні радіальні коливання поверхні вдається захистити від кавітаційної ерозії внутрішню поверхню камери і отримати максимум кавітаційної активності в зоні центральної осі камери. При цьому фокусуючи властивості циліндричній поверхні забезпечать досягнення значної інтенсивності ультразвукової енергії. При використанні такого варіанту камери в технологічному обладнанні необхідно буде забезпечити протікання технологічної рідини тільки здовж центральної частини циліндричній кавітаційній камери.

Експериментально встановлено, що закон розподілу ультразвукового поля у чистій воді та середовищі з рослинними матеріалом залишається майже не змінним (рис.2).

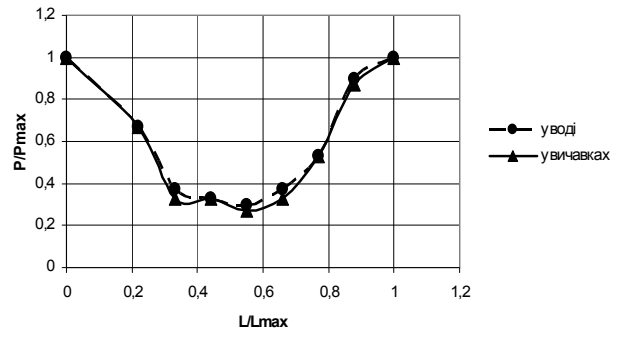


Рис. 2. Розподіл відносного звукового тиску в циліндричній кавітаційній камері з приводами-випромінювачами на утворюючій поверхні

Отримані результати вимірювання звукового тиску по глибині макетного зразка циліндричній кавітаційній камери (рис. 3) свідчать про те, що звуковий тиск має максимальне значення навпроти привода-випромінювача і поступово згасає при віддаленні від нього в різні сторони по глибині камери. Така залежність свідчить про наявність згинальних коливань по довжині циліндричній поверхні камери. Цей факт необхідно враховувати в разі застосування в технологічному кавітаційному обладнанні декількох секцій приводів-випромінювачів. У цьому випадку, для забезпечення мінімального взаємного впливу випромінювачів, встановлювати їх на утворюючій поверхні камери необхідно на відстані довжини хвилі пружних коливань і підключати до генератора ультразвукових коливань паралельно і синфазно.

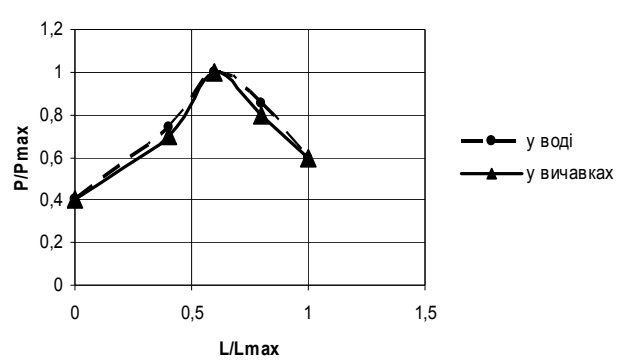
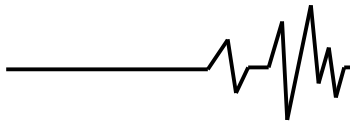


Рис. 3. Закон зміни відносного звукового тиску по глибині циліндричній кавітаційній камері з приводами-випромінювачами на утворюючій поверхні



У разі конструктивного відокремлення зони високої кавітаційної активності в об'ємі циліндричної камери, що досліджується, необхідно встановити співвісно з камерою додаткову циліндричну трубу. Ця труба, для випадку збудження радіально-згинальних коливань поверхні камери, повинна мати діаметр, який дорівнює діаметру лінії, що проходить по вузлам хвилі деформації, що встановилася в технологічній суміші. Застосування допоміжної труби випадкового розміру призведе до руйнування звукового поля в камері і, відповідно, зміни розподілу звукового тиску (рис. 4).

Експериментальне дослідження застосування в циліндричній камері допоміжної труби показало, що і в цьому випадку збереглося співвідношення між звуковим тиском у воді та звуковим тиском у технологічній суміші з рослинним матеріалом.

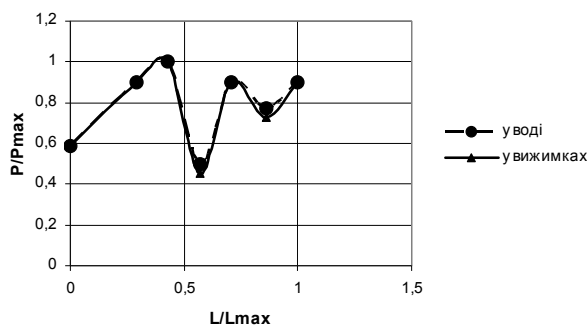


Рис. 4. Розподіл відносного звукового тиску в циліндричній кавітаційній камері з допоміжною трубою (по осі приводів-випромінювачів)

Дослідження ультразвукового поля у відкритій кавітаційній ванні з приводом-випромінювачем на донній поверхні показало значну нерівномірність розподілу звукового тиску в об'ємі ванни (рис. 5). дослідження проводилися на частоті 44 кГц. Потужність, що споживається, становила 100 Вт. Максимальне значення звукового тиску спостерігається безпосередньо над випромінювачем. Звуковий тиск швидко зменшується при віддаленні від зони випромінювача (рис. 6).

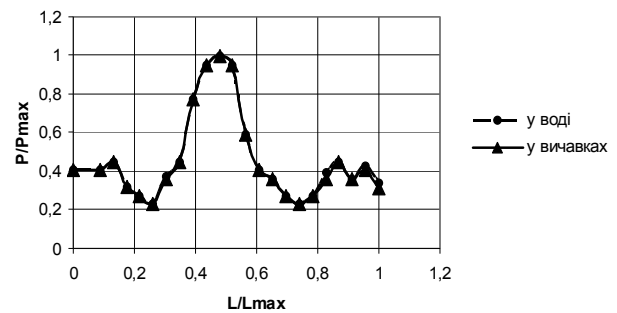


Рис. 5. Розподіл відносного звукового тиску у відкритій кавітаційній камері з приводом-випромінювачем на донній поверхні (по довжині)

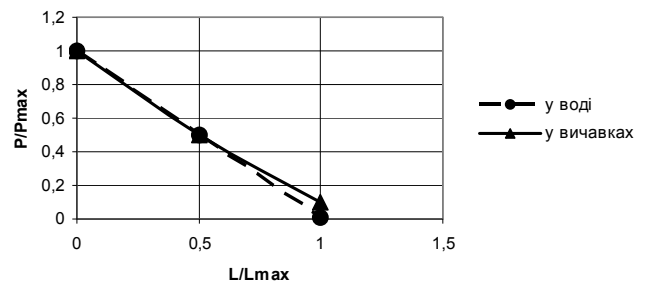
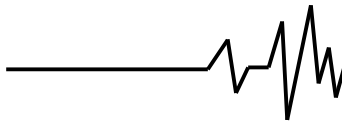


Рис. 6. Розподіл відносного звукового тиску у відкритій кавітаційній камері з приводом-випромінювачем на донній поверхні (по глибині)

Значна нерівномірність кавітаційної активності в об'ємі плоскої відкритої ванни не дозволяє досягти якісної ерозійної обробки поверхонь забруднених деталей або якісної кавітаційної обробки рідинної суміші органічних структур. В техніці відомі способи підвищення рівномірності звукового поля в подібному випадку [7]. Утворення, так званого, дифузного поля, яке характеризується середнім рівнем звукового тиску, але в усьому об'ємі ванни, досягається за рахунок хаотичного розташування вузлів та пучностей.

Як і в попередніх випадках, співвідношення звукового тиску в чистій воді і в рідинній суміші рослинного матеріалу залишилося незмінним.

Експериментальне дослідження роботи резонансного високоамплітудного приводу з трансформатором швидкості показало, що область підвищеного звукового тиску зосереджена поблизу поверхні випромінювання та досить швидко згасає з відстанню [8]. Так, в рідинній суміші з рослинним матеріалом на відстані 10мм від поверхні випромінювання



звуковий тиск знаходиться на рівні акустичних шумів. Високоамплітудний привід працював на частоті 22 кГц. Потужність, що споживалася, становила 130 Вт.

Отримані результати експериментального дослідження свідчать про досить суттєві поглинальні властивості рідинної суміші рослинного матеріалу за умови їх концентрації в межах 15...30%. Досліджені типи резонансних приводів-випромінювачів дозволяють забезпечити якісну кавітаційну обробку суміші лише на відстані до 20 мм від поверхні випромінювання. Це, безумовно, треба враховувати при створенні технологічного обладнання для реалізації процесу екстрагування з рослинного матеріалу. Враховуючи експериментально підтверджену ідентичність закону розповсюдження ультразвукового поля в воді і в технологічній суміші, для проектування відповідного технологічного обладнання можна застосовувати відомі в галузі ультразвукової кавітації методики.

Враховуючи зазначені вище особливості, забезпечити ефективну обробку рідинних середовищ з наявними дисперсними частинками можливо лише за рахунок їх обробки у тонкому шарі. При цьому для забезпечення високої продуктивності процесу необхідно використовувати проточну схему обробки.

Практична реалізація

Результати представлених експериментальних досліджень дають можливість рекомендувати, як найбільш раціональні, наступні схеми технологічного обладнання для реалізації екстрагування цільових компонентів з рослинного матеріалу із залученням ультразвукової енергії:

— відкритий кавітаційний проточний лоток;

— пристрій для ультразвукової кавітаційної обробки рідинних середовищ в закритому потоці.

Особливостями проточного кавітаційного лотка є наявність кавітаційної камери виконаної у вигляді плоского лотка, на дні якого встановлені ультразвукові випромінювачі. Якщо лоток зроблено відкритим, то товщина шару технологічної суміші повинна дорівнювати величині, кратній половині хвилі деформації, що встановилася по глибині лотка. В разі, коли для переміщення технологічної суміші здовж лотка застосовано стрічковий скребковий конвеєр, стрічка якого виконана з металу та розміщена паралельно днища лотка (рис. 7, 8), відстань між поверхнею випромінювання та стрічкою вибирають кратною непарній кількості чвертей довжини стоячих ультразвукових хвиль у суміші.

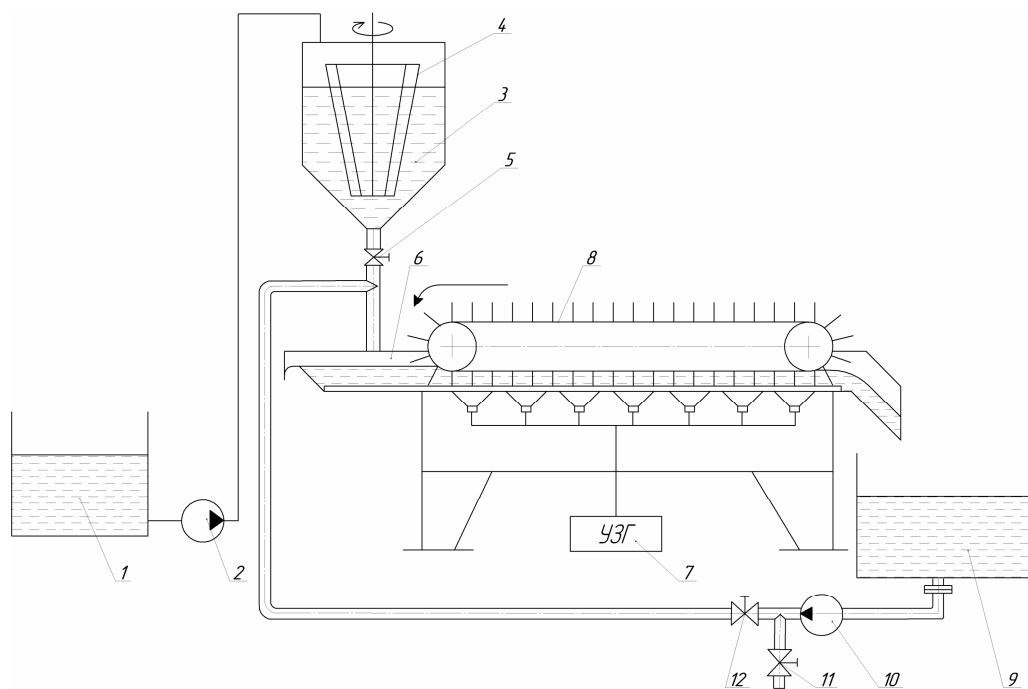


Рис. 7. Схема установки для екстрагування рослинного матеріалу:
1, 3, 9 – ємності; 2, 10 – насоси; 4 – перемішувач; 5, 11, 12 – засувки; 6 – лоток;
7 – ультразвуковий генератор; 8 – стрічковий скребковий конвеєр

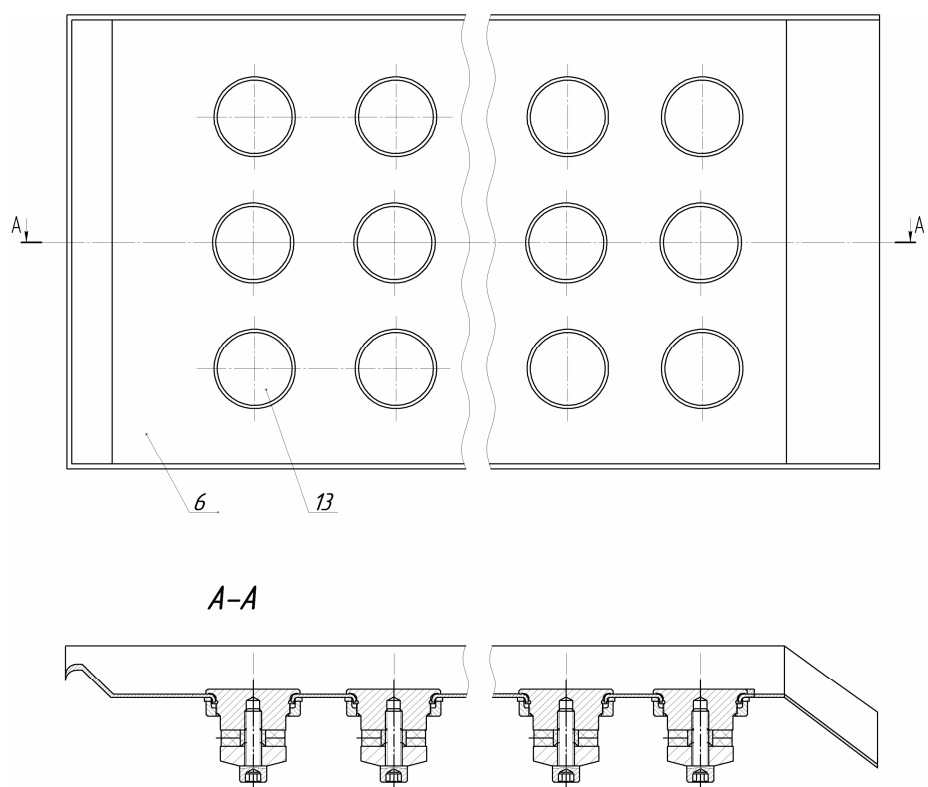
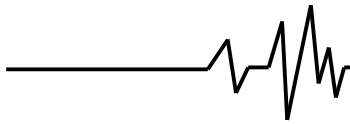


Рис. 8. Схема кавітаційного лотка: 6 – металевий лоток; 13 – п'єзоелектричні перетворювачі

Наявність стрічки конвеєра, що ефективно відбиває ультразвукові хвилі забезпечує створення стоячого ультразвукового поля, що дозволяє значно інтенсифікувати процес, забезпечує безперервність його проведення, зменшити час обробки сировини. Регулювання швидкості конвеєра, а отже і переміщення рослинної маси забезпечує необхідну тривалість перебування в зоні обробки та екстрагування цільових компонентів з неї.

Пристрій для ультразвукової кавітаційної обробки рідинних середовищ у тонкому шарі у закритому потоці включає кавітаційно та корозійно стійку трубу на зовнішній твірній поверхні якої в пучностях згинальної хвилі деформації встановленні ультразвукові випромінювачі (рис. 9, 10). Всередині труби каосіально встановлена додаткова труба з корозійно та кавітаційно стійкого матеріалу, яка під'єднана до атмосфери, причому радіальний зазор між внутрішньою поверхнею труби і зовнішньою поверхнею додаткової труби кратний непарній кількості чвертей довжини стоячих ультразвукових хвиль у технологічній суміші, що перекачується. Наявність такого каналу з жорсткими стінками дозволяє прокачувати технологічну суміш під підвищеним тиском. Це дозволяє значно підвищити

ефективність кавітаційної обробки та підвищити продуктивність обладнання. У додатковій трубі герметично від потоку рідини може бути розміщено електричний нагрівальний елемент або вона може бути під'єднана до парогенератора для інтенсифікації технологічного процесу чи забезпечення необхідного температурного поля, що визначається технологічними параметрами обробки.

Вздовж труби розміщується декілька секцій з ультразвуковими випромінювачами, що дає можливість забезпечити необхідну потужність кавітатора. При встановленні декількох груп ультразвукових випромінювачів, необхідно враховувати довжину хвилі пружних радіально-згинальних коливань. Труба має на торцях фланці, за допомогою яких апарат встановлюється в технологічну магістраль.

У залежності від вимог технологічного процесу можливо конструктивно (зміна кількості ультразвукових перетворювачів) та регулюванням (зміна швидкості потоку рідини) впливати на величину ультразвукової обробки та інтенсивність ультразвукових коливань, а як наслідок, підбирати оптимальні режими технологічної обробки технологічного середовища та змінювати продуктивність.

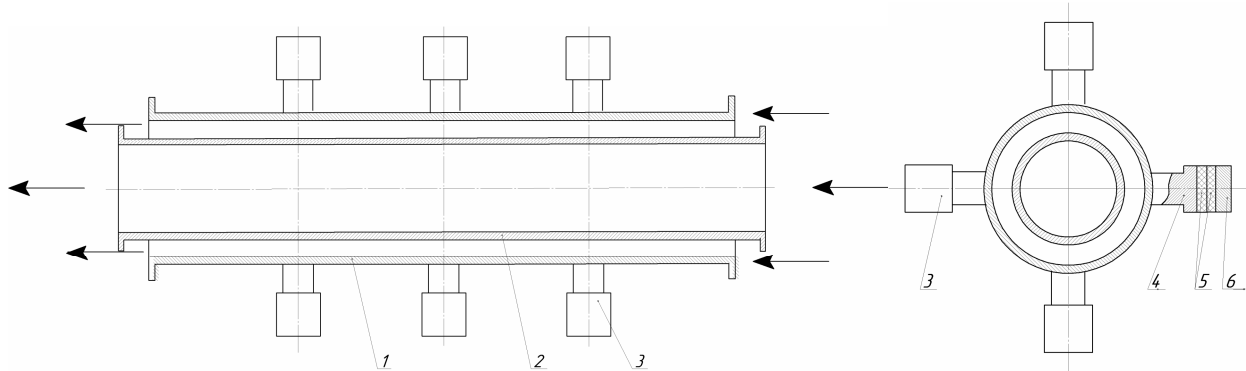
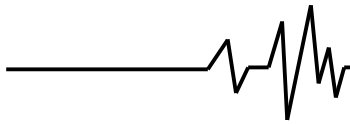


Рис. 9. Схема пристрою для ультразвукової кавітаційної обробки рідинних середовищ у тонкому шарі в потоці: 1 – циліндрична проточна камера; 2 – додаткова труба; 3 – ультразвукові випромінювачі; 4 – трансформатор швидкості; 5 – п'єзокільця; 6 – демпфер

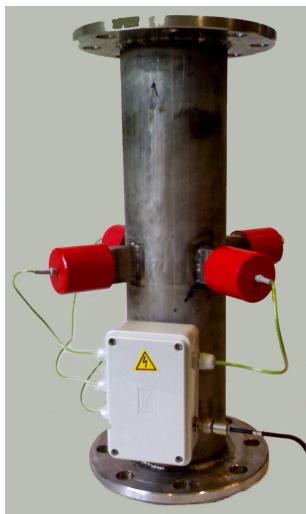


Рис. 10. Ультразвукова проточна кавітаційна установка для екстрагування рослинної сировини

Висновки

- рідинне середовище з дисперсною фазою досить суттєво поглинає ультразвукову енергію;
- кавітаційна обробка середовища можлива лише у тонкому шарі на відстані до 20 мм від поверхні випромінювання, для забезпечення високої продуктивності процесу необхідно використовувати проточну схему обробки;
- для реалізації ультразвукової кавітаційної технології екстрагування рослинної сировини запропоновано використовувати відкритий кавітаційний проточний лоток та пристрій для ультразвукової кавітаційної обробки рідинних середовищ в закритому потоці з підвищеним тиском;
- розроблено промисловий зразок ультразвукової кавітаційної установки.

Література

1. Лысянский В.М., Гребенюк С.М. Экстрагирование в пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1987. – 188 с.
2. Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование. Система твердое тело – жидкость. – М.: Химия, 1974. – 256 с.
3. Хмельёв В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: научная монография/ Алт. гос. Техн. Ун-т. им. И.И. Ползунова. - Барнаул: изд. АлтГТУ, 1997. - 160 с.
4. Свердлин Г.М. Прикладная гидроакустика: Учеб. пособие.-2-е изд., перераб. и доп.-Л.: Судостроение, 1990.- 320с., ил.
5. Луговской А.Ф., Чухраев Н.В. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях.- К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007.-244 с.
6. Луговской А.Ф., Фесич В.П., Мовчанюк А.В. Ультразвуковые приводы для кавитационных технологий. - Промислова гідраліка і пневматика, № 4 (22),-Вінниця, 2008, с. 28-34.
7. Луговской А.Ф., Мовчанюк А.В., Чорный В.И., Омелич М.Ф., Берник И.Н. Повышение эффективности ультразвуковой кавитационной очистки в ваннах малого объема.- Промислова гідраліка і пневматика, № 1 (15),-Вінниця, 2007,с. 40-43.
8. Луговской А.Ф., Мочанюк А.В., Фесич В.П., Гришко И.С. Исследование рабочей зоны высокоамплитудного кавитационного ультразвукового привода. - Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М.Остроградського. Вип. 2/2008 (49).Частина 2, - Кременчук, 2008, с.81-85.