

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРИГОТУВАННЯ СУМІШІ КОМПОНЕНТІВ БІОПАЛЬНОГО В УЛЬТРАЗВУКОВОМУ ПОЛІ

Назаренко І. П., Кушлик Р. Р.

Таврійський державний агротехнологічний університет (м. Мелітополь)

Приведено аналіз та обґрунтування параметрів ультразвукового поля для обробки сумішевого біопального в кавітаційному режимі.

Постановка проблеми. Основною причиною заміни нафтових продуктів на інші є те, що світові запаси нафти з кожним роком скорочуються, а нові родовища знаходяться все рідше.

Створення пального для дизелів із органічної сировини дозволить трансформувати рослинництво із галузі, яка є основним споживачем світлих нафтопродуктів, в галузь, що виготовляє екологічно чисте моторне пальне із поновлюваних джерел енергії. Найбільше розповсюдження серед біопалив рослинного походження в Україні отримало пальне, виготовлене на основі ріпакової олії (РО) [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні відомі два напрями застосування біопального з РО. Перше пов'язане з безпосереднім використанням в якості пального РО, або в суміші з нафтовим дизельним паливом. Другий напрямок пов'язаний з технологіями глибокої хімічної переробки рослинних олій в ефіри їх жирних кислот і використання їх в якості пального, або в суміші з дизельним нафтовим паливом.

Більш ефективним способом використання біологічного пального є застосування сумішей мінерального дизельного пального і метил ефіру ріпакової олії (МЕРО). На підставі результатів досліджень, проведених Фокін Р. В., Дідур В. А., Буряков А. С., Ліскутіна А. П., Малахов К. С., Шматок О. І., Громаков А. В., Кіреєва Н. С. та інших дослідників встановлено, що від вибору відповідного обладнання або пристроїв для перемішування дизельного пального і МЕРО залежить ефективність обробки сумішевого біопального і покращення його фізико-хімічних показників.

Мета статті. В статті поставлена мета провести аналіз та обґрунтування роботи електроакустичної системи при обробці сумішевого біопального в кавітаційному режимі.

Основні матеріали дослідження. Для забезпечення кавітаційного режиму параметри ультразвукового поля (інтенсивність і частота) повинні мати певні значення. Відомо, що кавітаційний режим найбільш ефективний в діапазоні частот від 20 до 200 кГц [3, 4]. В цьому діапазоні для отримання ультразвуку раціонально використовувати магнітострикційні перетворювачі, при цьому найпоширеніший діапазон частот з технічних зручностей лежить в межах від 20 до 40 кГц.

Для забезпечення ультразвукової кавітації в цьому діапазоні інтенсивність ультразвуку складає від 1 до 5 Вт/см² [4-6].

При розповсюдженні ультразвуку в середовищі його інтенсивність зменшується, що характеризується

коефіцієнтом поглинання. Величина цього коефіцієнту для рідини незначна. Але у разі, якщо рідина насичена кавітаційними бульбашками коефіцієнту поглинання в залежності від інтенсивності може досягати для біопального з в'язкістю 4 мПа·с величини 1 дБ/см при інтенсивності 5 Вт/см² [4]. Тому приймаємо середній коефіцієнту поглинання 0,5 дБ/см (0,0575 Нп/см).

Відстань на якій інтенсивність зменшиться від однієї величини до іншої розраховується за формулою [5]:

$$l = \frac{10}{\alpha} \log \frac{W_1}{W_2}, \quad (1)$$

де l – довжина камери обробки (навантаження), см;

α – коефіцієнт поглинання, дБ/см.

W_1, W_2 – інтенсивність ультразвуку на початку та в кінці камери обробки відповідно, Вт/см².

Розрахунок відстані за формулою (1) при $\alpha=0,5$ дБ/см, $W_1=5$ Вт/см², $W_2=1$ Вт/см², дає результат $l=14$ см.

Для теоретичного аналізу наведемо співвідношення для параметрів ультразвукової хвилі [7, 8].

Діюче значення коливальної швидкості ультразвукової хвилі:

$$v = \frac{p}{\rho \cdot c} = \frac{p}{\xi} = \frac{f}{S \cdot \xi} = \frac{f}{S \cdot \rho \cdot c}, \quad (2)$$

де v – діюче значення коливальної швидкості, м/с;

p – діюче значення тиску, Па;

ρ – густина речовини, кг/м³;

c – швидкість звуку в речовині, м/с;

ξ – питомий акустичний опір матеріалу, Па·с/м;

f – сила, Н;

S – площа, м².

Інтенсивність ультразвуку:

$$W = \frac{P}{S} = \frac{p^2}{\rho \cdot c} = v^2 \cdot \rho \cdot c = p \cdot v, \quad (3)$$

де P – потужність ультразвуку, Вт.

Електроакустична система включає генератор електричних коливань ультразвукової частоти, електроакустичний перетворювач та камеру (рис. 1).

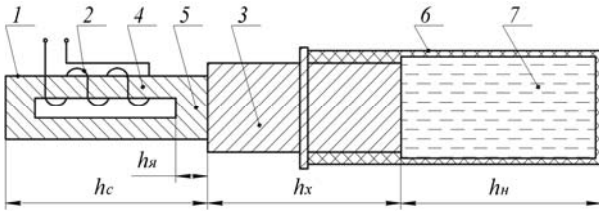


Рисунок 1 – Електроакустична система для обробки сумішевого біопального: 1 – пакет пластин; 2 – обмотка збудження і підмагнічування; 3 – хвилевод; 4 – активні стрижні пакету; 5 – яро пакету; 6 – камера обробки; 7 – сумішеве біопальне

Рідина, що знаходиться в камері обробки являє собою акустичне навантаження для перетворювача. В загальному випадку навантаження буде комплексним опором. В якості електроакустичного перетворювача застосовується магнітострикційний перетворювач. Він складається з пакету пластин з магнітострикційного матеріалу 1, обмотки збудження і підмагнічування 2 та хвилеводу 3. Пакет пластин складається з активних стержнів 4, в яких магнітний потік співпадає з напрямом розповсюдження ультразвукової хвилі та яра (накладки) 5, яка є пасивною частиною з точки зору генерування хвиль і є елементом, що замикає магнітопровід. Ультразвукові коливання збуджуються в активних стрижнях пакету 4 та через хвилевод 3 розповсюджуються в камеру обробки 6 з шаром біопального 7.

Аналіз роботи електроакустичної системи будемо вести на підставі еквівалентної схеми заміщення (рис. 2) [9]. Вона включає електромеханічний трансформатор на електричній стороні якого враховано індуктивний опір обмотки збудження x_e та опір електричних втрат $r_{e.e}$. На механічній стороні послідовно з'єднані акустичні опори активних стрижнів пакету Z'_c , яра пакету $Z'_я$, хвилеводу Z'_x , навантаження Z'_n та опір механічних втрат R_b , що приведені до активних стрижнів пакету.

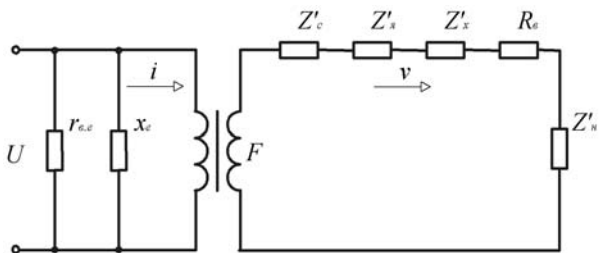


Рисунок 2 – Еквівалентна схема заміщення електроакустичного перетворювача

Для розрахунку акустичних опорів еквівалентної схеми заміщення, приведених до активних стрижнів пакету запишемо відповідні вхідні опори елементів електроакустичної системи.

Вхідний опір хвилеводу [10]:

$$Z_{вх.х} = \xi_x S_x \frac{Z_{вх.н} \cos(k_x h_x) - j \xi_x S_x \sin(k_x h_x)}{\xi_x S_x \cos(k_x h_x) - j Z_{вх.н} \sin(k_x h_x)}, \quad (4)$$

де $Z_{вх.х}$ – вхідний опір хвилеводу, кг/с;

ξ_x – питомий акустичний опір матеріалу хвилеводу, Па·с/м;
 S_x – площа перерізу хвилеводу, м²;
 k_x – хвильове число матеріалу хвилеводу, рад/м.
 h_x – довжина хвилеводу, м;
 $Z_{вх.н}$ – вхідний опір навантаження, кг/с.

Хвильове число:

$$k = \frac{\omega}{c}, \quad (5)$$

де ω – кутова частота, рад/с;
 c – швидкість звуку в матеріалі, м/с.

Вхідний опір яра:

$$Z_{вх.я} = \xi_я S_я \frac{Z_{вх.х} \cos(k_я h_я) - j \xi_я S_я \sin(k_я h_я)}{\xi_я S_я \cos(k_я h_я) - j Z_{вх.х} \sin(k_я h_я)}, \quad (6)$$

де $Z_{вх.я}$ – вхідний опір яра, кг/с;

$\xi_я$ – питомий акустичний опір матеріалу яра, Па·с/м;
 $S_я$ – площа перерізу яра, м²;
 $k_я$ – хвильове число матеріалу яра, рад/м.
 $h_я$ – довжина яра, м.

Вхідний опір поглинаючого шару рідини, який є навантаженням електроакустичної системи [10]:

$$Z_{вх.н} = \xi_n S_n \frac{\xi_n S_n sh(\gamma_n h_n) + j Z_{вх.в} ch(\gamma_n h_n)}{Z_{вх.в} sh(\gamma_n h_n) + j \xi_n S_n ch(\gamma_n h_n)}, \quad (7)$$

де ξ_n – питомий акустичний опір матеріалу навантаження, Па·с/м;
 S_n – площа перерізу камери навантаження, м²;
 k_n – хвильове число матеріалу навантаження, рад/м.
 h_n – довжина камери навантаження, м;
 $Z_{вх.в}$ – вхідний опір випромінювання, кг/с.
 γ_n – комплексне хвильове число речовини навантаження, рад/м.

Комплексне хвильове число [10]:

$$\gamma_n = \alpha_n - j k_n, \quad (8)$$

де α_n – коефіцієнт поглинання речовини навантаження, м⁻¹.

Якщо навантаження на яро дорівнює нулю ($Z_{вх.н}=0$), то власний опір яра з рівняння (3) буде дорівнювати:

$$Z_я = -j \xi_я S_я tg(k_я h_я), \quad (9)$$

де $Z_я$ – власний опір яра, кг/с.

Яро являє собою елемент магнітопроводу і його довжина повинна забезпечувати достатню площу перетину для проходження магнітного потоку. Для яра

виготовленого з пермендюру з густиною 8100 кг/м^3 , швидкістю звуку 5200 м/с , при площі перетину $0,0009 \text{ м}^2$ та довжині ярма $0,015 \text{ м}$ залежності акустичних опорів приведених до стрижнів пакету надані на рис. 3. Побудова графічних залежностей здійснювалась за допомогою програми MATLAB [11].

Для частоти порядку 20 кГц реактивний акустичний опір ярма складає величину близько 20000 кг/с (рис. 3) і він повинен бути скомпенсований реактивними опорами інших елементів електроакустичної системи.

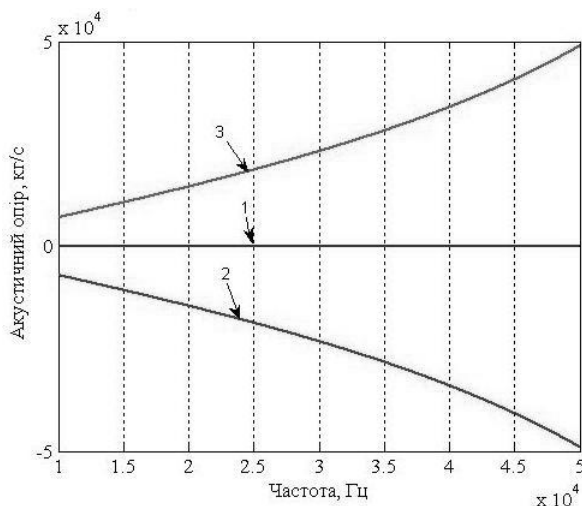


Рисунок 3 – Залежності акустичних опорів ярма, приведених до стрижнів пакету від частоти ультразвуку: 1 – активний опір; 2 – реактивний опір; 3 – повний опір

Для розв'язання задачі обґрунтування частоти для забезпечення максимальної потужності потрібно отримати залежності сили та потужності від частоти ультразвуку.

Розглянемо енергетичні характеристики електроакустичної системи, для забезпечення інтенсивності ультразвуку в шарі біопального 5 Вт/см^2 .

Для забезпечення потрібної інтенсивності в шарі рідини, що являє собою навантаженням, відповідно до схем заміщення (рис. 2) та формул (2), (3) коливальна швидкість повинна складати:

$$v = \sqrt{\frac{W \cdot S}{|Z_H'|}} \quad (10)$$

Сила в стрижнях пакету відповідно схеми заміщення (рис. 2):

$$\dot{F} = v \cdot (Z_H' + Z_X' + Z_Y' + Z_C), \quad (11)$$

де Z_C – опір стрижнів пакету, кг/с .

Опір стрижнів пакету:

$$Z_C = i \cdot \xi_c S_c \cdot ctg\left(\frac{k_c \cdot h_c}{2}\right), \quad (12)$$

де ξ_c – питомий акустичний опір матеріалу стрижнів, $\text{Па}\cdot\text{с/м}$;

S_c – площа перерізу стрижнів, м^2 ;

k_c – хвильове число матеріалу стрижнів, рад/м ;

h_c – довжина стрижнів, м .

На рис. 4 надані залежності для активної, реактивної та повної складових сили, в діапазоні частот від $22,7$ до $22,9 \text{ кГц}$, очевидно, що максимальна сила відповідає частоті $22,8 \text{ кГц}$, яка і буде оптимальною з точки зору максимальної активної енергії, що виділяється в навантаженні. Мінімальне значення повної сили 180 Н відповідає частоті механічного резонансу системи.

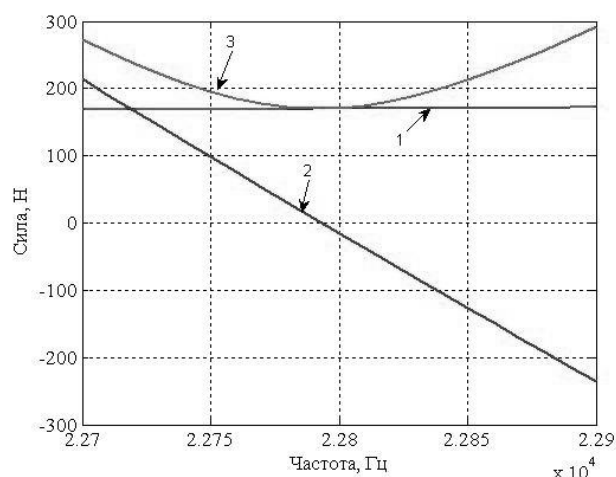


Рисунок 4 – Залежність сили в стрижнях пакету від частоти ультразвуку при інтенсивності в навантаженні 5 Вт/см^2 : 1 – активна сила; 2 – реактивна сила; 3 – повна сила

Комплексна потужність в шарі рідини визначається формулою:

$$S_M = v^2 \cdot Z_H' \quad (13)$$

Залежності потужностей від частоти (рис. 5) підтверджують, що максимальна потужність відповідає частоті $22,8 \text{ кГц}$.

Для аналізу та електричних розрахунків електроакустичного перетворювача еквівалентну схему заміщення потрібно перетворити до електричних величин на підставі

$$\varphi = \frac{\alpha_M}{\omega \cdot n}, \quad (14)$$

де φ – коефіцієнт електромеханічного зв'язку, Н/Вб ;

α_M – магнітострикційна константа матеріалу, Н/В ;

n – кількість витків обмотки збудження.

Якщо прийняти частоту 22 кГц , кількість витків – 70 , а магнітострикційну постійну $\alpha = 2,2 \cdot 10^6 \text{ Н/В}$ (пермендюр) [12] то коефіцієнт електромеханічного зв'язку $\varphi = 2,26 \text{ Н/В}$.

Тоді напруга на магнітострикційному перетворювачі розраховується за формулою:

$$U = \frac{F}{\varphi}, \quad (15)$$

де U – напруга на магнітострикційному перетворювачі, В.

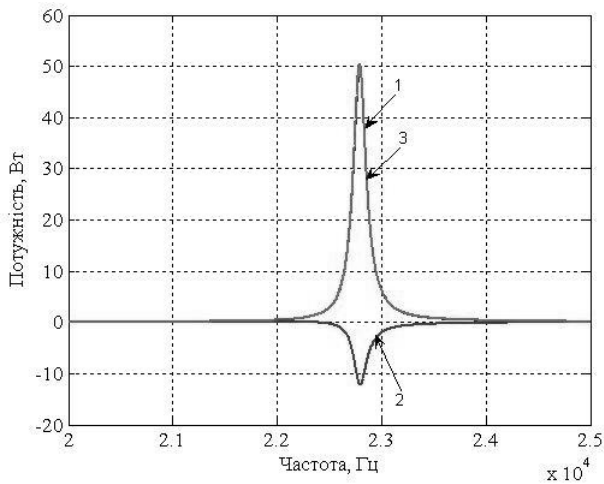


Рисунок 5 – Залежність потужності в шарі навантаження від частоти ультразвуку при силі в стрижнях пакету 180 Н: 1 – активна потужність; 2 – реактивна потужність; 3 – повна потужність

Для розглянутих умов (сила в стрижнях пакету дорівнює 180 Н), при механо-акустичному к.к.д.=50 % напруга на перетворювачі повинна складати 145,4 В (в 2 рази більше ніж розрахована за формулою (15)).

Висновки. З наведеного матеріалу витікає:

1. Отримані теоретичні результати надають можливість визначити електричні і механічні характеристики електроакустичної системи для обґрунтування та розрахунку складових електроакустичної системи: магнітострикційного перетворювача, хвилеводу та концентратора.

2. Для забезпечення інтенсивності ультразвуку від 5 Вт/см² на торці хвилеводу до 5 Вт/см² в кінці камери довжина камери не повинна перевищувати 14 см.

3. Врахування коефіцієнту поглинання $\alpha=5,75$ Нп/м для біопального дозволило визначити втрати енергії в шарі рідини та визначити параметри еквівалентної схеми заміщення.

4. Для найбільш точного визначення резонансної частоти потрібно використовувати залежність потужності від частоти.

Список використаних джерел

1. Передерій Н. О. Ріпак – стратегічна культура для біоенергетики України / Н.О. Передерій // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2008. – № 131. – С. 300-304.
2. Семенов В. Г. Производство и применение биодизельного топлива в Украине / В. Г.Семенов //

Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2007. – № 5. – С. 7-8.

3. Голямина И. П. Ультразвук. Малая энциклопедия / Под ред. И. П. Голяминой // М.: Издательство "Советская энциклопедия", 1979. – 400 с.

4. Голых Р. Н. Повышение эффективности ультразвукового кавитационного воздействия на химико-технологические процессы в гетерогенных системах с несущей высоковязкой или неньютоновской жидкостью / Р. Н. Голых // Дис. канд. техн. наук: 05.17.08. – Бийск: [б. в.], 2014. – 188 с.

5. Голых Р. Н. Гидроакустическая энциклопедия / Р. Н. Голых // Под общ. ред. В. И. Тимошенко, Л. М. Бреховских, Н. А. Дубровский, О. В. Руденко. - Таганрог: ТРТУ, 1999. – 788 с.

6. Мэзон У. Физическая акустика / У. Мэзон // Методы и приборы ультразвуковых исследований. – Т. 1. - М.: Мир. 1966. – 592 с.

7. Красильников В. А. Введение в акустику / В. А. Красильников. – М.: МГУ, 1992. – 152 с.

8. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Л. Бергман. – М.: Изд-во Иностранной Литературы, 1957. – 726 с.

9. Донской А. В. Ультразвуковые электротехнологические установки / А. В. Донской, О. К. Келлер, Г. С. Крайш // – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд., 1982. – 208 с.

10. Бархатов А. Н. Акустика в задачах / А. Н. Бархатов, Н. В. Горская, А. А. Горюнов // Под ред. С. Н. Гурбатова, О. В. Руденко. – М.: Наука. Физматлит, 1996. – 336 с.

11. Чен К. МАТЛАВ в математических исследованиях / К. Чен, П. Джиглин, А. Ирвинг // М.: Мир, 2001. – 346 с.

12. Розенберг Л. Д. Физика и техника мощного ультразвука / Под ред. Л. Д. Розенберга // Источники мощного ультразвука. – Т. 1. - М.: Наука, 1967. – 380 с.

Аннотация

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСИ КОМПОНЕНТОВ БИОТОПЛИВА В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Назаренко И. П., Кушлык Р. Р.

Приведен анализ и обоснование параметров ультразвукового поля для обработки смешанного биотоплива в кавитационном режиме.

Abstract

THEORETICAL PRECONDITIONS OF PREPARATION OF THE MIXTURE OF BIOFUEL COMPONENTS IN ULTRASONIC FIELD

I. Nazarenko, R. Kushlyk

The analysis and justification of the parameters of the ultrasound field for the treatment of the mixed biotope in the cavitation regime are given.