

М. В. Горовий

Л. М. Батюк

Сумський національний аграрний університет

Для диспергування та активізації присадок ефективно використовувати гідродинамічний випромінювач, працездатність якого залежить від температури рідини, її тиску та в'язкості; розрахунок гідродинамічного випромінювача виробляється окремо для кожного випадку і залежить від потужності насоса, температури та щільності рідини. Гідродинамічні випромінювачі – пристрої перетворюють частину енергії рідини, що рухається, в енергію акустичних хвиль. Робота гідродинамічного випромінювача заснована на генеруванні збурювань в рідкому середовищі у вигляді якогось поля швидкостей і тисків при взаємодії рідини, що рухається, з нерухливою або рухливою перешкодою певної форми та розмірів.

Ключові слова: присадка, гідродинамічний випромінювач, масло, ультразвук, механічні домішки

Постановка проблеми в загальному вигляді.

Ультразвуки – це «нечутні звуки» високої частоти, або високочастотні коливання пружного середовища.

В даний час є різноманітні прибори для отримання ультразвуків різних частот та інтенсивностей. В повітрі потужні ультразвукові хвилі отримуються за допомогою різних сирен, свистків та газоструменевих перетворювачів.

Для отримання звукових коливань в рідинах та в твердих тілах використовують гідродинамічні, магнітострикційні та п'єзоелектричні перетворювачі. Перші та другі дозволяють отримати коливання до 100 тис.Гц, треті – від 100 тис.Гц та вище.

Для диспергування або активізації присадок використовуємо гідродинамічний випромінювач ультразвукових коливань.

Акустична рідинофазна обробка матеріалів набула широкого застосування в промисловості. За її допомогою можна істотно інтенсифікувати основні технологічні процеси та у ряді випадків одержати якісно нові результати.

Але використання в технології потужних звукових полів є досить важке завдання, тому що навіть наближений розрахунок можна здійснити тільки базуючись на теорії нелінійної акустики. Слід зазначити, що основною дією, що інтенсифікує або інфікує, володіє не саме поширення пружної хвилі деформації або зсуви, а виникаючі при цьому вторинні ефекти: акустичні плинні, звукокапілярний ефект, кавітація, ударні хвилі й т.д., які обумовлюють вплив акустики практично на всі відомі технологічні процеси.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

З найбільше широко застосовуваних акустичних випромінювачів (магнітострикційних, п'єзокерамічних і гідродинамічних) переважно використовувати гідродинамічні випромінювачі. Це визначається тим, що магнітострикційні і п'єзокерамічні перетворювачі складні у виготовленні й тому досить дорогі. Обслуговування цих

систем вимагає спеціальної кваліфікації персоналу [2]. До переваг гідродинамічних випромінювачів можна віднести і те, що струмінь рідини є генератором коливань і об'єктом випромінювання

Гідродинамічні випромінювачі – пристрої перетворюють частину енергії рідини, що рухається, в енергію акустичних хвиль. Робота гідродинамічного випромінювача заснована на генеруванні збурювань в рідкому середовищі у вигляді якогось поля швидкостей і тисків при взаємодії рідини, що рухається, з нерухливою або рухливою перешкодою певної форми та розмірів[4].

Постановка завдання.

Метою теоретичного дослідження є використання гідродинамічного випромінювача для покращення експлуатаційних властивостей моторних масел.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для того, щоб передбачити звукові поля, випромінювані нестационарним плином (охоплюють обмежену область) на великій відстані від області плинину, треба вирішити неоднорідне хвильове рівняння, що є акустичною аналогією цього завдання,

$$\left(\frac{1}{\epsilon^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \nabla^2\right)h = q \quad (1)$$

де a_c - швидкість поширення звуку в нерушній рідині; h - шукана змінна, котра в далекому полі може бути ототожнена зі збурюванням тиску; q - задана інтенсивність джерела в термінах величин, які можуть бути оцінені незалежно від звукового поля зі знання характеристик нестационарного плинину.

Наприклад, якщо розглядаються плинні при малих числах Маху з локалізованою завихреністю то правильно вибрати в якості q величину, що виражається тільки через завихреність.

Існують багато способів вибору акустичних аналогій. Наприклад, запропонований Лайтхіллом, Пауеллом, Хау та Рібнером і мають відповідно вид:

$$q = \partial^2 T_{ij} / \partial x_i \partial x_j, \quad (2)$$

$$q = \rho_{\text{div}}, \quad \rightarrow \quad (3)$$

$$q = -\frac{1}{a_0^2} \cdot \frac{\partial^2 p^{(0)}}{\partial t^2} \quad (4)$$

$$T_{ij} = \rho U_i U_j + p_{ij} - a_0^2 \rho \delta_{ij} \quad (5)$$

- тензор квадрупольних напруг Лайтхілла в термінах швидкості U , напруги p_{ij} і щільності ρ ;

$$L = \omega \Lambda U - T \text{grad} \quad (6)$$

- вектор Лемба в теорії Пауелла-Хау, де ω - завихренність, T - температура, S - ентропія, причому псевдозвуковий тиск $p^{(0)}$ Рібнера задовольняє рівнянню

(7)

Рівняння (2), (3) і (4) представляють відповідно розподіл джерел у вигляді квадруполь, диполь і монополів. Крапковий мультиполь (або мультиполь із джерел, відділених масштабом l , набагато меншим випромінюваної довжини хвилі λ) має ефективність випромінювання та діаграму спрямованості, зовсім відмінні від індивідуальних простих джерел, з яких він складається, і тому всі підходи можуть бути погоджені тільки тоді, коли інтегральний ефект всіх розподілу обчислений з використанням функції Гріна рівняння (Т):

$$h(x,t) = \int G(x,t;y,\tau) q(y,\tau) d^3y d\tau \quad (8)$$

Практично визначити розподіл детально в багатьох випадках досить складно, що при використанні наближеного вираження для $p^{(0)}$ у поданні акустичних монополів приведе до набагато більшого (із множником порядку λ/l) оцінки для h . Ця чутливість деяких подань до тонких деталей розподілу джерел підсилюється зовсім різним поведінням q удаліні від області плинину.

Використовуючи теорію Лайтхілла можна одержати вираження для оцінки потужності акустичної хвилі, випромінюваної некорельованими вихрами з обсягом V^3 , розподіленими по обсязі V .

$$(\rho_0 U^3 V^2) (V/l^3) m^5. \quad (9)$$

У цьому вираженні перший член $(\rho_0 U^2) l^3 (U/l)$ являє собою швидкість підведення енергії до вихру з масштабом l для того, щоб підтримувати його рух зі швидкістю U ; другий член - число вихрів в обсязі V , а третій - квадрупольна ефективність акустичних джерел при малих числах Маху. Вираз (10) еквівалентно добре відомому закону U^8 для залежності акустичної потужності від характерної швидкості U турбулентного руху:

$$U^8 / a_0^5 l \quad (10)$$

По всій видимості не існує підстав очікувати одержання універсального коефіцієнта для виражень (9) і (10), тому що випромінювання звуку відбувається головним чином від низько-, а не високочастотних компонентів турбулентного спектра, і отже не може бути й мови про яку-небудь «формулу для потужності акустичного випромінювання від одиничного обсягу турбулентності». Навіть для заданого турбулентного зсунутого

плинину величина цього коефіцієнта залежить від деталей плинину, які поки не обмірювані і по всій імовірності не можуть бути обмірювані; зокрема, він залежить від інтеграла на початку по відстані, а потім по обсязі області турбулентності від четвертої похідної за часом просторових кореляцій напруг Рейнольдса (81 член), визначення яких в експерименті є завданням величезних труднощів і зусиль. Все, що написано вище, стосується в основному, далекого звукового поля, для ближнього ж ($r \ll ()$) поля картина виходить ще більш складної та заплутаної. Тому дотепер у розробці гідродинамічних випромінювачів використовують чисто емпіричний підхід.

Існують гідродинамічні випромінювачі, що створюють звукове поле за рахунок пульсації вихрової області локалізованої між соплом і відбивачем. У цих випромінювачах використовуються конусно-циліндричне сопло та відбивач із в'їмкою, близькою за формою до параболоїда обертання. При певних геометричних розмірах сопла та відбивача спостерігається періодичне вибухподібне руйнування вихрової області, частота цього руйнування і визначає основний тон генеруючого звукового поля. Весь же спектр генеруючих коливань (залежно від конструкції випромінювача) може лежати в інтервалі 0,4 -40 кГц. Максимум звукового тиску в ближній зоні випромінювача може досягати 2-4,5 МПа при швидкості витікання струменя не менш 20-25 м/з (для рідин з динамічною в'язкістю близько 1.0 МПа·с). Для одержання такого ж звукового поля в рідинах з більшою в'язкістю треба збільшувати швидкість витікання рідини із сопла. При цьому КПД випромінювача (відношення енергії звукового випромінювача до кінетичної енергії струменя) становить 6-8%. Збільшення зовнішнього протитиску може підвищувати звуковий тиск генеруючих коливань, але при цьому треба підвищувати тиск рідини на вході у випромінювач. Частоту основної гармоніки генеруючих коливань можна оцінити за допомогою вираження:

$$\omega \approx \frac{4 \pi \chi p_0 (k - 1)^{2/3} \Delta_0}{\rho U_0 r l (1 - \chi)}, \quad (11)$$

де χ - частка обсягу усередині струменя, зайнятий рідиною;

p_0 - абсолютне значення тиску в навколишнім середовищі;

Δ_0 - товщина струменя на виході із сопла;

ρ_0 - щільність рідини;

U_0 - середня швидкість струменя в торця сопла;

r - радіус сопла;

l - відстань між соплом і перешкодою;

$$k = \sqrt{1 + \frac{2,3\gamma}{\Delta_0} l}; \quad (12)$$

(γ - кут розширення струменя).

Таблиця 1

Температура, °С	Тиск, кгс/см ²														Кінематична в'язкість, сСт
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	
24									+	+	+	+	+	+	320
30								+	+	+	+	+	+	+	250
36					+	+	+	+	+	+	+	+	+		200
44				+	+	+	+	+	+	+	+	+			100
52			+	+	+	+	+	+	+	+	+				66
59		+	+	+	+	+	+	+	+	+					48
69		+	+	+	+	+	+								33
78		+	+	+											22
85		+	+												20

Як видно з таблиці 1, при збільшенні температури масла робоча зона (позначена значком +) опускається в область більше низьких значень тиску. Границя робочої зони випромінювача для кожної температури з боку більших тисків визначалася можливістю насоса створювати тиск. Тому що при нагріванні в'язкість масла зменшилася і, відповідно, падав гідралічний опір установки, то в насоса не вистачало продуктивності для створення більших тисків.

Розрахунок ГД випромінювача

Вихідні дані: 1) Витрата рідини - $Q=30$ л/хв (у СІ: $Q=30/60000=5,0 \cdot 10^{-4}$ м³/с)

2) Тиск на вході $p=15$ атм (у СІ: $p=1,5$ Мпа)

1. Діаметр сопла [рис.1]

$$d = \sqrt[4]{\frac{8Q^2 \rho}{\varphi^2 \cdot p}}, \quad (13)$$

де φ - коефіцієнт витікання (для даного випадку $\varphi=0,85$), ρ - щільність рідини (для масла $\rho=900$ кг/м³)

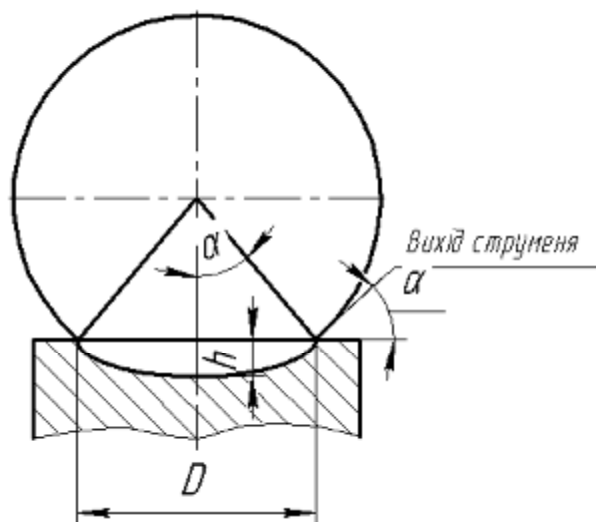


Рис. 1 Глибина та радіус лунки

Підставимо

$$d = \sqrt[4]{\frac{8(5 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 900}{0,85^2 \cdot 1,5 \cdot 10^6}} \approx 0,0035 = 3,5 \text{ мм}$$

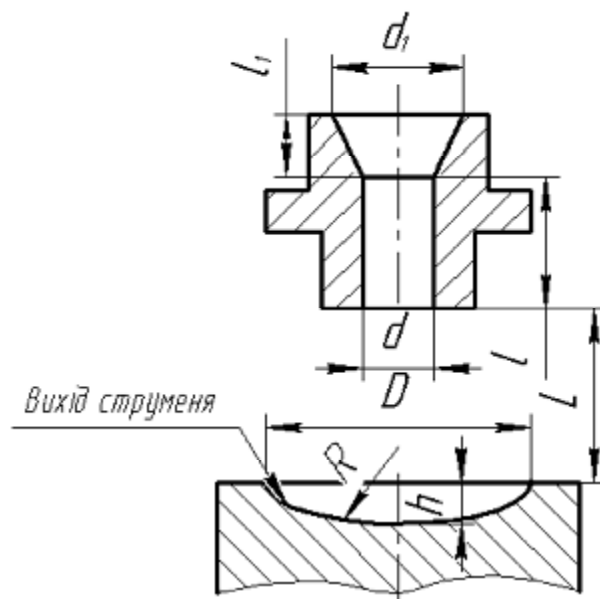


Рис. 2

2. Довжина циліндричної частини сопла [Рис.2]

$$l \approx 5,4 d = 5,4 \cdot 3,5 \approx 19 \text{ мм}$$

3. Довжина конічної частини сопла [Рис.2]

$$l_1 \approx l = 19 \text{ мм.}$$

4. Вхідний діаметр конуса

$$d_1 \approx 1,27 d = 4,5 \text{ мм}$$

5. Діаметр лунки, що відбиває, [Рис. 2]

$$D \approx 2d = 7 \text{ мм}$$

6. Як показано Рис. 2.9 оптимальний профіль лунки близький до сегмента сфери, причому оптимальний кут виходу струменя $\alpha = 35-40^\circ$.

Із цих міркувань розраховується глибина лунки й радіус закруглення лунки.

$$R = \frac{D}{2 \sin \alpha} = \frac{7}{2 \sin 40^\circ} = \frac{7}{2 \cdot 0,64} \approx 5,5 \text{ мм} \quad (14)$$

$$h = R(1 - \cos \alpha) = 5,5 \cdot (1 - \cos 40^\circ) = 5,5 \cdot (1 - 0,77) = 1,26 \text{ мм} \quad (15)$$

7. Для стійкого звукообладнання необхідний обсяг робочої камери не менш

$$V_m \approx 50000 \cdot d^3 = 50000 \cdot (3,5 \cdot 10^{-3})^3 \approx 0,002 \text{ м}^3 = 2 \text{ літра} \quad (16)$$

8. Конструкція ГД випромінювача повинна забезпечувати співвісність сопла та відбивача не гірше 0,2мм, регулювання зазору L. Оптимальний зазор 2-3 мм і вільний вихід струменя в порожнину до стінок робочої камери.

9. Емпірична формула для розрахунку частоти коливаль (помилка не більше 15%)

$$f \approx 3,3/d = (d[\text{мм}]) = \frac{3,3}{3,5} = 0,94 \text{кГц}$$

Висновки.

На підставі проведення теоретичних досліджень можна зробити наступний висновок:

- для диспергування та активізації приса-

док ефективно використовувати гідродинамічний випромінювач, працездатність якого залежить від температури рідини, її тиску та в'язкості; розрахунок гідродинамічного випромінювача виробляється окремо для кожного випадку і залежить від потужності насоса, температури та щільності рідини.

Список використаної літератури:

1. Топилин Г.Е. Тенденции развития методов и средств диагностирования технического состояния тракторов. - М.: ЦНИИТЭИ тракторосельмаш, 1981, вып. 7., с.83
2. Бебчук А.С. К вопросу о кавитационном разрушении твердых тел. //Акустический журнал.- 1957.- № 3.- С. 8-12
3. Герштел Д.А., Фридман В.М. Ультрозвуковая аппаратура. - М.:Энергия, 1967.-137 с.
4. Камбулов С.И. Оптимизация параметров очищения масел. //Тех- нологические комплексы, машин и оборудования для механизации производственных процессов в полеводстве. Сб. Науч. Тр. ВНИПТИМЭСХ-Зерноград, 1994-С.176-184.
5. Камбулов С.И. Влияние ультразвукового поля на трибологические свойства автотракторных масел. // Механизация и электрофикация сельского хозяйства. 1994-№7.-С.25.
6. Камбулов С.И. Стабилизация эксплуатационных свойств восстановленных отработанных автотракторных масел. Дис. канд. Техн. наук: 05.20.03/ ВНИПТИМЭСХ - Зерноград, 1995-202с.

Горовой М.В., Батюк Л.Н. Процесс активизации присадок ультразвуком

Для диспергирования и активизации присадок эффективно использовать гидродинамический излучатель, работоспособность которого зависит от температуры жидкости, ее давления и вязкости; расчет гидродинамического излучателя производится отдельно для каждого случая и зависит от мощности насоса, температуры и плотности жидкости. Гидродинамические излучатели - устройства, преобразующие часть энергии движущейся жидкости в энергию акустических волн. Работа гидродинамического излучателя основана на генерировании возмущений в жидкой среде в виде некоторого поля скоростей и давлений при взаимодействии движущейся жидкости с неподвижным либо подвижным препятствием определенной формы и размеров.

Ключевые слова: присадка, гидродинамические излучатели, масло, ультразвук, механические примеси.

Horovoi M.V., Batyuk L. N. Activization process of additives by ultrasound

Hydrodynamic radiator with working capacity depending on temperature of liquid, its pressure and viscosity is effectively used for dispersing and activization of additives; calculation of a hydrodynamic radiator is made separately for each case and depends on the power of the pump, temperature and density of liquid. Hydrodynamic radiators are the devices transforming part of energy of moving liquid to energy of acoustic waves. Work of a hydrodynamic radiator is based on generation of indignations in the liquid environment in the form of some field of speeds and pressure at interaction of moving liquid with a motionless or mobile obstacle of a certain form and the sizes.

Keywords: additive, hydrodynamic radiators, oil, ultrasound, mechanical impurity.

Дата надходження до редакції: 14.03.2016

Рецензент: д.ф-м.н., проф. Кузема О.С.