

Сілін Р.І.

Гордєєв А.І.

Сілін Р.С.

**Хмельницький  
національний  
університет**

УДК 621.01

**ВІБРАЦІЙНЕ ЗМІШУВАЛЬНО -  
ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧЕ ОБЛАДНАННЯ**

*В статье приведено анализ конструкций кавитационного теплогенерирующего оборудования, результаты исследований энергозатрат привода вибрационной теплогенерирующей машины*

*This article provides an analysis of cavitation heat generating equipment, studies of vibration energy drives heat generating machine.*

**Актуальність питання.** У багатьох галузях промисловості усе більш широке застосування знаходять вібраційні технологічні процеси, у яких використовуються багатофазні середовища. Це можуть бути розплави металів, скла й полімерів, суспензії твердих часток і газових пухирців у рідині, дрібнодисперсні суспензії крапель у газоподібному чи рідкому середовищі і т.п.

При здійсненні процесів, зв'язаних із необхідністю рівномірного розподілу різних фаз у рідкій основі істотного значення набуває можливість прогнозування реакції таких систем на різного роду зовнішні періодичні впливи. Як показали раніше виконані дослідження динамічних явищ у багатофазних середовищах [1, 2], підданих керованим вібраційним впливам, багато з них можуть бути успішно використані як для інтенсифікації зазначених процесів, так і при розробці й реалізації принципово нових технологічних прийомів, наприклад, знезараження води та зміни її властивостей, біологічної активації, кавітаційному розігріву рідини.

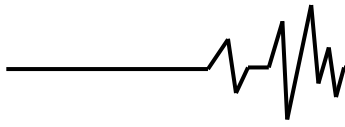
Останнім часом в Україні активно розробляються нові технологічні процеси, що спрямовані на використання ряду сільськогосподарських культур як кормових додатків у тваринництві. Широко застосовується технологічний процес приготування кормової суміші із зернових культур, що включає сухий помел зерна, нагрівання води та змішування борошна грубого помелу із гарячою водою.

**Аналіз остатніх досліджень.** Відомі конструкції механічних систем пульсації робочого тіла, які застосовуються в хімічній технології для процесів перемішування [3] та екстракції елементів з розчинів [4]. Конструкції механічних систем пульсації рідини найбільш прийнятні для застосування в вібраційному

обладнанні але для реалізації імпульсних струменів необхідно застосовувати насадки спеціальної форми з послідуочим комплексом досліджень взаємозв'язку конструктивних параметрів з параметрами роботи приводу.

Відомі конструкції технологічного обладнання для впливу на властивості робочого середовища та зміни його характеристик. [5,6]. Одним із прогресивних напрямків є використання для відгодовування молодняку великої рогатої худоби соєвого молока, так як воно за біологічними компонентами та рядом показників прирівнюється до цільного коров'ячого молока. Технологічний процес приготування кормових сумішей із соєвого молока включає розмелювання бобів сої у воді з нагріванням суміші, її перемішуванням та одночасним внесенням у кормову суміш біологічних добавок. Для успішного розвитку цього напрямку потрібне обладнання, яке дозволяло би реалізовувати ці технологічні операції. Існують агрегати, які дозволяють виконувати тільки окремі операції наведеного вище технологічного процесу. До них можна віднести агрегат ТЕК-2, що служить для приготування соєвого молока [7], гідромлин - змішувач АКГСМ-01 "Мрія", призначений для отримання рідких дисперсних кормових продуктів. Однак задоволення потреб в багатофункціональному обладнанні приватних та малих тваринних ферм, де не потрібно готувати кормові суміші у великих об'ємах, можна вважати лише частковим.

Аналіз науково-технічної інформації, а також досвід використання кавітаційних пристроїв в харчовій промисловості дозволяє стверджувати, що з усіх відомих видів гідромеханічної дії на середовище, кавітаційна дія найбільш ефективна. В останні роки саме така обробка харчових середовищ стала основою розвитку цілого напрямку в



промисловості. Але те, що більшість робіт має переважно якісний характер, свідчить про необхідність продовження і поглиблення

досліджень. На рис.1 приведено різновиди кавітаційних пристроїв.



Рис. 1. Основні різновиди структурно-конструктивних схем кавітаційних пристроїв

Відоме обладнання для змішування та розігріву кормової суміші роторно - щілинним кавітаційним пристроєм (рис.2) [8]. Недоліком такого устаткування є виникнення застійних зон на дні баку де якість перемішування низька та великі енерговитрати (до 15 кВт). Відомі також кавітаційні теплогенератори (рис.3). Дроселювання потоку після кавітатора, коли кавітаційне пароутворення відбувається при підвищеному тиску, а конденсація – при

пониженому, дає ефект розігріву рідини у системі опалення [2].

**Мета роботи.** Розвиток прикладних основ проектування вібраційного змішувального обладнання з кавітаційним ефектом де рідина виступає як об'єкт обробки гідрокавітацією з метою її розігріву.

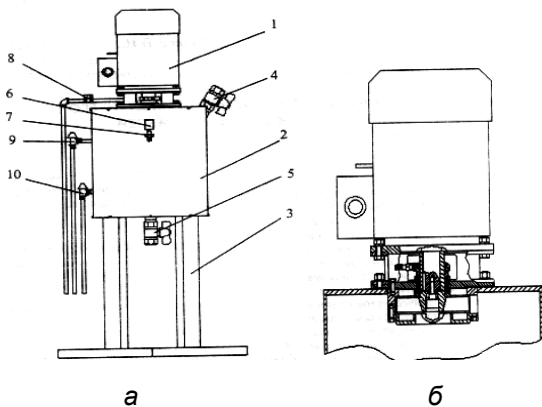


Рис. 2. Конструкція багатофункціонального теплогенеруючого агрегату, а – загальний вид, б – проточна частина: 1 – електродвигун; 2 – ємкість; 3 – рама; 4 – кран; 5 – кран; 6 – манометр; 7 – кран для води; 8 – кран для повітря; 9 – робочий клапан; 10 – аварійний клапан

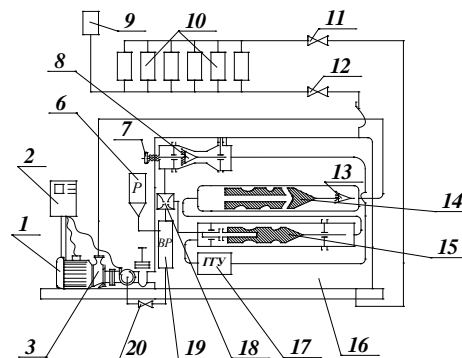
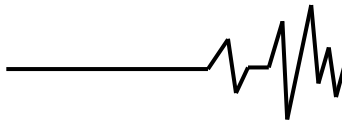


Рис. 3. Кавітаційний теплогенератор: 1 – електродвигун; 2 – регулятор; 3 – насос; 4 – датчик температури; 5 – засувка; 6 – збірник; 7 – штурвал; 8,13 – конічний кавітатор; 9 – бачок; 10 – радіатори опалення; 11, 12, 20 – вентиля; 14 – кавітатор з виточками; 15 – кавітатор; 16 – бойлер; 17 – генератор гідрударів; 18 – інжектор; 19 – поновлювач середовища



**Результати досліджень.** На основі аналізу властивостей об'єктів досліджень, основних закономірностей розглянутих процесів механічної дії на робоче тіло було проведено експериментальні дослідження по визначенню коефіцієнта теплогенерації запропонованого вібраційного обладнання [9].

Проаналізувавши фізичні явища, які виникають при роботі обладнання, складено рівняння виконаної роботи за певний період.

Загальна робота, яка виконується електродвигуном розподіляється на наступні витрати:

$$A_{\text{заг}} = A_{\text{мех.випр.}} + A_{\text{нагів.}} + A_{\text{потенц.}} + A_{\text{реакц.}}$$

де:  $A_{\text{заг.}} = Uit$  (Дж),  $A_{\text{мех.випр.}}$  - робота яка витрачається на сили тертя в обладнанні та на розтягування пружного елемента – мембрани,  $A_{\text{нагів.}}$  – робота на нагрівання води та елементів обладнання (без урахування конвективної теплопередачі повітрю),  $A_{\text{потенц.}}$  - робота, яка витрачається на вертикальний підйом рідини за період обробки,  $A_{\text{реакц.}}$  – робота на виконання звукохімічних реакцій.

За період 30 хв. проведення дослідів по обробці води на оптимальних режимах було отримано загальну роботу, яку виконав привод обладнання ( $U=150$  В,  $i=1,5$  А,  $t=1800$  с)

$$A_{\text{заг.}} = Uit = 150 \cdot 1,5 \cdot 1800 = 405000 \text{ Дж.}$$

Експериментально було визначено роботу обладнання на холостому ході без рідини:

$$A_{\text{мех.випр.}} = 150 \cdot 0,61 \cdot 1800 = 164700 \text{ Дж.}$$

Експериментально було визначено зміну температури нагрівання води та елементів обладнання, яка склала -  $\Delta t = 13^\circ \text{C}$  за період 30 хв. Нагрівалась вода  $m_1 = 1,2$  кг, сталевий корпус вагою  $m_2 = 3,6$  кг, труба із скла  $m_3 = 2$  кг.

Виконана робота дорівнює теплу яке виділено в процесі:

$$A_{\text{нагр.}} = Q = c_1 \cdot m_1 \cdot (t_2 - t_1) + c_2 \cdot m_2 \cdot (t_2 - t_1) + c_3 \cdot m_3 \cdot (t_2 - t_1),$$

де  $c_1 = 4190$  Дж/кг·К – теплоємність води,  
 $c_2 = 500$  Дж/кг·К- теплоємність заліза,  
 $c_3 = 900$  Дж/кг·К – теплоємність скла.

$$A_{\text{нагр.}} = 4190 \cdot 1,2 \cdot 13 + 500 \cdot 3,6 \cdot 13 + 900 \cdot 2 \cdot 13 = 112164 \text{ Дж.}$$

При роботі обладнання вода у циліндричній ємності за один цикл коливання піднімається та опускається на 20 мм. Тому необхідно врахувати витрачену роботу на підйом рідини

$$A_{\text{потенц.}} = m \cdot g \cdot h,$$

де  $h = A \cdot f \cdot t \cdot T = 0,02 \cdot 16 \cdot 30 \cdot 60 = 576$  м,

$A = 0,02$  м – амплітуда коливань,

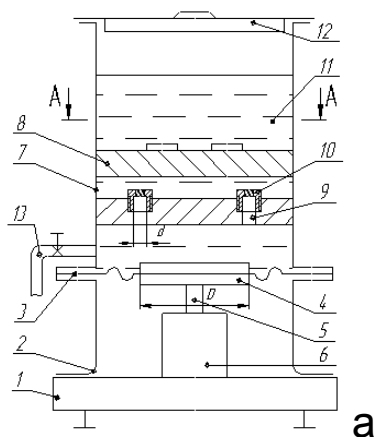
$f = 16$  Гц – частота коливань,

$t = 30$  хв. – період обробки,  $T = 60$  с.

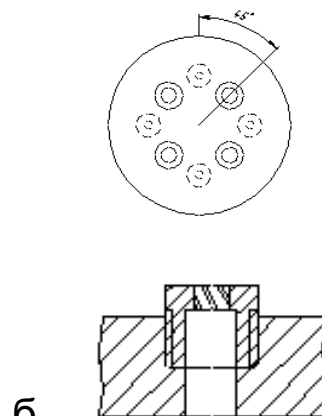
$$A_{\text{потенц.}} = 1,2 \cdot 9,8 \cdot 576 = 6774 \text{ Дж.}$$

Отже робота на виконання звукохімічних реакцій має величину:

$$A_{\text{реакц.}} = A_{\text{заг.}} - A_{\text{мех.випр.}} + A_{\text{нагів.}} + A_{\text{потенц.}} = 121352 \text{ Дж.}$$



а

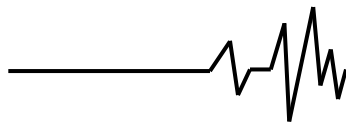


б

А-А

Поз. 10

**Рис. 4.** Вібраційна змішувально - теплогенеруюча установка: а - загальний вигляд; б - розташування отворів (розріз А-А) та вигляд розетки змішувача-подрібнювача



За допомогою отриманих величин витраченої роботи на різні процеси можна розрахувати коефіцієнт корисної дії теплогенерації

$$K.K.D_{\text{теплоген.}} = 112164/405000 = 0,28.$$

Працює устаткування наступним чином: вода 11 заливається у верхню частину ванни 7, засипається борошно та біологічні добавки, після чого бак закривається кришкою 12. Вмикається вібропривод 6. Коливання мембрани 3 із дисками 4 призводять до багатократного циклічного перетікання рідини 11 через отвори 9. Тут завдяки спеціальній формі розеток завихрювачів-подрібнювачів 10 проходить подрібнення грудок борошна та активне змішування компонентів.

Співвідношення діаметра диска мембрани  $D$  до діаметра  $d$  отворів ( $D/d = 12$ ) підібране так, що при даних амплітуді та частоті коливань віброприводу виникають умови резонансу системи і при проходженні рідини через отвори 9 там періодично утворюються кавітаційні порожнини. Внутрішня поверхня розетки змішувача-подрібнювача, на якій нарізано косі канавки, виконана із конусністю. Кормова суміш багатократно проходить через кавітаційні зони в отворах дисків, закручуючись за допомогою розеток завихрювачів-подрібнювачів 10. Отвори у верхньому і нижньому дисках не співпадають і осі їх зміщені під кутом  $45^\circ$  (рис. 4,б), що підсилює ефект дії кавітації по усьому об'єму.

#### Висновки

Запропонована конструкція установки для кавітаційно-струменевого розігріву та змішування кормової суміші [9] дає можливість обробляти невеликі партії компонентів з незначними енерговитратами.

Спеціальне та універсальне устаткування із застосуванням пульсуючого робочого тіла та гідрокавітації має широкі потенційні можливості використання в різних технологічних процесах. Загальна методика проектування такого класу машин полягає у визначенні комплексу певних співвідношень конструктивних залежностей обладнання, форми насадка, визначенню необхідних режимів роботи привода.

#### Література

1. Ганиев Р. Ф. Динамика частиц при воздействии вибраций / Р.Ф. Ганиев, Л.Е. Украинский. – К.: Наукова думка, 1975. – 138 с.
2. Федоткин И.М. Кавитация. Кавитационные энергетические аппараты и установки / И.М. Федоткин, С.И. Гулый. – К.: Арктур – А. – 1998. – 130 с.
3. Кожевников С. Н. Механизмы : справочник / С. Н. Кожевников, Я. И. Есипенко, Я. М. Раскин ; под ред. С. Н. Кожевникова. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 784 с
4. Карпачова С. М. Основы теории и расчета пульсационных аппаратов и пульсаторов / С. М. Карпачова, Л. С. Рагинский, В. М. Муратов. – М. : Атомиздат, 1981. – 224 с.
5. Пат. на корисну модель 25775 України, МПК В01F 5/00. Кавітаційний пристрій для обробки води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв, В.В. Третько, Є.А. Урбанюк (Україна); Хмельницький нац. ун-тет. –  $u200702555$ ; Заяв. 12.03.2006; Опубл. 27.08.2007, Бюл. №13. – 3 с.
6. Пат. на корисну модель 25811 України, МПК В01F 5/00. Вібраційний кавітатор для зміни властивостей води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв, В.В. Третько, Є.А. Урбанюк (Україна); заявник і патентовласник Хмельницький нац. ун-т. –  $u200703370$ ; Заяв. 28.03.2007; Опубл. 27.08.2007, Бюл. № 13. – 3 с.
7. Инструкция по эксплуатации гидродинамического нагревателя ТЕК. - Научно-производственное частное предприятие ТЕКМАШ. – Херсон, 2003.
8. Волков Н.И., Папченко А.А. Многофункциональный теплогенерирующий агрегат и его использование для приготовления кормовых смесей в сельскохозяйственных предприятиях. / Промислова гідравліка і пневматика. №1 (3), 2004. – С.89–102.
9. Пат. на корисну модель 35940 України, МПК С02F 1/34. Вібраційна кавітаційно - струменева теплогенеруюча установка / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, Є.А. Урбанюк, О.А. Гордєєв (Україна); Хмельницький нац. ун-тет. –  $u200805678$ ; Заяв. 30.04.2008; Опубл. 10.10.2008, Бюл. №19. – 3с.