

УДК 620.193.16

Р.І. СІЛІН, А.І. ГОРДЄЄВ.
Хмельницький національний університет

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ ТА ЇЇ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ

Наведено аналіз використання вібраційних коливань та кавітації у рідині. Запропоновано технологію та вібраційне обладнання для зміни властивостей води та її знезаражування. Запропоновано наукові основи загальної методики проектування вібраційного обладнання на основі гідропульсатора.

The analysis of use of vibrating fluctuations and catching in a liquid is given. It is offered technology and vibrating equipment for change of properties of water and anthemion. It is offered scientific bases of a general technique of designing of the vibrating equipment on a basis vibrating.

Ключові слова: вібраційне обладнання, кавітація, властивості води, знезаражування.

Вступ

Використання вібраційних коливань у технологіях обумовлюється потребами підвищення інтенсивності, поліпшення якісних показників, а в деяких випадках і можливістю реалізації технологічних процесів. Унікальні можливості вібраційного поля дозволяють успішно здійснювати не тільки оздоблювально-зачисну та зміцнювальну операції, але і такі операції, як сепарація, перемішування, вібротранспортування за важких експлуатаційних умов, гомогенізацію, фільтрування, сушіння, насичення середовища певними речовинами, руйнування поверхонь та ряд інших процесів. Це обумовлює ефективність застосування вібраційних технологічних машин в багатьох галузях промислового виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розвиток вібраційних конвеєрних машин веде початок із хвильових та вібраційних конвеєрів, які виконують суто транспортні функції. Фундаментальні роботи І.І. Блехмана, І.Ф. Гончаревича, Г.Ю. Джанелідзе, В.О. Повідайла, В.М. Потураєва, А.О. Співаковського, В.Н. Франчука, К.В. Фролова, А.Г. Червоненко та інших вчених обґрунтовують теоретичні основи процесу вібраційного переміщення та конструктивні схеми вібраційних транспортних машин. Разом із переміщенням супутня обробка продукції вже здійснюється у вібраційних транспортно-технологічних машинах.

У багатьох галузях промисловості усе більш широке застосування знаходять вібраційні технологічні процеси, розроблені під керівництвом Р.Ф. Ганієва, Н.І. Кобаско, у яких використовуються багатофазні рідинні середовища. Це можуть бути розплави металів, скла і полімерів, суспензії твердих часток і газових пухирців у рідині, мілко дисперсні суспензії крапель у газоподібному чи рідкому середовищі і т.п. При здійсненні процесів, пов'язаних з необхідністю рівномірного розподілу різних фаз у рідкій основі (одержання композитів і піноматеріалів) або їхньої сепарації з рідини (дегазація і флотажне збагачення), істотного значення набуває можливість прогнозування реакції таких систем на різного роду зовнішні періодичні впливи. Як показали раніше виконані дослідження динамічних явищ у багатофазних рідинних середовищах, підданих керованим вібраційним впливам [1, 2], багато з них можуть бути успішно використані як для інтенсифікації зазначених процесів, так і при розробці і реалізації принципово нових технологічних прийомів, а саме зміни властивостей та знезаражування водних потоків [3-8].

Формулювання цілі статті

Відомі наукові роботи, в яких розглядаються наведені вище технологічні машини стосуються, здебільшого, вузькоспеціалізованого різновиду обладнання. На даний час є фундаментальні праці, які присвячені теоретичним основам вібраційного руху сипкого або рідинного середовища, розрахунку вібраційних приводів, але відсутні основи проектування та практичного розрахунку вібраційних технологічних машин, де рідина є об'єктом обробки.

Дана наукова робота містить розвиток наукових основ та дослідження тенденцій розвитку конструкцій технологічного вібраційного обладнання як спеціалізованого, так і прохідного типу, в якому рідина виступає у ролі середовища-об'єкта, який піддається керованим вібраційним впливам.

Запропоновані наукові підходи дозволять створити узагальнену методологію для розрахунку раціональних конструктивних і технологічних параметрів вібраційних машин з електромагнітним приводом для впливу на властивості води та її знезаражування.

Отримані результати можуть бути враховані при розробці технологій та конструкцій обладнання очистки стічних вод промислових, комунальних підприємств, тваринницьких комплексів та гальванотехніки.

Виклад основного матеріалу

На даний час для знезаражування стоків використовується рідкий хлор, озон й ультрафіолет. Як

правило, для цього необхідні проміжні контактні резервуари великої місткості, щоб забезпечити тривалість контакту не менше ніж 0,5 години. Знезаражуюча дія кавітації заснована на ефектах, які виникають у турбулентних потоках рідини. Так при гідродинамічних коливаннях рідини виникають і зникають кавітаційні пухирці, при цьому стимулюються фазові переходи, підвищуються локальні температури й тиск. Крім того, у моменти утворення й зникнення кавітаційних пухирців у газонаповненій порожнині створюються умови для появи електричних зарядів, електричних і магнітних полів. У такий спосіб рідина, оброблювана кавітацією, піддається термобаричній й електромагнітній дії.

Особливість кавітаційного методу полягає в тому, що високий ступінь знезаражування води від яєць і личинок паразитів досягається за рахунок їхнього механічного розриву ударними хвилями. Для руйнування бактерій і вірусів термобаричний вплив підсилюється локальною електромагнітною дією, коли наведені електричні потенціали пробивають їхні мембрани й оболонки. Розроблено ряд вібраційних машин на основі дії гідрокавітації [9-12], запропонована методика інженерних розрахунків основних параметрів обладнання.

Під час проектування вібромашини з електромагнітним приводом, перш за все, необхідно з'ясувати і обґрунтувати структуру проектного віброприводу, для досягнення певних конструктивних параметрів.

Недоліки двомасового віброприводу можуть бути усунуті введенням в конструкцію третьої коливної маси m_D , яка буде виконувати функцію вузькочастотного динамічного демпфера, що гасить коливання проміжної маси m_n (рис. 1). Відмітимо, що тримасова конструкція з динамічним демпфером виконується так, щоб збурення коливань маси m_p відбувалось кінематично [14].

Амплітуда коливань активної маси не впливає на повітряний проміжок. Це і є головною перевагою таких конструкцій.

Отже, застосовуючи таку конструкцію віброприводу на виробництві можна:

- значно збільшити ККД віброприводу, в зв'язку з тим, що повітряний проміжок буде регламентуватись тільки амплітудою коливань активної маси;

- максимально усунути вібрацію на фундамент, в зв'язку з тим, що кріплення віброплощадки буде здійснюватись через проміжну умовно нерухому масу;

- значно стабілізувати резонансне налагодження, оскільки тримасова конструкція набагато краще утримує резонансне налагодження. Це пов'язано з тим, що в тримасовій моделі робочий орган та реактивна маса віброплощадки працюють за одномасовою схемою, де робочий орган формує частоту власних коливань власною вагою, яка є значно важча ніж приведена маса у двомасній конструкції. Тому маса завантаження матиме менший вплив. За рахунок зменшення повітряного проміжку зростає ККД;

- крім того, робочий орган (в нашому випадку тут реактивна маса) в разів 7 і більше може бути більшим за активну масу, що не допускалось в двомасових конструкціях. За рахунок цього можна стабілізувати амплітуди коливань робочого органу під час його завантаження.

Наведемо приклад методики розрахунків основних параметрів вібраційного обладнання для зміни властивостей води та її знезаражування з електромагнітним приводом за тримасовою схемою.

Вихідні дані: амплітуда коливань - $A = 0,25$ мм; частота коливань - $\omega = 628$ рад/с.

Для проектування вібраційних установок впливу на властивості рідини необхідно мати годинну продуктивність обладнання, хімічний склад рідини.

Розрахунок конструктивних параметрів. З годинного об'єму рідини, яка обробляється та попередньо прийнятої кутової швидкості можна визначити орієнтовний діаметр пульсаційної камери D за формулою:

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_2}{450 \cdot \psi \cdot \omega}} = \sqrt[3]{\frac{3,6}{450 \cdot 0,033 \cdot 628}} = 0,072 \text{ м}, \quad (1)$$

де V_2 – годинний об'єм рідини, яка обробляється;

ψ – співвідношення ходу мембрани до діаметра пульсаційної камери, $\psi = \frac{2A}{D} = 0,02 \dots 0,033$; A –

амплітуда коливань; ω – кутова швидкість.

Для малих амплітуд (до 0,4 мм) та частот 50-100 Гц діаметр насадка можливо визначити за

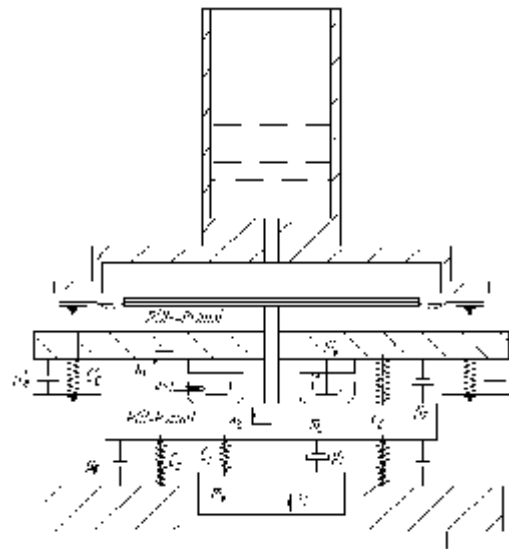


Рис. 1. Схема тримасової вібраційної машини з електромагнітним приводом для зміни властивостей води та її знезаражування

залежністю:

$$d_n = \sqrt{\frac{D_{\kappa}^2 \cdot 2A_{np}}{A_{cmp}}} = \sqrt{\frac{0,072^2 \cdot 2 \cdot 0,0025}{0,1}} = 0,016 \text{ м}, \quad (2)$$

де A_{np} – амплітуда коливань приводу; A_{cmp} – амплітуда коливань струменя $A_{cmp} = 100\text{--}150$ мм.

Форма внутрішньої поверхні осесиметричного насадка приймається з гострими крайками на вході та виході для забезпечення кавітаційного процесу. Довжина насадка вибирається із залежності:

$$L_n = (4 \dots 5) d_n = 0,016 \cdot 5 = 0,08 \text{ м}. \quad (3)$$

Встановивши діаметр насадка, підбираємо декілька значень діаметра пульсаційної камери в межах:

$$D_{\kappa} = (11 \dots 12) d_n = 10 \cdot 0,016 = 0,160 \text{ м}. \quad (4)$$

Максимальну силу тиску в камері гідропульсатора приймаємо $P = 0,02\text{--}0,04$ МПа (експериментальні данні [8]).

Визначаємо тягове зусилля.

$$F_{тяг} = F_{cm} + F_{дин} = 421 \text{ Н},$$

$$\text{де } F_{cm} = \frac{\pi \cdot D_{\kappa}^2}{4} P = \frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4} \cdot 0,02 = 401 \text{ Н}, \quad F_{дин} = 0,05 F_{cm} = 20 \text{ Н}.$$

При використанні насадків із більш ніж одним отвором дійсне значення сили гідродинамічного тиску менше за розрахункове в 1,4 рази, цей коефіцієнт слід враховувати при виборі сили гідродинамічного тиску.

Співвідношення діаметра насадка до діаметра ємкості лежить у межах: $D_{\epsilon} / d_n = \text{від } 5 \text{ до } 10$, де d_n – діаметр насадка; D_{ϵ} – діаметр ємкості.

Висота ємкості приймається: $H_{\epsilon} = (\text{від } 20 \text{ до } 40) d_n = 30 \cdot 0,016 = 0,48 \text{ м}$.

Діаметр дисків рухомої мембрани береться меншим від 5 мм до 10 мм внутрішнього діаметра пульсаційної камери D_{κ} .

Маса проміжної плити приймається із урахуванням маси штока та маси дисків рухомої мембрани.

$$M_n = M_{шт} + M_{диск}$$

Розрахунок необхідного статичного зусилля електромагнітного вібробудника. Задаємося величинами $m_a = 20 \text{ кг}$ та $m_n = 2 \text{ кг}$. Для визначення величини реактивної коливальної маси m_p , застосовуючи умову $\eta \rightarrow 0$ та враховуючи знак (+), щоб отримати додатні числа при (при $z < 1$), застосуємо формулу [14]:

$$m_p = \frac{m_n(1 - z^2)(m_a + m_n)}{z^2(m_a + m_n) - m_n} = \frac{2(1 - 0,95^2) \cdot 22}{0,95^2 \cdot 20} = 0,237 \text{ кг}. \quad (5)$$

Таким чином, задавшись параметром $z < 1$ для розрахунку тримасової вібраційної машини, в якій присутній ефект «нульової жорсткості», необхідно користуватися виразами (5), (6).

Електромагнітний вібробудник підбирається під конкретну механічну коливну систему, що описується такими основними параметрами: m_{np} – приведеною масою; A – амплітудою відносних коливань; ω – коловою частотою вимушених коливань; z – резонансним налагоджуванням; μ – динамічним коефіцієнтом. В такому випадку для електромагнітних вібробудників вимушуюча сила (статичне зусилля) визначається за формулою:

$$P = \frac{m_{np} \cdot \omega^2 \cdot A}{\mu \cdot z^2} = \frac{0,235 \cdot 628^2 \cdot 0,25}{0,526 \cdot 0,95^2} = 489 \text{ Н}, \quad (6)$$

де m_{np} – приведена маса механічної коливної системи; для тримасової конструкції $m_{np} = (m_a + m_n) \cdot m_p / (m_a + m_n + m_p) = 0,235 \text{ кг}$;

A – амплітуда відносних коливань; z – резонансне налагодження механічної коливної системи. Величина z приймається в межах $z = 0,93 \dots 0,96$;

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{(1 + z^2)^2 + \gamma^2 \cdot z^2}} = \frac{1}{\sqrt{(1 + 0,95^2)^2 + 0,005^2 \cdot 0,95^2}} = 0,526 \quad \text{– динамічний коефіцієнт;}$$

показник опору γ для сталюї пружної системи без конструкційного гістерезису $\gamma = 0,004 \text{--} 0,006$.

Необхідна потужність електромагнітного віброприводу визначається за формулою:

$$N = 9,8 \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot m_{np} \cdot n = 9,8 \cdot 0,0025^2 \cdot 628^2 \cdot 0,235 \cdot 2 = 11,35 \text{ Вт}. \quad (7)$$

Висновки

Дослідження [8, 13], проведені на експериментальній установці, показали, що після остаточної обробки стічних вод, знизилася біологічна потреба в кисні у 2,2 рази й підвищилася окисна здатність води на 70 %, а знезаражування води показало на зразках зниження кількості колоній від 63 шт. до 3 шт.

Запропоновані підходи дозволили створити узагальнену методологію для розрахунку раціональних конструктивних і технологічних параметрів вібраційних машин з електромагнітним приводом для впливу на властивості води та її знезаражування.

Література

1. Исследование движения мелкодисперсных включений в колеблющемся сосуде с жидкостью, содержащей сжимаемую сферу / Р.Ф. Ганиев, В.В. Кулик, П.А. Малышев, А.С // Прикл. Мех. – 1979. – № 7. – С. 112-116.
2. Ганиев Р. Ф. Про явища локалізації і поступального переміщення газових пухирців у коливальній рідині / Р.Ф. Ганиев, Г.Н. Пучка // ДАН УССР. – 1978. – № 6. – С. 509-511.
3. Кавітаційна обробка та її вплив на склад води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.В. Третько, І.І. Сорока // Вісник ТУП. – 2002. – № 3. – С. 253-257.
4. Пристрій для кавітаційно-магнітної обробки води / А.І. Гордєєв, Б.А. Баран, А.К. Бережнюк, І.І. Сорока // Materiali III miedzynarodowej naucowi-practicznej konferencji «WIADOMOSCI NAUKOWEJ MYSLI – 2007» 01-15 listoda 2007 roku. Tум 12 Technicsne nauki. – Przemysl: Nauka I studia. – 2007. – С 26-28.
5. Сілін Р.І. Вібраційне обладнання для гідрокавітаційного впливу на склад та властивості води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // 36.пр. VI міжн. н-т. конференції «Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов». Хургада (Єгипет). – Хмельницький: ХНУ, 2007. – С. 33– 35.
6. Сілін Р.І. Пристрій для кавітаційно-магнітної обробки води з електромагнітним приводом / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, Є.А. Урбанюк // Materialy IV mezinarodni vedecko – prakticka konference «Nastoleni moderni vedi – 2008». Dil 9: Technicke vedy. – Praha: Publishing House «Education and Science». – 2008. – С.12– 15.
7. Сілін Р.І. Технологія та вібраційне обладнання для біологічної активації води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // 36. пр. III міжн.н-т. конференції «Современные достижения в науке и образовании». Тель-Авив (Израиль). – Хмельницький: ХНУ, 2009. – С. 114 – 117.
8. Сілін Р.І. Науково-технічні основи розроблення вібромашин для впливу на властивості води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 4 (56) – С. 141 – 148.
9. Пат. на винахід 48400 України, МПК С02F1/46. Пристрій для очистки стічної води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.О. Павлик (Україна); Технологічний ун-т Поділля. – u2001064234; Заяв. 19.06.2001; Опубл.15.08.2002, Бюл. № 8. – 3с.
10. Пат. на корисну модель 10347 України, МПК В01F5/00. Устаткування для обробки води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.В. Третько, І.І. Сорока (Україна); Хмельницький нац. ун-тет. – u 200503620; Заяв. 18.04.2005; Опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11. – 3 с.
11. 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-т. – u200702555; Заяв. 12.03.2006; Опубл. 27.08.2007, Бюл. № 13. – 3 с.
12. 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); Хмельницький нац. ун-т. – u200703370; Заяв. 28.03.2007; Опубл. 27.08.2007, Бюл. № 13. – 3 с.
13. Вивчення механізму вібраційної гідрокавітації та її вплив на склад води / А.І. Гордєєв, І.І. Сорока, В.В. Третько, О.О. Нікітін // Вісник ТУП. Технічні науки. – 2003. – № 4, Ч.2. – С. 269– 273.
14. Ланець О.С. Експериментальне підтвердження положень теорії синфазних коливаний у тримасових механічних системах з електромагнітним приводом / Ланець О.С. // Вібрації в техніці та технологіях. – 2006. – № 1 (43). – С. 64-68.

Надійшла 18.5.2010 р.