

## ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ З ПУЛЬСУЮЧИМ РОБОЧИМ ТІЛОМ НЕЗАЛЕЖНО ВІД ГАЛУЗІ ВИКОРИСТАННЯ. ПОВІДОМЛЕННЯ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ МЕХАНІЗМІВ ТА НАПРЯМКІВ СТВОРЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН ЛОКАЛІЗОВАНОЇ ДІЇ

*Наведено аналіз конструкцій обладнання з коливанням робочого тіла та проаналізовано можливість застосування його у різних технологіях. Визначено основні напрями створення конструктивних та технологічних схем вібраційних машин різного технологічного призначення.*

*Ключеві слова: механізми з рідинною ланкою, механічні системи пульсації робочого тіла, імпульсне обладнання.*

*The analysis of structures equipment from fluctuations in the working fluid and analyzed the possibility of using it in different technologies. Main directions for creating constructive and technological schemes vibration machines of various technological purposes*

*Keywords: mechanisms with a liquid link, mechanical systems of pulsations of working body, impulsive equipment.*

### Вступ

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 з необхідністю рівномірного розподілу різних фаз у рідкій основі (одержання композитів) або їхньої сепарації з рідини (дегазація і флотаційне збагачення), 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], 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, мийка та очистка від технологічних забруднень, зміцнення інструменту з метою підвищення періоду його стійкості, зняття облою та задирок з деталей, які легко деформуються знезараження води та зміни її властивостей, біологічної активації.

У ряді промислових технологій застосовуються механізми та обладнання для вібраційного, гідродарного або імпульсного впливу на рідке середовище з метою інтенсифікації процесу. Розглянемо їх практичне використання, принцип дії конструкцій, проаналізуємо діапазон технологічних параметрів такого обладнання, можливість застосування у інших технологіях та недоліки. Останнім часом широко застосовується пульсуюче перемішування та перемішування з використанням звукових і ультразвукових коливань. В усіх цих випадках, звичайно, відбувається безпосередня передача механічної енергії від джерела зовнішніх збурень до середовища, яке оброблюється, що значно підвищує продуктивність технологічного процесу.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [2] наводяться результати експериментальних досліджень можливостей використання динамічних властивостей нелінійної коливальної системи рідина-газ, що виникає під впливом керованих зовнішніх періодичних вібрацій і є стійкою лише в умовах резонансу. Саме резонансний характер існування таких систем дозволяє ефективно використовувати їхні динамічні властивості для посилення механічних коливань.

Такого роду нелінійні явища й ефекти, які спостерігаються в багатофазних середовищах при вібраційних впливах, варто враховувати при розробці різних вібраційних машин, що дозволить порівняно простими засобами досягти значних перемінних механічних зусиль і забезпечити інтенсивне перемішування різних фаз багатофазного середовища при виконанні технологічних процесів [3].

Авторами [2] під час проведення експериментальних досліджень застосовували вібростенди типів ВЭДС-400А, ВЭДС-100, ВЭДС-10 різної потужності, що дозволяють збуджувати періодичні коливання в одному напрямку, а при використанні додаткового оснащення – коливальний рух навколо двох взаємоперпендикулярних осей. Ці вібростенди забезпечують коливання в діапазоні частот від 5 Гц до 5 кГц при прискоренні до 25g.

Моделями слугували різні циліндричні і еліптичні оболонки з прозорого оргскла, заповненні робочою рідиною, в якості якої приймалися водопровідна вода, трансформаторне масло, гліцерин.

Комплекс вимірювальної апаратури складався з осцилографів, підсилювачів, датчиків вимірювання прискорення, амплітуди і частоти вібрацій.

До основних факторів, що впливають на поведінку багатофазного середовища при вібраційних впливах, відносяться величина і закон розподілу гідродинамічного тиску в ній [4].

У ряді випадків, наприклад при дослідженні режимів вібраційного перемішування і процесів

теплообміну, фіксується також постійна складова гідродинамічного тиску, виникнення якої обумовлено тим, що при великих вібраційних впливах газорідина система, власне кажучи, являє собою нелінійну коливальну систему.

Але вищеописане обладнання застосовується для проведення експериментальних досліджень як лабораторні стенди. Створення технологічного обладнання ускладнюється завдяки значним динамічним навантаженням на елементи конструкції, малим ресурсом роботи та низькою міцністю конструктивних складових на частотних режимах від 200 Гц до 450 Гц та значних прискореннях.

З роботи [5] відомі гідравлічні виконавчі механізми з рідинним робочим тілом, яке є демпфером. Конструктивно вони складаються з циліндра, штока, який може переміщатися під дією сили, та поршня або дисків.

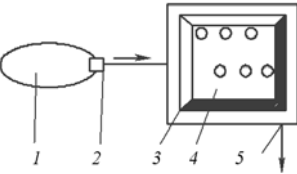
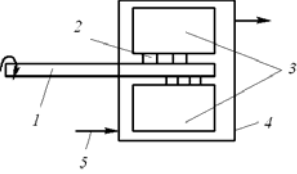
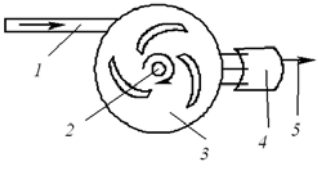
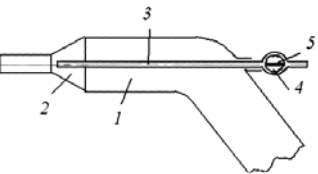
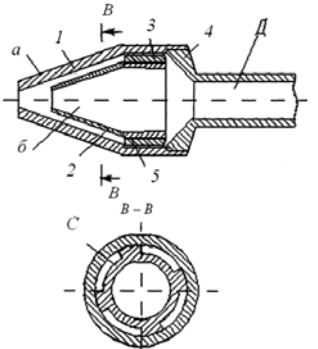
Їх основне призначення – гасіння коливань при переміщенні робочих механізмів. Основні конструкції показані на схемах 1–3 табл. 1.

Таблиця 1

## Аналіз механізмів з рідинною ланкою

№ схеми	Механізми з рідинною ланкою	Практичне використання	Характеристика технологічних параметрів	Аналіз застосування у інших технологіях та недоліки
1		<b>Гідравлічний поршневий катаракт</b>  Діаметр дисків менше діаметра циліндра 2. При русі штока 3 уверх або униз рідина гальмує рух штока	Значна амплітуда переміщення штоку при низьких частотах коливань до 1 Гц.	Можливо застосовувати тільки як демпфер
2		<b>Поршневий демпфер регулятор з змінною силою гальмування</b>  При русі поршня 1 у циліндрі 2 з рідиною виконується гальмування, для регулювання якого передбачено гвинт 3 у перепускній трубці 4, яка з'єднує частини циліндра	Значна амплітуда переміщення штоку при низьких частотах коливань до 1 Гц.	Можливо застосовувати тільки як демпфер
3		<b>Гідравлічний кульковий демпфер</b>  В поршні 1 є отвори 2 та 3. В отворі 2 закладено кульку 4. При русі поршня 1 уверх кулька 4 під дією сили опору рідини відтискає пружину 5 і відкриває отвір 6. При русі поршня 1 униз кулька 4 закриває отвір 6. Таким чином здійснюється різна швидкість руху поршня уверх і униз	Значна амплітуда переміщення штоку при низьких частотах коливань до 1 Гц.	Можливо застосування у технології зміни властивостей води при визначенні певного діапазону частот коливань та амплітуди коливань

## Аналіз конструкцій імпульсного обладнання

№ схеми	Генератори імпульсних струменів	Практичне використання	Характеристика технологічних параметрів	Аналіз застосування у інших технологіях та недоліки
1		<b>Клапанного типу:</b> 1 – джерело тиску; 2 – магістраль; 3 – робочі механізми з набором каналів; 4 – система клапанів; 5 – випускний патрубок. Застосовується в устаткуванні для пожежогасіння.	Створюється пульсуючий вільний струмінь у повітрі. Потужність приводу до 10 кВт.	Можливо застосування в устаткуванні для мийки виробів. Швидке зношування клапанної системи миючим розчином.
2		<b>Поршневого типу:</b> 1 – приводний вал; 2 – поршневі або плунжерні пари; 3 – робочі камери; 4 – робочий пристрій із системою гідравлічних каналів; 5 – впускний патрубок. Застосовується в устаткуванні для пожежогасіння.	Створюється пульсуючий вільний струмінь у повітрі. Потужність приводу до 10 кВт. Частота коливань до 1 Гц.	Можливо застосування в устаткуванні для мийки виробів. Швидке зношування плунжерної системи миючим розчином.
3		<b>Роторного типу:</b> 1 – патрубок; 2 – приводний вал; 3 – ротор із робочими камерами; 4 – робочий пристрій із системою гідравлічних каналів; 5 – патрубок. Застосовується в устаткуванні для пожежогасіння.	Створюється пульсуючий вільний струмінь у повітрі. Потужність приводу до 10 кВт. Частота коливань до 10 Гц	Можливо застосування в устаткуванні для мийки виробів. Наявність додаткового приводу вала й складність конструкції
4		<b>Гідромонітор з повітряним пульсатором:</b> 1 – труба; 2 – насадок; 3 – труба для повітря; 4 – переривач; 5 – канал. Застосовується в устаткуванні для мийки виробів	Створюється пульсуючий вільний струмінь у повітрі. Потужність приводу до 10 кВт.	Можливо застосування в устаткуванні для створення газорідних потоків. Наявність додаткового приводу переривання потоку.
5		<b>Імпульсний насадок з пружинним клапаном:</b> 1 – зовнішній патрубок; 2 – центральний патрубок; 3 – клапан; 4 – труба; 5 – пружина. Застосовується в устаткуванні для мийки виробів	Створюється пульсуючий вільний струмінь у повітрі. Частота пульсацій виникає за рахунок автоколивань клапана. Потужність приводу до 5 кВт.	Можливо застосування в устаткуванні для руйнації твердих порід одиничними струменями. Складність регулювання частоти коливань

## Генератори імпульсних струменів

Автори в роботі [6] приводять класифікацію та приклади основних типів генераторів імпульсних струменів залежно від принципу дії й способу генерування струменя робочого середовища. Умовно їх можна розділити на основні типи: генератори імпульсних струменів клапанного типу, поршневого типу,

роторного типу.

Зазначимо, що такий поділ на групи є умовним, оскільки багато пристроїв поєднують у собі різні принципи дії. Найповніше представлені генератори імпульсних струменів клапанного типу, принципова схема роботи яких представлена на схемі 1 табл. 2.

До генераторів імпульсних струменів клапанного типу відносяться пристрої [7– 9], принцип роботи яких полягає в послідовному відкритті й закритті клапанів або групи клапанів з пропусканням при цьому певної порції робочого середовища при заданому тиску. Перевагами генераторів імпульсних струменів клапанного типу є відсутність додаткового приводу, крім робочого для створення тиску середовища. Такі генератори мають нескладну конструкцію і технологічні у виготовленні.

До генераторів імпульсних струменів поршневого типу [9] віднесені пристрої, у яких робочий тиск рідини створюється за допомогою поршневих або плунжерних блоків, що приводяться в дію обертовим кулачковим валом (схема 2 табл. 2). Такі генератори, крім гідравлічних каналів і приводного вала, мають корпус з встановленими в ньому блоками циліндрів, а також поршні або плунжери, що утворюють у блоках циліндрів робочі камери. При обертанні приводного вала кулачки діють на поршні, створюючи пульсуючий об'єм рідини і подається в камери робочого пристрою, що формує пульсуючий струмінь. Пристрої даного типу відрізняються від клапанних генераторів тим, що робоче середовище подається в генератор не під постійним тиском, а робочий тиск середовища нагнітається самим пристроєм. До основних переваг генераторів даного типу можна віднести те, що існує можливість створення більш високих тисків робочого середовища на відміну генераторів клапанного типу. Недоліком є обов'язкова наявність додаткового приводу вала й складність конструкції.

Основною відмінною рисою генераторів імпульсних струменів роторного типу є наявність ротора й статора, що відіграють головну роль у процесі нагнітання тиску й створення пульсуючого струменя (схема 3 табл. 2). При обертанні ротора із замкачами рідина надходить у робочу порожнину гідропульсатора через всмоктувальний отвір і нагнітається через отвір у відповідний виконавчий орган для створення імпульсу тиску. При обертанні ротора отвори періодично відкриваються й закриваються, чим створюється тиск й періодичне витікання рідини. Перевагами генераторів даного типу є можливість створення частоти пульсації до 10 Гц при досить високій енергії вихідного струменя. Недоліком є складність конструкції (додатковий механізм переривання потоку) та швидке зношування систем розподілу потоку.

#### **Гідромонітори та імпульсні насадки**

До окремої групи відносяться генератори імпульсів, що використовують принцип гідравлічного удару.

Імпульсний тиск рідини може бути створений механічними, гідродинамічними та іншими способами [10– 12]. Для цього може бути використаний оптичний квантовий генератор (лазер), випромінювання котрого фокусується в рідині за допомогою спеціальної оптичної системи.

На даний час в установках для очистки використовуються різні конструкції гідромоніторів та насадків, які можна класифікувати за принципом дії:

- 1) з циклічним підводом додаткової енергії;
- 2) з повільним накопиченням енергії рідини в системі та також швидким її викиданням;
- 3) з використанням енергії гідравлічного удару рідини в системі;
- 4) з періодичним направленням потоку рідини по каналах.

Для створення пульсуючих струменів розроблено пристрій (схема 4 табл. 2) із циклічним використанням енергії повітря [13]. У трубі вздовж її осі вмонтована порожниста труба, один кінець якої розміщений у місці з'єднання труби з насадком, а другий – виведений за межі труби і через переривач з'єднаний з атмосферою. Рідина під тиском надходить у трубу 1 і виходить із неї через насадок 2. У звуженні насадка виникає розрідження, в результаті чого при відкритому отворі переривача 4, через трубу 3, засмоктується повітря. При безупинному обертанні пробки 5 порції повітря, що періодично засмоктуються, призводять до утворення пульсуючого струменя. Зміна числа обертів пробки дозволяє змінювати частоту пульсації струменя.

Для створення пульсуючих струменів із використанням енергії гідравлічного удару рідини в системі розроблені спеціальні насадки [14]. Вони відрізняються тим, що вихідне сопло, виконане у вигляді двох співвісних патрубків, що утворюють кільцевий канал. На внутрішньому патрубку встановлений клапан, що періодично перекриває кільцевий канал. Це призводить до виникнення гідравлічного удару, що супроводжується різким підвищенням тиску та витіканням через насадок рідини з підвищеною швидкістю.

Насадок (схема 5 табл. 2) відрізняється конструктивним виконанням клапана 3, що перекриває отвори, за допомогою яких збільшується або зменшується витрата через насадок. Клапан 3 при певній швидкості потоку зміщується вліво, стискає пружину 5 та перекриває чотири пазових отвори (с), внаслідок чого відбувається гідравлічний удар із підвищенням швидкості витікання рідини через насадок. Після розповсюдження ударної хвилі до розрядника та її відбиття хвиля пониженого тиску дійде до клапана та пружина 5 відведе клапан у початкове положення – рідина знову піде через кільцеву порожнину (а), процес повториться. Таким чином, у підвідній трубі по чергово виникають гідравлічні удари, що створюють пульсуючий струмінь, який витікає з насадка.

Для очищення виробів від забруднень у США запатентований засіб імпульсного очищення й пристрій для формування пульсуючих струменів із періодичним спрямуванням рідини в канали [15, 16].

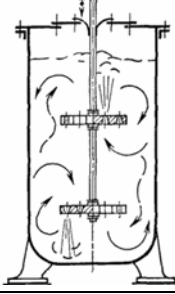
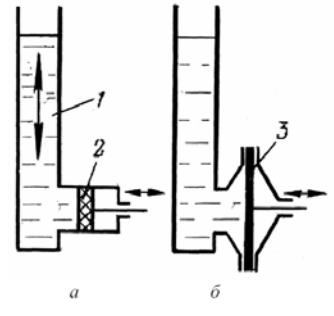
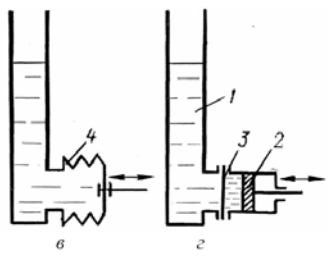
Процес очищення полягає в тому, що відносно постійний і об'ємний струмінь рідини, який знаходиться під високим тиском, багаторазово спрямовують через трубопроводи до сопел, створюючи тим самим переривчасті струменеві імпульси з високою спроможністю до очищення. Таким чином, аналіз конструкцій імпульсного обладнання доводить: не бажано використовувати в обладнанні рухомі механічні системи переривання потоку, оскільки вони швидко зношуються.

### Механічні системи пульсації робочого тіла

Відомі конструкції механічних систем пульсації робочого тіла, які застосовуються в хімічній технології для процесів перемішування (схема 1 табл. 3) [17] та екстракції елементів з розчинів (схема 2, 3 табл. 3) [18].

Таблиця 3

Аналіз конструкцій систем пульсації

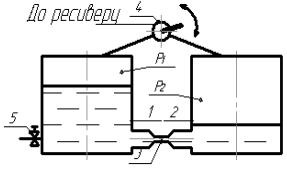
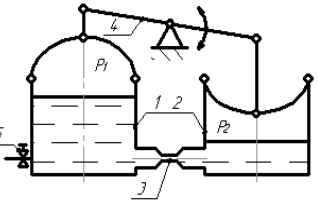
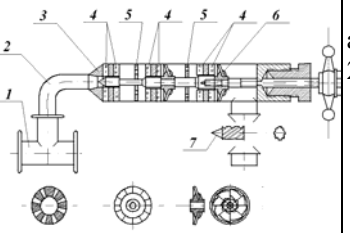
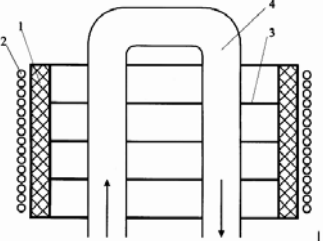
№ схеми	Механічні системи пульсації	Практичне використання	Характеристика технологічних параметрів	Аналіз застосування у інших технологіях та недоліки
1		<b>Вібраційна колонна для змішування хімічних компонентів</b> При коливанні штока та дисків виникають пульсуючі струмені рідини, які змішують хімічні компоненти.	Потужність 5 кВт. Велика маса при низькій жорсткості диску	Можливо застосування у технології зміни властивостей води. Значні динамічні навантаження.
2		<b>Пульсатор тиску поршневий (а):</b> 1 – колонна; 2 – поршень. <b>Пульсатор тиску мембранний (б):</b> 3 – мембрана Використовують у лабораторному та дослідному обладнанні екстракції елементів з розчину.	Габарити пульсаторів залежать від розмірів колони. Частота коливань від 0,3 Гц до 4 Гц. Амплітуда коливань від 5 мм до 15 мм.	Зношування ущільнень при контакті з агресивними рідинами. Малий ресурс внаслідок нерівномірного зношування мембрани.
3		<b>Пульсатор тиску сифонного типу (в):</b> 4 – сифон. <b>Пульсатор тиску комбінований (г):</b> 1 – колонна; 2 – поршень; 3 – мембрана Використовують у лабораторному та дослідному обладнанні екстракції елементів з розчину.	Габарити пульсаторів залежать від розмірів колони. Частота коливань від 0,3 Гц до 4 Гц. Амплітуда коливань від 5 мм до 15 мм.	Складні у виготовленні та мають малий ресурс роботи. Постійний контроль за постійністю об'єму рідини між мембраною та поршнем

Конструкції механічних систем пульсації рідини найбільш прийнятні для застосування в вібраційному обладнанні але для реалізації імпульсних струменів необхідно застосовувати насадки спеціальної форми з комплексом досліджень взаємозв'язку конструктивних параметрів з параметрами роботи приводу.

### Устаткування для впливу на властивості робочого тіла та зміни його характеристик

Відомі конструкції технологічного обладнання для впливу на властивості робочого середовища та зміни його характеристик: горизонтального розташування з пневматичним буфером (схема 1,2 табл. 4) [19], кавітаційно-магнітний активатор (схема 3 табл. 4) [20], пристрій для магнітної обробки рідини (схема 4 табл. 4) [19]. 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 з одночасним застосуванням магнітного поля. 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

## Аналіз конструкцій устаткування для зміни властивостей робочого тіла

№ схеми	Устаткування для зміни властивостей води	Практичне використання	Характеристика технологічних параметрів	Аналіз застосування у інших технологіях та недоліки
1		Кавітатор для багаторазової обробки води: 1, 2 – емкості; 3 – трубка; 4 – кран повітряний; 5 – кран зливний. Знезаражування води.	Прокачування рідини крізь горизонтальний насадок за допомогою реверса стисненого повітря. Частота коливань від 0,3 Гц до 1 Гц.	Значні енергетичні витрати. Контроль за постійністю об'єму газового буфера
2		Кавітатор для багаторазової обробки води: 1, 2 – емкості; 3 – трубка; 4 – важіль; 5 – кран зливний. Знезаражування води.	Прокачування рідини крізь горизонтальний насадок за допомогою газового буфера. Частота коливань від 0,3 Гц до 1 Гц.	Значні енергетичні витрати. Контроль за постійністю об'єму газового буфера.
3		Кавітаційно-магнітний активатор: 1 – перехідник; 2 – патрубок; 3 – дифузorz; 4 – магнітна система; 5 – розетка; 6 – кавітатор; 7 – кавітаційне осердя. Зміна властивостей різноманітних рідин, які використовуються у харчовій промисловості.	Одночасний вплив гідродинамічної кавітації та магнітного поля на рідину. Потужність електродвигуна від 5 кВт до 12 кВт.	Підготовки рідинних сумішей для подальшої обробки у фармацевтичній промисловості. Велика енерговитрати та одноразовий вплив.
4		Магнітний активатор 1 – котушка; 2 – мідний провід; 3 – феромагнітні пластини; 4 – трубки. Оброблення робочого середовища магнітним полем для прискорення технологічних процесів ухімічних реакціях	Прокачування робочого середовища крізь магнітні котушки або крізь постійні магніти.	Зміна властивостей води та її характеристик. Невелика швидкість протікання рідини.

На основі аналізу властивостей об'єктів досліджень, основних закономірностей розглянутих процесів механічної дії на робоче тіло було обґрунтовано методи вдосконалення технологічних процесів та напрямки створення вібраційних машин локалізованої дії пульсуючих затоплених струменів з кавітаційними пухирцями для здійснення операцій гідродробозміцнення, мийки поверхонь, зняття облою та задирок, просочування, зміни властивостей робочого середовища в умовах вібраційного технологічного поля та пульсуючих струменів.

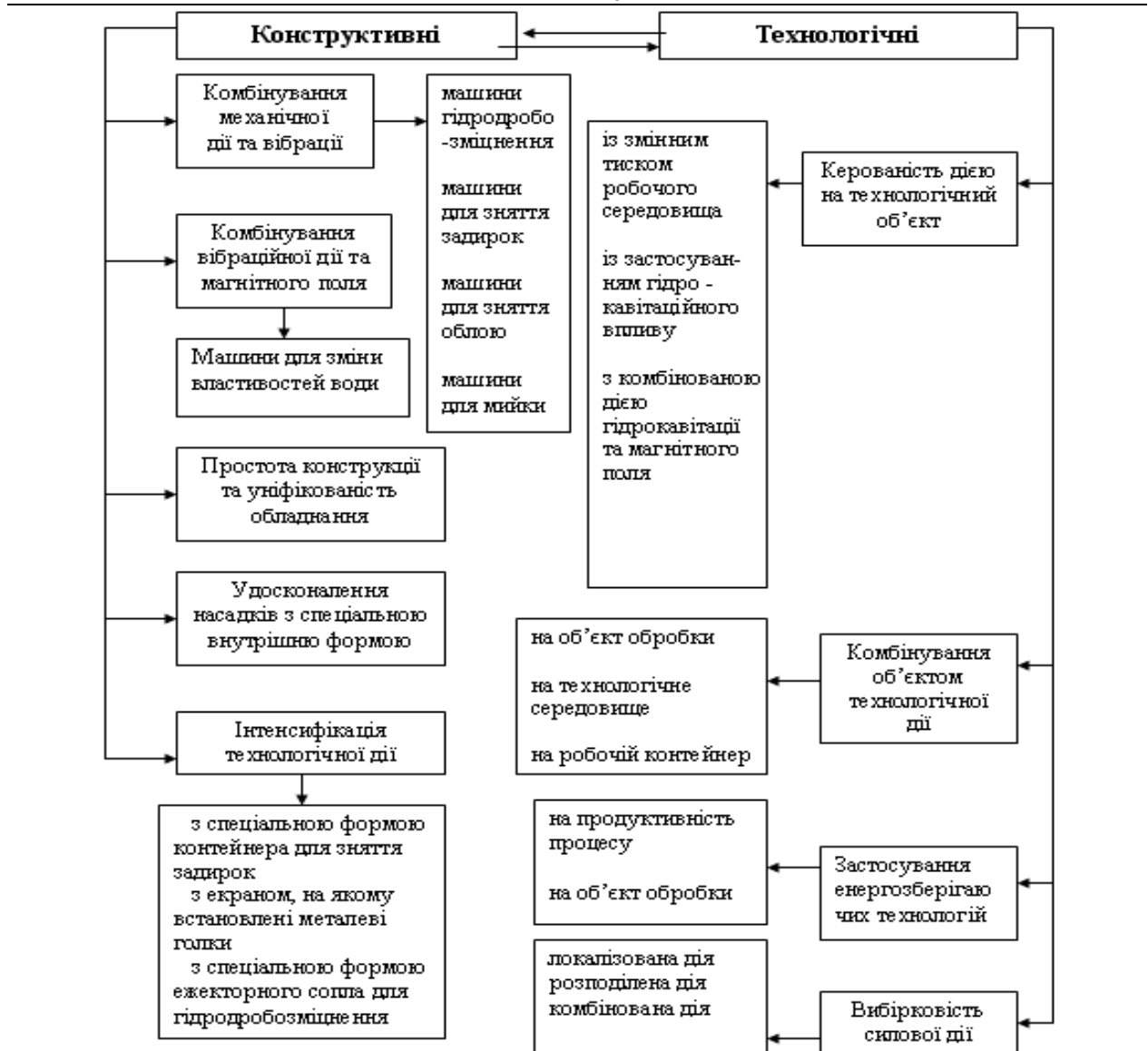


Рис. 1. Основні напрями створення конструктивних та технологічних схем вібраційних машин різного технологічного призначення

Метою даної роботи є створення наукових та методичних основ проектування вібраційного обладнання з пульсуючим робочим тілом на основі гідропульсатора для технологій де рідина виступає як інструмент або як об'єкт обробки. Для досягнення поставленої в роботі мети є необхідним: проведення комплексу експериментальних досліджень форм руху двофазного середовища, як у самому гідропульсаторі, так і при взаємодії з поверхнею, яка оброблюється; визначення залежності динамічних параметрів робочого тіла від параметрів коливань приводу обладнання та його конструктивних параметрів.

Це і зумовило необхідність постановки додаткових експериментів з впливу конструктивних параметрів та режимів роботи вібраційного приводу на тиск та швидкість робочого тіла, а також визначення впливу гідрокавітації та магнітного поля на властивості і характеристики води та її знезараження

### Висновки

1. Проведений аналіз відомих досліджень показав, що основними параметрами, які впливають на хід означених технологічних процесів є: величина гідродинамічного тиску, миттєва та середня швидкість пульсації пульсуючого робочого тіла, виникнення процесу гідрокавітації у ньому, характер дії магнітного поля, вплив яких на робоче тіло вивчено явно недостатньо.

2. На основі аналізу конструкцій існуючого обладнання виявлено низький рівень їх енергоощадності, а деякі конструкції обладнання застосовуються лише у лабораторних умовах або мають невеликий термін працездатності.

3. З аналізу експериментальних та теоретичних положень запропоновано шляхи створення нових конструкцій вібраційних машин локалізованої дії пульсуючого робочого тіла для означених технологічних процесів. З аналізу фізичної сутності зміни властивостей води, запропоновано у вібраційних машинах застосовувати кавітаційний режим оброблення води з накладенням на пульсуючий струмінь постійного магнітного поля.

1. Блехман И. И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. – М. : Наука, 1964. – 412 с.
2. Ганиев Р. Ф. Динамика частиц при воздействии вибраций / Р. Ф. Ганиев, Л. Е. Украинский. – К. : Наукова думка, 1975. – 138 с.
3. Вибрации в технике : [справочник] : в 6 т. Т. 2: Колебания нелинейных механических систем / под ред. И. И. Блехмана. – М. : Машиностроение, 1979. – 351 с.
4. Траектории и равновесные уровни в вибрирующих столбах жидкости / [Л. Фостер, Д. Ботте, В. Барбин, П. Вахон] // Теоретические основы инженерных расчетов : труды амер. общества инж. мех. Серия Д. – 1968. – № 1. – С. 234–242.
5. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике: справочное пособие : в 7 т. Т. 6-7. Электрические механизмы. Гидравлические и пневматические механизмы / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1981. – [2-е изд., перебранное]. – 784 с.
6. Шкарабура Н. Г. Основные принципы генерирования импульсных потоков в гидравлических системах / Н. Г. Шкарабура, С.В. Стась // Промислова гідравліка і пневматика. – 2004. – № 1 (3). – С. 25–29.
7. Пат. 22916 Украина, МКИ F 15 В 21. Пневматический вибратор / М. Е. Иванов, Л. П. Томчук, И. Б. Матвеев, К. О. Кузнецов (Украина). – № 96031183; заявл. 27.03.96; опубл. 30.06.98, Бюл. № 3. – 3 с. : ил.
8. Пат. 12377 Украина, МКИ F 15 В 21/12. Генератор импульсов давления / Р. Д. Искович-Лотоцкий, Р. Р. Обертюх, И. В. Севастьянов, Д. М. Климчук (Украина). – № 94097057; заявл. 26.09.94; опубл. 28.02.97, Бюл. № 1. – 3 с. : ил.
9. А. с. 1774078 СССР, МКИ<sup>3</sup> F 15 В 21/12. Генератор пневматических импульсов / В. В. Скрипица (СССР). – № 4833347/29; заявл. 31.05.90; опубл. 07.11.92, Бюл. № 41. – 3 с. : ил.
10. Пат. 52671 Украина, МКИ F 15 В 21/12. Гидравлический генератор колебаний / А. Н. Гапонюк, О. Н. Гапонюк, В. О. Кузьмин (Украина). – № 99010494; заявл. 29.01.98; опубл. 15.01.2003, Бюл. № 1. – 3 с. : ил.
11. Баранов В. Н. Электродинамические и гидравлические вибрационные механизмы / В. Н. Баранов, Ю. Е. Захаров. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1977. – 326 с.
12. А. с. 686766 СССР, Кл. 42к, 11/01. Устройство для промывки каналов в изделиях пульсирующим потоком жидкости / В.В. Шиганов (СССР). – № 894534/18–04; заявл. 12.02.68; опубл. 23.06.69, Бюл. № 10. – 3 с. : ил.
13. А. с. 155784 СССР, Кл. 42к, 21/01. Гидромонитор с воздушным пульсатором / Е. А. Сигачев, В. Д. Колчанов (СССР). – № 178945/21–08; заявл. 22.04.62; опубл. 23.08.63, Бюл. № 18. – 3 с. : ил.
14. А. с. 152433 СССР, Кл. 42к, 21/01. Насадка гидромонитора / А. В. Бричкин, В. Б. Потоцкий [и др.] (СССР). – № 167942/21–08; заявл. 12.01.62; опубл. 24.02.63, Бюл. № 8. – 3 с. : ил.
15. Пат. 3360400 США, МКИ<sup>3</sup> В 08 В. Method for power washing, surface reforming and the like / Dewey M. E. [et al.] (США); McGraw-Hill Inc. – № 721205; заявл. 09.04.66; опубл. 22.06.67; НКИ 355/68. – 3 с.
16. Пат. 3353545 США, МКИ<sup>3</sup> В 08 В. Washing machine and valve therefor / Price P. N. [et al.] (США); McGraw-Hill Inc. – № 720587; заявл. 04.02.66; опубл. 10.03.67; НКИ 342/62. – 3 с.
17. Кожевников С. Н. Механизмы : [справочник] / С. Н. Кожевников, Я. И. Есипенко, Я. М. Раскин; под ред. С. Н. Кожевникова. – 4-е [изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1976. – 784 с.
18. 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.
19. Сілін Р. І. Вібраційне обладнання на основі гідропульсатора : [монографія] / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв. – Хмельницький : ХНУ, 2007. – 386 с. : іл.
20. Федоткин И. М. Кавитация. Кавитационные энергетические аппараты и установки / И. М. Федоткин, С. И. Гулый. – К. : Арктур – А, 1998. – 130 с.

Надійшла 9.1.2013 р.  
Статтю представляє: д.т.н. Гордєєв А.І.