

На рис. 7 показано режими побудови сітки і розрахунки для двовимірних і тривимірних об'єктів в середовищі *AutoCAD – Mechanical*, зокрема на рис. 7, а зображено розподіл вузлів, кінцевих елементів та розрахованих напружень у трикутній пластині, а на рис. 7, б – відповідно схема навантаження, закріплення та розраховані напруження по об'єму циліндричної деталі.

**Висновки.** Систематизоване і ґрунтовне оволодіння геометричними засобами двовимірного і тривимірного простору являє собою істотний елемент в освоєнні комп'ютерних технологій проектування машин із залученням CAD-систем. Важливим етапом у використанні МСЕ є оптимізація геометричних параметрів та раціональний вибір вигляду скінченних елементів. Базовими під час конструювання скінченних елементів є симплекси дво- і тривимірного простору. Оптимізацію параметрів та розбудову скінченних елементів у площині та у просторі необхідно здійснювати із використанням геометричних засобів формування образів охоплюючого простору. Перспективними є подальші дослідження проведених обчислень і порівняльного аналізу впливу форми скінченних елементів та оптимізації геометричних параметрів на якість розрахунків деталей та механізмів із залученням CAE/CAD-систем.

1. Павлице В.Т., Харченко Є.В., Барвінський А.Ф., Гаринев Ю.Г. *Прикладна механіка: навч. посіб. / за ред. В. Т. Павлице – Львів: “Інтелект-Захід”, 2004 – 368 с.* 2. Сегерлинд Л. *Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.* 3. Кодра Ю.В., Стоцько З.А. *Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: навч. посіб. / за ред. З.А. Стоцька. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2004. – 468 с.* 4. Савула Я.Г. *Метод скінченних елементів. – Львів: НУ ім. Івана Франка, 1993. – 80 с.* 5. [www.cad-cae-sat.ru/docs/FEM/Rozin.pdf](http://www.cad-cae-sat.ru/docs/FEM/Rozin.pdf). 6. Хомченко А. Н. *Комбінований алгебро-геометричний метод моделювання базису просторового серендипового скінченного елемента з 20 вузлами / А.Н. Хомченко, О.І. Литвиненко, І.О. Астіоненко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К: КНУБА, 2010. – Вип. 85. – С. 232–236.*

УДК 534.29:66.084

Л.І. Шевчук, І.С. Афтаназів, О.І. Строган, П.П. Волошкевич  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра нарисної геометрії та інженерної графіки

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ВІБРОРЕЗОНАНСНОЇ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ РІДИН

© Шевчук Л.І., Афтаназів І.С., Строган О.І., Волошкевич П.П., 2012

Описано спосіб віброрезонансної кавітаційної обробки рідинних субстанцій та прилад для визначення резонансних частот власних коливань наявних в оброблюваних рідинах зародків кавітації. Доведено, що оптимальними є режими, за яких частоти коливань збудувачів кавітації кратні частотам власних коливань зародків кавітації.

The method of vibration of cavitation treatment of substances of liquids and device is described for determination of frequencies of resonances of own vibrations of present in the processed liquids embryos of cavitation. It is proved that optimum are the modes which frequencies of vibrations of cavitation are multiple frequencies of own vibrations of embryos of cavitation at.

**Постановка проблеми.** Наростаючі темпи промислового застосування кавітації як засобу доброго високоенергетичного впливу на оброблювані рідинні субстанції не тільки переконливо підтверджують унікальність її технологічних можливостей, а й широко застосовуються у різноманітних хіміко-технологічних процесах. Тому останнім часом збільшується кількість наукових

досліджень, спрямованих на оптимізацію кавітаційних технологічних процесів та вдосконалення кавітаційного обладнання. Адже найрозповсюдженіші методи кавітаційної обробки – ультразвуковий та гідродинамічний, хоч і доволі універсальні, та все ж не позбавлені певних недоліків. Так, ультразвукова обробка, що є найефективнішою з-поміж інших різновидів кавітаційних обробок, все ще залишається малопродуктивною та переважно дискретною. Різновиди гідродинамічної кавітаційної обробки високопродуктивні, однак не забезпечують високого рівня інтенсивності кавітаційного поля. Явно відчувається потреба у створенні нового методу кавітаційної обробки, спроможного органічно поєднати переваги існуючих.

Вихід із цієї ситуації можливий виключно у створенні нових підходів до джерел збурення кавітаційних процесів у рідинах, спроможних органічно поєднати значну інтенсивність формованого кавітаційного поля в оброблюваному середовищі із незначними енергозатратами на його збурення та стійке і стабільне в часі підтримання. Цим вимогам певною мірою відповідають вібраційні джерела збурення кавітації. Однак вони малодосліджені, існуюче для їх реалізації обладнання через надмірні енергозатрати недосконале і зорієнтоване переважно на дискретну обробку рідин. Це стає на заваді широкому промислому застосуванню віброкавітаторів, висуває нагальну потребу в ґрунтовному дослідженні віброкавітаційних технологічних процесів, в оптимізації параметрів їх здійснення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Із досвіду промислового застосування кавітаційних явищ та літературних першоджерел відомо, що збурення гідродинамічної кавітації можливе виключно за наявності певних умов та параметрів рідинних потоків, зокрема тиску та швидкості самого потоку або форми і швидкостей рухомих у ньому твердих тіл, наявності в рідині зародків кавітації тощо. При цьому визначальним чинником для стабільного підтримання кавітаційного процесу є кількість та енергетичний стан наявних у рідинній субстанції зародків кавітацій, якими переважно постають розчинені у рідині повітря та газу і зважені у ній різноманітні домішки. Відомо також, що мінімальні енергозатрати на стабільне підтримання у рідині кавітаційного процесу витрачаються за умови забезпечення резонансу коливань зародків кавітації. Очевидним при цьому є і той факт, що для різноманітних рідин та навіть і для однієї і тієї самої рідини із різними значеннями температури, або кількістю домішок, частоти коливань зародків кавітації будуть різними. Як і різними будуть значення так вагомих для стабільності кавітаційного процесу резонансних частот коливань зародків.

Науковці-практики в галузі гідродинаміки у минулому доволі успішно використовували супутнє резонансам явище зниження енергозатрат на стабільне підтримання активних просторових переміщень домішок та молекул розчинених газів. Окрім масообмінних [3], його доволі успішно застосовували і для гідродинамічних кавітаційних процесів, зокрема дослідники Київського політехнічного інституту І.М. Федоткін та А.Ф. Немчин [4]. Вони для інтенсифікації супутніх кавітаційній обробці фізико-хімічних процесів запропонували нашарування на збурюючу кавітацію обертову крильчатку із лопатями поздовжніх осьових вібрацій, що не тільки покращало якість вихідного продукту, а й знизило енергозатрати на кавітаційну обробку. З-поміж іншого, вони встановили, що істотна інтенсифікація кавітаційного поля, сформованого віброуючою крильчаткою, спостерігалась у діапазоні частот вібрацій 44 – 55 Гц. Дослідники Хмельницького національного університету «Поділля» Р.І. Сілін та А.І. Гордєєв схожі явища стрибкоподібної інтенсифікації кавітаційної обробки спостерігали під час підведення до резонансних частот в діапазоні від 160 до 175 Гц формованих вібраціями кавітаційних каверн за віброкавітаційної обробки рідин для промивки та просякання тканин [1]. Тут необхідно відзначити, що резонанс коливань кавітаційних каверн в діапазоні частот від 160 до 175 Гц – явище цілком реальне. А от в інтенсифікації кавітаційного поля при накладанні на обертові лопаті вібрацій в діапазоні частот 44 – 55 Гц закладено дещо інший, проте надзвичайно цікавий, і як засвідчили подальші дослідження, дуже корисний механізм. Адже відомо, що інтенсивність кавітаційного поля, з-поміж іншого, залежить від інтенсивності просторових переміщень у рідинному потоці зародків кавітації, якими і постають зважені у рідинах включення, домішки та скупчення молекул розчинених газів. Частоти їх власних

коливань, як відомо із теоретичних досліджень, доволі високі і знаходяться, залежно від фізичних параметрів рідин, у діапазонах кілогерц, а то і десятків та сотень кілогерц. Тому ввести зародки кавітації у стан резонансу безпосередньо низькочастотними вібраціями неможливо, проте енергетично вплинути на відчутне зростання амплітуди коливних переміщень – цілком реально! Неодмінною передумовою цього є, хоч і незначний за абсолютною величиною та стабільний і тривалий у часі зовнішній енергетичний вплив на рідину у так званих діапазонах частот, кратних резонансним. Кратні резонансам частоти, так звані другі–треті та подальші їх гармоніки, добре відомі у теорії та практиці динаміки механічних коливних систем, і доволі широко застосовуються, зокрема в технологічних вібромашинах [5] та транспортних вібропристроях [6] із планетарними вібробудниками тощо.

**Актуальність дослідження.** Необхідно відзначити, що істотні результати у дослідженні віброкавітаційних технологічних процесів та створенні вібраційних кавітаторів були досягнуті науковцями Хмельницького національного університету «Поділля», професорами Р.І. Сіліним та А.І. Гордєєвим. Вони запропонували конструкції віброкавітаторів, які ґрунтуються на віброприводах дебалансного, ексцентрикового чи електромагнітного типів і забезпечують дискретну обробку рідин [1]. Певним обмеженням у застосуванні цих пристроїв є незначна їх продуктивність, зумовлена тим, що усю оброблювану рідину необхідно пропомпувати крізь невеликі отвори-збурювачі кавітації. Фактично це унеможливує обробку рідинних субстанцій у неперервному потоці, зводячи її до порційної дискретної, а отже, і малопродуктивної.

Цих недоліків позбавлені, створені в Національному університеті «Львівська політехніка» вібраційні електромагнітні кавітатори резонансної дії, які ґрунтуються на застосуванні низькочастотних вібрацій для формування кавітаційних полів високої інтенсивності у значних об'ємах оброблюваних рідинних субстанцій [2]. Однак і їм притаманні недоліки, найвагоміший із яких – надмірна енергозатратність при обробці неперервних потоків рідинних субстанцій.

Отже, дослідження, спрямовані на вдосконалення прогресивних методів віброкавітаційної обробки рідинних субстанцій, пошуки новітніх рішень, спрямовані на створення досконаліших із позицій мінімізації енерговитрат, за умови їх придатності для промислового застосування, все ще залишаються вагомим як технічним завданням, так і суспільною проблемою. І доволі перспективним та доречним тут видається застосування у віброкавітаторах явища зниження енергопоглинання у коливних системах під час підведення їх до резонансу.

**Формулювання мети дослідження.** Метою цього дослідження є створення методики визначення оптимальних технологічних параметрів вібраційної кавітаційної обробки рідинних субстанцій у резонансних режимах, розробка дослідного обладнання для експериментального визначення низькочастотних діапазонів частот коливань зародків кавітації, кратних резонансним.

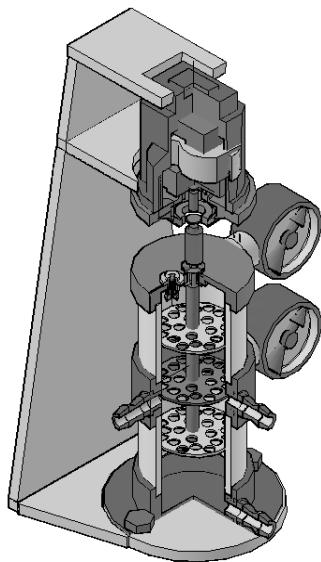
*Об'єктом та предметом дослідження* були технологічні схеми та операції кавітаційної обробки рідинних субстанцій, промислове та дослідне обладнання для збурення кавітації у рідинах, гідродинаміка в умовах кавітаційного перемішування, кінетичні закономірності енергетичного впливу на умови збурення кавітації.

*Методики дослідження* – рН-метрія для визначення рН води та водних розчинів, швидкісна відеозйомка для дослідження динаміки резонансної пружної підвіски, елементів приводу та збурювачів кавітації вібраційного кавітатора.

**Виклад основного матеріалу.** Як відзначалось, характерними особливостями розробленого та дослідженого у Національному університеті «Львівська політехніка» нового методу є значний рівень інтенсивності кавітаційного поля у поєднанні із неперервною продуктивною обробкою. Метод називається віброрезонансною кавітаційною обробкою і його відмінною особливістю є збурення кавітаційного поля у резонансних режимах коливань зважених в оброблюваних рідинах зародків кавітації [7]. Основною складовою віброрезонансних кавітаторів, що реалізує цей метод, є занурені в оброблювану рідину вібруючі пластини із отворами для перетікання рідини. Коливних

рухів пластинам надають від жорстко з'єднаних з ними електромагнітних віброприводів, які забезпечують змінну частоту коливань. Обробку рідин тут здійснюють у низькочастотному (25 – 250 Гц) діапазоні вібрацій пластин. Особливістю є те, що для конкретних оброблюваних рідин із вказаного діапазону обирають саме ту частоту вібрацій пластин-збурювачів кавітації, яка кратна власним частотам коливних рухів, наявних у рідині зародків кавітації.

Відомо, що у коливних системах за збігу чи кратності частот зовні підведеного енергетичного впливу із частотами власних коливань стрімко зростають амплітуди коливних переміщень, коливна система входить у резонанс. При цьому, якщо зовнішній енергетичний вплив тривалий у часі, – коливний резонанс набуває стабільності, а його існування підтримується за мінімальних значень зовнішнього енергетичного впливу. Саме ця властивість коливних систем покладена в основу віброрезонансного методу збурення кавітації. Тут, залежно від хімічних та фізико-механічних властивостей оброблюваної рідини, експериментально визначають діапазон частот, кратних резонансним частотам коливань зародків кавітації. Подальшу обробку рідини здійснюють у резонансному режимі із максимально досяжними амплітудами коливань зародків кавітації. Саме цей режим супроводжується формуванням кавітаційного поля максимальної інтенсивності, мінімальними затратами енергії на кавітаційну обробку, максимальною її ефективністю.



*Рис. 1. Твердотільна модель приладу-кавітатора для визначення резонансних частот (ПВРЧ) коливних переміщень зародків кавітації у рідинних субстанціях*

Основна проблема, що виникає під час реалізації віброрезонансної кавітаційної обробки, полягає у виборі оптимальних технологічних параметрів процесу, спроможних органічно поєднати високі показники якості кавітаційно обробленої рідини із мінімальними тривалістю обробки та енергозатратами на її здійснення. Зрозуміло, що якість та тривалість обробки тут регламентуються інтенсивністю формованого збурювачами кавітаційного поля у рідинному потоці, а рівень енергозатрат – кінематикою та динамікою як безпосередньо збурювачів кавітації, так і просторових переміщень та коливних рухів зважених у рідині зародків кавітації. Опір переміщенням у рідинному потоці збурювачів кавітації зумовлений переважно фізико-механічними властивостями оброблюваних рідин, тиском та швидкістю газорідинного потоку. Для зменшення енергозатрат на його подолання віброкавітатори оснащені пружною системою, завдяки якій гармонійні коливання збурювачів кавітації здійснюються у найефективнішому резонансному режимі, забезпечуючи при цьому максимальні амплітуди їх просторових переміщень. Рівень споживаної електроприводом енергії при цьому найменший. Однак максимальної інтенсивності формованого у рідинному потоці кавітаційного поля це не гарантує. Адже вона, хоч і залежна від амплітуд коливань збурювачів кавітації, переважно регламентується амплітудо-

частотними характеристиками просторових переміщень, зважених в оброблюваних рідинах зародків кавітації. І тільки підведенням до резонансу коливних рухів зародків кавітації, яке супроводжується стрімким збільшенням амплітуд їх просторових переміщень, забезпечується максимальний рівень інтенсивності формованого кавітаційного поля, до того ж у супроводі зниження енергозатрат на стабільне підтримання його існування в часі впродовж обробки. І найпростіший шлях досягнення резонансних режимів коливних рухів зародків кавітації – це забезпечення імпульсного зовнішнього енергетичного впливу на них із частотами, що збігаються з частотами коливань зародків кавітації або кратні їм. Найдієвіший метод досягнення цього полягає у регулюванні та підборі необхідних частот коливань збурювачів кавітації.

Здійснити це можна за допомогою приладу-кавітатора визначення резонансних частот (ПВРЧ) коливних переміщень зародків кавітації у рідинних субстанціях, твердотільна модель якого

зображена на рис. 1. Її основними складовими є циліндричний корпус, системи подачі до нього досліджуваних рідин та газів, електромагнітний вібропривід із коливними деками, що завдяки перетіканню крізь наявні в них отвори рідини, забезпечують збурення кавітації, та мережа живлення електромагніту віброприводу із приладом моделі AFC-120 регулювання частоти напруги.

Принципова схема приладу ПВРЧ, системи подачі до нього оброблюваних рідин та газів, схема енергопостачання та контролю вихідних параметрів зображені на рис. 2. До його циліндричного корпусу 1 об'ємом 1 дм<sup>3</sup> підведено системи подачі досліджуваних рідин 2 та газів 3. Над циліндричним корпусом 1 розміщено електромагнітний вібропривід 4 із коливними деками 5, що завдяки перетіканню крізь наявні в них отвори рідини забезпечують збурення кавітації. У мережу 6 живлення електромагніту віброприводу 4 включено прилад моделі AFC-120 для регулювання частоти напруги.

Встановлений на нерухомій основі 7 кавітатор включає дві співвісно розташовані прозорі циліндричні труби 8 та 9, розділені з'єднувальним кільцем 10, у яке вмонтовано патрубки 11 та 12 подачі у внутрішній простір кавітатора відповідно оброблюваних рідини та газу, а також манометр 13 фіксації тиску рідини всередині робочої ділянки кавітатора. Кавітатор зверху та знизу обмежений фланцями, що формують герметично замкнений простір його робочої ділянки. На нижньому фланці 14 розміщено зливний патрубок 15, а на верхньому 16 – манометр 17 фіксації тиску газу всередині робочої ділянки кавітатора, регульований клапан 18 стравлювання надлишкового тиску та загерметизований підшипник ковзання 19 штока 20 приводу коливних рухів дек-збурювачів кавітації 5.

Система подачі у кавітатор рідини включає накопичувальну ємність 21 із досліджуваною рідиною, нагнітальний насос 22 її подачі, дросель 23 регулювання величини подачі та з'єднаний із патрубком 11 кавітатора трубопровід 1 подачі рідини. До системи подачі у робочу ділянку кавітатора 1 газу входять балон 24 із запасом необхідного газу, регульувальний редуктор його витрат 25 із манометром тиску та з'єднаний із патрубком 12 кавітатора трубопровід 2 подачі газу. Основними елементами мережі живлення електромагніту віброприводу 4 є під'єднаний до стаціонарної електромережі напругою 220 В та частотою змінного струму 50 Гц регулятор 26 частоти, наприклад, моделі AFC-120 із панеллю управління 29 та індикацією частоти коливань дек 5, включений у його вихідне електричне коло ватметр 27 із блоками фіксації 30 та індикації 31 споживаної потужності електроприводу та вмикач 28 запуску і зупинки обладнання.

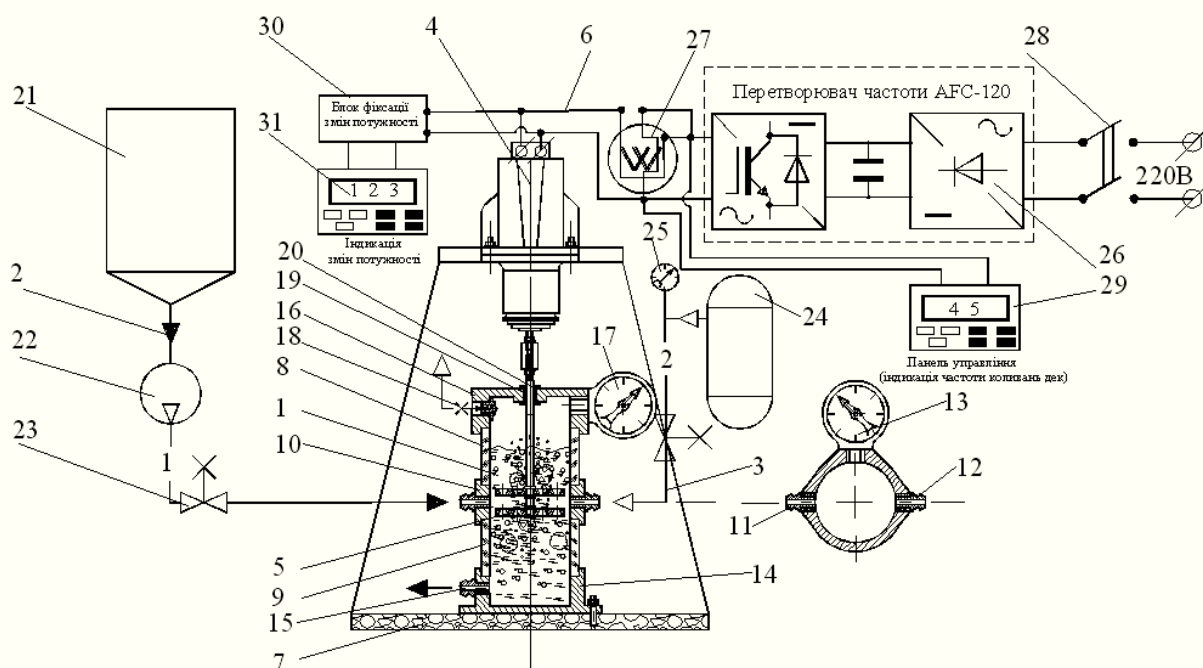


Рис. 2. Принципова схема приладу ПВРЧ із системами його енергопостачання

Кавітаційну обробку рідин із визначенням у них частот коливань зародків кавітації, кратних резонансним, у кавітаторі здійснюють в такий спосіб. Занурюють у рідину збурювачі гідродинамічної кавітації, подають напругу на обмотки котушок електромагнітів віброприводу для надання збурювачам кавітації коливань у низькочастотному діапазоні. Вібраціями збурювачів гідродинамічної кавітації формують у рідині газорідну суміш. Фіксуючи її тиск, плавно змінюють частоту коливань збурювачів кавітації зміною напруги живлення електромагнітів віброприводу. За появи в рідині кавітаційного поля, яке супроводжується формуванням газорідної суміші, фіксують ватметром та блоком індикації, включеними у мережу живлення обмоток котушок електромагнітів віброприводу, максимальне падіння споживаної віброприводом потужності, за якого і здійснюють обробку.

Для цього із накопичувальної ємності 21 насосом 22, плавно регулюючи дроселем 23 подачу, трубопроводом 1 досліджувану рідину подають у робочу ділянку кавітатора 1, встановлюючи необхідну величину її тиску за манометром 13. Одночасно із балона 24 приєднаного до патрубку 12 трубопроводу 2 в робочу ділянку кавітатора подають певну кількість необхідного газу, відслідковуючи його тиск за манометром 17. Заповнивши робочу ділянку кавітатора досліджуваною газорідною сумішшю, трубопроводи подач 1 та 2 перекривають і блоком 28 подають напругу на обмотки котушок живлення електромагнітного віброприводу 4. Притягуючи намагніченим осердям котушки до себе пружно встановлений якір, електромагніт 4 через встановлений у підшипнику ковзання 19 шток 20 приводу надає прикріпленим до нього і зануреним в оброблювану рідину декам 5 коливних зворотно поступальних рухів. Частота коливань дек 5 при цьому дорівнює частоті генерації змінного струму, здійснюваної регулятором частоти напруги моделі AFC-120, що включений у мережу 6 живлення електромагніту віброприводу 4. За стартового запуску кавітатора цю вихідну частоту на регуляторі AFC-120 встановлюють такою, що дорівнює стандартній частоті електромережі, тобто 50 Гц. Увімкнений в мережу 6 живлення електромагніту 4 ватметр 27 при цьому відображає величину споживаної електромагнітом потужності. Регулюванням на пульті керування регулятора AFC-120 частоти вихідної напруги плавно змінюють частоту коливань дек збурювачів кавітації 5, візуально відслідковуючи при цьому зміну характеру рухів, стану та поведінки досліджуваної рідини та формованого у ній деками 5 кавітаційного поля, бульбашок та каверн – зародків кавітації, а також покази ватметра. У міру наближення частот коливань дек 5 до значень частот, кратних резонансним частотам коливань наявних у рідині зародків кавітації, оброблювана газорідна суміш, завдяки стрімкому збільшенню в ній колись розчинених, а тепер вивільнених бульбашок повітря та газів, стрімко втрачає свою міцність. Це знижує опір просторовим переміщенням у ній збурювачів кавітації 5 і проявляється у зменшенні необхідної за переміщень енергії. За коливними деками 5 при цьому формуються ділянки розрідження, що фіксується показами манометра 13, стрибкоподібно знижується величина споживаної електромагнітом приводу потужності, що відображається на показах ватметра 27 та блока індикації 31 споживаної потужності електроприводу.

Фіксують покази манометра 13, ватметра 27, а головне, – відображену на індикаторному пульті керування регулятора моделі AFC-120 частоту живлення електромагніту приводу, за якої відбулися стрімкі падіння тиску та споживаної потужності в кавітаторі. Плавними змінами у бік збільшення та зменшення від зафіксованої частоти, відслідковуючи покази ватметра 27, встановлюють ширину та межі діапазону виявлених частот кратності резонансним. Під час виходу за межі цього діапазону кратності резонанс зародків кавітації щезає і споживана електромагнітом приводу потужність стрімко наростає, що легко зафіксувати візуально або за допомогою блока індикації 31 змін потужності.

Дослідивши один діапазон частот, кратних резонансним частотам коливань зародків кавітації, знову регулятором частоти моделі AFC-120 нарощують (чи у разі потреби знижують) частоту коливань дек 5 до появи чергового періоду кратності резонансу, де повторюють усі вищеписані дії. Так досліджують увесь діапазон сприйнятих для приводу віброкавітатора частот, обравши для

нього ті значення, за яких віброкавітаційна обробка найефективніша із технологічних міркувань та вимог до параметрів кінцевої якості оброблюваних рідинних субстанцій за мінімальних енергетичних затрат.

Визначивши режими роботи, за яких для конкретної досліджуваної рідини забезпечується кавітаційне поле достатньої інтенсивності, здійснюють другий етап експериментального дослідження, метою якого, як правило, є вибір оптимальних технологічних параметрів обробки, спроможних за мінімальних енергозатрат забезпечити максимально досяжний ступінь певних попередньо зумовлених показників якості та споживчих властивостей оброблюваних рідинних субстанцій.

Змінними і належними до оптимізації параметрами кавітаційної обробки тут є її характер (дискретний або неперервний), залежна від тисків, швидкостей та потужностей інтенсивність формованого кавітаційного поля, тривалість обробки та питомі енергозатрати на її здійснення.

Отже, віброрезонансна кавітаційна обробка рідинних субстанцій передбачає дві групи змінних параметрів регулювання забезпечуваних нею показників якості кавітаційної обробки, а саме – групу конструктивних та групу технологічних параметрів регулювання. До групи конструктивних технологічних параметрів належать:

- частота коливань дек-збудувачів кавітації, яку регулюють регулятором частоти моделі AFC-120;
- амплітуда коливань дек-збудувачів кавітації, яку регулюють потужністю та конструктивними параметрами (проміжком між якорем та статором) електромагнітів приводу та жорсткістю пружної системи підвіски дек;
- напрям коливань дек-збудувачів кавітації (вздовж або вперек оброблюваного рідинного потоку), який зумовлений розташуванням електромагнітів приводу.

Основним завданням зміни конструктивних параметрів тут є зміна швидкості та напрямів просторових переміщень дек-збудувачів кавітації у рідинному потоці, що у кінцевому рахунку, впливає на діапазон віброрезонансного збурення кавітації.

До групи технологічних тут зараховано:

- тиск та швидкість оброблюваної рідини на ділянці кавітаційної обробки, які регулюють величинами витрат (насос 22) та витрат (дросель 23 подаючого трубопроводу 1, рис. 2) подачі оброблюваної рідини на робочу ділянку;
- різновид, кількість та тиск супутнього до обробки газу або повітря, які регулюють дреселюванням трубопроводу 2 подачі газу;
- кількість наявних в оброблюваній рідині зародків кавітації, яку регулюють кількістю поданого на ділянку обробки газу.

Основним завданням зміни технологічних параметрів тут є вплив на енергетичний стан оброблюваної рідини та тривалість її обробки. Як наслідок, зміни конструктивних та технологічних параметрів тут забезпечують ефективний вплив на міцність оброблюваної рідини, її спроможність до збурення та стабільного існування у ній кавітаційних явищ, на інтенсивність формованого у ній кавітаційного поля, що і зумовлює якість кавітаційної обробки рідинних субстанцій.

Перевагою цього способу кавітаційної обробки рідин за оптимальних частот коливань збудувачів гідродинамічної кавітації, порівняно із відомими, є зниження енергозатрат на здійснення технологічного процесу завдяки забезпеченню резонансних режимів коливання процесів збудувачів кавітації та наявних в оброблюваних рідинах їх зародків.

**Висновки.** Експериментально підтверджено, що:

- віброрезонансна кавітаційна обробка рідинних субстанцій, на порядок–півтора перевищуючи за продуктивністю ультразвукову, спроможна забезпечувати кавітаційну обробку рідин зокрема і води, наближену за показниками якості до ультразвукової;

- перевагами приладу-кавітатора для визначення резонансних частот (ПВРЧ) коливних перемішень зародків кавітації у рідинних субстанціях є значний перелік змінних конструктивних та технологічних параметрів, видозміни яких дають змогу не тільки ґрунтовно оцінити та дослідити технологічні можливості кавітаційної обробки рідинних субстанцій, а що не менш вагомо, обрати оптимальні із позицій забезпечуваних показників якості режими роботи, до того ж за її мінімальних енергозатрат.

Перспективи подальших досліджень як цього приладу-кавітатора для визначення резонансних частот (ПВРЧ), так і новоствореного методу віброрезонансної кавітаційної обробки ми вбачаємо у визначенні переліку рідин та високопродуктивних процесів їх перетворень, для яких доцільне застосування віброрезонансної обробки, оптимізація режимів кавітаційної обробки із використанням цього обладнання залежно від параметрів вихідної рідини (її солевмісту, твердості, рівня рН тощо), створення промислових зразків віброкавітаторів резонансного типу для конкретних виробничих потреб. Найперспективнішими галузями застосування цього новоствореного методу, на наш погляд, видаються штучні водойми громадського використання для знезараження води, наприклад, басейни, акваріуми та аквапарки, переробні галузі харчової промисловості, пивоваріння, комплекси вирощування риби, птиці та тварин тощо.

1. Сілін Р.І. *Вібраційне обладнання на основі гідропульсатора* / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 386 с. 2. Шевчук Л.І., Афтаназів І.С., Строган О.І. *Вібраційний електромагнітний кавітатор резонансної дії* // *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні* / Український міжвід. наук.-техн. зб. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2011. – Вип. №45. – С. 374–380. 3. Аксельруд Г.А. *Масообмен в системе твердое тело – жидкость* / Г.А. Аксельруд. – Л.: Университет, 1970. – 210 с. 4. Федоткин И.М. *Использование кавитации в технологических процессах* / И.М. Федоткин, А.Ф. Немчин. – К.: Вища шк., 1984. – 68 с. 5. Афтаназів І.С. *Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням* / І.С. Афтаназів. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 516 с. 6. Блехман І.І. *Синхронізація динамічних систем* / І.І. Блехман. – М.: Машинобудування, 1971. – 896 с. 7. Пат. України №66550. *Вібраційний електромагнітний пристрій для збурення кавітації* / В.Л. Старчевський, Л.І. Шевчук, І.С. Афтаназів, О.І. Строган; заявл. 06.06.2011; опубл. 10.01.2012, Бюл. №1.