

**А. І. Зілінський, асистент,
О. Ф. Луговський, д.т.н., професор,
І. А. Гришко, к.т.н., доцент,
Б. В. Пацьола, аспірант**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФІЛЬТРУВАННЯ РІДИНИ В УЛЬТРАЗВУКОВОМУ ПОЛІ

Забезпечення надійності функціонування гідросистем та багатьох технологічних процесів вимагає підтримки необхідної чистоти робочої рідини. При цьому зазвичай мова йде про очищення робочої рідини від механічних забруднень. Але часто технологічні процеси вимагають додатково підтримувати гомогенність робочої рідини, її екологічну безпечність та задану тривалість збереження без втрати споживчих характеристик. Традиційні фільтри здатні лише видаляти з робочої рідини лише механічні забруднення. При цьому їх суттєвим недоліком є поступова засмічуваність, що призводить до збільшення перепаду тиску на фільтрі та зміни параметрів технологічного процесу. Альтернативним рішенням є застосування технології фільтрування рідини в ультразвуковому полі. Технологія передбачає розташування фільтрувальної перегородки в кавітаційній області, яка утворюється завдяки введенню в рідину ультразвукових хвиль, інтенсивність яких перевищує поріг виникнення кавітації [1]. Покращення якості та швидкості очищення досягається за рахунок значного зниження фільтраційного опору, за рахунок руйнування осаду вібрацією та створення ефекту так званої «п'яної» частинки.

Створивши в технологічному об'ємі фільтра стоячу ультразвукову хвилю (рис. 1), частинки забруднювача концентруються у зонах пониженого тиску, тобто в пучностях стоячої ультразвукової хвилі, утворюючи, шари підвищеної концентрації забруднювача у яких відбувається коагуляція. Кавітаційні бульбашки утворюються із зародків кавітації, в якості яких можуть виступати не змочуємі тверді частинки, нерозчинені гази, мікропухирці нерозчинених газів, що знаходяться в мікротріщинах на не змочуємих твердих, межуючих з рідиною, поверхнях, і.т.д. Кавітаційні парогазові бульбашки збільшуються в розмірах в фазі розрідження і схлопуються в фазі стиснення звукових хвиль після здійснення одного або декількох коливань [2].

Зважена частка забруднювача рідини, опинившись біля кавітаційної бульбашки, зазнає або вплив потоку рідини від рухомої з великою швидкістю стінки бульбашки, або вплив ударної хвилі при схлопуванні бульбашки, або вплив кумулятивного струменя з боку бульбашки.

Результати розрахунку швидкості руху частинки забруднювача, що знаходиться біля стінки пульсуючої кавітаційної бульбашки, представлені у вигляді графіків на рис. 2. Отримані результати свідчать про можливість досягнення частинками забруднювача надзвукової швидкості переміщення в рідині.[3]

Для створення стоячої ультразвукової хвилі потрібно витримати відповідні резонансні розміри, геометрію внутрішньої порожнини та виконати стінку, розташовану навпроти випромінювача, з малим коефіцієнтом поглинання, пласкою та паралельною поверхні випромінювача [2].

Для реалізації ультразвукового кавітаційного фільтрування було запропоновано кавітаційне обладнання (рис. 3) [4], яке складається з резонансної трубчастої кавітаційної камери, виконаної у вигляді суцільної труби 1, акустично розв'язаної з місцями кріплення та під'єднання.

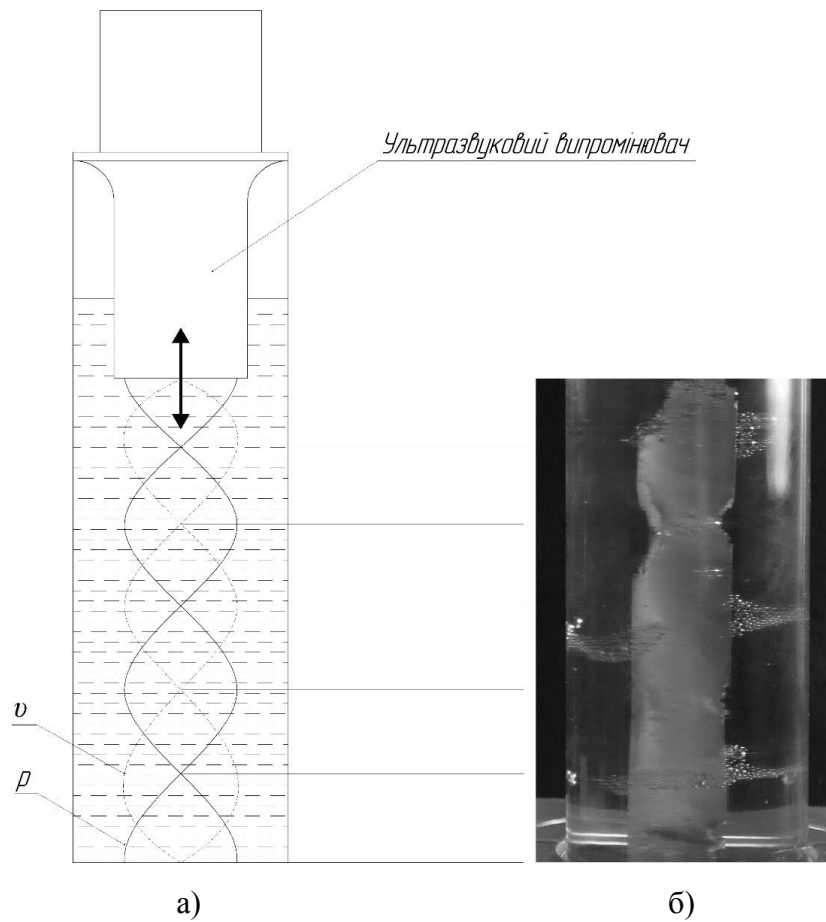


Рисунок 1 – Схема розміщення ультразвукового поля плоскої стоячої хвилі (а) і фотографія кавітаційної ерозії тестової алюмінієвої фольги в місцях, відповідних пучностям тиску (б)

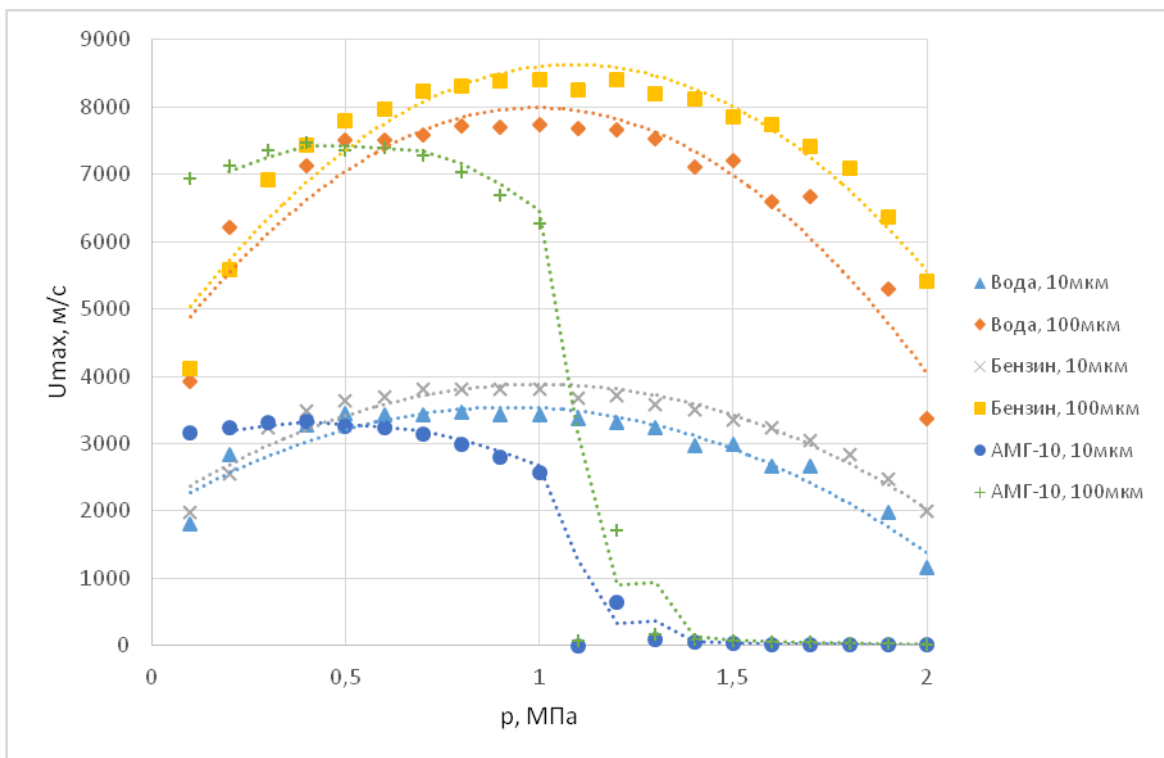


Рисунок 2 – Залежність швидкості руху частинок забруднювача різної маси і розмірів, що знаходяться в кавітаційному середовищі біля стінки бульбашки

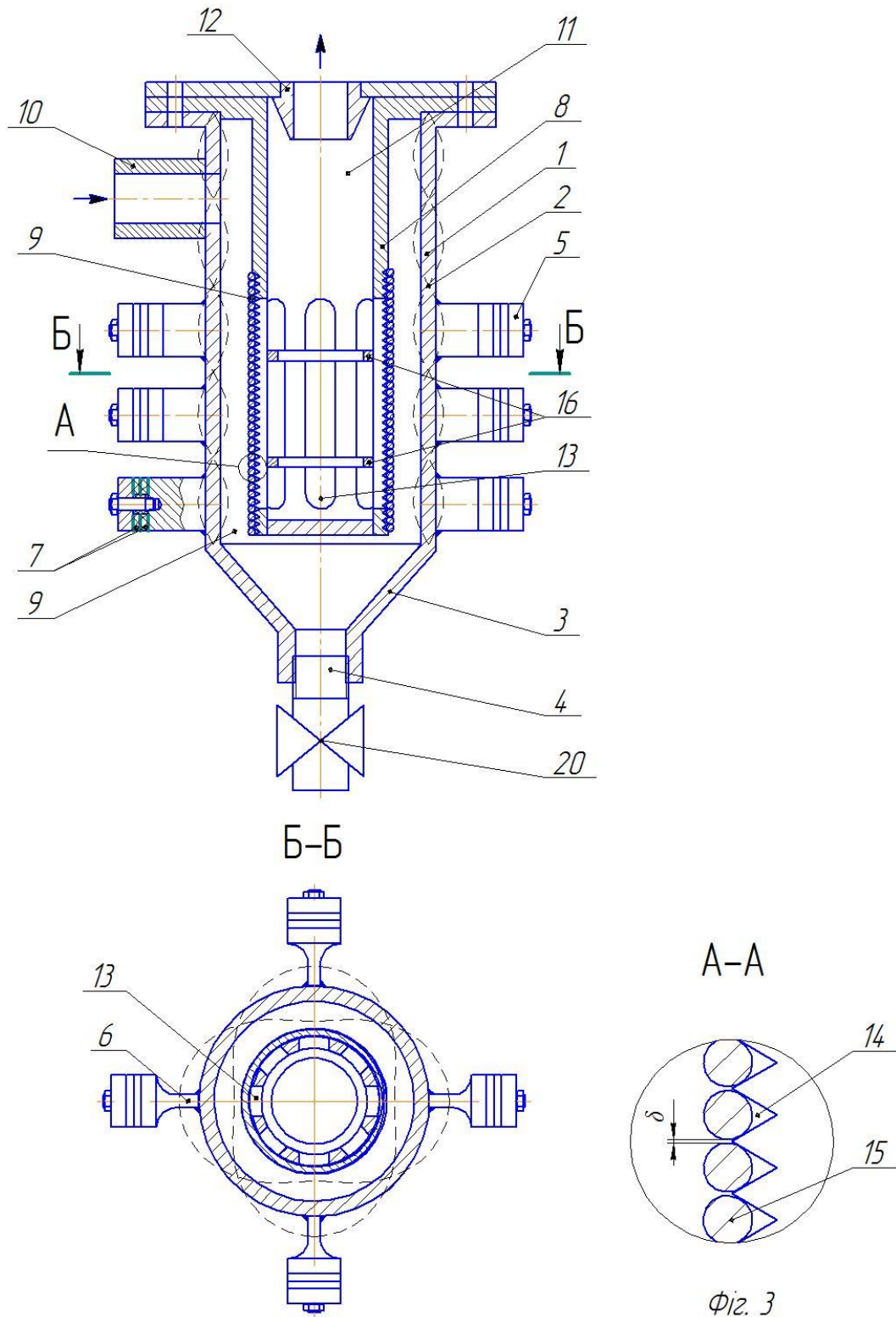


Рисунок 3 – Схема ультразвукового кавітаційного фільтру

Акустичне розв'язування реалізовано за рахунок кріплення суцільної труби 1 в вузлових точках поздовжньо-згинної хвилі деформації 2, що встановлюється по довжині труби. В нижній частині труба 1 з'єднана з конусоподібним шламовірником 3, який має патрубок 4 для відведення фільтрату.

На зовнішній твірній поверхні труби 1 здовж твірних ліній посекційно встановлені складені ультразвукові перетворювачі 5 з ножовидними трансформаторами коливальної швидкості 6 та п'єзокерамічними кільцями 7, які електрично підключені до генератора електричних коливань системи автоматичного керування (на схемі умовно не показана) таким чином, що в трубі збуджуються резонансні радіальні або радіально-згинні та поздовжньо-згинні коливання, а місце розміщення ультразвукових перетворювачів 5 в межах секцій та відстань між секціями здовж труби регламентовані параметрами резонансних коливань труби 1, тобто вони розміщені в пучностях поздовжньо-згинної хвилі деформації 2, що встановлюється по довжині труби 1. В середині кавітаційної камери здовж вісі розміщений трубчастий циліндричний фільтрувальний елемент 8, що ділить кавітаційну камеру на частину 9 з засміченою рідиною, що має патрубок 10 для підведення рідини, та частину 11 з очищеною рідиною, яка має патрубок 12 для відведення рідини, причому камера 11 з очищеною рідиною утворена в нутрі фільтрувального елемента.

Трубчастий циліндричний фільтрувальний елемент 8 виконано у вигляді труби з наскрізними поздовжніми вікнами 13, на зовнішній поверхні якої в області поздовжніх вікон 13 виконана різбова канавка 14, в яку укладена та закріплена проволочка 15 з кавітаційно стійкого матеріалу з утворенням фільтрувального зазору між вітками проволочки. Необхідна жорсткість конструкції трубчастого фільтрувального елемента 8 з наскрізними поздовжніми вікнами 13 забезпечена розпірними кільцями 16, що встановлені в нутрі труби фільтроелементу в зоні поздовжніх вікон 13.

Аналіз отриманих розрахункових значень величини переміщення частинки забруднювача в кавітаційній області ультразвукового поля значно перевищує розміри отворів фільтрувальної перегородки, які в фільтрах тонкого очищення складають 5 ... 20 мкм. Коливальні рухи цих часток не дозволяють забруднювачі проникнути через пори фільтра. Цей ефект іноді називають ефектом «п'яної» частинки. Зіштовхуючись між собою частки, що коливаються, коагулюють і осідають в грязеприймач фільтра. Проникнути через пори фільтра такі укрупнені частки не можуть. Зіткнення таких, інтенсивно коливаючихся, частинок з фільтрувальною перегородкою, сферичні ударні хвилі від захоплюючихся в кавітаційній області бульбашок і високоенергетичні кумулятивні струмені, що виникають при закритті кавітаційних бульбашок поблизу поверхні фільтрувальної перегородки, призводять, крім кавітаційної ерозії фільтрувальної перегородки, до порушення в ній ультразвукових коливань. Ці коливання істотно знижують поверхневе тертя рідини в порах фільтрувальної перегородки, що призводить до підвищення продуктивності фільтра при інших рівних умовах. Знаходження фільтрувальної перегородки в кавітаційній середовищі забезпечує їй, за рахунок супутніх кавітацій ефектів, практичну незасмічуваність.

Література

1. Луговской А. Ф. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях / А. Ф. Луговской, Н. В. Чухраев. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2007. – 244 с.
2. Луговской А. Ф. Проблемы создания технологического оборудования для ультразвукового кавитационного обеззараживания воды / А. Ф. Луговской, И. А. Гришко // Промислова гідраліка і пневматика. – 2009. – № 4(26). – С. 3–6.
3. Зілінський А. І. Математична модель процесу фільтрації в ультразвуковому полі підвищеної інтенсивності / А. І. Зілінський, О. Ф. Луговський, І. А. Гришко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування». – 2015. – № 74. – С. 11–17.
4. Пат. 108589 Україна, МПК6 С 02 F 1/36, С 02 F 1/48, В 01 D 33/03, В 01 D 39/12. Ультразвукове кавітаційне обладнання / Луговський О. Ф., Мовчанює А. В., Гришко І. А., Зілінський А. І., Луговський О. О.; заявл. 01.07.14 ; опубл. 12.05.15, Бюл. № 9.