

УДК 636.631.223.018

Мельник Вікторія Миколаївна

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри біотехніки та інженерії
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Карачун Володимир Володимирович

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри біотехніки та інженерії
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фесенко Сергій Вікторович

аспірант кафедри біотехніки та інженерії
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мельник Виктория Николаевна

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой биотехники и инженерии
Национальный технический университет Украины «Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Карачун Владимир Владимирович

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры биотехники и инженерии
Национальный технический университет Украины «Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Фесенко Сергей Викторович

аспирант кафедры биотехники и инженерии
Национальный технический университет Украины «Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Mel'nick V.

doctor of technical science, professor
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Karachun V.

doctor of technical science, professor
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Fesenko S.

Ph.D. student
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**ШТУЧНЕ ФОРМУВАННЯ ЗОН АКТИВНОЇ ТУРБУЛЕНТНОСТІ
ЗВУКОВИМИ ХВИЛЯМИ**

**ИСККУСТВЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЗОН АКТИВНОЙ
ТУРБУЛЕНТНОСТИ ЗВУКОВЫМИ ВОЛНАМИ**

**ARTIFICIAL FORMING OF ZONES OF ACTIVE TURBULENCE BY
SOUND-WAVES**

Анотація: Проводиться аналіз результатів напівнатурних випробувань мідного кільця зануреного у рідину і підвладного дії зовнішнього звукового випромінювання. Розкривається природа формування в рідині концентрації звукових хвиль у вигляді поверхні каустики. Пояснюються причини концентрації звукових хвиль і виникнення глобального і локальних рушійних потоків рідини. Аналізується енергетичний стан рідини усередині обмеженого кільцем простору при різних напрямках дії звукового променя з плоским фронтом.

Ключові слова: каустика, аберація, хвильовий розмір, концентрація звукових хвиль, рушійний потік, дифракція.

Аннотация: Проводится анализ результатов полунатурных испытаний медного кольца, погруженного в жидкость и подверженный влиянию внешнего звукового излучения. Раскрывается природа формирования в жидкости концентрации звуковых волн в виде поверхности каустики. Объясняются причины концентрации звуковых волн и возникновение глобального и локальных движущих потоков жидкости. Анализируется энергетическое состояние жидкости внутри ограниченного кольцом пространства при разных направлениях действия звукового луча с плоским фронтом.

Ключевые слова: каустика, абберация, волновой размер, концентрация звуковых волн, движущий поток, дифракция.

Summary: The analysis of the results of the static tests of the copper ring is immersed in liquid and exposed to the influence of external sound radiation. Reveals the nature of formation in the liquid the concentration of sound waves in a surface caustics. Explains the causes of the concentration of sound waves and the emergence of global and local moving fluid flows. Analyzes the energy status of the liquid inside the limited ring space with different directions of action of the sound beam with flat front.

Keywords: caustic, aberela, wave size, the concentration of the sound waves driving the flow, diffraction.

1. Вступ

Бортова апаратура, зокрема сенсори кінематичних характеристик, високоманеврених літальних апаратів в експлуатаційних умовах підвладні дії проникаючого потужного акустичного випромінювання та ударної *N*-хвилі. Зокрема, йдеться про глайдери, під час переходу від режиму барражування до форм-мажорного. Особливості розповсюдження звукових хвиль в пілотажному та навігаційному обладнанні, в першу чергу поліагрегатної структури, чинять істотний вплив на технічні

характеристики обладнання і на тактико-технічні характеристики літальних виробів в цілому.

Дифракційні явища формують резонансну ситуацію в механічних системах систем управління літального апарату та в навігаційному обладнанні. Структура цих явищ окреслена проявом хвильового співпадання та *zone kaustikos*, які будують розвиваючююся у часі і просторі тривимірну турбулентність рідинних складових, а в твердотільних елементах – “*акустичну прозорість*” з усіма породженими цим явищем вадами бортової апаратури. В першу чергу це стосується гіперзвукових літальних апаратів суборбітального та атмосферного призначення міжконтинентальної зони дії.

Ефективні технічні рішення боротьби з впливом проникаючого акустичного випромінювання слід впроваджувати на глибокому розумінні дифракційних явищ в натурних умовах пілотованих і безпілотних виробів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Постановка задачі досліджень

За допомогою погрузного блоку звукових хвиль марки УЗП-6-1 розкрити особливості дифракції звукових хвиль у рідині.

3. Мета та задачі дослідження

Метою досліджень слугує аналіз експериментального створення в замкнутому об’ємі робочої рідини зон турбулентності заданого формату.

4. Глобальні рушійні потоки хвильового співпадання.

Інтерференція звукових хвиль на зануреному у рідину металевому кільці

Випробувальний стенд містить блок ультразвукових випромінювачів у 42 кГц. Середина ємності блоку заповнена водою. В центрі блоку розташована вертикально циліндрична посудина з водою (рис. 1, а, рис. 1,б).

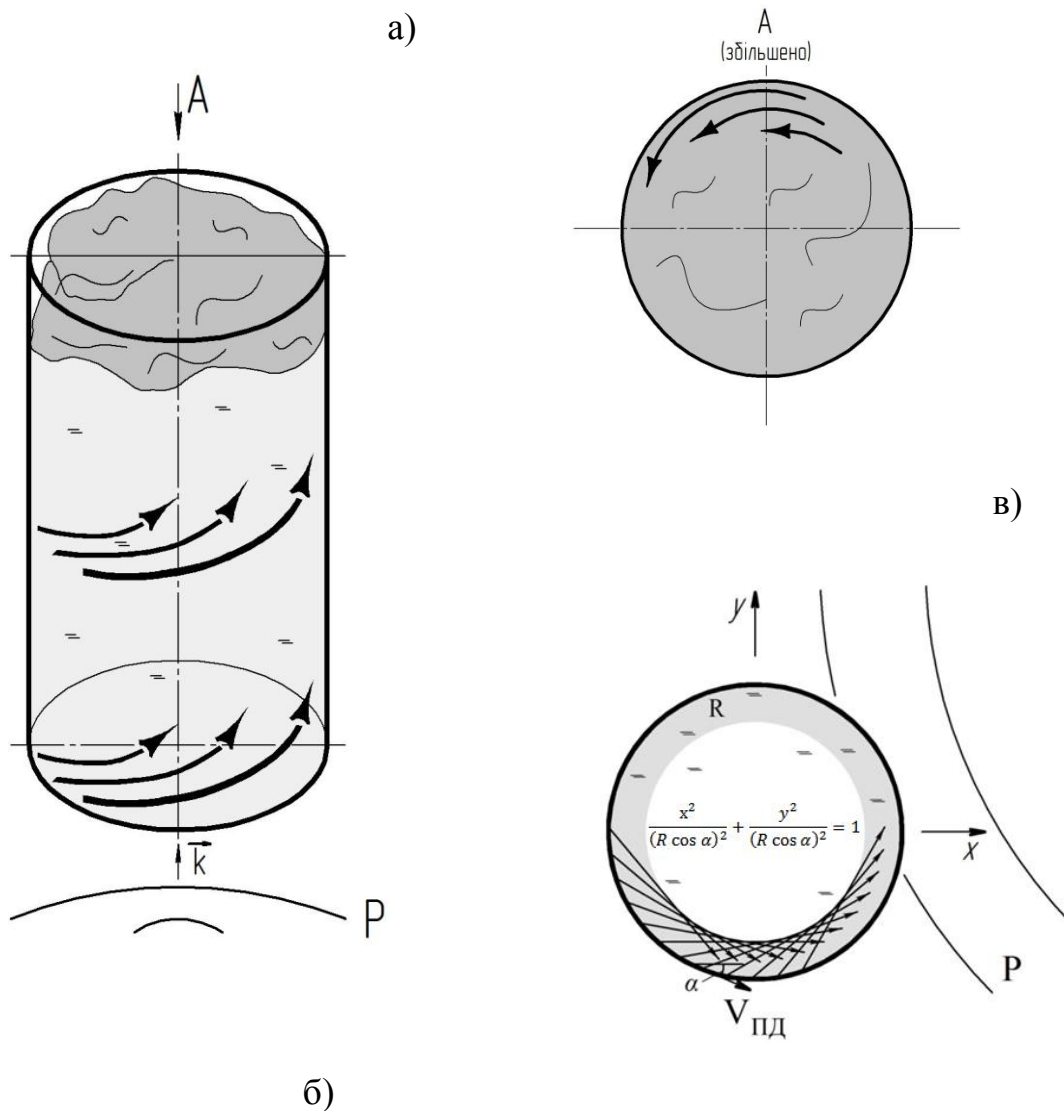


Рис. 1. Дія ультразвукового променя на рідину: а) P - рушійний потік від дії каустики; \vec{k} - хвильовий вектор; б) турбулентна поверхня рідини; в) утворення поверхні каустики

Проаналізуємо динамічний стан рідини під дією звукового випромінювання за відсутності в посудині металевого кільця. Звукове випромінювання генерує в циліндричному корпусі посудини колові хвилі на частотах нижчих за граничну. Значний хвильовий розмір оболонкової частини поверхні створює умови для випромінювання корпусом звукових хвиль в рідину. Наявність переважання за величиною швидкості колових хвиль в посудині над швидкістю звука в рідині створює умови для аберації випромінювання в середину звук хвиль з подальшим утворенням циліндричною каустики поверхня якої конфокальна циліндричній внутрішній поверхні посудини (рис. 1, в).

Каустика створює всередині посудини глобальні потужні хвилі рідини які рухаються за циліндричною спіраллю угору (рис. 1, а).

Надалі проведемо оцінку зміни внутрішнього стану рідини на той випадок, коли в ній присутнє металеве кільце. Вважаємо, що площа кільця паралельна основі посудині і горизонтальна (рис. 2). Тоді, крім резонансних явищ хвильового співпадання формуються зони активної турбулентності та зони пасивної енергетики у вигляді центральних секторів металевого кільця (рис. 3).

Коли площа циліндричного кільця становить прямий кут з основою посудини, має місце, окрім глобального потужного рушійного потоку 1, ще локальні потоки 2 і 3 (рис.2, рис. 3). Потоки 2 рухають рідину в площині кільця, а плинні потоки 3 обтікають кільце із-зовні всередину. Наявність безлічі форм коливань провокують ситуацію інтерференції, тобто, накладання хвиль, внаслідок чого з'являються зони підвищеної концентрації звукових хвиль в рідині (темні сектори на рис. 3), а також зони пасивної енергетики рідини (рис. 3, світлі сектори).

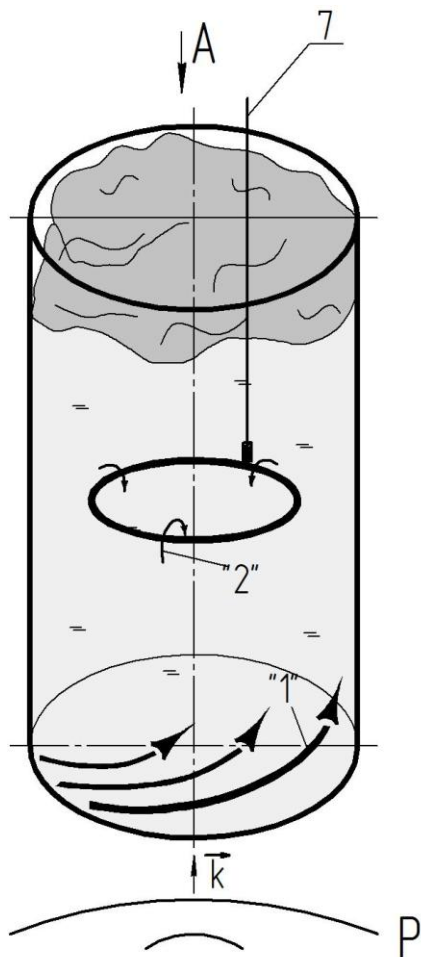


Рис. 2. Дія ультразвукового променя P на мідне кільце в посудині з рідиною: а) "1" – глобальний рушійний потік, "2" – локальний обмивний потік, 7 – тримач мідного кільця

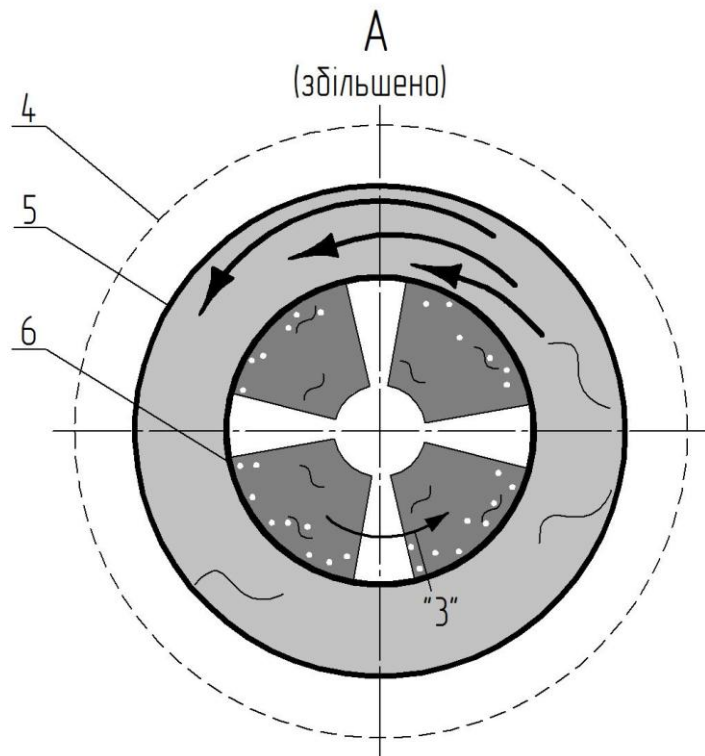


Рис. 3. Зони концентрації звукової енергії в площині кільця: темні сектори – підвищена зона турбулентності; світлі сектори – зони звукової тіні: "3" – локальний обмивний потік, 4 – акустичний фронт, 5 – корпус посудини, 6 – мідне кільце

Аналогічні явища кояться за умови нахилу площині кільця до поздовжньої осі посудини. Окрім глобального рушійного потоку "1" на рис. 2, утворюються локальні плинні потоки "2" і "3" (рис. 4, рис. 5), а також інтерференції звукових хвиль, та зони пасивної енергетики.

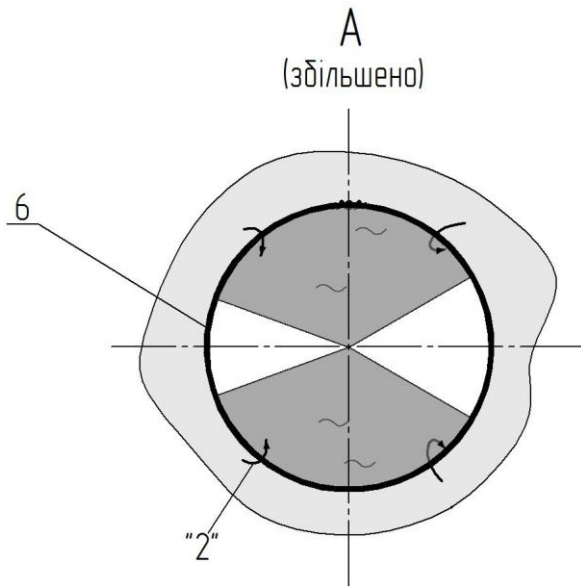


Рис. 4. Зони концентрації звукової енергії: а – мідне кільце займає вертикальне положення, де "2" – локальний обмивний потік, 6 – мідне кільце

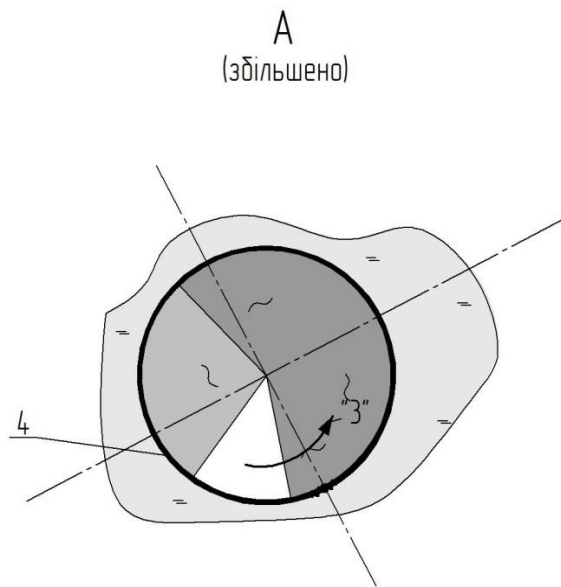


Рис. 5. Площина кільця становить кут 45° з віссю посудини, де "3" – локальний обмивний потік, 4 – мідне кільце

7. Висновок

Проведені напівнатурні дослідження стану зануреного в рідину мідного кільця доводять багатогранність впливу звукового променя на стан усієї системи.

Доведено експериментально формування глобального рушійного потоку під дією звукового променя та локальних, менших за потужністю, плинних потоків.

З'ясовано, що аберація звукових хвиль, які випромінюються поздовжньою хвилею посудини в рідину, слугує концентрації звукової енергії, яка породжує висхідний потужний рушійний потік у вигляді циліндричної спіралі. Таким чином, має місце високий ступінь турбулентності рідини, який доповнюється ділянками концентрації звукової енергії, а також ділянками мінімального енергетичного стану у вигляді центральних колових секторів в площі металічного кільця.

Як стверджує експеримент, поліагрегатна механічна система в акустичних полях породжує складну і неоднозначну динаміку усієї конструкції в цілому. З'ясовано присутність аберації випромінюємих в рідину звукових хвиль, зон каустики, елементів концентрації звукового випромінювання та інтерференції звукових хвиль.

Література

1. Гладкий, В.Ф. Динамика конструкции летательного аппарата [Текст]: моногр./ В.Ф. Гладкий. – М.: Наука, 1969. – 496 с.
2. Mel'nick, V. The emergence of resonance within acoustic fields of the float gyroscope suspension [Текст] / V. Mel'nick, V. Karachun // EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. ISSN: 17293774. Volume: 1. Issue: 7. Pages: 39-44. Year: 2016-01-01. EID: 2-s2.0-84960858488. Scopus ID: 84960858488. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.59892.
3. Karachun, V. The additional error of inertial sensors induced by hypersonic flight conditions [Текст]/ V. Karachun, V. Mel'nick, I. Korobiichuk, M. Nowicki, R. Szewczyk, S. Kobzar// 2016; Sensors (Switzerland). Volume: 16. Issue: 3. Year: 2016-02-26. EID: 2-s2.0-84959187681. Scopus ID: 84959187681. DOI: 10.3390/s16030299.
4. Мельник, В.Н. Напряженно-деформированное состояние подвеса поплавкового гироскопа при акустическом нагружении [Текст]/ В.Н. Мельник // Проблемы прочности. – 2007. - № 1. – С. 39-54.
5. Павловский, М.А. Теория гироскопов: [Текст]: уч. пособие/ М.А. Павловский – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 303 с.
6. Фесенко, С.В. Дослідження особливостей поведінки циліндричної оболонки в ультразвуковому полі [Текст]/ С.В. Фесенко, В.Ю. Шибецький// ПРТК, 2016, - № 3. - С. 61.

7. Лепоринская, Л.П. Выносливость авиационных конструкций при акустических нагрузках [Текст] / Л.П. Лепоринская // Выносливость авиационных конструкций при акустических нагрузках: сб. науч. тр. – М.: Изд-во ЦАГИ. – 1967, № 218. – С. 317 – 325.
8. Вяльцев, В.В. Мощная низкочастотная звуковая сирена [Текст]/ В.В. Вяльцев, В.Г. Хоргуани // Акуст. Журнал, 1961. – 7. – Вып. 3. – С. 377-378.
9. Белый, Н.Г. Об акустическом нагружении фюзеляжа самолета ИЛ-18 и выносливости элементов его обшивки [Текст]/ Н.Г.Белый, А.В. Пачандо// Прочность и долговечность авиационных конструкций. – К.: Изд-во КИИГА. – Вып. 11, 1965.
10. Даэр, И. Колебания корпуса космического аппарата под действием шума ракетных двигателей [Текст] / И. Даэр // Случайные колебания: сб. науч. тр., под ред. С. Крендела. – М.: Мир, 1967. –С. 192 – 211.
11. Фокс Вильямс, Д. Е. Шум высокоскоростных ракет [Текст] / Д.Е. Фокс Вильямс // Случайные колебания сб. науч. тр., под ред. С. Крендела. – М.: Мир, 1967. – С. 45 – 49.
12. Гринченко, В.Т. Гармонические колебания и волны в упругих телах [Текст]: моногр. / В. Т. Гринченко, В. В. Мелешко. – К. Наук. думка, 1981. – 283 с.
13. Валеев, К.Г. Определение напряженного состояния плоской панели в акустическом поле выхлопной струи [Текст]/ К.Г. Валеев, В.Е. Квитка // Прикл. механика. – 1970. – VI. - № 4. – С. 39-43.
14. Павловский, М.А. Об автокомпенсации погрешностей гироскопов при угловой вибрации основания [Текст] / М.А. Павловский, В.Е. Петренко // Доклады АН УССР. Серия А, 1977. – № 8. – С. 81 – 84.