

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ГІДРОМЕХАНІКИ



**КОНСОНАНС-2015**

АКУСТИЧНИЙ СИМПОЗИУМ  
29 – 30 вересня 2015 року

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

Київ-2015

ГОЛОВА ОРГКОМІТЕТУ

**Віктор Тимофійович Грінченко**  
академік НАН України, професор

УЧЕНИЙ СЕКРЕТАР

**Валерій Никифорович Олійник**  
кандидат фізико-математичних наук

## ІНДЕКС АВТОРІВ

- Андрущенко В.О.  
(Андрущенко В.А.), 3, 4, 28, 29, 35  
Андрущенко Т.В., 4
- Басовський В.Г.  
(Басовский В.Г.), 6, 12  
Берегун В.С., 21  
Березецька Н.М., 17  
Безымянный Ю.Г., 7, 8  
Безверхий О.І., 6, 7  
Борисюк А.О., 9  
Бугрій В.Г.  
(Бугрий В.Г.), 4, 35
- Вовк І.В., 14  
Воропаєв Г.А., 9  
Воскобійник А.В.  
(Воскобойник А.В.), 10, 12  
Воскобійник В.А.  
(Воскобойник В.А.), 10–12  
Воскобойник О.А.  
(Воскобойник А.А.), 10, 12  
Высоцкий А.Н., 7
- Гладкіх Н.Д., 18  
Голяка Р.А., 13  
Горбань І.М., 6  
Городецька Н.С.  
(Городецкая Н.С.), 13, 14  
Горошко І.О., 3  
Григор'єва Л.О., 6  
Грінченко В.Т.  
(Гринченко В.Т.), 14–16  
Гусак З.Т., 16  
Гуца Т.О., 17
- Дідковський В.С., 18  
Дудзинский Ю.М., 18, 26
- Жук О.П., 19  
Жук Я.О., 19  
Жукова А.В., 26
- Зайнер-Гундерсен Д., 9  
Зінчук Л.П., 7
- Карлаш В.Л., 7, 20  
Карягін Є.В., 25  
Кириченко С.Ю., 33  
Коваленко А.П., 20  
Козирацький Е.А., 8  
Колесников А.Н., 8  
Комаров К.А., 7  
Коржик О.В., 18, 36  
Коробов В.И., 9  
Красильников А.И., 21  
Крутиков В.С., 22  
Кудина Ю.Ю., 4  
Куриляк Д.Б., 22
- Левченко В.В., 23  
Лисечко В.О., 22  
Лукьянов П.В., 23  
Любицкий А.А., 24, 25  
Лящук О.І., 25
- Макаренков А.П., 11  
Макарова Т.В., 26  
Маничева Н.В., 18  
Мартиновський І.М., 27  
Миргородська Т.М., 14  
Михеева А.Н., 30  
Мацьшура В.Т., 14
- Нестерук І.Г., 12  
Нижник А.И., 27  
Никитенко В.Н., 3  
Нікішов В.І., 14

Олійник В.Н., 16  
Омельченко А.В., 25  
Онанко А.П., 28, 29  
Онанко Ю.А., 28, 29

Петрищев О.Н., 30  
Поединчук А.Е., 24  
Полобюк Т.А., 21  
Попов С.А., 13  
Продайвода Г.Т., 28, 29  
Продеус А.Н., 31  
Пятецкая Е.В., 31

Редаелли А., 12  
Романенко П.Ю., 10

Сердюченко А.М., 27  
Сидько М.И., 13  
Сиротенко П.Т., 4  
Смітюк Н.М., 32  
Смоляр В.В., 11  
Сокол Г.И., 32, 33  
Старовойт Я.И., 34  
Степанович В.М., 10

Талько О.В., 7  
Тесленко Л.О., 8  
Троценко Я.П., 14

Улитко И.А., 35

Фиоре Б., 12

Ческая Т.Ю., 36  
Ческий Ю.В., 36

Шакери Мобараке П., 15  
Швец Е.С., 36

Ясинская Е.А., 13

# ОСОБЕННОСТИ КРАЕВОГО РЕЗОНАНСА В СПЕКТРЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ВЫСОКОДОВОТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА В ВИДЕ СПЛОШНОГО ЦИЛИНДРА

В.А.Андрущенко, И.О.Горошко, В.Н.Никитенко

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко*

Акустические резонаторы цилиндрической формы используются в различных датчиках, радиочастотных фильтрах, а также в общефизических экспериментах (например, при конструировании гравитационных антенн). В них используются низшие формы колебаний цилиндра, которые сравнительно хорошо изучены. Особый интерес представляет изучение краевой моды и оценка сфер ее применимости в различных устройствах. В наших исследованиях первоначально ставилась цель сравнить расчетные данные спектра (ANSYS) с экспериментальными. Совпадение, на наш взгляд, оказалось очень хорошим и находится в диапазоне (0.1...0.01) % (на уровне ошибки эксперимента). Также в процессе работы выяснилось много других, не менее интересных, моментов. В качестве объекта исследований был выбран резонатор из алюминиевого сплава (АМГ-6) в виде сплошного цилиндра длиной 971 мм) и диаметром 66 мм. Торцы цилиндра были максимально выровнены на токарном станке, а поверхности шлифованы. Материальные константы (плотность, модуль упругости и коэффициент Пуассона) определялись на образцах-свидетелях в виде тонкого диска диаметром 66 мм и толщиной 3 мм по первым двум резонансным частотам радиальных форм колебаний. Для возбуждения резонансных колебаний различных форм в средней части цилиндра были подклеены четыре пьезобруска, размером  $80 \times 9 \times 6$  мм, а в торцевой – пьезопластины диаметром 40 мм и толщиной 1.2 мм. Их масса и жесткость известны и могут быть учтены при анализе. Исследования показали, что первая изгибная форма колебаний возбуждается на частоте 303.10 Гц, продольная – на частоте 2.638 кГц, а краевые моды – в диапазоне частот (46...47) кГц. В установленном режиме резонансных колебаний при помощи песочных фигур Хладни получены картины узловых линий. В режиме ударного возбуждения шариком была обнаружена изгибная анизотропия и определены направления максимальной и минимальной жесткости. Направления осей коррелируют с направлениями большей оси эллипса узловой линии, полученной при визуализации в интервале краевого резонанса. Особое внимание в докладе акцентируется на виде частотного спектра в области краевого резонанса (3 или 4 пика) и формах колебаний симметричной и антисимметричной моды, полученных расчетным путем.

# АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ПЕРСПЕКТИВ ТЕХНОЛОГІЙ СЕЙСМОАКУСТИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОРУШНИКА ПЕРИМЕТРУ ОХОРОННОГО ОБ'ЄКТА

В.О.Андрущенко<sup>1</sup>, П.Т.Сиротенко<sup>2</sup>, В.Г.Бугрій<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

<sup>2</sup> *Український державний геологорозвідувальний інститут, Київ*

<sup>3</sup> *ТОВ "Надра – Інтегровані Рішення", Київ*

Задача своєчасного виявлення та точної класифікації порушників території охоронного об'єкта цивільного чи військового призначення входить у число пріоритетних для сил охорони та при забезпеченні безпеки кордонів. Розробка периметрових систем охорони (СО) – виключно складна та наукомістка проблема. Це твердження обумовлене значною складністю як апаратної частини таких систем, так і алгоритмічного математичного забезпечення для виділення корисної компоненти на фоні сигналу від різноманітних зовнішніх завад. На сучасному етапі базові принципи побудови чутливих елементи СО ґрунтуються на ряді фізичних принципів (понад десятків), що в підсумку визначають їхні характеристики й особливості використання. Серед різноманіття охоронних систем провідне місце займають рішення, побудовані на основі використання сейсмоакустичних хвильових полів. Незважаючи на доволі тривалу історію розвитку, яка охоплює кілька десятиліть, серед усіх пасивних методів охорони потенціал сейсмоакустичних охоронних систем розкритий далеко не повністю. В роботі проведено огляд сучасного стану та напрямку розвитку сейсмічних технологій для завчасного виявлення порушень периметру охоронних об'єктів. Проаналізовано потенційні можливості вирішення задач фіксування факту перетину периметру певним об'єктом-порушником; виявлення його точного просторового положення й параметрів руху; ідентифікації типу порушника. Розглянуто набір типових інформативних параметрів, необхідних для виділення та класифікації порушника. Наведено спектральні характеристики сигналу від джерел різного генезису (людини, автомобіля, гелікоптера, тощо), обґрунтовано доцільність використання сучасних математичних методів (нейронних мереж, вейвлет-аналізу) при обробці сейсмоакустичної інформації.

## ИССЛЕДОВАНИЯ МАСС-ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕЗОНАНСНЫХ ДАТЧИКОВ НА ПРИМЕРЕ ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ УДЛИНЕННЫХ ПЛАСТИН ИЗ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ

Т.В.Андрущенко<sup>1</sup>, Ю.Ю.Кудина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко*

<sup>2</sup> *Институт гидромеханики НАН Украины, Киев*

Известно, что измерения микромассы в электронике, при напылении тонких пленок осуществляется в большинстве случаев при помощи дисковых пьезокварцевых резонаторов (10 МГц, АТ-срез) на толщинной моде колебаний. Такие датчики имеют очень высокую чувствительность и стабильность и, невзирая на ряд возникающих проблем при эксплуатации, они нашли широкое применение. Так, в аналитической химии пьезосорбционные датчики имеют разрешение ( $10^{-12} \dots 10^{-9}$ ) г/см<sup>2</sup>.

В последнее время интенсивно развивается биомедицинское направление, связанное с непрерывным мониторингом жизнедеятельности. Особый интерес представляют измерения микромассы биологических объектов с использованием предварительно нанесенных тонкослойных селективных биологически активных покрытий. Эти покрытия реагируют только на определенный тип белков или вирусов (например, находящихся в растворе). При помещении такого датчика в исследуемый раствор (это может быть сыворотка, молоко, кровь и т. д.) селективное покрытие адсорбирует на себе значительное количество поискового реагента, увеличивая таким образом присоединенную массу резонатора. Присоединенная масса изменяет параметры спектра резонансных частот, по изменению которого можно оценить ее величину и провести оценку, например, степени зараженности тем или иным болезнетворным агентом. Для этих целей могут быть применены пьезокварцевые датчики, невзирая на их относительную дороговизну, хрупкость и миниатюрность. Однако в некоторых случаях более предпочтительными были бы датчики из пьезокерамики. Современная пьезокерамика имеет механическую добротность порядка (2000...3000) единиц и из нее легче изготовить резонаторы требуемых геометрий. Наиболее простыми в изготовлении и применении являются пластинчатые резонаторы. Выбору их параметров, исследованию спектральных свойств и посвящено данное сообщение. Для исследований выбраны сравнительно тонкие пластинки из пьезокерамики состава, близкого к PZT-4, имеющие размеры  $80 \times 8 \times 1$  мм. Исследования резонансного спектра показало, что продольные моды возбуждаются вплоть до 7-го обертона (19.946; 59.091; 97.370 и 132.940 кГц). В районе 9-го обертона находится интенсивная пластинчатая мода – “продольный” по ширине резонанс (213.470 кГц). Необходимо отметить, что краевая мода, расположенная несколько ниже от него по частоте слабо возбуждается сплошными электродами из-за значительной шунтирующей емкости той части пластины, которая не участвует в колебательном процессе. Для оценки степени изменения параметров частотного спектра под действием биологической микромассы, последняя моделировалась при помощи тонкой липкой ленты на лавсановой основе. На оба конца пластинки последовательно наклеивались полоски размером  $8 \times 17$  мм ( $8 \times 8$  мм по торцу), снимался спектр резонансных частот и проводилась оценка чувствительности датчика. Было показано, что более предпочтительными являются укороченные пластинки, например, размером  $36 \times 8 \times 1$  мм, имеющие меньшую массу. Такая пластинка имеет два продольных резонанса (основной тон и третий обертон (43.300 и 126.020 кГц) за которыми перед “продольным” по ширине резонансом (205.830 кГц) отчетливо выделяется резонанс краевой моды (дуплет 173.340/174.650 кГц и резонанс на частоте 179.030 кГц). В работе акцентируется внимание на геометриях тех резонаторов, которые имеют два расположенных рядом малосвязанных резонанса. Использование этой особенности позволяет реализовать метод относительных измерений как более помехоустойчивый и менее подверженный температурной зависимости.

## ГЕНЕРАЦІЯ ЗВУКУ ДВОВИМІРНИМ КВАДРАТНИМ ЦИЛІНДРОМ В ПОТОЦІ

В.Г.Басовський, І.М.Горбань

*Інститут гідромеханіки НАН України, Київ*

Для помірних чисел Рейнольдса побудовано числову модель оцінювання параметрів звукового поля, генерованого потоком навколо двовимірного квадратного циліндра. Числова модель складається із двох кроків. Перший з них – застосування вихрового методу для обчислення гідродинамічних характеристик близького поля циліндра, а другий – перехід до акустичної аналогії у формі рівняння Фокс Вільямса – Хоукінгса в частотній області для обчислення характеристик далекого звукового поля.

## ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЕЛЕКТРОПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ П'ЄЗОКЕРАМІЧНОЇ КУЛІ В АКУСТИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

О.І.Безверхий, Л.О.Григор'єва

*Інститут механіки імені С.П.Тимошенка НАН України, Київ*

П'єзокерамічні елементи конструкцій сферичної форми є типовими активними компонентами багатьох пристроїв і широко застосовуються у приладобудуванні, гідроакустиці, електроакустиці, ультразвуковій технології. Для забезпечення оптимальних умов функціонування електромеханічних випромінювачів необхідне вивчення динамічного електромеханічного стану тіла з урахуванням впливу зовнішнього середовища. Дана робота присвячена побудові чисельного методу розв'язання і аналізу впливу імпедансного контакту з акустичним середовищем на нестационарні коливання порожнистої п'єзокерамічної поляризованої по товщині кулі при електричних динамічних збуреннях. Коливання п'єзокерамічної кулі з радіусом серединної поверхні  $R$  і товщиною стінки  $2h$  описуються рівняннями руху та матеріальними співвідношеннями електропружності при радіальній поляризації. Механічні граничні умови на зовнішніх поверхнях прийнято у вигляді імпедансних співвідношень, які дозволяють наближено врахувати вплив акустичного середовища. Коливання кулі збуджуються різницею електричного потенціалу, що підводиться до її електродованих зовнішніх поверхонь. Для розв'язання початково-крайової задачі будується чисельна схема на основі сіткових апроксимацій і різницевих схем. Інтегрування по часу проводиться з допомогою явної схеми або неявної схеми Ньюмарка. Чисельні результати отримано для куль з кераміки PZT-4 з різними параметрами кривини при нульових початкових умовах при збуренні електричним потенціалом, що змінюється за синусоїдальному законом. Досліджено реакцію кулі на навантаження з частотами, близькими до резонансних.



# РЕЗОНАНСНІ КОЛИВАННЯ П'ЄЗОКЕРАМІЧНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК ІЗ РАДІАЛЬНОЮ ПОЛЯРИЗАЦІЄЮ

О.І.Безверхий, Л.П.Зінчук, В.Л.Карлаш

*Інститут механіки імені С.П.Тимошенка НАН України, Київ*

Доповідь присвячено аналізу проблеми вимушених коливань п'єзокерамічних циліндричних оболонок у вигляді коротких і високих кілець з радіальною поляризацією. Паралельно проводяться розрахунки адмітансу високих кілець за простою ітераційною експериментально-обчислювальною методикою. Режими електричного навантаження моделюються шляхом лінійних перетворень отриманих в експерименті даних. Показано, що адмітанс, імпеданс і фазові кути не залежать від умов електричного навантаження, проте миттєва потужність дуже чутлива до режиму роботи. Цей факт пояснює, чому режим заданої сталої (за амплітудою) напруги супроводжується біля резонансу значною нелінійністю, тоді як у режимі заданого сталого (за амплітудою) струму такої нелінійності немає. Експериментальні дані добре узгоджуються з розрахунком. Встановлено, що чим більше відношення висоти до середнього діаметра кільця, тим вищий рівень крайової моди і тим сильніше розподіл головних напружень відрізняється від косинусоїди. В дуже коротких кільцях крайова мода не реєструється.

## ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ НОРМАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ МАТЕРИАЛА

Ю.Г.Безымянный, А.Н.Высоцкий, К.А.Комаров, О.В.Талько

*Інститут проблем матеріалознавства  
імені І.Н.Францевича НАН України, Київ*

Создание новых звукопоглощающих материалов предполагает аттестацию на наличие заложенных в них при разработке акустических свойств, в частности, нормального коэффициента звукопоглощения. Эту характеристику материала до сих пор определяют в соответствии со стандартом ГОСТ 16297-80 (Материалы звукоизоляционные и звукопоглощающие. Методы испытаний.). В стандарте метод определения нормального звукопоглощения основан на использовании акустического интерферометра, в котором измеряют на рекомендованных частотах максимумы и минимумы звукового давления плоской стоячей упругой волны, падающая составляющая которой неизменна, а отраженная несет в себе информацию о свойствах исследуемого материала. Предлагаемые в стандарте методики измерений устарели, а получаемые при их использовании результаты не соответствуют современному уровню требований к материалам. Для реанимации метода нами проанализированы положения стандарта. С этой целью проведено численное моделирование поля стоячей волны в интерферометре на разных частотах и создана реализующая метод установка для проверки полученных результатов. Моделирование показало, что расчетные значения максимумов на рекомендованных частотах могут отличаться более, чем в четыре раза. Так как значения минимумов при

измерениях определяются собственными шумами используемой аппаратуры, то только за счет различия величин максимумов разброс нормальных коэффициентов звукопоглощения может оказаться существенным. Поэтому предлагаемый в стандарте частотный ряд нельзя считать оптимальным для характеристики материала и должен быть скорректирован в соответствии с законами формирования поля плоской стоячей волны. Более точная коррекция предполагает учет температуры среды при проведении испытаний, которая посредством изменения скорости звука меняет длину его волны и, следовательно, уровень максимумов. Экспериментальные исследования подтвердили сделанные выводы. При этом оказалось, что для сильно поглощающих материалов выявленный фактор незначительно влияет на частотную характеристику нормального коэффициента звукопоглощения. Указанное влияние становится все более существенным по мере уменьшения уровня звукопоглощения материала.

## **ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК УПРУГОСТИ МНОГОФАЗНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Ю.Г.Безымянный, Е.А.Козирацкий, А.Н.Колесников, Л.О.Тесленко**

*Институт проблем материаловедения  
имени И.Н.Францевича НАН Украины, Киев*

Модули упругости – фундаментальные характеристики твердого тела. Они являются расчетными параметрами в аналитическом аппарате физической теории деформации и разрушения твердого тела, входят во все уравнения механики твердого тела и служат основными параметрами в конструкторских расчетах сооружений, машин и механизмов. Модули упругости традиционных материалов можно найти в справочнике, но для вновь создаваемых материалов их необходимо измерить. Для определения модулей упругости используют динамические методы, в основе которых лежат измерения скоростей распространения упругих волн. Чем сложнее материал, тем больший разброс приведенных в справочниках значений его характеристик упругости и меньше их достоверность. Это обусловлено не всегда обоснованным применением стандартных методов измерений для нетрадиционных материалов, влиянием большего рассеивания их свойств, а также вариативностью технологических режимов получения. Для многофазных порошковых материалов характерно наличие сложной многоуровневой структуры, что предполагает адаптацию к ней акустических методов при измерении свойств материала. Поскольку характеристики упругости являются интегральными свойствами материала, то их корректное измерение требует использования длины упругой волны, по крайней мере, на порядок большей самого крупного элемента структуры. Это позволяет считать материал статистически однородным на длине волны. Второе условие получения корректных измерений – репрезентативность образца материала при исследовании определенного его свойства. Для определения интегральных свойств многофазного порошкового материала репрезентативным, в идеале, можно считать объем, содержащий не менее 1000 самых крупных элементов структуры (реально их может быть не менее 350). При этом указанное количество

элементов должно попадать в прозвучиваемую часть образца. Существенно могут повлиять на результаты оценки модулей упругости таких материалов механическое или химическое взаимодействие фаз на их границах раздела. Это влияние может быть выявлено за счет отклонения экспериментальных значений модулей упругости от расчетных. Отмеченные особенности измерений подтверждены акустическими моделями и экспериментальными результатами.

## **ФУНКЦІЯ ГРІНА ТРИВИМІРНОГО КОНВЕКТИВНОГО ХВИЛЬОВОГО РІВНЯННЯ ДЛЯ НЕСКІНЧЕННОГО ПРЯМОГО ПОРОЖНИННОГО ЦИЛІНДРА**

**А.О.Борисюк**

*Інститут гідромеханіки НАН України, Київ*

Побудовано функцію Гріна тривимірною конвективного хвильового рівняння для нескінченного прямого порожнинного циліндра довільної (але незмінної по його довжині) форми та площі поперечного перерізу з акустично жорсткими чи акустично м'якими стінками, а також стінками змішаного типу. Ця функція представляється рядом по акустичних модах циліндра. Кожен член ряду є суперпозицією прямої та зворотної хвилі, які поширюються на відповідній моді вниз та вгору за течією від точкового імпульсного акустичного джерела. У побудованій функції Гріна в явному вигляді відображені ефекти рівномірної осередненої течії в циліндрі. Вони стають вагомішими зі збільшенням числа Маха течії, зумовлюючи, зокрема, появу і подальше збільшення асиметрії функції відносно поперечного перерізу циліндра, в якому розташоване згадане джерело, і навпаки. У випадку ж відсутності течії одержана функція Гріна симетрична відносно вказаного перерізу. У процесі побудови функції Гріна запропоновано перетворення, котре дозволяє зводити одновимірне конвективне рівняння Кляйна – Гордона до його класичного аналогу і на основі відомого розв'язку останнього одержувати розв'язок першого рівняння.

## **МГНОВЕННЫЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБЛЮЩЕГОСЯ КРЫЛОВОГО ПРОФИЛЯ**

**Г.А.Воропаев<sup>1</sup>, Даг Зайнер-Гундерсен<sup>2</sup>, В.И.Коробов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Інститут гідромеханіки НАН України, Київ*

<sup>2</sup>*Norront a.s., Норвегія*

При определении характеристик многолопастной гидротурбины с вертикальной осью, где крыльевой профиль является рабочим элементом, (ротор Дарье) применяют модифицированную теорему Жуковского для решетки профилей. Это делают либо в предположении квазистационарности при нахождении характеристик профиля для мгновенного эффективного угла атаки профиля при вращении турбины вокруг своей оси (что считается вполне обоснованным для малых частот

вращения турбины), либо вводят поправочные коэффициенты, зависящие от скорости изменения угла атаки профиля (или, вообще, дополнительные слагаемые). В связи с этим, на наш взгляд, возникла необходимость вернуться к анализу нестационарного обтекания одиночного профиля и определения мгновенных характеристик (сопротивления/тяги и подъемной силы) при его колебательном движении в натекающем потоке. В настоящей работе объектом исследований было крыло малого удлинения прямоугольной формы в плане с торцевыми шайбами. Профиль крыла – симметричный, хорда  $b = 120$  мм, удлинение  $\lambda = 1.5$ , толщина профиля  $c = 20$  %. Ось вращения крыла смещена от носика профиля крыла на расстояние  $0.3b$ . Кинематическая схема колебания крыла обеспечивала изменение угла атаки практически по гармоническому закону  $\beta(t) = \sin \theta \sin \omega t$ , где  $\omega$  – круговая частота колебаний задающего ротора,  $\theta$  – амплитуда угловых колебаний крыла. Двухкомпонентные тензометрические весы обеспечивали измерение мгновенной продольной и поперечной силы, возникающей на крыле при изменении угла атаки с задаваемой частотой в диапазоне от 0.2 до 4 Гц. Рассмотрены две амплитуды угловых отклонений профиля  $\theta = 15$  и  $30^\circ$  (одна из них меньше критического угла атаки, составляющего  $(18^\circ \dots 20^\circ)$ , а другая – больше). Полученные результаты свидетельствуют о существенной зависимости значений коэффициентов и сопротивления, а также подъемной силы от частоты колебания профиля, во много раз превышающих значения этих коэффициентов при соответствующем стационарном угле атаки. При определенных значениях частоты, зависящей от скорости потока, продольная составляющая силы может менять знак. При этом не только меняется знак ее мгновенного значения, но средняя величина за период колебания. Обращает на себя факт изменения критического угла атаки. При нестационарном выходе на закритические углы атаки подъемная сила не уменьшается. На основании анализа экспериментальных результатов получены обобщающие эмпирические зависимости коэффициентов сопротивления и подъемной силы при нестационарном обтекании профиля.

## **ВПЛИВ НАХИЛЕНОЇ ОВАЛЬНОЇ ЛУНКИ НА ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЛЬСАЦІЙ ШВИДКОСТІ ТА ТИСКУ**

**В.А.Воскобійник, О.А.Воскобойник, А.В.Воскобійник,  
П.Ю.Романенко, В.М.Степанович**

*Інститут гідромеханіки НАН України, Київ*

Наведено результати фізичного моделювання вихрової течії, що утворюється усередині та поблизу овальної лунки, розташованої на пласкій гідравлічно гладкій поверхні. Лунка діаметром 0.04 м, довжиною 0.08 м і глибиною 0.09 м мала овальну форму та складалася з двох сферичних частин, об'єднаних циліндричною вставкою, обтікалася під кутом 60 градусів до напрямку потоку. Особливості формування та еволюції вихрового руху усередині та околі овальної лунки досліджувалися за допомогою візуалізації течії. Просторово-часові характеристики полів пульсацій швидкості та тиску вимірювалися плівковими термоанемометрами та мініатюрними п'єзокерамічними датчиками пульсацій тиску. Кореляційний блок термоанемометрів розташовувався на координатному пристрої, за допомогою якого датчики

пересувалися над обтічною поверхнею лунки та пластини. Група датчиків пульсацій тиску установлювалася врівень з обтічною поверхнею та не порушувала вихрової течії, яка утворювалася усередині лунки та поблизу неї. Візуалізація течії показала, що для перехідного режиму течії ( $Re_x \approx 2 \cdot 10^5$ ) усередині нахиленої під кутом 60 градусів до напрямку потоку овальної лунки формуються великомасштабні веретеноподібні вихори. Ці вихори, досягаючи масштабів лунки, викидаються назовні з них, порушуючи структуру примежового шару. Зсувний шар, який утворюється під час відриву примежового шару з переднього краю лунки, складається з дрібномасштабних вихорів, які генерують високочастотні пульсації швидкості та тиску як усередині лунки, так і в її сліді. Установлено, що інтенсивність поля пульсацій швидкості має максимальні значення поблизу обтічної поверхні, а також на межі зсувного шару в отворі овальної лунки. Інтенсивність поля пульсацій пристінного тиску найбільша в області взаємодії вихрових структур зсувного шару та великомасштабних вихрових систем, що викидаються назовні з лунки, з кормовою стінкою овальної лунки. Найменша інтенсивність пульсацій пристінного тиску має місце на дні лунки в її передній за потоком сферичній частині. Визначено, що в спектрах пульсацій швидкості та тиску спостерігаються тональні компоненти, які обумовлені частотою викидів великомасштабних вихрових структур назовні з лунки ( $\omega^* = 2\pi fd/U \approx (0.2 \dots 0.3)$ ), частотою обертання циркуляційної течії, яка формується усередині овальної лунки ( $\omega^* \approx (0.8 \dots 1.3)$ ) і частотою автоколивань вихрових структур зсувного шару та їх взаємодії з кормовою стінкою лунки ( $\omega^* \approx (2 \dots 3)$ ).

## **ВЗАИМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЛЬСАЦИЙ ПСЕВДОЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПРОДОЛЬНО ОБТЕКАЕМОГО ЦИЛИНДРА**

**В.А.Воскобойник, А.П.Макаренков, В.В.Смоляр**

*Институт гидромеханики НАН Украины, Киев*

Представлены результаты экспериментальных исследований взаимных статистических характеристик поля псевдозвуковых пульсаций пристеночного давления турбулентного пограничного слоя развитого на протяженном продольно обтекаемом гибком цилиндре. Эксперименты проводились в гидродинамическом канале, где на глубине порядка 1 м от поверхности воды буксировался гибкий цилиндр. Малошумная система буксировки позволила исследовать гидродинамический шум пограничного слоя в диапазоне чисел Рейнольдса, рассчитанных по длине цилиндра и скорости буксировки, от  $1.5 \cdot 10^7$  до  $1.8 \cdot 10^8$ . Взаимные спектральные и корреляционные характеристики поля пульсаций пристеночного давления измерены посредством группы миниатюрных датчиков пульсаций давления, которые были установлены заподлицо с обтекаемой поверхностью цилиндра. Обнаружено, что с увеличением разделения между датчиками коррелированность пульсаций пристеночного давления убывает и максимумы коэффициента взаимной корреляции наблюдаются при большем времени задержки. Когерентные вихревые структуры, генерируемые турбулентным пограничным слоем и конвектирующие над обтекаемой поверхностью цилиндра, обуславливают повышенные уровни когерентности

поля пульсаций пристеночного давления, а также изменение фазового спектра в виде наклонных кривых, угол наклона которых уменьшается с ростом конвективной скорости. Обнаружено, что скорость вырождения максимальных значений коэффициента пространственно-временной корреляции в широком диапазоне частот на гибком цилиндре выше, чем на пластине. Мелкомасштабные вихри, генерирующие высокочастотные пульсации давления, вырождаются быстрее и переносятся медленнее, чем крупномасштабные когерентные вихревые структуры, формирующие внешнюю область пограничного слоя.

## ГИДРОАКУСТИКА МЕХАНИЧЕСКОГО ДВУСТВОРЧАТОГО МИТРАЛЬНОГО КЛАПАНА

В.А.Воскобойник<sup>1</sup>, А.Редаелли<sup>2</sup>, Б.Фиоре<sup>2</sup>, И.Г.Нестерук<sup>1</sup>,  
А.А.Воскобойник<sup>1</sup>, В.Г.Басовский<sup>1</sup>, А.В.Воскобойник<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт гидромеханики НАН Украины, Киев*

<sup>2</sup> *Миланский технический университет Politecnico di Milano, Италия*

, Представлены результаты экспериментальных исследований гидродинамического шума, который генерируется струйным течением через искусственный двустворчатый митральный клапан. Цель исследований – изучить посредством физического моделирования пространственно-временные характеристики течения через искусственный двустворчатый митральный клапан и гидродинамический шум, который это течение генерирует. Физическое моделирование проведено в лабораторных условиях на модели камеры предсердия и левого желудочка сердца. Из модели предсердия через механический двустворчатый митральный клапан вода с постоянной скоростью подавалась в модель камеры левого желудочка. В ходе экспериментов диапазон расходов воды изменялся от 5 до 20 л/мин. Группа датчиков абсолютного давления и датчиков пульсаций давления, объединенные в блок датчиков, регистрировала гидродинамический шум струй (боковой и центральной), вытекающих из открытого митрального клапана. Максимальный рост пульсаций давления наблюдается в ближнем следе митрального клапана вблизи центральной струи относительно пульсаций давления, которые измерены вблизи боковой струи. Уровни пульсаций давления вблизи центральной струи в области частот (12...15)Гц почти в два раза выше, чем вблизи боковой струи. В ближнем следе митрального клапана с увеличением расхода воды повышение спектральных уровней вблизи центральной струи наблюдается в диапазоне частот (60...80)Гц. При удалении от митрального клапана разница в спектральных уровнях пульсаций давления вблизи центральной и боковой струй уменьшается. Установлено, что спектральные плотности мощности пульсаций давления вблизи центральной и боковой струй возрастают с увеличением расхода жидкости и спектры пульсаций давления расширяются в область высоких частот. Обнаружено, что мелкомасштабные вихревые структуры, которые отрываются от лепестков митрального клапана и генерируют пульсации давления в диапазоне частот (20...70)Гц, на расстоянии более  $2.5d$  ниже открытого митрального клапана вырождаются.

## **ДО МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗРАЗКІВ ПІРСЬКИХ ПОРІД ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ**

**Р.А.Голяка, С.А.Попов**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Отримано амплітудно-частотну характеристику коливань зразка циліндричної форми. Результати співставленні з розрахунками в програмі ANSYS. За допомогою фігур Хладні перевірені форми симетричних коливань. Виділені п'ять мод, які можуть бути оптимально використані при розрахунках пружних параметрів.

## **РАССЕИВАНИЕ НОРМАЛЬНЫХ ВОЛН НА СТУПЕНЬКЕ ПРИ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЯХ УПРУГОГО ВОЛНОВОДА**

**Н.С.Городецкая, М.И.Сидько, Е.А.Ясинская**

*Институт гидромеханики НАН Украины, Киев*

Анализ закономерностей распространения упругих волн в волноводах является научным фундаментом для многих практических приложений в таких направлениях как дефектоскопия, неразрушающий контроль, акустоэлектроника. При этом в реальных устройствах типично использование нерегулярных волноводов. Нерегулярность может порождаться различными причинами, например, особенностями геометрии волновода (изменением его высоты), изменением физико-механических свойств по направлению распространения волны (стык волноводов с разными механическими характеристиками), изменением граничных условий, обусловленных появлением трещины. Для относительно низкочастотных процессов достоверные количественные оценки волнового поля можно получить в рамках упрощенных моделей стержней и пластин. Принято считать, что одномерное приближение справедливо, если поперечный размер волновода меньше трети длины волны. С ростом частоты усложняется пространственная структура бегущих волн. В формировании прошедшего и отраженного полей существенную роль начинают играть локализованные вблизи поверхности раздела неоднородные волны. Кроме того, для достоверного описания поля в области поверхности контакта необходимо учитывать характер локального поведения поля. Оба указанных фактора значительно усложняют задачу анализа волнового поля, особенно в ближней зоне (вблизи неоднородности). В данной работе учитываются оба указанных фактора – рассматривается относительно высокочастотный диапазон, а поле напряжений в точке смены типа граничных условий имеет степенную особенность – применительно к задаче распространения нормальных волн в ступенчатом упругом волноводе. Показана существенная частотная зависимость поля, рассеянного на ступеньке. При этом можно выделить два частотных диапазона, в которых наблюдается максимум энергии отраженного поля. Первый из них обусловлен появлением второй распространяющейся волны, а второй связан со значительным возбуждением неоднородных волн.

## ПОШИРЕННЯ ХВИЛЬ У СЕРЕДОВИЩІ З РІЗКОЮ ЗМІНОЮ МЕЖІ

Н.С.Городецька, Т.М.Миргородська, В.І.Нікішов

*Інститут гідромеханіки НАН України, Київ*

, Різкі зміни границі зумовлюють появу особливостей в поле швидкості при поширенні хвиль в суцільних середовищах, що призводить до суттєвих труднощів при побудові аналітичних розв'язків. При дослідженні поширення пружних і акустичних хвиль розроблено метод поліпшеної редукції, який дозволяє покращити якість отриманого розв'язку. У даній роботі цей метод розвинено для застосування в теорії поверхневих гравітаційних хвиль, які, на відміну від акустичних, є дисперсійними. У рамках моделі ідеальної нестисливої рідини розглянуто поширення поверхневих гравітаційних хвиль у каналі при стрибкоподібній зміні глибини, а також за наявності тонкого вертикального бар'єру. Через свою простоту і низьку собівартість, хвилеломи такого типу застосовуються досить часто і можуть бути складовою частиною більш складних гідротехнічних конструкцій. Для побудови розв'язків використовувався метод подання рішення у вигляді ряду за власними функціями задачі. На основі властивості ортогональності зазначених функцій задача зводилася до нескінченної системи алгебраїчних рівнянь, розв'язок якої знаходився за допомогою методу редукції. Асимптотичні властивості невідомих коефіцієнтів розвинення в ряд знаходились на основі виділення локальної особливості по швидкості в околі точки різкої зміни границі. Проведено аналіз замикання системи рівнянь. Показано, що застосування методу поліпшеної редукції призводить до зменшення об'єму розрахунків і підвищення якості отриманого розв'язку. Проведене порівняння з відомими результатами показало їх відповідність.

## СРАВНЕНИЕ ДВУХ ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ВОЛНОВЫХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ ЧАСТИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ОБЛАСТЕЙ

В.Т.Гринченко<sup>1</sup>, И.В.Вовк<sup>1</sup>, В.Т.Мацыпура<sup>2</sup>, Я.П.Троценко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Інститут гідромеханіки НАН України, Київ*

<sup>2</sup>*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

В работе дано описание двух подходов, позволяющих применить метод частичных областей, когда смежные частичные области пересекаются. Сравнение эффективности указанных подходов проводится на примере построения решения задачи о распространении плоской волны в круглом цилиндрическом волноводе со сферической полостью.



# ОСОБЕННОСТИ ЧАСТОТНЫХ СПЕКТРОВ ПЛАНАРНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАСТИН В ФОРМЕ ПАРАЛЛЕЛОГРАММА

В.Т.Гринченко<sup>1</sup>, П. Шакери Мобараке<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт гидромеханики НАН Украины, Киев*

<sup>2</sup>*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко*

Резонансные колебания пластин на сегодняшний день достаточно хорошо изучены. Однако при разработке современных MEMS-датчиков (таких как акселерометры, волновые твердотельные гироскопы или актуаторы для пьезоэлектрических двигателей) возникает необходимость поиска новых форм резонаторов, к тому же, оптимизированных к конкретному технологическому процессу. Особый интерес представляют пластинчатые резонаторы с изгибными и планарными модами колебаний, так как они хорошо поддаются планарной технологии. В данном сообщении рассматриваются особенности только планарных колебаний пластин, но с усложненными свойствами за счет незначительного изменения их геометрии от прямоугольной (например, в виде параллелограмма). Необходимо отметить, что, кроме исследований эволюции частотного спектра, нас также интересовал краевой резонанс, поскольку на острых углах можно ожидать интенсивных колебаний. Интересно было бы сопоставить интенсивность колебаний краев на краевой и других модах. В качестве образцов для исследований были выбраны пьезопластинки размером 45452.8 мм со сплошными электродами на больших гранях и толщиной поляризацией из керамики типа PZT-4. Из них при помощи тонких алмазных кругов вырезались пластинки требуемой формы. При этом контролировалась температура пластинки (реальный нагрев составлял не более 65°С градусов). Сначала были изготовлены прямоугольные пластинки с соотношением размеров 1 : 2 и 1 : 3, из которых вырезались пластинки в виде параллелограммов с углами  $\alpha = 10$  и 20°. Эти углы были выбраны из практических соображений – малые углы трудно изготовить, а большие сильно искажают частотный спектр и не позволяют установить корреляцию с прямоугольными пластинками. Для оценки степени сложности поставленных задач был проведен пробный эксперимент с квадратной пластинкой и такой же пластинкой в виде параллелограмма с углом  $\alpha = 10^\circ$ . Если ограничиться диапазоном исследуемых частот до 130 кГц, то здесь квадратная пластинка имеет 5 резонансов, а пластинка в виде параллелограмма – уже 20, причем половина из них – интенсивные. Диапазон исследуемых частот выбран исходя из возможностей визуализации форм колебаний (в том числе, при помощи порошковых фигур Хладни), а также из резонансных соображений, чтобы можно было фиксировать моды продольных колебаний пластин как и по длине, так и по ширине. Экспериментально установлено, что большинство форм колебаний связаны между собой. При незначительной расстройке от резонанса узловые линии могли значительно уходить или собираться в ограниченную область пластинки, где наблюдалось вращение частиц. Это резко усложняло визуализацию форм колебаний и их идентификацию. Значительный прогресс в этом вопросе был достигнут после получения форм колебаний при математическом моделировании (пакет ANSYS). С привлечением теоретико-экспериментальной методики исследований большинство форм колебаний удалось идентифицировать. Полученные результаты позволяют пра-

вильно провести анализ и правильно выбрать области закрепления пластин (по плоскости или по граням), разнести частоты, а также сравнить степень совпадения данных экспериментальных исследований и теоретических расчетов. Также установлено, что для выяснения особенностей краевой моды в таких пластинах понадобится дальнейшая корректировка постановочных экспериментов и расчетов.

## **ЕВОЛЮЦИЯ СТЕТОСКОПА: ДО 200-РІЧЧЯ СЛАВЕТНОГО ВИНАХОДУ**

**В.Т.Грінченко, В.Н.Олійник**

*Інститут гідромеханіки НАН України, Київ*

У доповіді викладено історію винайдення стетоскопа, який став одним з основних інструментів медика-діагноста для аускультатції та дослідження акустичних полів, породжених життєдіяльністю організму (зокрема, звуків дихання та серця). Простідовано ключові етапи еволюції стетоскопа від слухової трубки Лаеннека до сучасних зразків. Особливий акцент зроблено на розвитку електронних стетоскопів, які не тільки забезпечують підсилення й частотну фільтрацію сигналу, але й можуть включатись у сучасні телемедичні канали передачі діагностичних даних. Розглянуто перспективи використання електронних стетоскопів у комп'ютеризованих системах обробки аускультативних сигналів з метою виділення нових діагностичних параметрів на базі об'єктивних акустичних характеристик зареєстрованих звуків життєдіяльності.

## **СВОЙСТВА МЕХАНИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЭКРАНИРОВАННЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ КОМПЕНСИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ЭКРАНА**

**З.Т.Гусак**

*Государственное предприятие*

*“Киевский научно-исследовательский институт гидроприборов”, Киев*

На сегодняшний день широкое применение получили гидроакустические антенны, состоящие из цилиндрических пьезокерамических преобразователей силовой и компенсированной конструкций, размещенных в экранах. Одними из главных достоинств таких антенн является возможность получения необходимой формы диаграммы направленности, конструктивная простота и высокие эксплуатационные характеристики. Это определяет актуальность разработки подходов, которые позволят с заданной точностью провести расчет физических полей, существующих в антеннах указанного типа. Отсюда возникла необходимость решения задачи излучения цилиндрического пьезокерамического преобразователя компенсированной конструкции, размещенного в акустически мягком незамкнутом кольцевом

экране. Как соответствие указанной физической модели была построена математическая модель задачи излучения звука такой антенной. Задача решена методами связанных полей и частичных областей. Получены аналитические выражения, описывающие физические поля цилиндрического преобразователя с экраном (в частности, для акустомеханических величин). Эти поля представлены в виде разложений в ряды по волновым функциям круговой цилиндрической системы координат с неизвестными коэффициентами, определяемыми из граничных условий и условий сопряжения полей на границах раздела областей. Решение сведено к бесконечной системе линейных алгебраических уравнений. Представленная методика позволила провести расчет свойств механических полей цилиндрического преобразователя в экране. Сопоставительный анализ частотных свойств экранированных излучателей позволил выявить ряд тонких эффектов в формировании механических полей в зависимости от параметров компенсированного исполнения их конструкции и параметров экранов. Все они связаны с нарушением симметричности излучателя и возникновением в связи с этим дополнительных, более высоких, мод колебаний.

## ON MAXIMUM ENTROPY ESTIMATION OF CONFORMATIONAL LIFETIME DISTRIBUTION FROM ACOUSTIC SPECTRA OF PROTEIN SOLUTION

T.O.Hushcha<sup>1</sup>, N.M.Berezetska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry, NAS of Ukraine, Kyiv*

<sup>2</sup>*Institute of Physics, NAS of Ukraine, Kyiv*

Acoustic spectra of protein solutions comprise rich information on the internal dynamics of solvated globule in the entire sub-nanosecond to microsecond range. To extract this information investigators usually apply the least squares fit of the measured sound attenuation spectra to theoretical expression denoting a sum of a preassigned number of discrete relaxation terms. Such simple approach, in favorable cases, allows of retrieving kinetics of thermally driven transitions between protein conformational states. However, due to multiplicity of protein conformational states, the choice of the number of relaxation components is often complicated leading to ambiguity of the analysis results. The most justified way of a multicomponent spectral decomposition, which yields a unique solution, is based on a maximum entropy method (MEM). MEM has been already used successfully in a variety of fields, including radio astronomy, NMR, fluorescence, and ligand rebinding. In the present paper the MEM-assisted analysis has been first applied in acoustic spectroscopy of liquid systems. The sound attenuation spectrum of aqueous protein solution has been decomposed into discrete relaxation components attributed to various global and local conformational transitions of the globule. The values of the conformational lifetimes have shown good agreement with those obtained by optical spectroscopy methods.

# ОСОБЛИВОСТІ ПОШИРЕННЯ ПАЧКИ АКУСТИЧНИХ ІМПУЛЬСІВ У ПІДВОДНОМУ ЗВУКОВОМУ КАНАЛІ

В.С.Дідковський, Н.Д.Гладкіх, О.В.Коржик

*Національний технічний університет України "КПІ", Київ*

У роботі визначено характер спотворення компонент різночастотного імпульсного коду в підводному звуковому каналі. Отримано результати викривлення акустичного сигналу для системи три-частотного звукопідводного кодового зв'язку без урахування просторового загасання. Аналіз проведено для випадку поширення одномодового збудження у пласкому хвилеводі з акустично м'якими стінками. Встановлено й проілюстровано характер зміни просторово-часової структури інформаційного акустичного сигналу за рахунок дисперсії на різних відстанях поширення. Для аналізу ступеню затягування імпульсу використовувалося виділення обвідної сигналу за допомогою перетворення Гільберта. Показано, що при поширенні у хвилеводі імпульсних акустичних сигналів в них накопичуються характерні спотворення типу "розмиття" імпульсу в часі й просторі. Окрім того, з'являється частотно-залежна затримка енергонесучої частини, у порівнянні з поширенням імпульсного сигналу у вільному полі. Такі ефекти особливо сильно проявляються в області частот, близьких до критичної частоти хвилеводу, і мало впливають на сигнали, основна частота яких у три і більше разів перевищує критичну. Для системи різночастотного кодового гідроакустичного зв'язку це означає, що у тому випадку, коли низькочастотний символ коду випромінено перед високочастотним, можливе "стискання" кодової посилки, яке сильно спотворює сигнал, аж до втрати можливості його декодування. У протилежному випадку спостерігається розтягування кодової посилки настільки, що можливе прийняття хибного рішення про завершення сеансу зв'язку до його фактичного закінчення. Вказані ефекти не беруться до уваги при проведенні розрахунків з використанням наближень променевої акустики, що може суттєво погіршувати якість розробки систем звукопідводного зв'язку. Запропоновано ряд рекомендацій, які дозволяють мінімізувати вплив дисперсії у системах низькочастотного гідроакустичного зв'язку.

## НЕЛИНЕЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЛН В АКУСТИЧЕСКИХ ПУЧКАХ С ПОПЕРЕЧНЫМ ФАЗОВЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

Ю.М.Дудзинский, Н.В.Маничева

*Одесский национальный политехнический университет*

Рассматривается параметрический излучатель в виде антенны, по поверхности которой задано линейное фазовое распределение амплитуды. С использованием модели Хохлова-Заболотской получено аналитически решение, описывающее как ближнее, так и дальнее поле излучателя. Показано, что в ближнем поле можно увеличить амплитуду вторичной волны разностной частоты (т.е. КПД параметрической антенны) при определенном фазировании сигнала на излучающей поверхности. Также показано, что в ближней и прожекторной зоне угол поворота характеристики направленности параметрической антенны отличается от угла

фазирования первичных волн накачки на ее излучающей поверхности. Получено нелинейное соотношение между этими углами.

## ДІЯ АКУСТИЧНОГО ПОЛЯ НА СФЕРИЧНУ ТВЕРДУ ЧАСТИНКУ В ЦИЛІНДРІ, ЗАПОВНЕНОМУ РІДИНОЮ

О.П.Жук<sup>1</sup>, Я.О.Жук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Інститут механіки НАН України імені С.П.Тимошенка, Київ*

<sup>2</sup>*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Для твердого сферичного тіла, яке знаходиться в заповненій ідеальною стисливою рідиною циліндричній порожнині, розглядається задача про визначення дії на нього радіаційної сили, обумовленої радіаційним тиском акустичного поля. При формулюванні задачі в лагранжівій системі координат радіаційний тиск визначається як середнє в часі значення акустичного тиску на поверхню сферичного тіла. Такий підхід вимагає при обчисленні акустичного тиску враховувати величини другого порядку. Для визначення тиску з такою точністю можна обмежитися потенціалами поля швидкості, одержаними із розв'язків лінійної задачі дифракції. У зв'язку з цим в роботі запропонована наступна схема дослідження: на першому етапі визначаються потенціали поля швидкості рідини в порожнині з твердим сферичним тілом; на другому етапі обчислюється результуюча сила дії рідини на тіло; на третьому етапі осередненням в часі відфільтровується її стала складова. Задача першого етапу – задача визначення потенціалів поля швидкості рідини в порожнині – формулюється в лінійній постановці. При цьому складові загального розв'язку записуються в різних системах координат, зв'язаних з конкретними тілами – циліндром або сферою. Для того, щоб задовольнити відповідним граничним умовам, загальний потенціал необхідно записати у відповідній системі координат. Для цього використовують співвідношення, що дозволяють циліндричні хвильові функції виразити через сферичні і навпаки. Вимога задоволення граничних умов приводить до системи лінійних алгебраїчних рівнянь для коефіцієнтів даних розвинень. На другому етапі радіаційну силу, яка діє на сферичне тіло, обчислено шляхом осереднення в часі відповідної гідродинамічної сили. Третій етап – осереднення в часі – дає значення радіаційної сили, що діє на тверду частинку в акустичному полі. Аналіз чисельних результатів показав, що в залежності від частоти хвилі радіаційна сила може бути направлена як в напрямі поширення хвилі, так і в зворотньому напрямі; в околі деяких частот зміна величини радіаційної сили має характер, близький до резонансного: на графіках залежності радіаційної сили від частоти в околі цих частот з'являються максимуми.

# **ВТРАТИ ЕНЕРГІЇ В П'ЄЗОКЕРАМІЧНИХ РЕЗОНАТОРАХ І ЇХНІЙ ВПЛИВ НА ПОЗДОВЖНІ КОЛИВАННЯ ТОНКОГО СТЕРЖНЯ**

**В.Л.Карлаш**

*Інститут механіки імені С.П.Тимошенка НАН України, Київ*

На прикладі відомої задачі про вимушені поздовжні коливання тонкого п'єзокерамічного стержня із поперечною поляризацією досліджуються амплітудно-частотні та фазово-частотні залежності поблизу від резонансних і антирезонансних частот. Розрахунки амплітуд ведуться для компонентів повної провідності з урахуванням пружних, діелектричних і п'єзоелектричних втрат енергії, отриманих автором за допомогою опрацьованої ним ітераційної методики. Показано, зокрема, що АЧХ повної провідності та вхідного імпедансу в інтервалі резонансних – антирезонансних частот, а також фазові зсуви між вимірними спадами напруг на вході, на п'єзоелементі та навантажувальному резисторі не залежать від умов електричного навантаження. Щоб реалізувати режим заданої сталої миттєвої потужності необхідно збільшувати вхідну напругу і спад напруги на п'єзоелементі до (30...40) % в околі резонансу, а біля антирезонансу до кількох разів. В режимі заданого (сталого за амплітудою) спаду напруги на п'єзоелементі при наближенні до резонансу миттєва потужність зростає, а поблизу від антирезонансу – знижується. Навпаки, в режимі заданого (сталого за амплітудою) струму через п'єзоелемент при наближенні до резонансу миттєва потужність знижується, а поблизу від антирезонансу збільшується. Ця обставина може бути причиною нелінійності повної провідності в умовах великої вхідної потужності, а також неможливості забезпечити режим сталого струму на антирезонансі. Одержані результати добре узгоджуються із експериментальними даними.

# **ЛИНЕАРИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРУБОПРОВОДЕ С ЖИДКОСТЬЮ ПРИ ПРОДОЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЖЕНИЯХ**

**А.П.Коваленко**

*Інститут механіки імені С.П.Тимошенка НАН України, Київ*

Зачастую трубопроводные системы с жидкостью подвержены различного рода динамическим нагрузкам, в том числе и продольным (включая ударные). Это определяет актуальность исследования переходных процессов в таких системах. При определенных ограничениях трубопроводы можно рассматривать как полубесконечные цилиндрические оболочки с жидкостью. Математическое моделирование гидроупругих систем может снизить аварийность и позволит более тщательно учитывать взаимодействие их элементов при указанных нагрузениях. При этом необходимо построить механическую и математическую модели; выявить характерные параметры; разработать метод решения и исследовать влияние характерных величин на переходные процессы в системе. Зачастую исследование переходных процессов в трубопроводах с жидкостью сводится к поиску решений

сложных систем уравнений математической физики при определенных начальных и граничных условиях. При этом важно построение эффективных подходов к изучению переходных процессов при определенных ограничениях на систему. Вследствие сложности постановки начально-краевой задачи (в общем случае нелинейной) актуальным становится вопрос упрощения математической модели без существенной потери качества исследований. Цель работы – построение линеаризованной математической модели для исследования переходных процессов в механических системах цилиндрическая оболочка – жидкость при продольном динамическом нагружении. При этом линеаризованная математическая модель должна отображать все основные качества математической модели в нелинейной постановке.

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ МОДЕЛИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫХ СИГНАЛОВ**

**А.И.Красильников**

*Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев*

Проанализированы источники и особенности сигналов акустической эмиссии. Рассмотрена модель формирования акустико-эмиссионных сигналов. Обоснована целесообразность описания сигналов непрерывной и дискретной акустической эмиссии моделями пуассоновских импульсных процессов, которые отражают физику их возникновения. Проанализированы параметры моделей акустико-эмиссионных сигналов – форма и амплитуды единичных импульсов и среднее значение числа импульсов. Приведены общие выражения для нахождения вероятностных характеристик указанных сигналов, использование которых может повысить чувствительность и достоверность акустико-эмиссионных систем диагностики.

## **СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ УТЕЧКИ ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДЕ**

**А.И.Красильников<sup>1</sup>, В.С.Берегун<sup>2</sup>, Т.А.Полобюк<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев*

<sup>2</sup>*Национальный технический университет Украины “КПИ”, Киев*

Показано, что распределение акустических сигналов утечки жидкости в общем случае отличается от гауссовского. Обоснована целесообразность применения одномерных кумулянтных функций для анализа плотности вероятностей сигналов утечки. На установке для физического моделирования осуществлена имитация утечек жидкости в трубопроводе при различных параметрах – давлении в трубопроводе и диаметре течи. Проведено статистическое оценивание вероятностных характеристик полученных сигналов утечки – корреляционных функций, спектральных

плотностей, кумулянтных функций, плотностей вероятностей. Проанализирована связь между параметрами течи и вероятностными характеристиками сигналов утечки.

## **ОБ ОДНОМ НОВОМ СПОСОБЕ КОРРЕКТНОГО РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЛНОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ОБЛАСТЯХ С ПОДВИЖНЫМИ ГРАНИЦАМИ**

**В.С.Крутиков**

*Международный технологический университет “Николаевская политехника”,  
Николаев*

Методами обратных задач с учетом взаимодействия нелинейных аргументов впервые корректно (однозначно) получены функции управления волновыми процессами в областях с подвижными границами, с нелинейными условиями и подвижными границами, а также с нелинейными условиями на подвижных границах. Последние два случая – суть дважды нелинейные задачи. При этом величины начального радиуса и перемещений, законы изменения скорости могут быть произвольными. Законы же изменения скорости движения границ неизвестны и подлежат определению и могут быть нелинейными. Впервые в полном объеме разрешены проблемы корректности для волнового уравнения в областях с подвижными границами. Показано, что решения существуют, единственны и устойчивы.

## **БОКОВЕ ОПРОМІНЕННЯ М'ЯКОГО СКІНЧЕНОГО КОНУСА ПЛОСКОЮ АКУСТИЧНОЮ ХВИЛЕЮ**

**Д.Б.Куриляк, В.О.Лисечко**

*Фізико-механічний інститут імені Г.В.Карпенка НАН України, Львів*

Отримано розв'язок задачі дифракції плоскої акустичної хвилі на м'якому порожнистому конусі при боковому опроміненні. Задачу зведено до нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь (НСЛАР) другого роду методом розкладу потенціалу за власними функціями рівняння Гельмгольца в підобластях і застосуванням процедури аналітичної регуляризації. Отримана НСЛАР допускає розв'язок із заданою точністю. Наведені приклади числового моделювання. Розглянуто граничний перехід від конуса до диска.



# СПЕКТР ОБЪЕМНЫХ ВОЛН СДВИГА В РЕГУЛЯРНО-СЛОИСТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В.В.Левченко

*Институт механики имени С.П.Тимошенко НАН Украины, Киев*

Изучение закономерностей распространения волн в периодических структурах актуально как с точки зрения фундаментальных исследований, так и для практических приложений. Основными направлениями здесь были изучение структуры зон пропускания и условий существования объемных волн. Дисперсионные свойства и характер волновых форм исследовались лишь частично для минимального значения периода повторения поля, совпадающего с периодом структуры. Как известно периодическая среда обладает свойством трансляционной симметрии, что позволяет повторение поля с произвольным значением периода структуры. Проблема исследования спектра объемных волн в общем случае остается открытой. Поэтому в настоящей работе развита методика исследования волновых процессов в периодических структурах и выведены дисперсионные соотношения для волн сдвига при произвольном периоде повторения поля. Показано, что, за исключением границ зон пропускания, дисперсионные кривые для объемных волн сдвига совпадают с дисперсионными кривыми для нормальных волн сдвига в регулярно-слоистой пластине со свободными внешними границами. Установлено, что каждое из решений дисперсионных уравнений для объемных волн в общем случае может быть охарактеризовано тремя индексами  $(m; l; M)$ , где  $l$  – порядковый номер зоны пропускания при возрастании частоты от нуля,  $m$  – номер решения в выбранной зоне пропускания,  $M$  – число периодов структуры относительно которых рассматривается повторение поля. Соответственно, этими же индексами могут быть охарактеризованы и типы колебаний в периодической структуре. Отметим, что типы колебаний  $(m; l; M)$  и  $(rm; l; rM)$ , где  $r = 2, 3, \dots$  эквивалентны. Показано, что формы колебаний сильно зависимы от значения индекса  $l$ , а зависимости от индексов  $m$  и  $M$  выражены слабо.

# ГЕНЕРАЦИЯ ВVI-ШУМА ЛОПАСТЬЮ РОТОРА ВЕРТОЛЕТА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПРИСОЕДИНЕННОГО КОНЦЕВОГО ВИХРЯ

П.В.Лукьянов

*Национальный авиационный университет, Киев*

В работе в трехмерной нестационарной постановке, с учетом граничного условия на торцах лопасти ротора вертолета, поставлена и решена задача генерации шума взаимодействия лопасти и вихрей (ВVI-шума). Для этого предварительно были получены выражения для компонент индуктивной скорости течения, генерируемого вихрем Скулли, расположенным на внешнем конце вращающейся лопасти. На внутреннем (комлевом) конце лопасти ротора также учитывается слабая, по сравнению с концевым вихрем, индуктивная завихренность. Общая задача разделена на две части – аэродинамическую и акустическую. Аэродинамическая часть

задачи представляет собой замкнутую систему уравнений Эйлера и неразрывности для баротропного газа. Акустическая часть задачи состоит из системы двух уравнений для звукового потенциала и пульсаций плотности. Они с помощью разработанного численно-аналитического метода. Выполнен сравнительный анализ результатов численного расчета данной задачи с аналогичной задачей без учета концевых вихрей. В частности, обнаружено, что наличие концевых вихрей в модели делает излучаемое звуковое поле преимущественно шумом вихревого характера. Исходя из этого, он ниже по уровню шума в отсутствие концевых вихрей. При этом характерная составляющая на частоте 700 Гц выражена более отчетливо.

## ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ОБЪЕМНОГО РАССЕЯНИЯ ЗВУКА В ИНТЕНСИВНЫХ ГАЗОВЫХ ФАКЕЛАХ ПРИ МНОГОЧАСТОТНОМ ЗОНДИРОВАНИИ

**А.А.Любицкий, А.Е.Поединчук**

*Институт радиофизики и электроники  
имени А.Я.Усикова НАН Украины, Харьков*

Результаты натуральных гидроакустических исследований процессов дегазации дна морей и океанов показывают, что газовые факелы (ГФ) над метановыми сипами, как правило, формируются достаточно большим числом газовых пузырьков разных размеров, а обратное рассеяние звука в них носит некогерентный характер. Основной задачей дистанционной акустической диагностики таких факелов является определение потоков метана от дна, что требует сведений о функциях распределения пузырьков по размерам (РПП) над сипами *in situ*. Это приводит к необходимости использования многочастотных гидроакустических систем (ГАС) и решения обратной задачи рассеяния – восстановления РПП по данным измерений коэффициентов объемного рассеяния звука на дискретном множестве рабочих частот ГАС. В докладе представлены новый метод и численный алгоритм решения обратной задачи объемного рассеяния звука в интенсивных ГФ при многочастотном зондировании. Исходная обратная задача сведена к интегральному уравнению относительно неизвестной функции, область определения которой связана с диапазоном частот зондирующих сигналов. Интегральный оператор, задаваемый этим уравнением, близок по операторной норме к положительному оператору. Это позволило разработать специальную процедуру регуляризации уравнения и свести его к системе линейных алгебраических уравнений с положительной матрицей. Результаты численных экспериментов свидетельствуют об эффективности предложенного алгоритма решения обратной задачи и возможности восстановления РПП на ограниченном наборе частот зондирующих сигналов, допускающем практическую реализацию.

# О ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ГАЗОВЫХ ФАКЕЛОВ С ПОМОЩЬЮ ЭХОЛОТОВ С РАСЩЕПЛЕННЫМ ЛУЧОМ

А.А.Любицкий<sup>1</sup>, А.В.Омельченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт радиофизики и электроники  
имени А.Я.Усикова НАН Украины, Харьков*

<sup>2</sup> *Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

Первоочередной задачей изучения активной газоотдачи морского дна является поиск и картирование газовых факелов (ГФ). При этом, координаты газовыделяющих источников (метановых сипов) обычно определяются по данным приемника GPS, установленного вблизи антенны эхолота. В случае расположения сипов на значительных глубинах, когда размер “озвученного” пятна на дне существенно превышает (в плане) размер газовыделяющей площадки и ошибки GPS, действительные координаты сипа могут значительно отличаться от выходных данных навигационной системы. Они могут быть уточнены по данным измерений фазовых углов на цель с помощью антенных систем типа “расщепленный луч” (split-beam), широко используемых в промышленной акустике для корректных измерений силы цели рыб, независимо от их положения в луче. Однако погрешности такой коррекции и основные причины возникновения ошибок не исследованы. В работе представлена имитационная модель объемного рассеяния звука в ГФ, учитывающая распределение газовых пузырьков по размерам и скоростям их всплытия. Методом численного моделирования оценена потенциальная точность определения координат газовыделяющих источников по фазовым характеристикам эхо-сигналов с использованием антенны типа “расщепленный луч”. Установлено, что основными параметрами, определяющими СКО оценок координат сипов являются размеры факела, отношение сигнал/шум и объемы выборок. Получены зависимости СКО от определяющих параметров. Показано, что медианная обработка данных обеспечивает в большинстве случаев более высокую точность определения координат газовыделяющих источников и может быть рекомендована для оценок их координат в натуральных условиях.

## ІНФРАЗВУК В АТМОСФЕРІ ВІД КОСМІЧНИХ І ЗЕМНИХ ДЖЕРЕЛ

О.І.Лящук, Є.В.Карягін

*Головний Центр спеціального контролю  
Національного центру управління та випробування космічних засобів  
Державного космічного агентства України, Київ*

Головним центром спеціального контролю НЦУВКЗ ДКА України за допомогою технічних засобів, розташованих в Україні та Антарктиці, проводиться комплексний безперервний моніторинг геофізичних полів. Зокрема, цей моніторинг направлений на вивчення проблеми переносу енергії в геофізичних оболонках. Реєстрація таких явищ як землетруси, цунамі, урагани, геомагнітні бурі, вибухи метеоритів ведеться із залученням інфразвукових засобів. Саме інфразвук виступає

тут як сполучна ланка між космічними й земними процесами. Існуюча в Україні мережа інфра звукових спостережень інтегрована до європейських та світових мереж, що дає можливість спостерігати відгуки наведених явищ по всьому світу. До того ж довгострокові дослідження динаміки атмосфери інфра звуковими засобами дають додаткові можливості для моніторингу клімату, що вже реалізується у практичні проекти. У доповіді представлені матеріали реєстрації вибухів метеоритів, що відбулися останнім часом як у світі, так і над територією, прилеглою до України. Наведено приклади реєстрації інфра звукових хвиль від землетрусів і показано можливість застосування інфра звуку для раннього попередження про цунамі.

## **ИНЕРЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ МЕЖСТРУЙНОЙ ОБЛАСТИ ПРОТИВОТОЧНОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ**

**Т.В.Макарова, А.В.Жукова, Ю.М.Дудзинский**

*Одесский национальный политехнический университет*

Струйные гидродинамические излучатели (ГДИ) представляют собой устройства, в которых часть кинетической энергии затопленной струи преобразуется в энергию пульсаций внутренней межструйной кавитационной области, заполненной двухфазной средой, и в энергию колебательного движения затопленной струйной оболочки, что приводит к возникновению тонального акустического сигнала высокой интенсивности. Для полного описания механизма звукообразования в ГДИ недостаточно существующих моделей струйных оболочек, необходимо исследование межструйной области как единого целого - объема, пульсирующего в жидкой среде, с учетом его упругих и инерционных свойств. В работе предложена упрощенная сферическая модель пульсирующей межструйной области струйного ГДИ противоточного типа в двух модификациях: с учетом объема, занятого вытекающей из сопла струей, и без. Определены характерные размеры и пространственные ограничения для модификаций модели пульсирующей области (пульсатора). Предложен подход, позволяющий учитывать влияние сил реактивного массового сопротивления колебаниям материальных объектов с различной геометрией в жидкости. Получены выражения для собственной массы, присоединенной массы и соответствующей совокупной массы, а также зависимости массовых соотношений от характерного размера пульсатора (радиуса). Показано, что преобладающую роль играет именно присоединенная масса, которая почти в 6 раз больше собственной массы. Учет центрального осевого канала, занятого струей из сопла, увеличивает вклад присоединенной массы в объединенную массу пульсатора. Влияние присоединенной массы усиливается при увеличении газосодержания двухфазной среды. Значения объединенной массы пульсирующей области в разных модификациях рассмотренной модели близки между собой из-за взаимной компенсации двух факторов - роста присоединенной массы пульсатора и уменьшения его собственной массы при сравнительно малых объемах сферы. Рассмотрение массовых соотношений может быть проведено подобным образом для иных моделей с учетом их

геометрических особенностей, что дает основание учитывать (или не учитывать) влияние сил массового реактивного сопротивления на колебания данного материального объекта в жидкости в каждом конкретном случае.

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ КОЛИВАНЬ БАГАТО-ЛАНЦЮГОВИХ ПЛОТИКІВ**

**І.М.Мартиновський, А.М.Сердюченко**

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв*

Розроблено і реалізовано математичну модель розрахунку навантажень та динаміки коливань багато-ланцюгових плотів, що реагують на зміну профілю вітрових морських хвиль на воді. Розроблено принципову схему роботи пристрою, визначено його кінематику руху, підготовлено геометрію поверхні хвильового перетворювача енергії (ХвПЕ) для комп'ютерного розрахунку. При визначенні гідромеханічних навантажень на плотики обчислювались дві категорії сил – сили Крилова – Фруда, пов'язані з незбуреним полем тиску у хвилях, і сили Хаскінда – Ньюмана, що враховують збурення у полі тиску при роботі ХвПЕ. Рівняння коливань чисельно інтегрувались методом Адамса – Башфорта. В отриманій моделі передбачено й реалізовано можливість налаштувати режими хвилеутворення, змінювати загальну кількість та характеристики плотів. Результати порівнянь та якісний аналіз результатів розрахунку динаміки коливань з подібним реально існуючим пристроєм – ХвПЕ Pelamis, свідчать про адекватність отриманої моделі й можливість подальшого її використання в чисельному аналізі енергетичних показників і визначенні оптимальних режимів роботи, комбінацій схем, тощо, у певних районах морів та океанів (зокрема, у районах Чорного й Азовського морів).

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ПЛАНАРНЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ АНТЕНН, ОБРАЗОВАННЫХ ИЗ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ С РАДИАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ**

**А.И. Нижник**

*Государственное предприятие  
“Киевский научно-исследовательский институт гидроприборов”, Киев*

Методом связанных полей в многосвязных областях решена задача излучения звука планарной антенной решеткой, образованной из цилиндрических пьезокерамических излучателей силовой и компенсированной конструкций с радиальной поляризацией. При этом учитывалось взаимодействие электрических, механических и звуковых полей в процессе преобразования электрической энергии в акустическую и взаимодействия излучателей по звуковому полю, обусловленное многократным рассеянием волн на элементах решетки. проведена физическая и математическая

постановка задачі. Получены аналитические выражения, позволяющие выполнять расчеты параметров всех физических полей, участвующих в работе антенны. При расчетах учтены конструктивные и геометрические особенности рассматриваемой антенны. Полученные соотношения, позволяют учесть указанные виды взаимодействия и выполнить расчеты количественных характеристик всех необходимых разработчикам параметров планарных решеток при их проектировании с учетом реальных физических особенностей их работы. В частности, могут быть найдены частотные зависимости тока и напряжения на входе преобразователей; смещения и колебательные скорости на поверхности излучателей; звуковое давление, формируемое в ближнем и дальнем поле как антенной решеткой в целом, так и ее элементами, акустические импедансы системы, характеристики направленности антенной решетки в целом и ее элементов в частности.

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА “KERN-DP” ОБРОБКИ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ АНІЗОТРОПІЇ ШВИДКОСТЕЙ

А.П.Онанко, В.О.Андрущенко, Г.Т.Продайвода, Ю.А.Онанко

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Автоматизована система (АС) “KERN-DP”, алгоритм та програмне забезпечення якої розроблено з використанням мови програмування Delphi 7, за допомогою зовнішнього OLE 2.0 – сервера використовує програму Surfer 10 для чисельного та графічного аналізу і візуалізації в автоматичному режимі даних ультразвукових вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль для експрес-обробки експериментальних значень фазових швидкостей квазіповздовжньої  $V_P$ , “швидкої”  $V_{S1}$  і “повільної”  $V_{S2}$  квазіпоперечних хвиль інваріантно-поляризаційним методом. АС “KERN-DP” на використовує текстовий процесор Word 2007 формування звітних файлів з результатами розрахунків пружних постійних  $C_{ijkl}$ , експериментальних і урівноважених значень фазових швидкостей квазіповздовжньої  $V_P$ , “швидкої”  $V_{S1}$  й “повільної”  $V_{S2}$  квазіпоперечних хвиль. Апробація програмного комплексу виявила перспективні можливості запропонованого геоінформаційного методу інтерпретації акустичних даних при оцінці тріщинуватості. Значної перевагою АС є незалежність точності розрахунків від напрямку хвильової нормалі  $\vec{n}$ . Розроблена АС “KERN-DP” відповідає вимогам до сучасних програмних комплексів, систем керування базами даних і використовує всю потужність сучасних персональних комп’ютерів, включаючи багатоядерні й багатопроцесорні системи та 64-бітні системи. Мовою muSQL створено структуру бази даних для інформації про фізичні властивості, розроблені спеціальні процедури керування даними. Всі результати розрахунків, які проводяться АС “KERN-DP”, записуються в базу даних в автоматичному режимі. При цьому можливість внесення оператором некоректних даних в ручному режимі виключається. Інтегральний коефіцієнт пружної анізотропії  $\bar{A}_\mu$  і кут поляризації – відхилення вектора пружних зміщень  $\vec{U}$  від напрямку хвильової нормалі  $\vec{n}$   $\phi_P = (\vec{U}, \vec{n})$  є найбільш чутливими характеристиками анізотропії і свідчать про неоднорідну деформацію  $\epsilon$  при гідростатичному стиску  $P$ . Модуль пружності  $E$ , коефіцієнт Пуассона

$\mu = 0.5[1 + (1 - (V_P/V_S)^2)^{-1}]$ , внутрішнє тертя  $Q^{-1} = \ln(A_1/A_2)/\pi$ , коефіцієнт затухання УЗ  $\alpha = \lg(A_0/A_1)/h$  залежать від колекторської властивості – коефіцієнта відкритої пористості  $K_{пв} = V_{пв}/V$ , текстури, мікротріщиноутворення, анізотропії.

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА “KERN-DP” ОБРОБКИ ДАНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ АНІЗОТРОПІЇ ТА АКУСТИЧНА ЕМІСІЯ

А.П.Онанко, В.О.Андрущенко, Г.Т.Продайвода, Ю.А.Онанко

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Розроблено програму і алгоритм, які дозволяють у автоматизованому режимі проводити аналіз параметрів анізотропії пружних хвиль. Автоматизована система (АС) обробки даних ультразвукових вимірювань анізотропії швидкостей побудована за віконним принципом. Обчислення урівноважених швидкостей об’ємних пружних хвиль, значень акустичного тензора  $\mu^*(\vec{n}) = \mu_{ii}^* n_i n_i = (v_1^{*2} + v_2^{*2} + v_3^{*2})$  в робочій системі координат, власних значень і їх довірчих границь та власних напрямків детермінованої складової акустичного тензора  $\langle \mu_{il} \rangle$  зразків, а також початкових наближень для пружних сталей  $C_{ijkl}$  здійснено за програмою розрахунків акустичних констант “KERN-DP”. Для цього використовувались дані експериментальних вимірювань фазових швидкостей квазіповздовжньої ( $V_P$ ), “повільної” ( $V_{S2}$ ) і “швидкої” ( $V_{S1}$ ) квазіпоперечних хвиль та густина зразка  $\rho$ . За цими результатами було розраховано параметри акустичної лінійності  $L_a$  і сланцюватості  $S_a$ , а також визначено тип симетрії  $N$  текстури акустичного тензора  $\langle \mu_{il} \rangle$ . Розрахунків пружних сталей  $C_{ijkl}$  було проведено з використанням програми “KERN-DP”. При цьому в якості вихідних даних використано файли урівноважених швидкостей квазіповздовжньої ( $\bar{V}_P$ ) і квазіпоперечних хвиль ( $\bar{V}_{S1}$  і  $\bar{V}_{S2}$ ), акустичних констант ( $\mu_{il}$ ) і початкових наближень пружних сталей ( $C_{0ijkl}$ ). За результатами обчислень для кожного зразку було сформовано матрицю пружних сталей  $|C_{ijkl}|$  з урахуванням флуктуаційної складової та здійснено перевірку гіпотези значимості відхилення пружних сталей від нуля:  $C_{ijkl} \neq 0$ . Розроблено методику визначення природи тріщинуватості за даними акустичної емісії, а також методику визначення функції розподілу орієнтації мікротріщин за даними азимутальних спостережень швидкостей об’ємних пружних хвиль. Об’єктивною кількісною мірою акустичної і пружної анізотропії є диференціальний  $A_d$  і інтегральний  $A_\mu$  коефіцієнти анізотропії середовища.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗБУЖДЕНИЯ ВОЛН ЛЭМБА СИСТЕМОЙ ОБЪЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ НАГРУЗОК

О.Н.Петрищев, А.Н.Михеева

*Национальный технический университет Украины “КПИ”, Киев*

Обсуждаются результаты модельных исследований общего решения задачи о возбуждении радиально распространяющихся волн Лэмба системой объемных и поверхностных нагрузок. В случае, когда возбуждение нормальных волн осуществляется нитевидным вертикально расположенным радиально пульсирующим источником, длина которого равна толщине упругого слоя, возбуждаются исключительно симметричные волны Лэмба. Показано, что энергоемкость распространяющихся симметричных волн Лэмба полностью определяется их кинематическими характеристиками. Частотный интервал, в котором распространяющаяся симметричная волна является доминирующей по уровню переносимой энергии, локализован в окрестности частоты точки пересечения ветви действительных волновых чисел  $\gamma$  данной моды с прямой  $\gamma = k_\ell$ , где  $k_\ell$  волновое число продольной волны в материале упругого слоя. В качественном смысле этот вывод полностью совпадает с результатами, полученными П.Торвиком при решении задачи о возбуждении симметричных волн Лэмба с торца упругой полуполосы. При возбуждении волн Лэмба с поверхности упругого слоя рассматриваются две ситуации – двухстороннее и одностороннее приложение внешних сил. Когда внешние силы прикладываются к верхней и нижней поверхности упругого слоя, соответствующим выбором их ориентации можно инициировать возбуждение либо симметричных, либо антисимметричных волн Лэмба. Естественно, что имеется возможность одновременного возбуждения волн Лэмба с обоими типами симметрии относительно срединной плоскости упругого слоя. Во всех этих случаях амплитуды возбуждаемых волн зависят, с одной стороны, от волновых размеров площадки нагружения, а с другой, – от уровней соответствующих компонентов тензора деформации на поверхности упругого слоя. При одностороннем приложении внешних сил всегда возбуждается совокупность симметричных и антисимметричных волн Лэмба. Показано, что при малых относительно толщины упругого слоя размерах площадки нагружения наиболее эффективно возбуждаются в достаточно широком диапазоне частот две первых (симметричная и антисимметричная) волны Лэмба. Радикально отличаясь по кинематическим характеристикам в области низких частот, на высоких частотах они имеют практически одинаковые фазовые и групповые скорости и отличаются лишь знаками распределения компонентов векторов смещения материальных частиц по толщине упругого слоя. Результатом алгебраического сложения этих волн является поверхностная волна Рэлея, которая существует на поверхности приложения внешних сил. Именно волна Рэлея выступает в роли основного переносчика энергии из области приложения внешних сил на периферию упругого слоя. В процессе переноса энергии высшие моды играют второстепенную роль.



# **О ВОСПРИЯТИИ ИСКАЖЕНИЙ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ ФАЗОВОЙ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ**

**А.Н.Продеус**

*Национальный технический университет Украины “КПИ”, Киев*

Работ, посвященных исследованию восприятия слуховой системой человека искажений, обусловленных нелинейностью фазовой частотной характеристики (ФЧХ) системы, немного. В частности, известно, что удобной мерой нелинейности фазы является степень неравномерности группового времени задержки. Чувствительность слуховой системы человека к неравномерности группового времени задержки исследована на сегодняшний день применительно к тестовым сигналам в виде очень коротких, протяженностью 25 мкс, импульсов (либо небольших их серий). При этом показано, что искажения сигнала на слух не воспринимаются, если неравномерность группового времени задержки не превышает (1...3) мс. Для тренированного слуха этот порог снижается до 400 мкс. При использовании речевых и музыкальных сигналов фазовые искажения менее заметны, однако, к сожалению, соответствующие пороговые значения неравномерности групповой задержки не определялись. Между тем, для практических целей наибольший интерес представляют именно речевые и музыкальные сигналы. Цель данной работы состояла в восполнении указанного пробела. Качество речевых и музыкальных сигналов оценивалось как субъективно, т.е. на слух, так и с использованием объективных мер качества: сегментного отношения сигнал-шум (Segmental Signal to Noise Ratio – SSNR), логарифмически-спектральных искажений (Logarithmic Spectral Distortion – LSD), барк-спектральных искажений (Bark Spectral Distortion – BSD) и перцептуального качества речи (Perceptual Evaluation of Speech Quality – PESQ). Показано, что для слуховой системы человека приемлемыми являются фазовые искажения речевых сигналов, при которых максимальная разница групповых времен задержки в области высоких и низких частот не превышает 50 мс. Фазовые искажения музыкальных сигналов практически не ощутимы, если максимальная разница групповых времен задержки в области высоких и низких частот не превышает 70 мс.

## **СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕНСОРОВ И АКТУАТОРОВ ДЛЯ ДЕМПФИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПЛАСТИН**

**Е.В.Пятецкая**

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко*

Проведен анализ влияния коэффициента обратной связи на демпфирование изгибных колебаний тонких прямоугольных пластин при помощи совместного использования сенсоров и актуаторов.

# АКУСТИЧНА ДІЯ НА СТАДІЇ ПРОБОПІДГОТОВКИ ГЕОЛОГІЧНИХ ЗРАЗКІВ, ЩО МІСТЯТЬ ЗОЛОТО ТА СРІБЛО

Н.М.Смітюк

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара*

Для розвитку та формування аналітичної бази на родовищах та золотопереробних комбінатах України, яка б могла задовольняти вимогам щодо аналізу сировини й готової продукції, необхідно розробляти й впроваджувати досить чутливі та експресні методики аналізу. Геологічні зразки мають складний матричний склад, благородні елементи містяться у незначних кількостях (у порівнянні з основними). Присутність великої кількості силікатів і сірки у зразках утруднює процес їх розкладання й отримання аналітичного сигналу благородних металів. Одним з поширених методів розкладання геологічних зразків є кип'ятіння з кислотами. Тому для сульфідно-кварцових зразків розкладання проб краще проводити в присутності флуоридної кислоти або при високих тисках, що не завжди можливо і призводить до ускладнення аналітичного процесу. Використання ультразвуку при розкладанні геологічних зразків може дозволити задовольнити потреби, які висуває практика. У результаті виникнення кавітації в гетерогенній системі спостерігається прискорення протікання хімічних реакцій, які неможливі в інших випадках. Під дією ультразвуку відбувається збільшення швидкості хімічних реакцій у кілька разів, одночасно зростає і ступінь вилучення елементів. Показано, що використання ультразвуку на стадії пробопідготовки сульфідних і сульфідно-кварцових руд при визначенні вмісту благородних металів значно прискорює процес розкладання й підвищує ступінь вилучення елементів. Встановлено, що при визначенні вмісту золота та срібла в геологічних концентратах оптимальними параметрами ультразвукового впливу є частота 22 кГц, інтенсивність 3.88 Вт/см<sup>2</sup> і час обробки 5 хв. Визначені константи швидкості розчинення та максимальний ступінь вилучення благородних металів в розчині ЦВ різного розбавлення, підібраний оптимальний розчинник (ЦВ конц.) для вилучення благородних металів в розчин при проведенні аналізу з ультразвуковою обробкою геологічних зразків.

## МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ ЗАПУСКАХ РАКЕТ

Г.И.Сокол

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

При движении ракеты в атмосфере после ее запуска возникают разнообразные по характеру излучения и мощности акустические поля. Одним из актуальнейших исследований здесь является проведение анализа и оценки уровней инфразвукового излучения, его влияния на здоровье населения близлежащих населенных пунктов и обслуживающего персонала космодромов. Поэтому необходимо выявить особенности и определить направления исследований акустического излучения на основе существующих представлений о генерировании, распространении и воздействии

инфразвука. Методология исследований акустического излучения при движении ракеты включает выявление первичных источников акустических колебаний (т.е. колебаний от работающей двигательной установки, колеблющейся под действием вибраций оболочки корпуса, турбулентных вихрей в потоке, обтекающего корпус). Важно также выявление вторичных источников акустических колебаний, возникающих вследствие отражения первичных колебаний от столкновения с преградами, например, типа поверхности стартового стола. Необходимо разработать физические модели акустических полей, зависящих прежде всего от определения типа акустических источников. Это модели, основывающиеся на концепциях:

- точечного излучения (монополей);
- акустических полей, генерируемых в среде при силовом воздействии на жесткую поверхность и характеризующихся потенциалом Лэмба;
- акустического излучения и полей при колебаниях пластин и оболочек различной формы, протяженности и площади;
- акустического излучения при взаимодействии подвижной среды с твердыми телами;
- акустических излучений при истекании струй из сопел;
- возбуждения и распространения акустических колебаний внутри газовых и жидкостных полостей с учетом особенностей конструктивных схем исполнения оболочек, выявление резонансов;
- монохроматического и импульсного излучения.

Далее следует создание математических моделей, предназначенных для расчета характеристик акустических полей. Математические зависимости позволят провести анализ взаимосвязи энергетических характеристик источников акустического излучения с характеристиками их акустических полей. Важен также расчет амплитудно-частотной характеристики акустического излучения. Существует необходимость в экспериментальной проверке, разработке программ и методик для проведения измерений характеристик акустических колебаний. При этом должен быть составлен перечень оборудования, необходимого для проведения измерений акустических характеристик (приборы, схемы, оснастка). В результате физического и математического анализа источников акустических колебаний возможна разработка активных и пассивных методов их гашения, а также выдача соответствующих практических рекомендаций.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ПУЛЬСИРУЮЩИХ ВОЗДУШНОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**Г.И.Сокол, С.Ю. Кириченко**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

Необходимость использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в экономике развитых стран обусловлена не только ограниченными запасами полезных

ископаемых, но и требованиями уменьшения выбросов в атмосферу парниковых газов. Использование ВИЭ не сопровождается эмиссией  $\text{CO}_2$ , что в перспективе позволит глобально понизить масштабы выбросов этого газа. Однако при разработке ветроэнергетических установок (ВЭУ) должна решаться проблема обеспечения низких уровней интенсивности шумов и защиты окружающей среды от шумового загрязнения. Проблемой современного двигателестроения в авиационной и ракетной техниках является исследование взаимосвязи характеристик процессов горения, смещения, истечения, конструктивных параметров двигателей и шума в окружающей среде, характеризующегося величиной звукового давления и частотным диапазоном отдельных гармоник. Актуальность решения проблемы о механизме возникновения шумов при работе двигательных установок (ДУ) состоит в том, что в настоящее время мощность двигателей значительно возросла. Необходимость исследования спектрального состава шумов, особенно вклада низкочастотных составляющих, обусловлена вредным физическим и психологическим действием на людей, здания и сооружения. На основе изложенной теории можно сделать вывод, что шум ДУ зависит от пары компонентов топлива, их расхода, коэффициентов соотношения компонентов, качества рабочего процесса в камере сгорания и ее конструктивных данных, скорости истечения продуктов сгорания на срезе сопла. Амплитуда составляющих спектра сильно зависит от пары компонентов топлива, на которых работает ДУ.

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ АНТЕНН С ЭКРАНОМ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ С РАДИАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ**

**Я.И.Старовойт**

*Государственное предприятие*

*“Киевский научно-исследовательский институт гидроприборов”, Киев*

Широкая область практического использования цилиндрических гидроакустических антенн в корабельной гидроакустике обусловила необходимость разработки методов расчета их параметров и исследования свойств антенн. Гидроакустические антенны характеризуются тем, что они не только формируют распределение акустического поля в окружающем пространстве, но и осуществляют преобразование одного вида энергии в другой (например, электрической энергии в акустическую в режиме излучения). Процесс преобразования энергии обуславливает необходимость учета при разработке антенн еще одного вида взаимодействия, а именно, взаимодействия электрических, механических и акустических полей. Однако на сегодняшний день в такой постановке задачи не рассматривались. Методом связанных полей в многосвязных областях решена задача об излучении звука круговой цилиндрической гидроакустической антенной, образованной из конечного числа цилиндрических пьезокерамических преобразователей силовой или компенсированной конструкций и цилиндрического акустического экрана, расположенного во внутренней полости антенны. Каждый из преобразователей представляет

собой протяженную герметизированную пьезокерамическую оболочку, внутренняя полость которой вакуумирована или заполнена воздухом (силовые конструкции) или содержит жидкость (компенсированные конструкции). Пьезокерамические оболочки имеют радиальную поляризацию. Акустический экран выполнен в виде цилиндрической оболочки, облицованной акустически мягким материалом. Решение задачи сведено к бесконечной линейной системе алгебраических уравнений, которая является исходной для получения количественных данных о физических полях круговых цилиндрических антенн с экраном и их элементов.

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ ГИБРИДНЫХ ВОЛНОВЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ И МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ**

**И.А.Улитко<sup>1</sup>, В.А.Андрущенко<sup>1</sup>, В.Г.Бугрий<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко*

<sup>2</sup>*“Надра – Интегрированные Решения”, Киев*

Для последнего десятилетия характерно развитие научно-технических направлений, связанных с разработкой инерциальных приборов контроля параметров движения. Современные тенденции в области создания гироскопических приборов и систем условно можно разделить на два направления. Первое из них предусматривает совершенствование технологий производства традиционных электро-механических приборов и методов обработки полученной информации, а второе ориентировано на минимизацию чувствительных элементов путем применения микро-, нанотехнологий и построения датчиков с использованием новых физических эффектов. Состояние гироскопической отрасли позволяет создавать навигационные приборы на основе разнообразных датчиков угловых скоростей и ускорений: динамически настраиваемых (ДНГ); волновых твердотельных (ВТГ); волоконно-оптических (ВОГ); роторных механических (РМГ); лазерных (ЛГ); микромеханических (MEMS) и других. В докладе рассматриваются особенности и отличия конструктивных типов современных датчиков угловых скоростей – волнового твердотельного и микромеханических гироскопов. Проанализированы требования к характеристикам гироскопических датчиков в разных отраслях науки и производства. Приведены примеры практической производственной реализации названных приборов зарубежными и отечественными производителями. Изложена авторская точка зрения на проблему дальнейшего развития гироскопической аппаратуры, предложена концепция создания пластинчатого гироскопа.

# ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КОНТРОЛЯ ОСТЕОИНТЕГРАЦИИ ЗУБНЫХ ИМПЛАНТОВ

Ю.В.Чесский<sup>1</sup>, Т.Ю.Ческая<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Одесский национальный политехнический университет*

<sup>2</sup> *Одесский государственный экологический университет*

Титановые импланты широко используются в зубоортопедической практике для восполнения отсутствующих зубов, а также для укрепления на них протезов у пациентов. Необходимо контролировать образование костной ткани вокруг части импланта, внедренного в челюсть, и его “приживаемость”, т.е. остеоинтеграцию. Для этой цели был использован электроакустический пьезокерамический преобразователь, работающий на изгибной моде колебаний. Описаны конструкция преобразователя и методика расчета его резонансной частоты. Приведены экспериментальные результаты исследования.

## ВІРТУАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ РІВНІВ ОТОЧУЮЧИХ АКУСТИЧНИХ ШУМІВ

Е.С.Швец, О.В.Коржик

*Національний технічний університет України “КПІ”, Київ*

У програмному середовищі LabView створені спектроаналізатори паралельного типу та описаний принцип їхньої дії. Розробка програми в LabView відбувається одночасно у двох вікнах: “блок-діаграма” та “лицьова панель”. На лицьовій панелі (англ. Front Panel) створюється графічний інтерфейс програми і паралельно ведеться його зв'язка з власне програмою, яка створюється за допомогою спеціальних блоків. Таким чином, графічний код програми має вигляд блок-діаграми. Виконання програми у LabView визначається структурою блок-діаграми, при створенні якої з'єднуються різноманітні вузли-функції, створюється лінія-провід і як результат організовується потік даних. Таким чином, виконання програми на непов'язаних один з одним вузлах може відбуватися паралельно. При розробці програми в LabView створено графічний інтерфейс, представлений на лицьовій панелі. Програма в LabView фактично є віртуальним інструментом (англ. Virtual Instrument). Елементи керування та індикатори на лицьовій панелі дозволяють оператору здійснювати ввід/вивід даних при роботі з віртуальним інструментом. Використання фільтрів відбувається за принципом широкосмугового аналізу із застосуванням октавних, напівоктавних та третиннооктавних смуг у межах основного діапазону частот. Основні значення граничних та центральних частот зазначених смуг фільтрів відповідають ГОСТ 12090-80 “Частоты для акустических измерений. Предпочтительные ряды”. З використанням програмного середовища пакету LabView виконано задача програмування та візуального відтворення спектроаналізатора паралельного типу із вказаними смугами. Організовано та проведено калібрування за тональним та шумовим сигналами. Програмний продукт містить основні компоненти аналогового спектроаналізатора Brüel & Kjær з доопрацюванням у частині калібрування та вимірювання. Даний програмний продукт є базовим при визначенні спектральних рівнів, що оточують ненапрявлений мікрофон.



“КОНСОНАНС-2015”  
АКУСТИЧНИЙ СИМПОЗИУМ  
ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

Надруковано в Інституті гідромеханіки НАН України  
Наклад 100 примірників  
Підписано до друку 23.09.2015

“КОНСОНАНС-2015”  
АКУСТИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ  
ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Напечатано в Институте гидромеханики НАН Украины  
Тираж 100 экземпляров  
Подписано к печати 23.09.2015