

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Інституту механіки

НАН України

(посада)

академік НАН України



О.М.Гузь

О.М.Гузь

(підпис)

М.П.

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок

Дифракційні процеси і радіаційні сили в обмежених гідропружних системах
(назва Проєкту)

Назва конкурсу: « Підтримка досліджень провідних та молодих учених »

Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0112

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок

2020.02/0112 Дифракційні процеси і радіаційні сили в обмежених гідро- пружних системах
(реєстраційний номер та назва Проєкту)

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу « Підтримка досліджень провідних та молодих учених »
(назва конкурсу)

протокол від «16 – 17» вересня 2020 року № 21

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту

Початок 06.11.2020 р. (дата укладання Договору про виконання наукових досліджень і розробок);

Закінчення – 31.12.2022 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 7 770,59 тис. грн

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 340,59 тис. грн.

2-й рік 3715 тис. грн.

3-й рік 3715 тис. грн.

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту залучено 6 виконавців, з них:

Головний виконавець (керівник Проєкту):

доктор наук 1;

Субвиконавці:

доктори наук 2;

кандидати наук 2;

інші працівники 1 (аспірант).

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЇ СУБВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

Грантоотримувач – Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка Національної академії наук України.

Кубенко Веніамін Дмитрович – завідувач відділу Інституту механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України, академік НАН України, доктор фізико-математичних наук – керівник Проєкту і головний виконавець

Організація-субвиконавець: Київський національний університет імені Тараса Шевченка (КНУ) Підпорядкованість МОН України; ЄДРПОУ 02070944; Код КВЕД 85.42; 74.90

Жук Ярослав Олександрович – завідувач кафедри механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор фізико-математичних наук, професор – відповідальний виконавець

Клімчук Тарас Володимирович – інженер-математик I категорії НДС Механіки спряжених хвильових полів механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (рік народження 1990), кандидат фізико-математичних наук – виконавець

Остос Олександр Хосейович – аспірант 4-го року навчання, механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (рік народження 1994) – виконавець

Організація-субвиконавець: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (КПІ) Підпорядкованість МОН України; ЄДРПОУ 02070921; Код КВЕД 85.42; 74.90

Янчевський Ігор Владиславович – професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», доктор фізико-математичних наук, професор – відповідальний виконавець

Ліскін В'ячеслав Олегович – старший викладач Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», кандидат технічних наук – виконавець.

Автори проєкту мають значний досвід дослідження динаміки твердих і деформівних тіл і їх систем. Керівник проєкту академік НАН України В.Д. Кубенко має багаторічний досвід досліджень динамічних процесів в пружних елементах конструкцій при їх взаємодії з рідиною або пружним середовищем. В сферу його наукової спеціалізації входить розробка підходів і методів розв'язування динамічних задач деформування елементів конструкцій при взаємодії з рідиною і пружним середовищем, в тому числі: теорія нестационарної гідро-пружності тонкостінних оболонок; теорія нелінійних коливань пружних оболонок, що спирається на багатомодові представлення переміщень; ударна взаємодія конструктивних елементів з поверхнею шаруватої рідини і пружного тіла; дифракційні задачі акустики і теорії пружності. З тематики проєкту В. Кубенко

опублікував ряд робіт, які містять розв'язок і аналіз ряду задач хвильової динаміки для систем неоднотипних тіл в стисливій рідині. Частина цих досліджень покладена в основу даного Проєкту.

Проф. Я.О.Жук має досвід у вивченні дії радіаційної сили в звуковому полі на тверду або рідку сферичну частинку, розташовану в околі вільної поверхні рідини. Зокрема він брав участь у розробці методу для дослідження дії радіаційної сили в акустичному полі на таку сферичну частинку, яка знаходиться в околі вільної поверхні ідеальної рідини при падінні перпендикулярно до поверхні рідини акустичної хвилі. Ним одержано формули для обчислення величини і напрямку дії радіаційної сили. На їх основі досліджено дію радіаційної сили на сферичну тверду частинку і краплю ідеальної рідини в околі вільної межі рідини.

Проф. І.В. Янчевський кілька років тому захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук з розробки ефективних чисельно-аналітичних та чисельних підходів до дослідження стаціонарного та нестаціонарного деформування пружних та електропружних елементів конструкцій різноманітної топології з врахуванням їх взаємодії з рідиною. У Проєкті, будуть залучені окремі, в т.ч. фундаментальні, результати дисертаційної роботи. Зокрема, методи побудови стійкого до обчислювальних погрішностей та похибок у вхідних даних розв'язку нескінченних систем лінійних алгебраїчних рівнянь, до яких можуть бути зведені задачі дослідження дифракційних процесів у безмежних та обмежених гідропружних системах та обчислення радіаційної сили. Зазначені методи розроблені на основі сучасних процедур обчислення спеціальних функцій та спеціалізованих регуляризованих алгоритмів, які використовуються при розв'язанні некоректних задач математичної фізики.

Молоді вчені – учасники Проєкту мають досвід дослідницької роботи і з ентузіазмом готові спільно з провідними вченими виконувати заплановані роботи.

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту(до 200 знаків)

Розробка аналітичного підходу і на його основі визначення особливостей гідродинамічних полів і радіаційних сил заповнюючій порожнину стисливій рідині, що містить тверді, рідинні, газові або інкапсульовані включення.

4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

Побудова розв'язку граничних задач гідропружності для твердих, рідких, газових чи інкапсульованих частинок в обмеженому об'ємі стислої рідини (нескінченна або напівнескінченна циліндрична порожнина, вузька труба) під дією акустичних збурень. Визначення аномальних особливостей гідродинамічного тиску і діючих на включення радіаційних сил. Створення рекомендацій щодо можливостей використання встановлених аномалій з метою інтенсифікації процесів організації руху занурених в рідину частинок.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Аналіз наявних досягнень в дослідженнях радіаційних сил свідчить, що вони проводились виключно для частинок в *необмеженій* рідині або (зрідка) в *півпросторі* рідини. В той же час для певних практичних застосувань актуальною є розробка методів дослідження і на їх основі визначення динамічних характеристик поведінки частинки в рідині, що заповнює *жорстку або деформівну порожнину*. Пріоритет досліджень в цьому напрямку належить авторам проєкту.

Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Планується, спираючись на встановлений авторами факт наявності в заповнених рідиною порожнинах з включеннями аномальних особливостей, провести системне дослідження особливостей дифракційних процесів і радіаційних сил обмежених гідропружних системах. Планується розглянути як жорстку судину, що містить рідину, так і судину з податливими стінками, нескінченну або напівнескінченну. Будуть розглянуті різні типи занурених тіл (тверде, рідке, інкапсульоване) і системи тіл.

Методологія дослідження (до 400 знаків)

Підхід має містити математичну постановку відповідних задач, знаходження їх точного розв'язку на основі аналітичних методів математичної фізики і механіки і створення обчислювальних програм в системі комп'ютерної алгебри. Це дасть змогу виконати чисельний експеримент на широкій базі вхідних даних з метою відтворення характеристик дифракційних процесів і радіаційних сил в залежності від частоти (довжини хвилі) діючого навантаження і фізико-механічних властивостей систем, що розглядаються.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

У даному звіті побудовано аналітичний загальний розв'язок задачі гідроакустики для напівнескінченної кругової циліндричної порожнини, заповненою стислою рідиною зануреним сферичним тілом, під дією плоскої акустичної хвилі. Розв'язок задачі в такій постановці дозволить визначити не тільки тиск і швидкість хвильового руху у рідині, що заповнює порожнину, але й акустичні радіаційні сили, що діють на тіло в рідині. Така задача для напівобмеженої посудини розглядається вперше. Метою даного етапу є формулювання відповідної граничної задачі, побудова її загального розв'язку, задоволення всім граничним умовам і в результаті зведення задачі до розв'язку системи алгебраїчних рівнянь щодо коефіцієнтів шуканого розв'язку. Зазначена система є нескінченною, і тому вона досліджується на предмет можливості її розв'язку методом редукції. На основі одержаних результатів даного етапу наступний етап проєкту буде присвячений створенню комп'ютерної програми обчислень і виконанню конкретних розрахунків гідродинамічних характеристик і радіаційних сил.

В напівнескінченній циліндричній порожнині з рідиною розміщене сферичне тіло, центр якого розташований на осі порожнини на деякій скінченній відстані від її торця. Розглядається плоска стаціонарна акустична хвиля, що рухається уздовж осі порожнини. Зустрічаючись із торцем порожнини, хвиля відбивається, і відбита хвиля рухається у зворотному напрямку. Одночасно система прямої й відбитої плоских хвиль взаємодіє зі сферичним включенням, породжуючи сукупність відбитих сферичних хвиль. Останні у свою чергу, поширюючись у рідині, що заповнює порожнину, взаємодіють з її поверхнею, в результаті чого в порожнині виникає складне дифракційне поле. Потрібно визначити тиск і швидкість в об'ємі порожнини й на поверхні включення в залежності від частоти (довжини хвилі) падаючої хвилі. Якщо розв'язок гідроакустичної задачі буде одержано, це дасть можливість обчислити радіаційну силу, що діє на занурене в рідину тіло з боку хвильового поля.

Розв'язок задачі будується методом «уявних джерел»: замість напівнескінченної порожнини вводиться в розгляд нескінченна порожнина з рідиною, в якій крім реального тіла міститься також іншестучно введене сферичне тіло, дзеркально розташованого щодо торцевого перетину. Введене тіло має ті ж розміри, і з його допомогою вдається реалізувати відповідну граничну умо-

ву в торцевому перетині, що моделює тверде днище, або вільну поверхню. У такий спосіб фактично розв'язується акустична задача для двох однакових сферичних тіл, під дією плоскої стоячої хвилі, що ідентично вихідній задачі. Аналогічний прийом «уявних джерел» раніше використовувався, при розв'язку задач дифракції для сферичного тіла поблизу плоскої границі півпростору. Наявність в системі сферичних тіл обумовлює застосування трансляційних теорем додавання для сферичних хвильових функцій, що є розв'язками скалярного рівняння Гельмгольца. Зазначені теореми дають можливість представити хвильове поле кожної сфери в координатах іншої сфери й таким чином задовольнити граничним умовам за допомогою методу розділених змінних. Для виконання граничних умов на поверхні циліндричної порожнини і її торці, застосовуються співвідношення, що дозволяють представити сферичні хвильові функції через циліндричні й навпаки. В результаті розв'язок граничної задачі зведено до розв'язку лінійної нескінченної системи алгебраїчних рівнянь щодо шуканих коефіцієнтів загального розв'язку, елементи матриці якої містять невластні інтеграли. Доведено, що нескінченна система є системою нормального типу і, отже, може бути розв'язана методом редукції (усікання).

Тут розглянута осесиметрична задача, однак, розвинутий підхід може бути поширений на дослідження більш загальних конфігурацій.

Таким чином, у звіті одержано точний аналітичний розв'язок скалярної задачі багатократного розсіювання (multiple scattering) для напівнескінченної порожнини з рідиною й розташованим поблизу торця твердим сферичним тілом при динамічному навантаженні плоскою хвилею. Обґрунтована можливість отримання конкретних числових результатів шляхом редукції розв'язуючої нескінченної системи алгебраїчних рівнянь.

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Не планувалось.

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

Не планувалось.

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

Виконання даного етапу створює передумови для подальшого розвитку досліджень згідно Технічного завдання з метою систематичного вивчення сформульованої проблеми.

Примітка: Анотований звіт не повинен містити відомостей, заборонених до відкритого опублікування

Науковий керівник Проєкту

Завідувач відділу Інституту механіки НАН України
(посада)

академік НАН України


В.Д.Кубенко
(підпис)