

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету «Львівська політехніка»
д.т.н., професору Соколовському Я.І.

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук **Щербовських Сергія Володимировича**
на дисертаційну роботу **Стахіва Володимира Михайловича**
«Методи та моделі для автоматизованого проектування акустофлюїдних мікро-
електромеханічних систем» подану до захисту на здобуття наукового ступеня
доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології»
та спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

1. Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота Стахіва Володимира Михайловича на тему «Методи та моделі для автоматизованого проектування акустофлюїдних мікроелектромеханічних систем» є комплексним науковим дослідженням, яке спрямоване на розробку методів і моделей для автоматизації проектування акустофлюїдних систем, що використовуються в мікроелектроніці та біоінженерії. Автор досліджує процеси, що відбуваються в мікроканалах під дією акустичного поля, пропонує нові підходи до проектування зустрічно-штирьових перетворювачів і створює математичні моделі для оптимізації таких систем. Праця включає як теоретичні розробки, так і практичні рекомендації для виготовлення акустофлюїдних лаб-чипів, що можуть бути застосовані в різних галузях промисловості, що підвищує її наукову та практичну цінність.

2. Оцінка актуальності теми дисертації

Актуальність роботи зумовлена необхідністю розвитку математичних моделей і методів опису складних багато фізичних явищ, що виникають у процесах акустофоретичного фокусування, сортування та розділення мікрочастинок у рідинних мікроканалах. Незважаючи на значний прогрес в експериментальній акустофлюїдиці, теоретичне обґрунтування поведінки

зважених частинок в акустичних полях залишається недостатньо розвиненим через складність взаємодії механіки рідин, твердого тіла, акустики та п'єзоелектрики. Побудова узагальненої, верифікованої математичної моделі, яка здатна описати ці процеси з урахуванням реальної геометрії перетворювачів і параметрів середовища, є важливою науковою проблемою, розв'язання якої сприятиме глибшому розумінню фундаментальних закономірностей акустофоретичних явищ і розвитку теорії мікрофізичних процесів.

3. Наукова цінність дисертаційного дослідження

Наукова цінність роботи полягає в розробці та обґрунтуванні нових математичних моделей і чисельних методів для опису акустофоретичних явищ у мікрорідинних каналах, зокрема фокусування, сортування та розділення зважених мікрочастинок під дією стоячих і пульсуючих акустичних хвиль. Запропоновані моделі враховують геометричні особливості зустрічно-штирових перетворювачів, п'єзоелектричні ефекти та багатозфазну взаємодію в мікомасштабі, що підвищує точність опису фізичних процесів.

Основними пунктами наукової новизни є:

1. Вперше запропоновано математичну модель процесу розділення двокомпонентної дисперсної системи у розгалуженому мікроканалі під дією акустичного поля, яка забезпечує перевірку умов ефективного просторового поділу частинок залежно від геометрії каналу та гідродинамічних параметрів потоку.

2. Удосконалено математичну модель акустичного поля, сформованого в мікроканалі внаслідок взаємодії зустрічно-штирового перетворювача та п'єзоелектричного елемента, яка забезпечує визначення оптимальних геометричних параметрів перетворювача для формування стоячої хвилі у визначеній конфігурації каналу.

3. Удосконалено підхід до моделювання процесу розділення частинок зваженої суміші з урахуванням їхніх фізико-хімічних властивостей, який забезпечує ефективне розділення на декілька фракцій або сортування однотипних частинок за розмірами.

4. Набула подальшого розвитку технологія виготовлення акустофлюїдних мікрочипів для розділення зважених мікрочастинок, що поєднує методи лазерної обробки та ситодруку.

4. Оцінка практичного значення результатів роботи

Практичне значення отриманих результатів полягає в створенні науково обґрунтованих підходів до проектування та оптимізації акустофлюїдних мікросистем для розділення, сортування та фокусування зважених мікрочастинок у рідинних середовищах. Запропоновані математичні моделі передбачають умови ефективної дії акустичного поля залежно від геометрії мікроканалу, властивостей частинок та параметрів потоку, що забезпечує цілеспрямоване конструювання пристроїв для застосування в мікрофлюїдній діагностиці, біомедичних аналізах, харчовій промисловості та екологічному моніторингу.

1. Розроблена в дисертаційній роботі математична модель акустичного поля, що виникає в результаті взаємодії зустрічно-штиршового перетворювача з п'єзоелектричною підкладкою, вирішує прикладну задачу інженерного проектування перетворювачів для забезпечення формування стійкої стоячої хвилі в мікроканалі. Модель враховує геометричні параметри каналу, матеріал та товщину п'єзоелектричної підкладки, що уможливорює адаптацію під конкретні технологічні вимоги.

2. Математична модель процесу розділення двох типів зважених частинок у розгалуженому мікроканалі під дією акустичного поля забезпечує можливість оптимізації конструкції акустофлюїдного лаб-чипа відповідно до фізичних характеристик частинок (щільність, розмір, стислюваність) і параметрів рідинного потоку, що підвищує ефективність селективного розділення частинок у мікрофлюїдних системах.

3. У рамках роботи розроблено технологічний підхід до виготовлення акустофлюїдних лаб-чипів для розділення зважених мікрочастинок за допомогою акустичного поля. Технологія базується на використанні лазерної обробки та ситодруку, що забезпечує можливість створення мікроструктур з

високою точністю та повторюваністю, придатних до інтеграції в мікрофлюїдні системи.

5. Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень і висновків дисертації

Основні положення і висновки, що сформульовані в дисертаційній роботі, базуються на всебічному аналізі теоретичних та експериментальних даних, а також на результатах чисельних розрахунків, що забезпечують достовірність отриманих результатів. Математичні моделі акустичних процесів та розділення зважених часток у рідинних мікроканалах, розроблені в межах роботи, пройшли порівняння з експериментальними даними, що підтверджує їх адекватність і точність для практичного використання. Розрахунки геометричних параметрів зустрічно-штирьових перетворювачів та технологічні аспекти виготовлення акустофлюїдних лаб-чипів підтверджені результатами лабораторних досліджень, що забезпечує наукову обґрунтованість висновків. Підхід до аналізу та оптимізації конструкцій лаб-чипів також демонструє узгодженість з результатами чисельних і фізичних експериментів, що робить основні висновки роботи надійними та перевіреними.

Практична цінність та актуальність роботи підтверджені апробацією результатів роботи на міжнародних конференціях та наукових семінарах. Основні положення дисертації опубліковано 14 наукових праць, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття – у закордонному фаховому періодичному виданні, що індексується, 7 публікацій – у матеріалах міжнародних і українських наукових конференціях, 3 з яких проіндексовані в міжнародній наукометричній базі даних Scopus, 1 стаття - інші видання.

6. Оцінка змісту й оформлення дисертації

Основний зміст дисертаційної роботи викладено на 175 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 192 сторінки. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Дисертація виконана відповідно до вимог МОН України щодо структури, мови та стилістичних вимог. Виклад матеріалу є логічним, послідовним і чітким, що забезпечує легкість у сприйнятті складних наукових концепцій та результатів дослідження.

У вступі чітко обґрунтована актуальність теми дослідження, сформульовано мету та завдання роботи, визначено предмет і об'єкт дослідження. Автором зазначено наукову новизну результатів, їх практичну цінність, а також особистий внесок здобувача в отримання наукових результатів, що підтверджує індивідуальність роботи.

У першому розділі надано огляд існуючих підходів та теоретичних основ, що стосуються розробки математичних моделей акустичних полів у мікроканалах, з акцентом на застосування зустрічно-штирьових перетворювачів та п'єзоелектриків. Розглянуто питання актуальності та доцільності застосування цих моделей у практиці розділення часток дисперсних сумішей.

Другий розділ містить детальний аналіз математичних моделей, розроблених автором для процесу акустичного розділення зважених часток, зокрема в розгалужених каналах, а також обґрунтовані умови, при яких досягається ефективне розділення на основі фізичних характеристик часток та рідини. Важливою частиною є порівняння запропонованих підходів із існуючими методами.

У третьому розділі автор детально розглядає підхід до оптимізації конструкцій акустофлюїдних лаб-чипів та надає конкретні рекомендації щодо проектування таких систем на основі розроблених моделей. Розроблені методи адаптують технологію виготовлення лаб-чипів до вимог конкретних виробничих умов.

Четвертий розділ містить приклад практичного впровадження технології виготовлення лаб-чипів для акустофлюїдних систем. Описано технологічні етапи виготовлення, а також представлено результати експериментальних досліджень ефективності запропонованих конструкцій та їх можливості у різних галузях.

Загальні висновки роботи чітко підсумовують основні наукові досягнення та демонструють виконання поставлених завдань відповідно до мети дослідження. Результати роботи повною мірою відповідають сучасним вимогам науково-технічного прогресу у відповідній галузі.

7. Зауваження до дисертаційної роботи

Попри значні наукові досягнення, представлені в дисертаційній роботі, існують деякі моменти, які потребують уточнення та вдосконалення. Зокрема, варто звернути увагу на наступні зауваження:

1. У роботі варто розширити огляд сучасних досягнень у галузі акустофлюїдних мікросистем, зокрема щодо останніх тенденцій у використанні акустичних хвиль для маніпулювання часточками в рідині.

2. Дисертаційна робота могла б бути доповнена більш детальними експериментальними дослідженнями, які підтверджують точність математичних моделей і їх ефективність на практиці, а також включення реальних прикладів застосування акустофлюїдних лаб-чипів.

3. У роботі необхідно чітко визначити межі застосовності розроблених математичних моделей та їх точність при зміні фізичних параметрів, таких як в'язкість рідини, температура, чи склад часток.

4. У дисертації бракує детального аналізу економічної ефективності запропонованих методів і технологій у порівнянні з існуючими рішеннями. Врахування витрат на виготовлення лабораторних чипів і їх можливу інтеграцію у промислові процеси підвищить практичну цінність роботи.

ВИСНОВОК

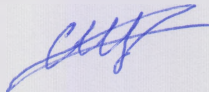
Дисертаційна робота Стахіва Володимира Михайловича на тему «Методи та моделі для автоматизованого проектування акустофлюїдних мікроелектро-механічних систем» є завершеною науковою працею, що вносить значний вклад у розвиток методів проектування акустофлюїдних систем, зокрема в області автоматизації їх проектування для мікроелектронних та біоінженерних застосувань. Результати дослідження мають високу практичну цінність і можуть бути безпосередньо застосовані в галузях, таких як виробництво

акустофлюїдних лаб-чипів, а також для вдосконалення існуючих методів проектування мікросистем.

Робота представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» (галузь знань 12 «Інформаційні технології») та за своїм змістом, структурою, обсягом, науковою новизною та практичним значенням відповідає паспорту спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44, а її автор, Стахів Володимир Михайлович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Рецензент:

доктор технічних наук,
професор кафедри систем
автоматизованого проектування
Національного університету
«Львівська політехніка»



Сергій ЩЕРБОВСЬКИХ

Підпис д.т.н., Щербовських С. В. «ЗАСВІДЧУЮ»



Роман ФЕДОРИШИН