

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри систем автоматизованого проектування Національного університету «Львівська політехніка» **Лобура Михайла Васильовича** на дисертаційну роботу **Бортнікової Вікторії Олегівни** на тему «**Моделі та методи автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів**», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт

Актуальність теми

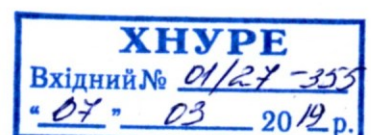
Стрімкий розвиток технологій мікросистемної техніки, новітні розробки в галузі мікроелектромеханічних систем та проектування нових пристроїв, які створені за різними фізичними принципами функціонування призвело до активного розвитку напряму мікроелектромеханічних пристроїв та систем. Такі системи знайшли своє використання в різних галузях: автомобілебудуванні, промисловості, робототехніці, а також у системах спеціального призначення. Для виробництва мікроелектромеханічних пристроїв використовують групові технології виготовлення сумісні з технологіями виготовлення інтегральних схем.

Одним з таких пристроїв мікроелектромеханічних систем є акселерометри. Сучасні наукові дослідження направлені на проектування, моделювання та розробку нових конструкцій мікроелектромеханічних акселерометрів та технологічних процесів їх виготовлення.

Постійно зростаючі потреби розробки ефективних технологічних процесів, спонукають до розвитку та удосконалення вже існуючих підходів автоматизації проектування технологічних процесів виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів, які б враховували вимоги діючих стандартів, обладнання та енергозбереження.

Саме це послужило основою для вибору теми дисертаційної роботи Бортнікової Вікторії Олегівни, що присвячена розробці математичних моделей, методів і програмного забезпечення для підбору технологічних операцій виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів.

Тематика дисертаційної роботи пов'язана із виконанням науково-дослідних робіт «Створення експериментальних зразків компонентів мікросистемної техніки для виробництв з інтелектуальними властивостями і їх впровадження» (№ держреєстрації 0113U0003582), «Створення мікрооптоелектромеханічних засобів для інтелектуальних технологічних систем промислового обладнання та робототехніки» (№ держреєстрації 0115U002433), що виконувалися на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки в період з 2013 по 2016 рік.



**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.
Достовірність результатів досліджень.**

Основні наукові положення роботи обґрунтовано в достатній мірі. Запропоновані і удосконалені моделі та методи автоматизованого підбору і адаптації технологічних операцій виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів докладно обґрунтовано теоретичними викладками та обчислювальними експериментами.

Достовірність одержаних результатів визначається коректним застосуванням математичного апарату штучного інтелекту, дискретного програмування, оптимізації, теорії графів та імітаційного моделювання.

Результати, одержані у роботі, узгоджуються із відомими у науковій літературі методами аналізу, синтезу та автоматизованого проектування технологічних процесів мікроелектромеханічних систем.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше:

– розроблено математичну модель визначення МЕМС акселерометра-аналога, для якої формалізовано критерії часу і вартості виготовлення, маси та площі МЕМС акселерометра та враховано функціонально-конструктивні обмеження, що дозволяє визначити найкращий варіант МЕМС акселерометра-аналога для здійснення вибору типових технологічних операцій;

– розроблено узагальнений метод автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення МЕМС акселерометрів, який базується на двох часткових методах: вибору типових технологічних процесів і пошуку аналогів окремих елементів технологічного процесу, що дозволяє отримати ефективний технологічний процес за рахунок зниження вартості та часу затраченого на виготовлення.

2. Удосконалено:

– модель структурно-параметричного синтезу технологічного процесу виготовлення МЕМС акселерометрів, яка, на відміну від відомих, шляхом вибору типового технологічного процесу і операцій, дозволяє отримати структуру технологічного процесу і у випадку необхідності обрати більш ефективні технологічні операції;

– метод вибору типових технологічних процесів виготовлення МЕМС акселерометрів, який, на відміну від існуючих, на основі методів ієрархічної кластеризації та інтелектуального аналізу даних, дозволяє визначити взаємозв'язок між функціонально-конструктивними показниками МЕМС акселерометра-аналога і типовим технологічним процесом та знизити вартість і час на проектування.

Значущість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Одержані результати у подальшому доцільно використовувати для наукових досліджень у напрямку розробки методів автоматизованого проектування для інших технологічних об'єктів класу мікроелектромеханічних систем, наприклад гіроскопів.

Практичне використання запропонованого математичного та програмного забезпечення доцільно використовувати під час автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів, для яких існує необхідність зниження вартості та часу їх проектування і виготовлення.

Результати дисертаційної роботи впроваджено на підприємстві ТОВ «Овен» при проектуванні технологічних процесів давачів. Розроблені та удосконалені моделі, методи та програмний модуль використовуються в навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки, Запорізького національного технічного університету та Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах.

Результати дисертаційної роботи опубліковані в 29 наукових працях, з яких 1 авторське свідоцтво на комп'ютерну програму, 8 статей у фахових журналах і збірниках наукових праць України та 1 у іноземному виданні, що відповідає вимогам.

Результати роботи пройшли апробацію на міжнародних конференціях. В опублікованих працях викладено основні отримані здобувачем результати.

Рівень та кількість публікацій відповідають вимогам, що висуваються до кандидатських дисертаційних робіт.

Структура та зміст дисертації.

Дисертаційна робота складається з анотації українською та англійською мовами, списку публікацій здобувача, змісту, переліку скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 180 найменувань та шістьох додатків.

У першому розділі виконано огляд проблеми. Проаналізовано сучасне математичне та програмне забезпечення, що використовується для вирішення задач автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів. Обрано предмет та об'єкт дослідження, зроблено постановку мети і задач дослідження.

Другий розділ присвячено розробці математичної моделі визначення мікроелектромеханічного акселерометра-аналога за функціонально-

конструктивними показниками для яких здійснено формалізацію за частковими критеріями: вартості та часу виготовлення, маси, об'єм та функціонально-конструктивних показників мікроелектромеханічного акселерометра.

У третьому розділі проведено удосконалення моделі структурно-параметричного синтезу технологічних процесів виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів за рахунок можливості здійснення вибору базового технологічного процесу, операцій та обладнання. На основі цієї моделі розроблено імітаційну модель.

У четвертому розділі розроблено узагальнений метод автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів, у рамках якого удосконалено його частковий метод – вибору типового технологічного процесу за рахунок використання методів класифікації та машинного навчання. Виконано аналіз ефективності удосконаленого методу.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи надано приклад застосування розробленого програмного модуля автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів.

Аналіз автореферату.

Автореферат ідентичний за змістом до дисертації і достатньо повно відображає основні наукові положення, практичну цінність та одержані результати.

Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності до вимог, що висуваються нормативними документами МОН України.

Зауваження щодо змісту й оформлення дисертаційної роботи та автореферату.

1. У першому розділі дисертаційної роботи на рис. 1.6 наведена некоректна схема етапів виготовлення МЕМС акселерометрів. Вона відображає лише процес виготовлення конкретного МЕМС акселерометра, а не суть технології в цілому.

2. У першому розділі дисертаційної роботи не проведено огляд технологій виготовлення МЕМС, жодного слова не сказано про перспективну технологію LIGA, не розглянуто технології об'ємної обробки, технології глибокого травлення, тощо.

3. У другому розділі дисертаційної роботи основна увага прикута до типових моделей виготовлення елементів МЕМС акселерометрів, не розглянуто технології виготовлення МЕМС акселерометра сумісних з груповими технологіями виготовлення інтегральних мікросхем.

4. У третьому розділі дисертаційної роботи для процесу виготовлення МЕМС акселерометрів не варто зосереджуватись на моделях вибору обладнання. Технології виготовлення МЕМС пристроїв є надзвичайно вартісними (мільйони доларів США), тому підбирати і змінювати обладнання для виготовлення МЕМС акселерометрів є

недоцільним. Вартує більше уваги приділяти задачам оптимізації технологічних операцій.

5. Четвертий розділ дисертації присвячений методам підбору технологічного процесу виготовлення МЕМС акселерометрів, який базується на відкритих, різнорідних даних фірм виробників. Більшість фірм не надають даних по технологічних процесах виготовлення. Таким чином ми маємо вибір обмежений відкритою вибіркою, що суттєво обмежує застосування розробленого методу.

6. У п'ятому розділі дисертаційної роботи в якості тестового прикладу обрано акселерометр, який не повністю відповідає МЕМС технології, та не проведено порівняння з провідними фірмами виробниками МЕМС пристроїв (Analog Device).

7. У роботі не повністю висвітлено питання інформаційного, лінгвістичного й організаційного забезпечення комплексу засобів автоматизації проектування.

8. У відповідності до актів впровадження, у роботі здобувач підтверджує практичну значущість одержаних результатів, але у розділі 5 даному важливому аспекту дисертаційної роботи приділено недостатню увагу.

9. У роботі зустрічаються непоодинокі синтаксичні помилки, граматичні помилки, неточності. Для прикладу: на рис 1.10 – «окіслення»; на рис. 1.14 – «Модель акселерометра»; с. 59 «математична модель визначення мікроелектромеханічного акселерометра-аналога»; с. 70 «поперечна осьова чутливість становить % від Δx » (пропущено число перед %); наведені ієрархічні методи кластерного аналізу на ст.43 написано – «дивізійн», а далі по тексту – «дивізійних» (повинно бути дивизивні); с. 47 використовується два різних терміну для відображення кращого результату – «найкращого», та «найліпшого»). На жаль, неточності у роботі – непоодинокі.

Вказані недоліки та зауваження не є принциповими, не зменшують наукову новизну та практичну цінність роботи та не знижують загального позитивного враження від роботи.

Загальні висновки.

Дисертаційна робота Бортнікової Вікторії Олегівни «Моделі та методи автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові та практичні результати, що вирішують науково-прикладну проблему підвищення ефективності автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів, шляхом зниження вартості та часу затраченого на їх проектування і виготовлення, за рахунок розробки та удосконалення моделей, методів і програмного забезпечення.

Отримані в дисертаційній роботі результати відповідають формулі паспорту спеціальності 05.13.12 – системи автоматизації проектвальних

робіт, а саме 1, 3, 4 та 5, зокрема: 1 – «...формалізація об'єктів, цілей та критеріїв проектування...», 3 – «...реалізації САПР як складної програмної системи на базі основних загальносистемних принципів...» та 4 – «...методи декомпозиція та макромодельовання, чисельно-аналітичні методи аналізу об'єктів на мікро- та макрорівнях...», «...методи структурного аналізу та параметричної оптимізації, методи синтезу...».

За актуальністю теми, рівнем та обсягом виконаних досліджень, науковою новизною та практичним значенням отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», щодо кандидатських дисертацій, а її автор, Бортнікова Вікторія Олегівна, заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт.

Офіційний опонент

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

М. В. Лобур

Підпис професора Лобура М. В. завіряю:
Вчений секретар
Національного університету «Львівська політехніка»



Р. Б. Брилинський