

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Яворського Назарія Борисовича на тему: "Моделі та методи проектування композиційних матеріалів з врахуванням теплофізичних характеристик", що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – «Системи автоматизації проектувальних робіт»

Актуальність теми дисертації. Дисертаційна робота присвячена вдосконаленню та реалізація мікрорівневих моделей та чисельних методів визначення ефективних теплофізичних характеристик композиційних матеріалів складної структури. З моменту появи перших композиційних матеріалів (КМ) з кожним роком розширюються області та способи їх застосування. До очевидних переваг КМ слід віднести їх високу питому міцність, жорсткість, зносостійкість, теплостійкість та легкість. Все це зумовлює швидкі темпи поширення використання КМ для спортивного та медичного обладнання, машинобудування, авіації та космонавтики, оборонної промисловості, а разом з цим і потребу в автоматизації процесу проектування КМ. Однак ці матеріали мають складну неоднорідну структуру, що призводить до труднощів розв'язку задачі визначення їх теплофізичних характеристик і до високої обчислювальної складності алгоритмів проектування КМ.

Тому вдосконалення моделей та методів визначення теплофізичних характеристик композиційних матеріалів у процесі їх автоматизованого проектування є актуальною науковою задачею.

Тема дисертаційної роботи відповідає планам наукових досліджень у рамках міжнародних наукових проектів кафедри "Системи автоматизованого проектування" Національного університету "Львівська політехніка":

1. "EduMEMS – Developing Multidomain MEMS Models for Educational Purposes", термін виконання проекту з 01.07.2011 р. по 30.06.2015 р. (FP7-PEOPLE-2010-IRSES № 269295).

2. ТЕМПУС "MastMST – Curricula Development for New Specialization: Master of Engineering in Microsystems Design", термін виконання проекту з

15.10.2012 р. по 14.10.2015 р. (530785-TEMPUS-1-2012-1-PL-TEMPUS-JPCR).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та їх достовірність. Наукові положення та висновки дисертаційної роботи Яворського Н. Б. є новими, достатньо обґрунтованими і достовірними. В роботі коректно використано математичний апарат. Достовірність отриманих результатів підтверджується також ефективним використанням розроблених програмних засобів для автоматизації проектування КМ.

Наукова новизна роботи полягає у розробленні моделей та методів визначення теплофізичних характеристик композиційних матеріалів:

1. Дістали подальшого розвитку методи моделювання складних композиційних структур, що базуються на коміркових моделях, які відрізняються від відомих можливістю одночасного використання комбінацій різних методів побудови структури та її використання для дискретизації, що дало змогу зменшити кількість необхідних обчислень та здійснити їх декомпозицію.

2. Розроблено метод моделювання випадкових перехідних шарів між фазами композиції, який базується на використанні випадкових скалярних полів та алгоритму маскування до моделювання гетерогенних композицій, як комбінації детермінованих елементів із стохастичними перехідними шарами між ними, що дозволило враховувати особливості неоднорідностей середовища.

3. Дістали подальшого розвитку моделі аналізу зв'язаних теплофізичних процесів у структурах композиційних матеріалів, що базуються на методі скінченних елементів, які відрізняються від відомих об'єднанням формалізованого опису теплофізичних задач, що враховує комплексні крайові умови, і дає змогу досліджувати теплофізичні процеси в складних композиційних структурах та спростити обчислювальні процедури при використанні алгоритмічних мов високого рівня абстрактності.

4. Вдосконалено методи знаходження ефективних теплофізичних

характеристик гетерогенних середовищ, в яких завдяки використанню теплоелектричних аналогій до скінченно-елементної моделі, забезпечено можливість знаходження ефективних характеристик складних композиційних структур без необхідності проведення натурних експериментів.

Практичне значення результатів та їх використання.

Розроблено алгоритми та програмні коди реалізації декомпозиції модельних обчислень на прикладі використання технології OpenCL. Застосування цих алгоритмів для задачі проектування композиційних матеріалів надало можливість більш, ніж десятикратно пришвидшити модельні обчислення. Точність результатів модельних обчислень підтверджено натурними експериментами.

Результати дисертаційної роботи визнано за межами України, що підтверджено актом впровадження в міжнародний проект Сьомої Рамочної програми ЄС, та використовуються у навчальному процесі НУ «Львівська політехніка».

Повнота опублікованих результатів роботи. Наукові результати, викладені в дисертації, одержано автором особисто та висвітлено в 12 наукових працях, з поміж яких 6 статей у фахових виданнях, у тому числі 3 статті у зарубіжних періодичних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних та 6 публікацій в матеріалах міжнародних конференцій.

Анотування дисертації оформлено згідно діючих вимог. Він достатньо повно розкриває основну суть дисертаційної роботи, її наукові положення, результати і висновки, особистий внесок автора у спільних публікаціях, що дозволяє оцінити самостійність роботи і конкретні здобутки дисертанта. Зміст анотування збігається з основними положеннями дисертаційної роботи.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому та оформлення. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою. Її структура логічна, містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел і додатки. Оформлена акуратно та згідно встановлених вимог.

У **першому розділі** проведено аналіз задачі визначення ефективних характеристик композиційних матеріалів в процесі їх проектуванні. Досліджено вплив структури композиційних матеріалів на їх фізичні характеристики, оцінено переваги та недоліки основних моделей структури матеріалів та методів визначення їх характеристик. Розглянуто особливості застосування чисельних методів моделювання фізичних процесів для визначення ефективних характеристик на базі мікрорівневих моделей КМ.

У **другому розділі** описано методологічні основи задачі знаходження ефективних характеристик композиційних матеріалів зі складною структурою при їх проектуванні та обґрунтовано використання математичного апарату. Досліджено способи використання чисельних, методів аналогій та теорії подібності в моделюванні фізичних процесів. Досліджено методи доменної декомпозиції та застосування технологій паралельних і розподілених обчислень.

У **третьому розділі** розроблено чисельні моделі та методи знаходження ефективних теплофізичних характеристик композиційних матеріалів у процесі їх автоматизованого проектування. На основі методу скінченних елементів дістали подальшого розвитку чисельні моделі теплофізичних процесів, що розглядаються у складних мікрорівневих структурах композиційних матеріалів.

На основі застосування теорії подібності та методу теплоелектричних аналогій до скінченно-елементної моделі КМ, розроблено методи знаходження ефективних теплофізичних характеристик: коефіцієнту теплопровідності, модуля пружності, коефіцієнту Пуассона та температурного коефіцієнту лінійного розширення.

У **четвертому розділі** розроблено програмне забезпечення для знаходження ефективних теплофізичних характеристик композиційних матеріалів. Точність, збіжність та адекватність розроблених моделей та методів досліджено на основі проведення апостеріорних оцінок і серій чисельних експериментів з їх порівнянням до результатів аналогічної системи ANSYS 14.0 та натурних експериментів. Отримані результати за допомогою технології GPU+OpenCL на персональних комп'ютерах свідчать про десятикратне

прискорення обчислень у порівнянні з результатами на звичайних CPU.

Оцінка висновків дисертаційної роботи

Висновки до розділів та до дисертаційної роботи в цілому впливають з аналізу запропонованих моделей та методів для проектування композиційних матеріалів. Всі висновки є добре обґрунтовані і представляються достовірними.

Недоліки та зауваження до роботи:

1. При проектуванні нових композиційних матеріалів, зокрема ефективної теплопровідності, бажано визначити залежність теплопровідності від температури та теплоємність нового матеріалу.

2. В сучасних системах інженерного аналізу для чисельного моделювання теплових режимів використовується метод скінченних об'ємів, було б доцільно провести результати порівняння цього методу з використаним автором методом скінченних елементів.

3. В дисертаційній роботі на стор.24 зазначено, що визначення розмірів модельних елементарних об'ємів КМ здійснюється шляхом проведення ряду чисельних експериментів, однак при реалізації використовується константний розмір, визначений випадковим чином.

4. Основними геометричними формами вкраплень в матрицю КМ, що представлені в дисертаційній роботі, є кубічні чи сферичні, бажано б було розглянути інші форми.

5. В методі скінчених елементів використано тільки лінійні апроксимації, використання квадратичних, кубічних або інших надало би можливість підвищити точність результатів.

6. В дисертаційній роботі запропоновано використовувати технологію розподілених обчислень, але не наведено результати її застосування для комп'ютерної мережі або обчислювального кластеру.

7. При обчисленні ефективних теплофізичних характеристик не враховано допустимі відхилення параметрів складових компонент.

Наведені зауваження не зменшують наукової і практичної цінності результатів, отриманих у дисертаційній роботі Яворського Н. Б.

Висновки.

1. Представлена дисертаційна робота Яворського Н. Б. є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують наукову задачу – вдосконалення мікрорівневих моделей та методів визначення ефективних теплофізичних характеристик композиційних матеріалів у процесі їх автоматизованого проектування відповідає паспорту спеціальності 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт.

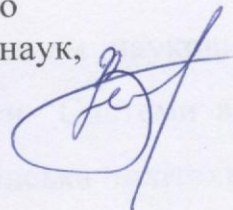
2. За своїм науковим рівнем, повнотою опублікування основних наукових результатів дисертаційна робота Яворського Н. Б. відповідає вимогам МОН України, зокрема, пп. 9, 11, 12 „Порядку присудження наукових ступенів”, а її автор Яворський Назарій Борисович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт.

Офіційний опонент,
доцент кафедри інформаційних
технологій електронних засобів
Запорізького національного
технічного університету
кандидат технічних наук, доцент



Г.М. Шило

Підпис доцента Шило Г.М. засвідчую
вчений секретар Запорізького національного
технічного університету, доктор технічних наук,
професор



В.В. Наумик