

## ВІДЗИВ

офіційного опонента про дисертацію МАНЬКО Наталії Миколаївни  
«Синергетичне представлення переривчастого режиму межового тертя»,  
яку подано на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук  
із спеціальності 01.04.07—фізика твердого тіла

Дана дисертаційна робота стосується чисельного й аналітичного досліджень режимів топлення ультратонкої плівки мастила та зсувного топлення твердих тіл. Питання, що стосуються процесів, які відбуваються в ультратонких плівках змащувальних матеріалів, виникають через потреби мікроелектроніки, а в останній час — і наноелектроніки. Ці системи використовуються у мініатюрних двигунах, запам'ятовувальних комп'ютерних пристроях тощо. Фізичний модель процесу топлення мастила, що ґрунтується на описі в'язко-пружного середовища, має вагомні відмінності в порівнянні з традиційними механістичними підходами при описі таких систем. Одним з прикладів такої різниці є те, що у використаному моделі враховується характеристики внутрішнього стану мастила — його температура, в'язкість, а також напруження та деформація, що виникають у прошарку. І у рамках цього моделю при врахуванні різних ефектів (білих шумів, дефекту модуля зсуву мастила) одержано теоретичні результати, які якісно збігаються з відомими експериментальними. Це свідчить про *актуальність* відповідного дослідження, виконаного пані Н. М. Манько. Детальному дослідженню процесів межового тертя, а саме, синергетичному представленню переривчастого режиму руху двох атомарно-гладких твердих поверхонь, між якими затиснуто плівку мастила, присвячено основну частину дисертаційної роботи. Опис причин виникнення переривчастого режиму, оцінювання впливу неоднорідностей мастила, аналіза впливу адитивних шумів у рамках моделю зсувного топлення у твердих тілах, дослідження самоподібних процесів топлення в трибологічних системах без мастила становлять основу виконаних досліджень авторки дисертації. При розгляді поставлених задач належне місце в роботі надано порівнянню аналітичних співвідношень і чисельних значень характеристик з результатами експериментів у ілюстративному представленні (дисертація містить 54 рисунки).

Дисертаційну роботу пані Н. М. Манько виконано за тематикою, підтриманою Державним фондом фундаментальних досліджень України в рамках грантів Президента України GP/F44/010 та GP/F49/044, на кафедрі моделювання складних систем Сумського державного університету, з науковим керівником доц. Я. О. Ляшенком. Маю відзначити, що, *насамперед*, завдяки



представникам цього наукового колективу України, до якого входять учні проф. О. І. Олемського, було суттєво розвинуто синергетичний підхід стосовно теорфізичного дослідження просторово-часової еволюції термодинамічно нерівноважних стохастичних систем, що самоорганізуються. Саме тому є вагомими підстави очікувати від результатів дослідження пані Н. М. Манько з колегами (хоча б у подальшому) виявлення повної феноменологічної картини процесів самоорганізації на прикладі поведінки ультратонкої плівки мастила, що затиснута між двома атомарно-гладкими твердими поверхнями.

Розв'язання (за допомогою аналітичних і чисельних розрахунків) низки оригінальних задач, поставлених перед здобувачкою, забезпечило одержання наступних нових і, як на мене, найбільш цікавих результатів стосовно властивостей трибологічних систем:

1) запропоновано феноменологічний модель, який уможливив пояснити експериментальні дані, згідно з якими спостерігається переривчастий режим відносного руху поверхонь, що, як показано в роботі, має описуватися як за допомогою Лоренцового атрактора (навіть в детерміністичному випадку), так і з врахуванням флюктуацій напруження, деформації та температури;

2) в термінах температури поверхонь тертя, модуля зсуву та часів релаксації напруження, деформації або температури мастила вперше побудовано діаграми, на яких зазначено області з різними типами стійкості стаціонарних станів та особливі точки, що уможливлює проаналізувати, чи буде з часом встановлюватися стаціонарний стан або спостерігатиметься хаотична поведінка системи;

3) вперше із врахуванням деформаційного дефекту модуля зсуву мастила в термінах температури поверхонь тертя й інтенсивностей шумів температури або деформації мастила побудовано фазові діаграми, на яких зазначено області значень, за яких мастило перебуває у різних режимах тертя;

4) показано, що врахування просторової неоднорідності по товщині або вздовж шару мастила уможливлює описати як Ньютонову, так і неньютонівську поведінку мастила, причому з утворенням доменної структури, принаймні, з двома типами домен в процесі тертя.

За структурою дисертація складається із Вступу, п'ятих розділів, Висновків, списку цитованої літератури.

У *Вступі* висвітлено актуальність обраної теми, окреслено мету й сформульовано задачі дисертаційної роботи, детально зазначено наукову новизну одержаних аналітичних і чисельних результатів, яких винесено на захист, зроблено короткі висновки щодо значущості дисертації для науки і практи-

ки, коротко охарактеризовано її вміст.

*Перший* розділ носить оглядовий характер з викладенням попередніх експериментальних і теоретичних досліджень переривчастого режиму межового тертя. Крім того, тут наведено основні відомості про механізм зсувного топлення в твердих тілах.

*До першого розділу є зауваження* щодо оформлення: доцільно було б навести вже у висновках до цього розділу окремий перелік тих задач з синергетики переривчастого режиму межового тертя, яких з'ясовано на основі огляду літератури і що потребують подальшого розгляду у оригінальних розділах даної дисертації.

*У другому* розділі проведено аналізу стійкості стаціонарних режимів тертя для ультратонкої плівки мастила, яку затиснуто між атомарно-гладкими твердими поверхнями. Знайдено різні стаціонарні режими, що відповідають сухому або рідинному тертю і, в свою чергу, за певних значень параметрів можуть відповідати стійкому вузлу, стійкому фокусу або сідлу-фокусу.

*До другого розділу є непринципове зауваження.* На жаль, залишилися непрокоментованими тепловідводні механізми формування стаціонарного стану мастила для випадку його початкових умов із температурою обволікальних поверхонь  $T_e$ , що перевищує певне критичне значення  $T_{c0}$ , коли, як виявлено, температура мастила у стаціонарному стані  $T_0$  сягає цього критичного значення  $T_{c0}$ , але не перевищуючи його.

*У третьому, найоригінальнішому розділі дисертації авторкою* враховано просторову неоднорідність напруження й деформації та/або температури мастила по товщині або вздовж його шару; тут побудовано і проаналізовано еволюцію відповідних просторових розподілів напружень.

*До третього розділу є традиційне для подібних досліджень побажання:* надавати аргументи на користь застосовності адіабатичного наближення до реальних мастильних матеріалів.

*Четвертий* розділ присвячено дослідженню впливу адитивних флюктуацій напружень деформації та температури із врахуванням деформаційного дефекту модуля зсуву на процес топлення мастильного матеріалу. Тут також проаналізовано вплив параметрів системи на фазову діаграму, області якої відповідають сухому, рідинному або переривчастому тертю і визначаються температурою поверхонь тертя та/або інтенсивностями шумів температури або/і деформації мастила. Чисельно з'ясовано вплив деформаційного дефекту модуля зсуву мастильного матеріалу на характер самоподібної поведінки ча-

сових рядів напружень.

Стосовно четвертого розділу є наступні три зауваження-побажання. По-перше, при розгляді основних еволюційних рівнянь (4.1)–(4.3) для напруження, деформації та температури мастила з врахуванням їхніх адитивних флуктуацій у вигляді зовнішніх білих шумів авторкою не роз'яснено фізичні причини походження їх, уведених у ті рівняння для узагальненого опису поведінки реальних мастил. По-друге, маю зазначити таке саме побажання, що й щодо третього розділу, а саме, стосовно застосовності адіабатичного наближення до реальних мастильних матеріалів. По-третє, в дисертації не наведено обґрунтування обраних для дослідження діапазонів інтенсивностей шумів.

Малий, але дуже цікавий і важливий *п'ятий* розділ дисертації присвячено дослідженню моделю зсувного топлення твердих тіл. Цей модель взято з літературних джерел, а в даній роботі проводиться аналіза додаткового впливу інтенсивності шумів на характер поведінки системи. Знайдено умови, за яких має місце степеневий вигляд функції ймовірнісної густини розподілу значень параметра порядку стану тіла, тобто виконуються умови самоподібності його часового ряду. Використано методу мультифрактальної флуктуаційної аналізи, за допомогою якої встановлено, що зі зменшенням шуму параметра порядку мультифрактальна поведінка його часового ряду стає виразнішою.

Як і до четвертого розділу, стосовно *п'ятого* розділу є схоже зауваження: еволюційні рівняння для параметрів порядку (5.2), (5.3) враховують їхні флуктуації, але фізичну природу останніх не описано у роботі.

Однак, всі зауваження, яких наведено вище, мають певніше характер побажань стосовно подальших досліджень і не знижують загальної високої оцінки дисертації пані Н. М. Манько. Здобувачка виявила наукову ерудицію, одержала цікаві *оригінальні* результати.

*Вірогідність* наукових результатів підтверджується застосуванням відомих теоретичних положень і вже апробованих аналітичних підходів, що ефективно зарекомендували себе в теорії фазових переходів. Одержані якісні результати узгоджуються з літературними експериментальними даними. Вважаю, що вони становлять не лише академічний інтерес, а можуть бути використаними для дослідження процесів топлення мастильних матеріалів та зсувного топлення твердих тіл.

Окрім того, одержані в дисертаційній роботі результати можуть бути корисними для подальшого розвитку синергетики складних систем в провід-

них наукових установах України, зокрема, ННЦ «ХФТІ», ІПФ (Суми), ІМФ ім. Г. В. Курдюмова (Київ) та ІФКС (Львів) НАН України та СумДУ, НТУ «ХПІ», КНУ імені Тараса Шевченка та НТУУ «КПІ» МОН України, а також можуть скласти сучасну основу спецкурсів в навчальному процесі при підготовці магістрів з моделювання складних систем і синергетики.

Дисертація є логічно структурованою, її оформлено російською науковою мовою з необхідним ілюстративним матеріалом відповідно до вимог стосовно кандидатських дисертацій.

Основні результати дисертаційної роботи пані Н. М. Манько викладено в 5-х статтях у пристойних наукових журналах, що входять до переліку періодичних фахових видань та індексуються наукометричною базою Scopus, а також апробовано на 4-х міжнародних конференціях.

Автореферат дисертації, а також опубліковані праці цілком і вірно відображають зміст і основні положення дисертації.

### ВИСНОВОК

Дисертація пані Н. М. Манько є важливим внеском у синергетику процесів тертя; вона представляє собою самостійне, завершене в цілому (в межах поставленої задачі) дослідження.

За актуальністю теми, науковим рівнем, достатньою кількістю, новизною та значенням одержаних цікавих результатів дисертація «Синергетичне представлення переривчастого режиму межового тертя» задовольняє критеріям ДАК МОН України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук (а саме, пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 із змінами (окрім п. 3), що внесені до постанов Кабміну України, затвердженими постановою Кабміну України від 12.09.2011 р. № 955). Тому я вважаю, що авторка дисертації пані Наталія Миколаївна Манько є сформованою кваліфікованою дослідницею і заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук із спеціальності 01.04.07—фізика твердого тіла.

Заступник директора з наукової роботи  
Інституту металофізики  
ім. Г. В. Курдюмова НАН України,  
д-р фіз.-мат. н., проф.



В. А. Татаренко