

## **Секція:**

Загальна фізика

## **Назва пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки згідно з Законом України:**

Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

## **Назва напрямку секції**

1. Теоретична фізика.

## **Назва піднапрямку секції**

1.5. Фізика конденсованого середовища.

## **Назва напрямку секції**

4. Фізика твердого тіла.

## **Назва піднапрямку секції**

4.4. Термодинаміка та фазові перетворення у твердих тілах. Атомна структура та фазові переходи в адсорбованих шарах на поверхні твердих тіл та у плівках.

## **ЗВІТ ЗА ЕТАПОМ 2015 РОКУ**

### **за науково-дослідною роботою**

(Характер НДР: **фундаментальне дослідження**)

**1. Тема НДР:** «Нерівноважна термодинаміка фрагментації металів і тертя просторово-неоднорідних межових мастил між поверхнями з нанорозмірними нерівностями»

**2. Керівник НДР:** Хоменко Олексій Віталійович

**3. Номер державної реєстрації НДР:** 0115U000692

**4. Назва вищого навчального закладу:** Сумський державний університет, лабораторія «Моделювання процесів у складних системах»

**5. Терміни виконання:** початок – 01.01.15, закінчення – 31.12.17.

## **6. Наукові результати**

За результатами роботи у 2015 році було вперше проведено врахування просторової неоднорідності головних параметрів по товщині мастильного шару. Записано основні рівняння і розроблено процедуру їх числового розв'язання. Описано часову еволюцію та стаціонарні стани системи. Показано, що температура поверхонь суттєво впливає на поведінку системи. При зміні коефіцієнтів дифузії можливо описати як ньютонівську поведінку мастил, так і неньютонівські випадки. Вперше отримано залежності головних параметрів від товщини мастила. З'ясовано, що у неоднорідному випадку по площині контакту формується доменна структура із двома типами доменів. Показано, що із часом по всій площині контакту мастило набуває однакових значень напружень. Вперше проведено дослідження часової еволюції фрактальних характеристик розподілу напружень у рамках методу покриттів. При застосуванні двох принципово різних підходів теоретично описано експериментально знайдені ефекти пам'яті, коли стан мастила залежить від його передісторії. Встановлено, що при наднизьких температурах існує статична компонента тертя, яку не дає стандартна модель. Крім того, вперше проведено дослідження впливу нанорозмірних нерівностей на режими тертя. Аналізуючи отримані результати було виявлено порушення періодичності залежностей сили тертя і швидкості зсуву від часу. Також показано, що при врахуванні нерівностей по площі контакту існує доменна структура. Проведено порівняння отриманих результатів із експериментами.

## 7. Результати етапів (відповідно до технічного завдання):

Номер етапу	Назва етапу згідно з технічним завданням.	Заплановані результати етапу	Отримані результати етапу
1	Моделювання просторово-неоднорідних явищ в режимі межового тертя.		
1.1	Термодинамічне представлення межового тертя в неоднорідному випадку.	Модифікація побудованої раніше моделі для опису неоднорідного випадку. Основні рівняння і опис стаціонарних станів.	Проведено врахування просторової неоднорідності головних параметрів по товщині мастильного шару. Записано основні рівняння і розроблено процедуру їх числового розв'язання. Описано часову еволюцію та стаціонарні стани системи. Отримано залежності головних параметрів від товщини мастила.
1.2	Дослідження еволюції статистичних характеристик доменної структури мастила.	Дослідження фрактальних властивостей отриманих розподілів параметрів за площиною контакту і їх часової еволюції.	З'ясовано, що у неоднорідному випадку по площині контакту формується доменна структура із двома типами доменів. Показано, що із часом по всій площині контакту мастило набуває однакових значень напружень. Проведено дослідження часової еволюції фрактальних характеристик розподілу напружень у рамках методу покриттів.
1.3	Опис ефектів пам'яті, які відбуваються за рахунок дії статичної складової сили тертя.	Встановлення залежності коефіцієнта тертя від фрактальних характеристик системи. Кінетичні залежності основних параметрів системи.	Теоретично описано експериментально знайдені ефекти пам'яті, коли стан мастила залежить від його передісторії. Показано, що при наднизьких температурах існує статична компонента тертя, яку не дає стандартна модель. Встановлена наявність у системі статичної складової тертя.
1.4	Узагальнення термодинамічної теорії межового тертя на випадок шорстких поверхонь.	Дослідження загального випадку, коли поверхні тертя не є атомарно-гладкими, а мають нанорозмірні нерівності. Графічне представлення основних результатів, а також порівняння їх з відомими експериментами.	Проведено дослідження впливу нанорозмірних нерівностей на режими тертя. Показано, що при врахуванні нерівностей по площі контакту існує доменна структура. Проведено порівняння отриманих результатів із експериментами, в яких спостерігається порушення періодичності, що пов'язано із наявністю в мастилi неоднорідностей, які

			також можна моделювати нерівностями поверхонь.
--	--	--	--

## 8. Результативність виконання науково-дослідної роботи

	Показники	Виконано (за результатами НДР)
		кількість
1.	<b>Публікації виконавців за тематикою НДР:</b> 1.1. Статті у журналах, що входять до наукометричних баз даних Scopus, Web of Science та/або Index Coperticus (для соціо-гуманітарних наук). 1.2. Публікації в матеріалах конференцій, що входять до наукометричних баз даних, які вказані у п. 1.1. 1.3. Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України та, які не зазначені у а. 1.1. 1.4. Публікації у матеріалах конференцій та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України. 1.5. Монографії, опубліковані за рішенням Вченої ради ВНЗ. 1.6. Підручники, навчальні посібники.	7  3  20  1  1
2.	<b>Підготовка наукових кадрів:</b> 2.1. Захищено докторських дисертацій за тематикою НДР. 2.2. Подано до розгляду спеціалізовану вчену раду докторських дисертацій за тематикою НДР. 2.3. Захищено кандидатських дисертацій за тематикою НДР. 2.4. Подано до розгляду у спеціалізовану вчену раду кандидатських дисертацій за тематикою НДР. 2.5. Захищено магістерських робіт за тематикою НДР.	   1  1  3
3.	<b>Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності створені за тематикою НДР:</b> 3.1. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) України. 3.2. Подано заявок на отримання патенту України. 3.3. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) інших держав. 3.4. Подано заявок на отримання патенту інших держав.	
4.	<b>Участь з оплатою у виконанні НДР:</b> 4.1. Студентів. 4.2. Молодих учених та аспірантів.	1  2

## 9. Бібліографічний перелік монографій, підручників, посібників, наукових статей, інших публікацій; подані заявки та отримані патенти; теми захищених та поданих до розгляду у спеціалізовану вчену раду дисертацій (за матеріалами досліджень за звітний період).

### Перелік посібників і монографій

- 1) А.В. Дворниченко, Я.О. Ляшенко, О.В. Хоменко, Г.С. Корнющенко, Збірник задач з фізики з прикладами розв'язання: навч. посіб.: у 2 ч. Частина 2. Електричний струм. Магнітне поле. Оптика. Радіоактивність. – Суми: Сумський державний університет, 2015. – 230 с.
- 2) А.В. Хоменко, Синергетика фазових и кинетических переходов в низкоразмерных системах. Физические основы, концепции, методы. – Saarbrücken, Deutschland/Германия:

Palmarium Academic Publishing, 2015. – 319 с. ISBN: 978-3-659-60374-7 (монографія за кордоном).

### **Теми захищених та поданих до розгляду у спеціалізовану вчену раду кандидатських дисертацій**

- 1) Н.М. Манько, «Синергетичне представлення переривчастого режиму межового тертя», захист відбувся 5 червня 2015 р. за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.
- 2) А.М. Заскока, «Фазові переходи в ультратонких твердоподібних плівках мастила при межовому терті», захист заплановано на 29 січня 2016 р. за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

### **Статті у журналах, що входять до наукометричної бази даних Scopus**

- 1) I.A. Lyashenko, V.L. Popov, Impact of an elastic sphere with an elastic half space revisited: Numerical analysis based on the method of dimensionality reduction // *Scientific Reports*. – 2015. – V.5. – P. 8479 (5 pp). doi: 10.1038/srep08479. (IF: 5.578).
- 2) Я.А. Ляшенко, В.П. Кузнецов, М. Попов, В.Л. Попов, В.Г. Горгоц, Динамическое моделирование спонтанных колебаний в процессе наноструктурирующего выглаживания // *Физическая мезомеханика*. – 2015. – Т. 18, № 1. – С. 38-42. (IF: 1.488).
- 3) Я.А. Ляшенко, А.Н. Заскока, Учет универсальной зависимости вязкости граничной смазки от температуры и скорости деформаций при описании особенностей stop-start-экспериментов // *Журнал технической физики*. – 2015. – Т.85, №7. – С. 69-76. (IF: 0.524).
- 4) Я.А. Ляшенко, Н.Н. Манько, Влияние деформационного дефекта модуля сдвига смазки на фазовую диаграмму режимов граничного трения // *Известия Высших учебных заведений. Физика*. – 2015. – Т.58, №5. – С. 102-108. (IF: 0.671).
- 5) I.A. Lyashenko, E. Willert, V.L. Popov, Adhesive impact of an elastic sphere with an elastic half space: Numerical analysis based on the method of dimensionality reduction // *Mechanics of Materials*. – 2016. – V.92. – P. 155-163. (IF: 2.329).
- 6) А.В. Хоменко, Д.С. Трощенко, Д.В. Бойко, М.В. Захаров, Влияние внешнего периодического воздействия на кинетику фрагментации металлов при интенсивной пластической деформации // *Журнал нано- и электронной физики*. – 2015. – Т.7, №1. – С. 01039 (11cc).
- 7) A.V. Khomenko, D.S. Troshchenko, L.S. Metlov, Thermodynamics and Kinetics of Solids Fragmentation at Severe Plastic Deformation // *Condensed Matter Physics*. – 2015. – V. 18, No. 3. – P. 33004: 1–14. doi: 10.5488/CMP.18.33004. (IF: 0.748).

### **Статті у матеріалах конференцій, що входять до наукометричної бази даних Scopus**

- 1) I.A. Lyashenko, N.N. Manko, Influence of Spatial Nonhomogeneity on the Boundary Friction Regime // 2015 IEEE 35th International Scientific Conference on ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO) (April 21-24, 2015 Kyiv, Ukraine). Conference proceedings. P. 97-100.
- 2) V. Borysiuk, I. Lyashenko, Atomistic Simulation of the Melting Behavior of the Au-Ag Nanoparticles with Core-Shell Structure // 2015 IEEE 35th International Scientific Conference on ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO) (April 21-24, 2015 Kyiv, Ukraine). Conference proceedings. P. 155-157.
- 3) I. Lyashenko, A. Zaskoka, Interrupted Mode of the Boundary Friction in the Model of Shear Melting with Asymmetric Potential // 2015 IEEE 35th International Scientific Conference on ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO) (April 21-24, 2015 Kyiv, Ukraine). Conference proceedings. P. 252-255.

## Статті у матеріалах конференцій

- 1) К.С. Жмака, А.М. Заскока, Я.О. Ляшенко, Динаміка формування неоднорідних просторових структур в межовому шарі мастила у процесі тертя // Труды XVII Міжнародного симпозиуму «Методи дискретних особливостей в задачах математичної фізики» (МДОЗМФ-2015) (8–13 июня 2015 г., Сумы, Украина). – Харків-Суми: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2015. – С. 96-99.
- 2) Я.А. Ляшенко, Н.Н. Манько, Применение явной разностной схемы для расчета пространственных распределений напряжений в реологической модели граничного трения // Труды XVII Міжнародного симпозиуму «Методи дискретних особливостей в задачах математичної фізики» (МДОЗМФ-2015) (8–13 июня 2015 г., Сумы, Украина). – Харків-Суми: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2015. – С. 150-153.
- 3) Я.А. Ляшенко, Гистерезисный характер плавления граничного слоя смазки между атомарно гладкими твердыми поверхностями // VI Международная научно-инновационная молодежная конференция “Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент” (28–30 октября 2015 г., Тамбов, Россия). Сборник научных трудов. – С. 365-367.
- 4) А.В. Хоменко, М.А. Хоменко, Синергетическое представление фрикционного размягчения поверхности льда // Труды XVII Международного симпозиума «Методы дискретных особенностей в задачах математической физики» (МДОЗМФ-2015) (8–13 июня 2015 г., Сумы, Украина). – Харьков-Сумы: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2015. – С. 265-268.
- 5) Д.С. Трощенко, О.В. Хоменко, Вплив зовнішньої періодичної дії на фазову діаграму режимів фрагментації металів при інтенсивній пластичній деформації // Труды XVII Міжнародного симпозиуму «Методи дискретних особливостей в задачах математичної фізики» (МДОЗМФ-2015) (8–13 июня 2015 г., Сумы, Украина). – Харків-Суми: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2015. – С. 245-248.

## Тези доповідей

- 1) О.В. Хоменко, Я.О. Ляшенко, Р.Є. Кремезний, М.О. Хоменко, Моделирование неравноважной кинетики межового тертя // Науково-технічна конференція “Інформатика, математика, автоматика ІМА-2015” (20-25 квітня 2015 р., Суми). Тези доповідей. – С. 185.
- 2) К.С. Жмака, Я.О. Ляшенко, А.М. Заскока, Динаміка формування неоднорідних просторових структур в межовому шарі мастила у процесі тертя // Науково-технічна конференція “Інформатика, математика, автоматика ІМА-2015” (20-25 квітня 2015 р., Суми). Тези доповідей. – С. 191.
- 3) В.В. Бараніченко, Я.О. Ляшенко, Нелінійна термодинамічна модель межового тертя з урахуванням просторової неоднорідності // Науково-технічна конференція “Інформатика, математика, автоматика ІМА-2015” (20-25 квітня 2015 р., Суми). Тези доповідей. – С. 211.
- 4) Я.О. Ляшенко, М.О. Феденко, Динамічне моделювання коливального режиму наноструктуруючого вигладжування за допомогою сферичного індентора // Науково-технічна конференція “Інформатика, математика, автоматика ІМА-2015” (20-25 квітня 2015 р., Суми). Тези доповідей. – С. 217.
- 5) Н.М. Манько, Я.О. Ляшенко, Самоподібний режим межового тертя при врахуванні деформаційного дефекту модуля зсуву // Науково-технічна конференція “Інформатика, математика, автоматика ІМА-2015” (20-25 квітня 2015 р., Суми). Тези доповідей. – С. 225.

- 6) Я.А. Ляшенко, С.С. Литовка, Компьютерное моделирование удара упругой сферы с упругим полупространством // Науково-технічна конференція “Інформатика, математика, автоматика ІМА-2015” (20-25 квітня 2015 р., Суми). Тези доповідей. – С. 231.
- 7) I.A. Lyashenko, V.P. Kuznetsov, M. Popov, V.L. Popov, V.G. Gorgots, Dynamical modelling of surface profiles after nanostructuring burnishing // Trilateral German-Ukrainian-Russian Workshop “Analysis and control of surface modification applied to machinery parts under severe plastic deformations” (October 13-14, 2015, Berlin, Germany). – P. 5.
- 8) А.В. Хоменко, Д.С. Трощенко, Д.В. Бойко, М.В. Захаров, Моделирование внешнего периодического воздействия на кинетику фрагментации металлов при интенсивной пластической деформации // Науково-технічна конференція “Інформатика, математика, автоматика ІМА-2015” (20-25 квітня 2015 р., Суми). Тези доповідей. – С. 190.
- 9) О.В. Хоменко, С.В. Руденко, К.П. Хоменко, Синергетична модель фрикційного розм'якшення поверхневого шару льоду // Науково-технічна конференція “Інформатика, математика, автоматика ІМА-2015” (20-25 квітня 2015 р., Суми). Тези доповідей. – С. 184.
- 10) А.В. Хоменко, Б.Н.Й. Перссон, М.А. Хоменко, С.В. Руденко, Нелинейная модель размягчения поверхности льда при трении // Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів Інституту електронної фізики НАНУ „ІЕФ-2015” (18-22 травня 2015 р., Ужгород, Україна). – С. 210.
- 11) Д.С. Трощенко, А.В. Хоменко, Е.П. Хоменко, Термодинамика и кинетика фрагментации твердых тел при интенсивной пластической деформации // Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів Інституту електронної фізики НАНУ „ІЕФ-2015” (18-22 травня 2015 р., Ужгород, Україна). – С. 213.
- 12) О.В. Хоменко, Б.Н.Й. Перссон, К.П. Хоменко, С.В. Руденко, Синергетична модель розм'якшення поверхні льоду при терті // Тези доповідей Міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЄВРИКА-2015 (13-15 травня 2015 р., Львів). Тези доповідей. – С. F5.
- 13) О.В. Хоменко, Д.С. Трощенко, М.О. Хоменко, Моделювання зовнішнього періодичного впливу на фазову діаграму та кінетику фрагментації металів при інтенсивній пластичній деформації // Тези доповідей Міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЄВРИКА-2015 (13-15 травня 2015 р., Львів). Тези доповідей. – С. F8.
- 14) A.V. Khomenko, B.N.J. Persson, M.A. Khomenko, S.V. Rudenko, Synergetic model of frictional softening of ice surface layer // VI International conference for young scientist «Low temperature physics» (June 2-5, 2015, Kharkiv). – P. 95.
- 15) A.V. Khomenko, D.S. Troshchenko, L.S. Metlov, Modeling of phase dynamics and kinetics of fragmentation at severe plastic deformation // VI International conference for young scientist «Low temperature physics» (June 2-5, 2015, Kharkiv). – P. 117.

**10. Використання результатів НДР у навчальному процесі та/або в промисловості (інших галузях) (до 15 рядків):**

1. Результати досліджень використовуються при викладанні загальноосвітньої дисципліни «Медична та біологічна фізика» та, як спеціальні підрозділи, при викладанні курсів «Нелінійні процеси та моделі», «Теорія фракталів», «Математичне моделювання» за спеціальністю «Прикладна математика».
2. На Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт з напрямку «Фізика» подано дві роботи.
3. За напрямком теми НДР студентами спеціальності «Прикладна математика» у весняному семестрі 2014/15 навчального року виконано 3 магістерські роботи та 2 кваліфікаційні роботи бакалавра.

4. Студенти взяли участь у роботі науково-технічної конференції «Інформатика, математика, автоматика - 2015», що проводиться СумДУ, зробили 2 доповіді, та у співавторстві зі студентами опубліковано 3 статті та 11 тез доповідей у матеріалах міжнародних та національних конференцій.

**11. Опис інших видів діяльності у рамках НДР.**

Індивідуальні гранти для проведення досліджень в Технічному університеті Берліна (Technische Universität Berlin, Німеччина) строком на два місяці (3.01-28.02.2015), три тижні (9.06-01.07.2015) та три місяці (01.10-29.12.2015). Досліджено адгезійні процеси при тангенціальному і нормальному русі поверхонь. Сумісно із німецькими колегами побудовано просторово-неоднорідну модель межового тертя, що базується на поєднанні існуючої термодинамічної моделі і методі редукції розмірності. Основуючись на методі редукції розмірності, побудовано теорію, що описує контактні явища при зіткненні сферичних тіл.

**12. Кількість штатних співробітників** \_\_\_\_\_, кількість сумісників 3, молодих учених з оплатою 2, кількість студентів з оплатою 1, які брали участь у виконанні НДР

**13. Рішення наукової ради СумДУ** від 26.11.2015 протокол № 3 про затвердження звіту

**Керівник роботи:**

\_\_\_\_\_ Хоменко О.В.  
підпис

**Проректор із наукової роботи:**

\_\_\_\_\_ Черноус А.М.  
підпис

**МП**