

**Секція:** Ядерна фізика, радіофізика та астрономія

**Назва пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки:** 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:** 4. Радіофізика

**Назва піднаправу секції:** 4.11. Взаємодія електромагнітного поля з речовиною, 4.13. Нелінійні та параметричні явища при взаємодії електромагнітного випромінювання з матеріальними середовищами, у тому числі з біологічними.

## **ЗВІТ ЗА ЕТАПОМ 2015 РОКУ за науково-дослідною роботою**

(Характер НДР: **фундаментальне дослідження**)

- 1. Тема НДР:** Електрофізичні властивості низьковимірних метаматеріальних та металодіелектричних систем міліметрового-інфрачервоного діапазонів хвиль
- 2. Керівник НДР:** проф., д. ф.-м. н. Воробйов Г.С.
- 3. Номер державної реєстрації НДР:** 0115U000690
- 4. Назва вищого навчального закладу:** Сумський державний університет
- 5. Терміни виконання:** початок - 2015, закінчення - 2017.
- 6. Наукові результати.**

Проведено теоретичний аналіз умов збудження електромагнітних коливань (дифракційного і черенковського випромінювань) в низьковимірних системах міліметрового діапазону хвиль. Розглянуті та проаналізовані умови збудження коливань в різних модифікаціях досліджуваних систем, запропоновані шляхи оптимізації параметрів електродинамічних систем, які є перспективними при створенні нових модифікацій джерел висококогерентних коливань та елементної бази в техніці міліметрового-інфрачервоного діапазонів хвиль.

Отриманні основні рівняння щільності енергії для низьковимірних металодіелектричних систем, які дозволяють якісно оцінити електродинамічні характеристики досліджуваних систем та запропонувати шляхи оптимізації їх геометричних параметрів. Сформульовані практичні рекомендації щодо використання зазначених систем із оптимальними електродинамічними характеристиками; закладена основа для подальшої оптимізації умов збудження та перетворення електромагнітних коливань у низьковимірних періодичних металодіелектричних структурах.

Отриманні наукові результати, які пояснюють окремі механізми перетворення поверхневих хвиль в об'ємні на періодичних металодіелектричних системах, що у свою чергу дозволяє якісно оцінити електродинамічні характеристики досліджуваних систем та запропонувати шляхи оптимізації їх геометричних параметрів. Запропоновано шляхи оптимізації умов перетворення електромагнітних коливань на періодичних металодіелектричних системах, які потребують подальшого підтвердження при проведенні експериментальних досліджень з використанням таких систем.

Отриманні нові результати, які уточнюють отримані раніше окремі механізми перетворення поверхневих хвиль в об'ємні на періодичних металодіелектричних системах. Застосування модифікацій метаматеріальних систем за дало можливість запропонувати нові шляхи оптимізації умов перетворення електромагнітних коливань поверхневих хвиль в об'ємні. Створене експериментальне підґрунтя для проведення подальшого чисельного моделювання хвильових процесів.

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

Номер етапу	Назва етапу згідно з технічним завданням.	Заплановані результати етапу	Отримані результати етапу
1.	Аналіз загальної концепції побудови низьковимірних металодіелектричних та метаматеріальних систем		
1.1.	Отримання моделі збудження електромагнітних коливань в низьковимірних металодіелектричних системах розподіленими джерелами випромінювання	Побудова моделей низьковимірних систем, аналіз умов збудження коливань в таких системах, 2 розділи підручника.	Отримано математичну модель збудження електромагнітних коливань, підготовлено 3 розділи підручника.
1.2.	Узагальнення рівнянь щільності енергії черенковського і дифракційного випромінювань для низьковимірних металодіелектричних систем	Отримання основних рівнянь щільності енергії для низьковимірних металодіелектричних систем, 1 стаття у зарубіжному виданні, 2 тез доповідей у збірках матеріалів міжнародних конференцій.	Отримано моделі збудження електромагнітних коливань в низьковимірних металодіелектричних структурах
1.3	Чисельний аналіз механізмів перетворення поверхневих хвиль в об'ємні на періодичних металодіелектричних системах	Аналітичний та графічний матеріал, 2 тез доповідей у збірках матеріалів міжнародних конференцій, 2 статті у фахових вітчизняних виданнях.	Проведено чисельне моделювання процесів збудження електромагнітних коливань на періодичних металодіелектричних системах, проаналізовані результати
1.4	Вивчення хвильових процесів у періодичних метаматеріальних системах різноманітних модифікацій	Побудова у деякому наближенні загальної концепції перетворення хвиль у досліджуваних системах, 2 статті у зарубіжних виданнях.	Отримані загальні концепції перетворення хвиль

## 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 Coperricus (для соціо-	<b>6</b>

	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.	2 2 - - 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.	- - - - 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.	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):**

Статі

1. Ion optics of probe-forming systems on the base of magnetic quadrupole lenses with conical aperture / Ponomarova, A.A., Vorobjov, G.S., Ponomarev, A.G. // Source of the Document Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. — 2015. — № 348. — pp. 88-91. (**Scopus**)
2. О моделировании условий возбуждения черенковского и дифракционного излучений на периодических металлодиэлектрических структурах / Г.С. Воробьев, М.В. Петровский, А.И. Рубан, Д.Ю. Дорошенко. // Журнал нано- та електронної фізики. — 2015. — Т.7, №2. — С. 02019-1 - 02019-9. (**Scopus**)
3. Установка для измерения характеристик электровакуумных приборов СВЧ с открытыми резонансными структурами / А.А. Рыбалко, А.И. Рубан, Г.С. Воробьев, Д.Ю. Дорошенко // Приборы и техника эксперимента. — 2015. — №4. — с.77-81.
4. Particularities of Transformation of Surface Electromagnetic Waves into Spatial Radiation Waves upon Periodic Metal Dielectric Structures / Vorobjov, G.S., Petrovsky M.V., Ruban A.I., Zhurba V.O., Shubnikov V.S., Puryga O.O. // Telecommunications and Radio Engineering. — 2015. — №16. — v.74. — p.1446-1456. (**Scopus**)
5. Plural interactions of space charge wave harmonics during the development of two-stream instability / V. Kulish, A. Lysenko, M. Rombovsky, V. Koval, Iu. Volk // Chin. Phys. B. — 2015. — Vol. 24, No. 9. — P. 095201(5). (**Scopus**)
6. Модернізований метод усереднених характеристик для розв'язування задач мультigarмонічних резонансних взаємодій у пристроях сильнотрумової електроніки /

- В.В. Куліш, О.В. Лисенко, Г.А. Олексієнко, Г.В. Биченко, О.А. Колоскова // Журнал нано- та електронної фізики. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 02015(8). (**Scopus**)
7. Мультигармонические взаимодействия волн в плазменно-пучковых супергетеродинных ЛСЭ с винтовыми электронными пучками / В. В. Кулиш, А. В. Лысенко, Г. А. Алексеенко // Успехи прикладной физики. – 2015. – Т. 3, № 5. – С. 438–446.
  8. Kulish V.V. Nonlinear interaction of waves in plasma-beam superheterodyne FEL of the dopplertron type with helical electron beam / V.V. Kulish, A.V. Lysenko, G.A. Oleksiienko // Problems of atomic science and technology. – 2015. – No 6. – P. 83–89. (**Scopus**)

#### Науково-навчальна література

1. Радіофізичні методи діагностики матеріалів і середовищ : підручник / Воробйов Г.С., Пономарьова Г.О., Рибалко О.О., Рубан А.І., Писаренко Л.Д., Михайлов С.Р., Дрозденко О.О., Дорошенко Д.Ю. — Суми : СумДУ, 2014. — 222 с.
2. Теорія поля: стислий конспект лекцій і тестові завдання для студ. напрямів підготовки 6.050801 "Мікро- та наноелектроніка" та 6.050802 "Електронні пристрої та системи" денної, заочної та дистанційної форм навчання / А. І. Рубан, І. В. Барсук, Г. С. Воробйов, О. О. Дрозденко. — Суми : СумДУ, 2015. — 67 с.
3. Методичні вказівки до виконання практичних робіт із дисципліни «Теорія поля» для студ. напрямів підготовки 6.050801 "Мікро- та наноелектроніка" та 6.050802 "Електронні пристрої та системи" денної та заочної форм навчання/ укладачі : А. І. Рубан, О. О. Дрозденко. — Суми : Сумський державний університет, 2015. —92 с.

#### Тези

1. Selective properties of resonant quasi-optical systems with double-row periodic structures/ A.A. Rybalko, G.S. Vorobyov, Yu.A. Rybalko, V.O. Zhurba // Microwave and Telecommunication Technology : 25th International Crimean Conference, September 6–12, 2015 : proceeding. – Sevastopol, Ukraine, 2015. (**Scopus**)
2. Розробка комплексу автоматизації вимірювань електродинамічних характеристик для панорамного вимірювача коефіцієнту послаблення та КСВН Я2Р-67 / О.О. Пурига, В.С. Шубніков, Д.В. Деуленко та ін. // Фізика, електроніка, електротехніка: матеріали та програма науково-технічної конференції, м. Суми, 20-25 квітня 2015 р. — Суми: СумДУ, 2015. — С. 109.
3. Просторово-дисперсійні характеристики двомірних фотонних кристалів / О.С. Кривець, В.С. Шубніков // Фізика, електроніка, електротехніка: матеріали та програма науково-технічної конференції, м. Суми, 20-25 квітня 2015 р. — Суми: СумДУ, 2015. — С. 105.
4. К вопросу о моделировании черенковского и дифракционного излучений на периодических металлодиэлектрических структурах / Г.С. Воробьев, М.В. Петровский, В.О. Журба и др. // Фізика, електроніка, електротехніка: матеріали та програма науково-технічної конференції, м. Суми, 20-25 квітня 2015 р. — Суми: СумДУ, 2015. — С. 108.
5. Моделирование множинных параметрических взаимодействий хвиль з лінійними дисперсійними залежностями / О.В. Лисенко, В.М. Кравченко // Інформатика, математика, автоматика: матеріали та програма науково-технічної конференції, м. Суми, 20-25 квітня 2015 р. — Суми: СумДУ, 2015. — С. 214.
6. Lysenko A. V. Cubic-nonlinear theory of plasma-beam superheterodyne FEL of the dopplertron type with helical electron beam / A. V. Lysenko, G. A. Oleksiienko // Microwave and Telecommunication Technology : 25th International Crimean Conference, September 6–12, 2015 : proceeding. – Sevastopol, Ukraine, 2015. – P. 541–542. (**Scopus**)
7. Лысенко А.В. Метод усредненных характеристик для решения мультигармонических задач в сильноточной электронике / А.В. Лысенко, Г. А. Алексеенко // Труды международного симпозиума «Методы дискретных особенностей в задачах математической физики» (МДОЗМФ-2015), 8–13 июня 2015. – Харьков, 2015. – С. 142-145.

8. Lysenko A.V. Cubic-Nonlinear theory of the plasma-beam superheterodyne FEL Dopplertron type with non-axial injection of electron beam / A.V. Lysenko, G.A. Oleksiienko // Electronics and Applied Physics : XI International Conference, October 21–24, 2015 : proceeding. – Kyiv, Ukraine, 2015. – P. 145–146.
9. Лисенко О.В. Кубічна нелінійна теорія плазмово-пучкового супергетеродина ЛВЕ доплертрона типу з неосовою інжекцією електронного пучка / О.В.Лисенко, Г.А.Олексієнко // Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів (ІЕФ-2015), 18–22 травня 2015 : програма і тези доповідей. – Ужгород, 2015. – С. 65.
10. Lysenko A.V. Ultrashort electromagnetic clusters formation in two-stream superheterodyne free electron lasers / A.V. Lysenko, M.Yu. Rombovsky, V.V. Koval, and I.I. Volk // Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів (ІЕФ-2015), 18–22 травня 2015 : програма і тези доповідей. – Ужгород, 2015.– С. 117.
11. Oleksiienko G.A. Nonlinear wave interaction in plasma-beam superheterodyne FEL of H-ubitron type with a helical electron beam / G.A. Oleksiienko, V.V. Kulish, A.V. Lysenko // Optics & High Technology Material Science (SPO 2015) : 16th International Young Scientist Conference, October 22–25, 2015 : scientific works. – Kyiv, Ukraine, 2015. – P. 155.

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

Результати досліджень, як спеціальні та загальні підрозділи, використовуються при викладанні курсів «Теорія поля», «Електроніка НВЧ та її застосування у біомедичному обладнанні» «Формування та діагностика потоків заряджених частинок», «Радіофізичні методи діагностики матеріалів», а також опубліковані підручник «Радіофізичні методи діагностики матеріалів» та конспект лекцій з дисципліни «Теорія поля». За напрямком теми НДР студентами спеціальності «Фізична та біомедична електроніка» у 2015 році захищені 3 магістерських та 3 дипломних робіт спеціаліста. Результати роботи частково увійшли до кандидатської дисертаційної роботи Олексієнко Г.О. «Моделювання процесів формування електронних пучків у аксіально-симетричних системах електронно-променевих приладів» (захист заплановано на 2016 рік).

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

В рамках досягнення мети науково-дослідної роботи триває співпраця з Інститутом прикладної фізики НАН України та Технічним Університетом Данії, планується підготовка аспірантів за тематикою спільних наукових досліджень.

**12. Кількість штатних співробітників** – 0, кількість сумісників – 8, молодих учених з оплатою – 2, кількість студентів з оплатою – 2, які брали участь у виконанні НДР

**13. Рішення наукової ради** від 29.11.2015 протокол № 3 про затвердження звіту

**Керівник роботи:**

**Проректор із наукової роботи:**

\_\_\_\_\_ Г.С. Воробйов  
Підпис

\_\_\_\_\_ А.М. Чорноус  
Підпис

**МП**