# Облікова картка НДДКР

**Державний обліковий номер:** 0221U101223

**Державний реєстраційний номер:** 0119U101609

**Відкрита**

**Дата реєстрації:** 18-01-2021

## 1. Етапи виконання

**Номер етапу:** 2

**Назва етапу:** Розробити та обґрунтувати адитивний алгоритм розв'язання векторних задач дискретної оптимізації з булевими змінними. Побудувати та обґрунтувати алгоритми розв'язання багаторівневих задач опуклого програмування та задач оптимізації руху рідини у пористому середовищі.

**Початок етапу:** 01-2020

**Закінчення етапу:** 12-2020

**Вид звітного документа:** Остаточний звіт

## 2. Виконавець

**Назва організації:** Державна організація "Відділення цільової підготовки Київського національного університету імені Тараса Шевченка при Національній академії наук України"

**Код ЄДРПОУ/ІПН:** 16463392

**Підпорядкованість:** Національна академія наук України

**Адреса:** вул. Володимірська, 54, м. Київ, Київська обл., 01601, Україна

**Телефон:** 380444247241

**E-mail:** edu@imag.kiev.ua

## 3. Власник результатів НДДКР (продукції)

**Назва організації:** Національна академія наук України

**Код ЄДРПОУ/ІПН:** 00019270

**Адреса:** вул. Володимирська, буд. 54, м. Київ, Київська обл., 01030, Україна

**Підпорядкованість:** Кабінет міністрів

**Телефон:** 380442350981

**Телефон:** 380442262341

**Телефон:** (044) 239-66-72

**Телефон:** NAS.gov.ua

**E-mail:** prez@nas.gov.ua

**WWW:** http://nas.gov.ua

## 4. Джерела та напрями фінансування

**Підстава для проведення робіт:** 34 - договір (замовлення) з центральним органом виконавчої влади, академією наук (головними розпорядниками бюджетних коштів на проведення НДДКР)

**КПКВК:** 2201030

**Напрям фінансування:** 2.1 - фундаментальні дослідження

### Джерела фінансування

**Джерело фінансування:** 7713 - кошти держбюджету

**Фактичний обсяг фінансування за звітний етап:** 133.369 тис. грн.

## 5. Науково-технічна робота

### Назва роботи (укр)

Елементи надшвидких нейронних систем на основі антиферомагнітних спінтронних наноструктур.

### Назва роботи (англ)

Elements of ultrafast neuron systems on the basis of antiferromagnetic spintronic nanostructures.

### Реферат (укр)

Розроблено надшвидкі логічні елементти для обчислювальних нейронних систем на основі антиферомагнітних спінових осциляторів Холла, що працюють у терагерцовому діапазоні частот; вивчено фізичні ефекти, що відбуваються в таких системах, та досліджено їх електродинамічні характеристики. Встановлено, що антиферомагнітний спіновий осцилятор Холла NiO/Pt, який перебуває у докритичному режимі роботи, може виконувати роль штучного «нейрона», генеруючи дельта-подібні вихідні імпульси тривалістю ~ 4 пс під дією вхідних імпульсних сигналів. Показано, що існують різні режими роботи такого нейрона, коли під дією вхідного імпульсу не генерується вихідний імпульс, генерується один або декілька вихідних імпульсів. Запропоновано конструкції логічних елементів АБО та І на основі штучних «нейронів» з двома входами та елементів M-gate та Q-gate на основі штучних «нейронів» з трьома входами, один з яких може бути інвертованим, і за допомогою методів числового моделювання досліджено динамічні процеси, які в них відбуваються, а також розраховано їх технічні характеристики.. Показано, що об'єднуючи елементи M-gate та Q-gate можна побудувати повний двійковий суматор на основі лише трьох штучних «нейронів». Теоретично досліджено рух доменних стінок у феримагнетиках поблизу точки компенсації спінів підґраток, коли мають місце ефекти обмінного підсилення граничної швидкості стінки. Знайдено нелінійні режими нестаціонарного руху стінки з чималою швидкістю, аж до граничної. Виявлена область параметрів магнетика, в якій можливе порушення застосовності підходу колективних змінних. У цій області рух стінки супроводжується періодичною появою нестабільності щодо наростання спінових коливань всередині доменної стінки.

### Реферат (англ)

Ultrafast logic elements for computational neural systems based on antiferromagnetic Hall spin oscillators operating in the terahertz frequency range have been developed; the physical effects occurring in such systems have been studied, and their electrodynamic characteristics have been studied. It was found that the antiferromagnetic Hall Hall oscillator NiO/ Pt, which is in the subcritical mode, can act as an artificial "neuron", generating delta-like output pulses lasting ~ 4 ps under the action of input pulse signals. It is shown that there are different modes of operation of such a neuron, when under the action of the input pulse no output pulse is generated, one or more output pulses are generated. The constructions of logic elements OR and I on the basis of artificial "neurons" with two inputs and elements M-gate and Q-gate on the basis of artificial "neurons" with three inputs, one of which can be inverted are offered, and by means of methods of numerical modeling dynamic The processes that take place in them, as well as their technical characteristics are calculated. It is shown that by combining the elements of M-gate and Q-gate you can build a complete binary adder based on only three artificial "neurons". The motion of domain walls in ferromagnets near the point of compensation of sublattice spins, when the effects of exchange gain of the wall velocity limit take place, is theoretically investigated. Nonlinear modes of nonstationary wall motion with considerable velocity up to the limit are found. The range of parameters of the magnet in which violation of applicability of the approach of collective variables is possible is revealed. In this area, the movement of the wall is accompanied by the periodic appearance of instability with respect to the growth of spin oscillations within the domain wall.

**Індекс УДК:** 548:537.611.45;548:537.611.44, 537.6; 538.9

**Коди тематичних рубрик НТІ:** 29.19.43

## 6. Науково-технічна продукція (НТП)

### НТП 1

**Назва продукції (укр):** Результати числового моделювання процесу генерації імпульсних сигналів у спіновому осциляторі Холла на основі біанізотропного антиферомагнетика, що керується слабким вхідним змінним струмом і сталим струмом зміщення. Теоретична модель динаміки намагніченості у феримагнітних матеріалах з антипаралельно направленими спіновими підґратками під дією спін-обертового ефекту.

**Назва продукції (англ):** Results of numerical modeling of the process of pulse signal generation in a spin Hall oscillator based on a bianisotropic antiferromagnet controlled by weak input AC and DC bias. A theory of magnetization dynamics in ferromagnetic materials with antiparallel aligned spin sublattices under the action of spin-transfer torques (STTs).

**Очікувані результати:** Методи, теорії

**Галузь застосування:** Електронно-керовані елементи та пристрої в мікроелектроніці та спінтроніці

**Опис продукції (укр):** Розроблено надшвидкі логічні елементти для обчислювальних нейронних систем на основі антиферомагнітних спінових осциляторів Холла, що працюють у терагерцовому діапазоні частот, вивчено фізичні ефекти, що відбуваються в таких системах, та досліджено їх електродинамічні характеристики. Теоретично досліджено рух доменних стінок у феримагнетиках поблизу точки компенсації спінів підґраток, коли мають місце ефекти обмінного підсилення граничної швидкості стінки. Знайдено нелінійні режими нестаціонарного руху стінки з чималою швидкістю, аж до граничної. Виявлена область параметрів магнетика, в якій можливе порушення застосовності підходу колективних змінних. У цій області рух стінки супроводжується періодичною появою нестабільності щодо наростання спінових коливань всередині доменної стінки.

**Соціально-економічна спрямованість НТП:** Створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту

**Стадія завершеності НТП:** Звіт по НДДКР

**Впровадження НТП:** Не впроваджено

**Строки впровадження:** 01.202012.2024

**Виробник продукції:** Державна організація Відділення цільово підготовки Київського національного університету імені Тараса Шевченка при національній академії наук України

**Споживачі продукції:** Національна академія наук України

**Перспективні ринки:** Україна, країни ближнього та дальнього зарубіжжя

**Права інтелектуальної власності:** За договорами

**Форми та умови передачі продукції:** Спільні НДДКР

## 7. Бібліографічний опис

1. E. G. Galkina, V. E. Kireev, R. V. Ovcharov, R. S. Khymyn, B. A. Ivanov, Spin dynamics in antiferromagnets with domain walls and disclinations, Ukr. J. Phys. 65, No. 10, 924 - 938 (2020).

2. B. A. Ivanov, E. G. Galkina, V. E. Kireev, N. E. Kulagin, R. V. Ovcharov, and R. S. Khymyn, Nonstationary forced motion of domain walls in ferrimagnets near the spin compensation point, Low Temp. Phys. 46, № 8, 841-850 (2020).

3. D. M. Polishchuk, M. M. Kulyk, E. Holmgren, G. Pascuale, A. F. Kravets, and V. Korenivski, Influence of Nanosize Effect and Non-Magnetic Dilution on Interlayer Exchange Coupling in Fe–Cr/Cr Nanostructures, Ukrainian Journal of Physics 65(10), 898 (2020).

4. D. M. Polishchuk, T. I. Polek, V. Yu. Borynskyi, A. F. Kravets, A. I. Tovstolytkin, A. M. Pogorily, V. Korenivski, Spin-current dissipation in a thin-film bilayer ferromagnet/antiferromagnet, Low Temperature Physics, 46(8), 813 (2020). doi:10.1063/10.0001547.

1. Artemchuk P.Yu., Sulymenko O.R., Louis S., Li J., Khymyn R.S., Bankowski E., Meitzler T., Tyberkevych V.S., Slavin A.N., Prokopenko O.V. Terahertz frequency spectrum analysis with a nanoscale antiferromagnetic tunnel junction // Journal of Applied Physics. – 2020. – Vol. 127. – Art. 063905 (9 p.).

2. Slobodianiuk D.V., Prokopenko O.V. Synchronization of an Antiferromagnetic Josephson-like Oscillator with an External AC signal // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2020. – Vol. 12, No. 5. – Art. 05013 (4 p.).

3. R. V. Verba, E. G. Galkina, V. S. Tiberkevich, A. N. Slavin, and B. A. Ivanov, Spin wave modes localized on isolated defects in a two-dimensional array of dipolarly coupled magnetic nanodots, Phys. Rev. B 102, 054421 (2020).

4. B. A. Ivanov, Spin Dynamics for Antiferromagnets and Ultrafast Spintronics, J. Exp. Theor. Phys. 131, №1 (7), 96–113 (2020) [Zh. Eksp. Teor. Fiz. 158, №1 (7), 103–123 (2020)].

5. R. V. Verba, D. Navas, S. A. Bunyaev, A. Hierro-Rodriguez, K. Y. Guslienko, B. A. Ivanov, and G. N. Kakazei, Helicity of magnetic vortices and skyrmions in soft ferromagnetic nanodots and films biased by stray radial fields, Phys. Rev. B 101, 064429 (2020)

. Монографії: 2. Artemchuk P.Yu., Prokopenko O.V. Detection of Microwave and Terahertz-Frequency Signals in Spintronic Nanostructures // Chapter 1 in book: Modern Magnetic and Spintronic Materials: Properties and Applications. NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics / A. Kaidatzis, S. Sidorenko, I. Vladymyrskyi, D. Niarchos (Eds.). – Dodrecht: Springer, 2020. – P. 1-26; https://doi.org/10.1007/978-94-024-2034-0_1.

3. Hafarov A., Prokopenko O., Sidorenko S., Makarov D., Vladymyrskyi I. L10 Ordered Thin Films for Spintronic and Permanent Magnet Applications // Chapter 4 in book: Modern Magnetic and Spintronic Materials: Properties and Applications. NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics / A. Kaidatzis, S. Sidorenko, I. Vladymyrskyi, D. Niarchos (Eds.). – Dodrecht: Springer, 2020. – P. 73-94; https://doi.org/10.1007/978-94-024-2034-0_4.

## 8. Звітна документація

**Кількість сторінок в звіті:** 68

**Мова звіту:** Українська

**Умови поширення в Україні:** Не заборонено

**Умови передачі іншим країнам:** Не заборонено

**Кількість файлів у звіті:** 1

## 9. Заключні відомості

### Перелік осіб-виконавців

Іванов Боріс Олексійович (д. ф.-м. н., член-кор.)

Кравець Анатолій Федорович (к. ф.-м. н., с.н.с.)

Литвиненко Ярина Миколаївна (к. ф.-м. н.)

Прокопенко Олександр Володимирович (д. ф.-м. н., професор)

Товстолиткін Олександр Іванович (д.ф.-м.н., професор)

**Керівник організації:**

Погорілий Анатолій Миколайович (д. ф.-м. н., професор)

**Керівники роботи:**

Товстолиткін Олександр Іванович (д. ф.-м. н., професор)

**Керівник відділу реєстрації наукової діяльності УкрІНТЕІ**

Юрченко Т.А.