

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Ректор  
Національного аерокосмічного університету  
ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»



**АНОТОВАНИЙ ЗВІТ**  
**про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту**  
**із виконання наукових досліджень і розробок**

Наукові основи створення оксидних та вуглецевих наноструктур в умовах плазмового середовища  
(назва Проєкту)

**Назва конкурсу:** Підтримка досліджень провідних та молодих учених  
**Реєстраційний номер Проєкту:** 2020.02/0119

**Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок** (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0119 Наукові основи створення оксидних та вуглецевих наноструктур в умовах плазмового середовища

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу Підтримка досліджень провідних та молодих учених (назва конкурсу) протокол від 05 листопада 2020 року № 34.

## 1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту  
Початок – дата укладання Договору про виконання наукових досліджень і розробок;  
Закінчення – 2022 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 11475000 грн 00 коп. (одиннадцять мільйонів чотириста сімдесят п'ять грн 00 коп.)

Вартість Проєкту по роках, грн.:

- 1-й рік 1475000 грн 00 коп. (один мільйон чотириста сімдесят п'ять грн 00 коп.)
- 2-й рік 5000000 грн 00 коп. (пять мільйонів грн. 00 коп.)
- 3-й рік 5000000 грн 00 коп. (пять мільйонів грн. 00 коп.)

## 2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 6 виконавців, з них:

- доктори наук 1;
- кандидати наук 4;
- інші працівники 1.

### 3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(І) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

1. Найменування підприємства/установи/організації грантоотримувача Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»
2. Організаційно-правова форма підприємства / установи / організації (обирається з переліку) (українською та англійською мовами):  
Державна організація
3. Код за ЄДРПОУ 02066769
4. Підпорядкованість підприємства / установи / організації (українською та англійською мовами) Міністерство освіти і науки України
5. Основні/стратегічні напрями наукової діяльності (українською та англійською мовами) Авіація, космонавтика, двигунобудування, агрегатобудування, системи керування, матеріалознавство, комп'ютерні науки
6. Код КВЕД 85.42, 72.19
7. Прізвище, ім'я, по батькові керівника підприємства/установи/організації (українською та англійською мовами) Нечипорук Микола Васильович
8. Місцезнаходження підприємства / установи / організації (українською та англійською мовами):  
місцезнаходження (згідно з ЄДРПОУ)  
61070, Харківська обл., місто Харків, Київський район, вул. Чкалова, буд. 17  
фактичне місцезнаходження  
61070, Харківська обл., місто Харків, Київський район, вул. Чкалова, буд. 17
9. Контактні дані:  
телефон підприємства / установи / організації +380577074000  
адреса для листування  
61070, Україна, Харків, вул. Чкалова, буд. 17  
адреса електронної пошти Khai@khai.edu  
посилання на веб-сторінку https://khai.edu

### 4. ОПИС ПРОЄКТУ

#### 4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Формування наукових засад для суттєвого підвищення продуктивності процесів і забезпечення конкурентоспроможності оксидних та вуглецевих наноструктур вітчизняного виробництва шляхом розробки та впровадження сучасних плазмових методів зростання з реалізацією нових технологічних рішень для забезпечення якісних характеристик наноструктур різної вимірності.

#### 4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

Систематичне дослідження процесів формування оксидних та вуглецевих наноструктур в умовах оброблення зразків потоками іонів різних джерел плазми. Експериментальне дослідження умов створення наноструктур різної вимірності (нанодротів, нанотрубок, нанопластівців тощо), а також умов переходу від одного виду до іншого.

#### 4.3. Детальний зміст Проєкту:

##### - Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Для синтезу вуглецевих наноструктур плазмові методи є основними; вони засновані на використанні плазми, яка генерується шляхом застосування мікрохвильової та радіочастотної енергії, або постійного струму. Плазма є універсальним інструментом в технології отримання

оксидних та вуглецевих наноструктур, але розвиток плазмових методів стримується недостатньо розвиненою теоретичною базою.

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Пропонується розробка єдиної теоретичної моделі, яка буде описувати процеси зростання відомих типів оксидних та вуглецевих наноструктур, а також прогнозувати нові процеси зростання із застосування плазми різних типів та комбінацією умов формування наноструктур. Результати досліджень будуть втілені в етапах технологічних процесів, впроваджених як у вітчизняній промисловості, так і за кордоном.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

В експериментах виділяються чотири етапи експериментально-теоретичного дослідження 1D, 2D, 3D наноструктур із застосуванням чотирьох видів джерел плазми, а також п'ятий етап розробки єдиної теоретичної моделі. Для вказаної сукупності джерел застосовуються шість методів керування іонним потоком на поверхню зразків, в залежності від обраного джерела плазми.

## **5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:**

### **5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)**

За результатами етапу опубліковано або прийнято до публікації 2 статті у періодичних виданнях першого (Q1) або другого (Q2) квантилів за класифікацією Journal Citation Reports або Scimago:

I. Levchenko, S. Xu, O. Cherkun, O. Baranov and K. Bazaka. Plasma meets metamaterials: Three ways to advance space micropropulsion systems. *Advances in Physics X*, 2020, in press, paper TAPX 1834452. (прийнято до публікації)

I. Levchenko, O. Baranov, J. Fang, O. Cherkun, S. Xu, K. Bazaka. Focusing plasma jets to achieve high current density: Feasibility and opportunities for applications in debris removal and space exploration. *Aerospace Science and Technology*. 2020, 106343. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.106343> (опубліковано)

Підготовлено до видання 3 статті, що входять до науково-метричних баз даних WoS та Scopus;

Shyrokyi, Y. V. Generation of temperature fields to form nanostructures in graphite by action of oxygen ions [Text] / Y. V. Shyrokyi, G. I. Kostyuk // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2020. (категорія Q2)

Волков, А. О. Вплив параметрів потоку газу на формування функціональних оксидних та вуглецевих покриттів [Текст] / А. О. Волков // *Metallophysics and Advanced Technologies*, 2020. (категорія Q3)

Shorinov, O. V. Simulation of gas flow with nanocomposite carbon-containing powders in a supersonic nozzle [Текст] / O. V. Shorinov // *Metallophysics and Advanced Technologies*, 2020. (категорія Q3)

Опубліковано або прийнято до публікації 2 статті у журналах, що входять до переліку фахових видань України та мають ISSN:

Баранов, О. О. Теоретична модель формування одновимірних наноструктур оксиду міді в умовах плазмового середовища [Текст] / О. О. Баранов // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології. – Вип. 88. – Х., 2020. – С. 141–159.  
<http://nti.khai.edu/ojs/index.php/oikit/article/view/1256/1332> (опубліковано)

Discharge characteristics of the magnetron system for sputtering, deposition, and nanotechnology applications [Text] / A.A. Breus, A.L. Serdiuk, V.I. Ruzaikin, O.O. Baranov // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Х., 2020. (прийнято до публікації)

Опубліковано розділ монографії обсягом 4 друкованих аркушів у закордонних виданнях офіційними мовами Європейського Союзу (англійська):

Baranov O. O., Levchenko I., Xu S., Bazaka K. Advanced concepts and architectures for plasma-enabled material processing. / O. O. Baranov, I. Levchenko. S. Xu, K. Bazaka // Synthesis lectures on emerging engineering technologies / Morgan & Claypool Publishers. – San Rafael, USA. – 2020. – P. 1-90. ISBN 9781681739113 . <https://doi.org/10.2200/S01042ED1V01Y202008EET011>  
<https://www.amazon.com/Architectures-Plasma-enabled-Processing-Engineering-Technologies/dp/1681739100>

## **5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами**

На відміну від існуючих аналогів, розроблена теоретична модель формування оксидних та вуглецевих наноструктур в умовах плазмового розряду розглядає комплекс процесів, включно з процесами формування поверхневих шарів, які є базою для виникнення наноструктур. В результаті виконання експериментальних досліджень отримані підтвердження теоретичних моделей та положень процесу формування одновимірних оксидних наноструктур (нанодротів). Встановлено, що застосування тільки термічного механізму зростання дозволяє отримати наноструктури протягом 5...6 годин. При цьому існує оптимальна зона зростання між 500 та 700 °С. Застосування плазми тліючого розряду дозволяє пришвидшити процес у 20 разів. Проведені дослідження дозволяють розробляти етапи технологічних процесів із застосуванням більш дешевого обладнання (тліючий розряд), або значно енергоефективного та екологічно чистого дугового розряду.

## **5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)**

За результатами експериментальних досліджень будуть отримані технологічні етапи зростання наноструктур за допомогою плазми тліючого та дугового розряду. Значна поширеність в Україні подібних технологічних пристроїв дозволить значно спростити впровадження іонно-плазмових нанотехнологій у нашій державі та посприє подальшому просуванню української високотехнологічної продукції (наноматеріалів) на світовий ринок з метою отримання міжнародних грантів та контрактів.

## **5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.**

В результаті виконання проєкту буде розроблений метод математичного моделювання процесів росту оксидних та вуглецевих наноструктур у середовищі поширених тліючого та дугового розрядів, тому результати етапу є потенційним чинником для створення стартапів, які потребують значно менших інвестицій завдяки застосуванню дешевого обладнання. Крім того, механізми формування наноструктур в умовах плазми постійного струму можуть бути використані в аерокосмічній галузі для дослідження впливу плазми на елементи конструкції

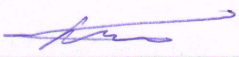
електрореактивних двигунів, а також для впровадження нових двигунів, такі як мікродугові трастери. Формування наноструктур із застосуванням дешевого обладнання дозволить зменшити вартість створення датчиків для розпізнавання вибухонебезпечних речовин, що прискорить процеси розмінування на територіях в зонах військового конфлікту.

Примітка: Анотований звіт не повинен містити відомостей, заборонених до відкритого опублікування

### **Науковий керівник Проекту**

Завідуючий кафедри теоретичної механіки,  
машинознавства та роботомеханічних систем  
(посада)

Баранов О. О.  
ПІБ

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)