

УДК 620.186:623.746-519 (55)

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.4\(40\).53-61](https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.4(40).53-61)

**В. Л. БОГДАНОВ**, академік НАН України  
доктор фізико-математичних наук  
<https://orcid.org/0000-0001-9864-9120>

**О. Я. ГРИГОРЕНКО**, член-кореспондент НАН України  
доктор фізико-математичних наук  
<https://orcid.org/0000-0002-4W9-2672>  
(Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка  
НАН України, м. Київ)

**І. Б. ЧЕПКОВ**, доктор технічних наук, професор  
<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>

**І. В. ОДНОРАЛОВ**, доктор технічних наук  
старший науковий співробітник  
<https://orcid.org/0000-0002-7151-3175>

**А. В. КУЧИНСЬКИЙ**, кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
<https://orcid.org/0000-0002-1687-9393>  
(Центральний науково-дослідний інститут  
озброєння та військової техніки Збройних Сил  
України, м. Київ)

**В. В. КРЕМЕНИЦЬКИЙ**, кандидат  
фізико-математичних наук  
<https://orcid.org/0000-0003-1448-6323>

**С. О. СПЕРКАЧ**, кандидат  
фізико-математичних наук  
<https://orcid.org/0000-0003-3168-6300>  
(Технічний центр НАН України, м. Київ)

## ВИЗНАЧЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ, СТРУКТУРИ ТА ТОПОГРАФІЇ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ КОРПУСУ ПЛАНЕРУ БАРАЖУЮЧОГО БОЄПРИПАСУ «SHAHED-136» МЕТОДОМ СКАНУЮЧОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ МІКРОСКОПІЇ

У статті представлено результати дослідження мікроструктурних характеристик матеріалів планеру, що використовуються під час виготовлення баражуючого боєприпасу «Shahed-136» із застосуванням методу скануючої електронної мікроскопії. Наведено результати аналізу складу та структури складових елементів фрагментів планеру БПЛА «Shahed-136», виготовлених із різних матеріалів, які отримані під час проведення апаратних досліджень із застосуванням рентгенівського мікроаналізатору JXA-8200 виробництва JEOL Ltd (Японія) та скануючого електронного мікроскопу JSM-6490LV з енергодисперсійним спектрометром INKA Energy 350XT.

Дослідження проводились з метою формування інформаційної бази для розроблення алгоритмів виявлення та систем протидії баражуючим боєприпасам.

**Ключові слова:** БПЛА, рентгенівський мікроаналіз, склад матеріалу, структура, топографія поверхні.

### ВСТУП

У ході повномасштабного вторгнення російської федерації переважну кількість атак по містах України окупанти здійснюють саме бойовими безпілотними літальними апаратами «Герань-2». Як зазначалося [1], цей дрон ідентифіковано як баражуючий боєприпас «Shahed-136», який розроблено та виготовлено в Ірані компанією Shahed Aviation Industries.



Інформація про те, що Іран передав росіянам цей БПЛА, з'явилася наприкінці серпня 2022 року. Кількість дронів, що були поставлені до росії, невідома, проте за даними розвідувальних служб, рф отримала майже 2,5 тисячі іранських дронів. Перші фотодокази застосування окупантами БПЛА «Герань-2»/«Shahed-136» з'явилися у середині вересня 2022 року. З цього часу загарбники активно використовують дрони з метою ураження як військових, так і цивільних об'єктів. Через невеликі розміри та порівняно малу висоту польоту дрони доволі складно виявити системам ППО, а низька вартість дозволяє одночасно запускати їх у великих кількостях. Зазначені фактори обумовлюють нагальну необхідність формування ефективної системи захисту та протидії баражуючим боєприпасам як військової, так і цивільної інфраструктури. Однією з найважливіших складових цієї системи є організація своєчасного виявлення дронів технічними засобами. Для успішної реалізації цього завдання необхідно провести дослідження з визначення структури та складу матеріалів, що застосовуються при виготовленні дронів для формування алгоритмів їх виявлення та розроблення систем протидії.

Застосування методу скануючої електронної мікроскопії під час дослідження фрагментів засобів ураження та врахування особливостей застосування математичної моделі до вивчення металевих та композитних матеріалів дозволяє з максимальною точністю визначити хімічний склад, структуру та топографію поверхонь матеріалів [2–4], що, у свою чергу, дозволить забезпечити економію часу та ресурсів при розробці систем протидії [5, 6].

**РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ  
СКАНУЮЧОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ МІКРОСКОПІЇ  
ПІД ЧАС ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО  
СКЛАДУ, СТРУКТУРИ ТА ТОПОГРАФІЇ  
ПОВЕРХНІ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ  
ФРАГМЕНТУ КОРПУСУ ПЛАНЕРУ  
БАРАЖУЮЧОГО БОЄПРИПАСУ  
«SHAHED-136»**

Дослідження хімічного складу, структури фрагменту корпусу планеру баражуючого боєприпасу «Shahed-136» здійснювалися за допомогою сканівного електронного мікроскопу JSM-6490LV виробництва фірми JEOL (Японія), який функціонував у режимі одержання зображень ділянок поверхні досліджуваного зразка у вторинних та відображених електронах і має такі технічні характеристики: прискорювальна напруга – до 30 кВ, збільшення – до  $\times 300000$ , роздільна здатність – 6 нм. Мікроаналіз з  $Z=6$ .

Корпус планеру баражуючого боєприпасу «Shahed-136» виготовлений з багатошарового композитного матеріалу плоскої форми. Зображення фрагменту корпусу планеру представлено на рис. 1.

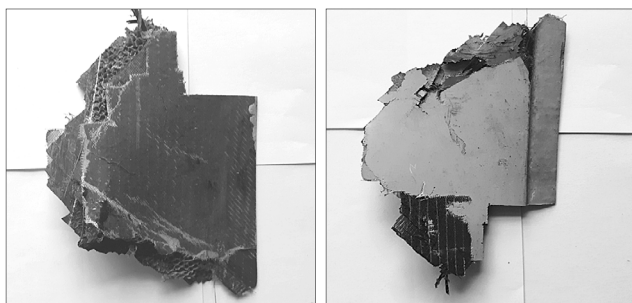


Рис. 1. Фрагмент корпусу планеру БпЛА «Shahed-136» (обидві сторони)

Основна середня частина фрагменту має більшу товщину ніж зовнішня сіра кромка. В основній частині під шаром полімеру, армованого штучною тканиною, спостерігається шар стільникової, пористої структури (стілники порожні без будь-якого штучного наповнювача). На звороті фрагменту наявне суцільне покриття сірого кольору.

Розташування шарів основної частини фрагменту зовнішнього покриття корпусу за перетином представлено на рис. 2.

|                                                                             |                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Перелік шарів фрагменту корпусу планеру БпЛА «Shahed-136» (основна частина) | Шар полімеру чорного кольору                            |
|                                                                             | Шар полімеру, армований штучною тканиною                |
|                                                                             | Шар полімеру                                            |
|                                                                             | Шар стільникової, пористої структури (стілники порожні) |
|                                                                             | Шар полімеру                                            |
|                                                                             | Шар полімеру, армований штучною тканиною                |
|                                                                             | Шар покриття сірого кольору                             |

Рис. 2. Перелік шарів корпусу планеру БпЛА «Shahed-136» за перетином

Крім того, по зовнішньому краю фрагмента розташована кромка (тонша ніж основна частина фрагменту), у складі якої відсутній шар стільникової, пористої структури. Розташування шарів зовнішньої кромки фрагменту корпусу планеру за перетином представлено на рис. 3.

|                                                                             |                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Перелік шарів зовнішньої кромки фрагменту корпусу планеру БпЛА «Shahed-136» | Шар полімеру чорного кольору             |
|                                                                             | Шар полімеру, армований штучною тканиною |
|                                                                             | Шар полімеру                             |
|                                                                             | Шар полімеру, армований штучною тканиною |
|                                                                             | Шар покриття сірого кольору              |

Рис. 3. Перелік шарів зовнішньої кромки фрагменту корпусу планеру БпЛА «Shahed-136» за перетином

На рис. 4–7 представлені зображення поверхні шару покриття сірого кольору фрагменту корпусу планеру у вторинних і відображених (рис. 7) електронах при різних збільшеннях.

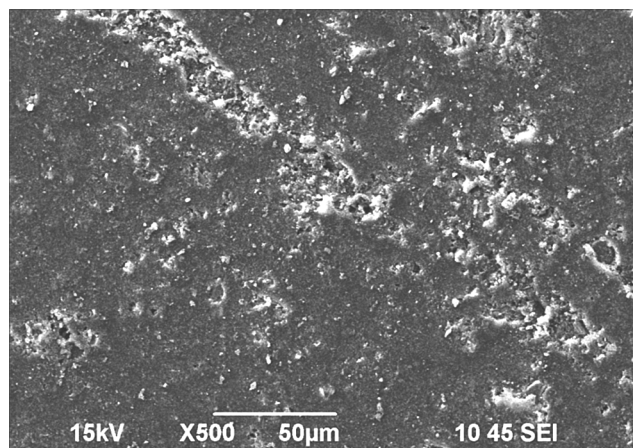


Рис. 4. Зображення поверхні шару покриття сірого кольору у вторинних електронах. Прискорювальна напруга – 15 кВ. Збільшення – 500, масштабна мітка – 50 мікрометрів

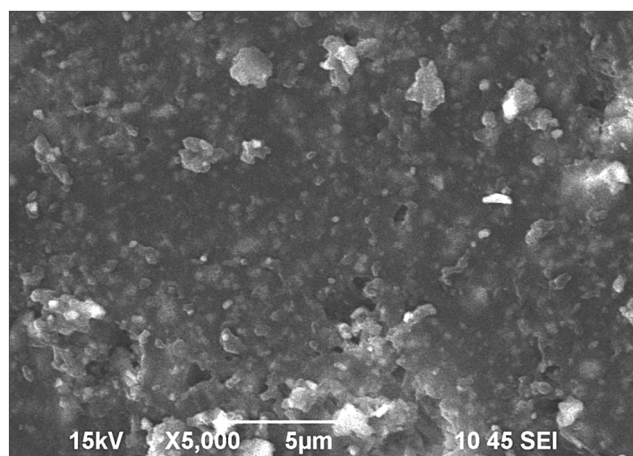


Рис. 5. Зображення поверхні шару покриття сірого кольору у вторинних електронах. Прискорювальна напруга – 15 кВ. Збільшення – 5000, масштабна мітка – 5 мікрометрів

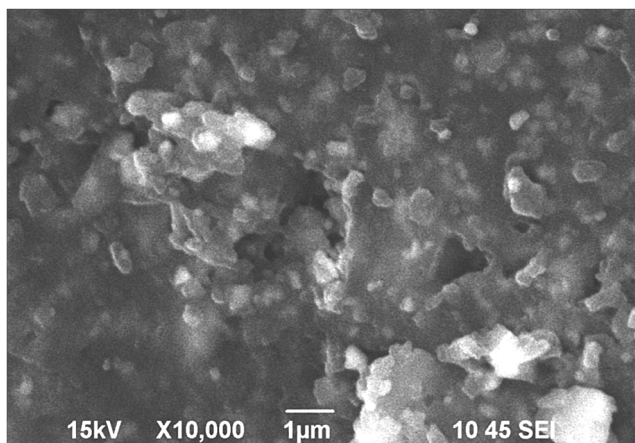


Рис. 6. Зображення поверхні шару покриття сірого кольору у вторинних електронах. Прискорювальна напруга – 15 кВ. Збільшення – 10000, масштабна мітка – 1 мікрометр

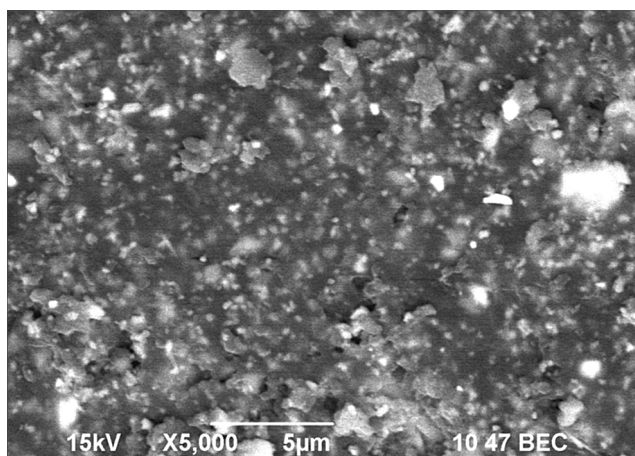


Рис. 7. Зображення поверхні шару покриття сірого кольору у відображених електронах. Прискорювальна напруга – 15 кВ. Збільшення – 5000, масштабна мітка – 5 мікрометрів

На рис. 8–9 представлені зображення поверхні шару штучної тканини корпусу планеру у вторинних електронах при різних збільшеннях.

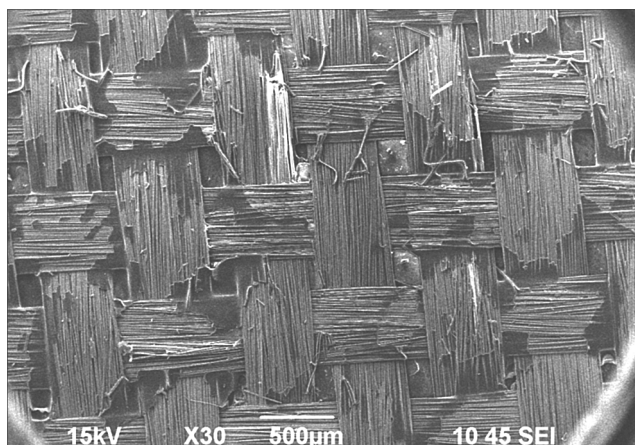


Рис. 8. Зображення шару штучної тканини у вторинних електронах. Прискорювальна напруга – 15 кВ. Збільшення – 30, масштабна мітка – 500 мікрометрів

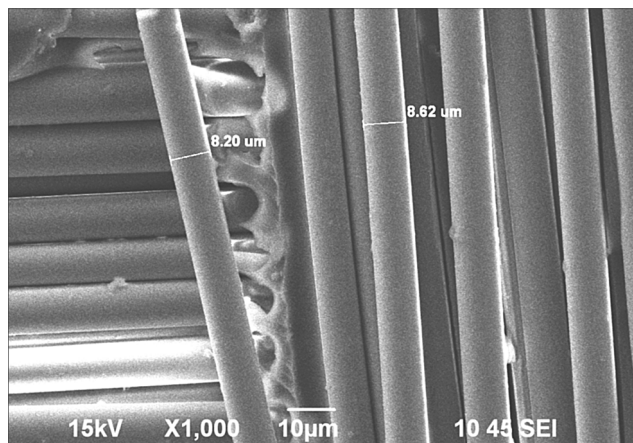


Рис. 9. Зображення шару штучної тканини у вторинних електронах. Прискорювальна напруга – 15 кВ. Збільшення – 1000, масштабна мітка – 10 мкм. Показано розміри волокон штучної тканини (8,2 мкм – 8,62 мкм)

На рис. 10 та 11 представлені зображення поверхні матриці (в'язуча речовина) шару, армованого штучною тканиною у вторинних і відображених електронах.

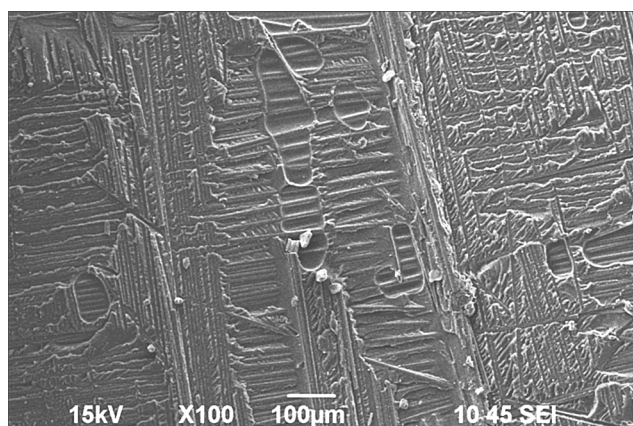


Рис. 10. Зображення поверхні матриці (в'язуча речовина) шару, армованого штучною тканиною у вторинних електронах. Збільшення – 100, масштабна мітка – 100 мікрометрів

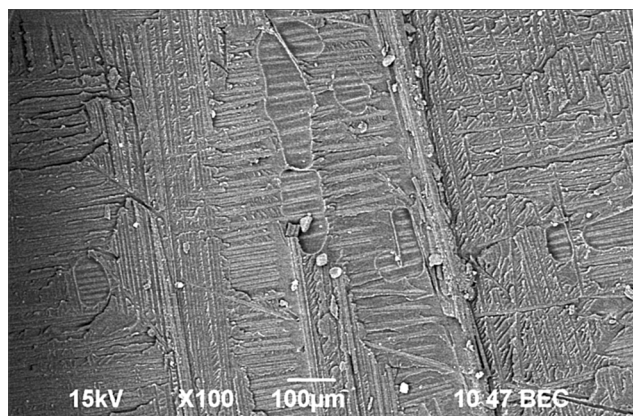


Рис. 11. Зображення поверхні матриці (в'язуча речовина) шару, армованого штучною тканиною у відображених електронах. Збільшення – 100, масштабна мітка – 100 мікрометрів

На рис. 12 представлено зображення шару стільникової, пористої структури (стільники порожні без наповнювача). На рис. 13 представлено зображення поверхні шару полімеру чорного кольору, яким покрита одна зі сторін досліджуваного фрагмента у вторинних електронах.

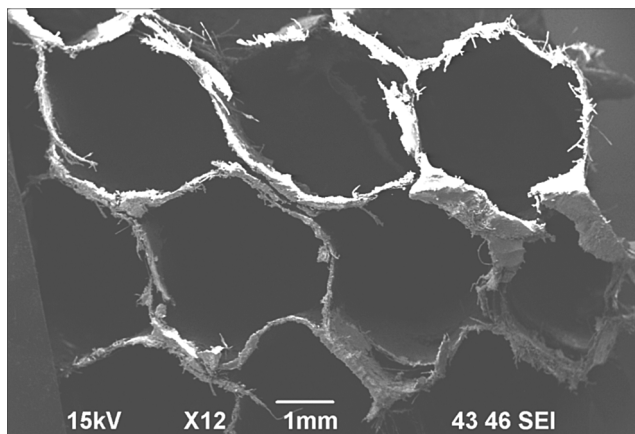


Рис. 12. Зображення шару стільникової, пористої структури (стільники порожні без наповнювача) у вторинних електронах. Прискорювальна напруга – 15 кВ. Збільшення – 12, масштабна мітка – 1 мм

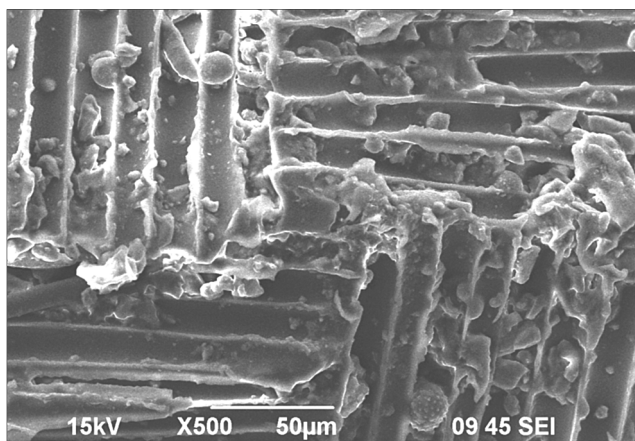


Рис. 13. Зображення поверхні шару полімеру чорного кольору у вторинних електронах. Прискорювальна напруга – 15 кВ. Збільшення – 500, масштабна мітка – 50 мікрометрів

Для дослідження структури і вимірювання концентрацій хімічних елементів в об'ємі фрагменту зовнішнього покриття корпусу планеру «Shahed-136», а також для виміру товщини шарів зразку, був виготовлений зріз вказаного фрагменту. Зображення зрізу кромки фрагменту у відображених електронах при різних збільшеннях представлено на рис. 14, 15.

На рис. 16. представлені результати рентгенівського мікроаналізу на поверхні шару покриття сірого кольору. Мікроаналіз здійснювався у визначеній прямокутній ділянці. Вимірювані концентрації хімічних елементів усереднювались в межах цієї ділянки, яка показана на зображенні у відображених електронах. Концентрації хімічних елементів представлені у масових процентах. Концентрації усіх хімічних елементів вимірювались на К-лініях характеристичного рентгенівського випро-

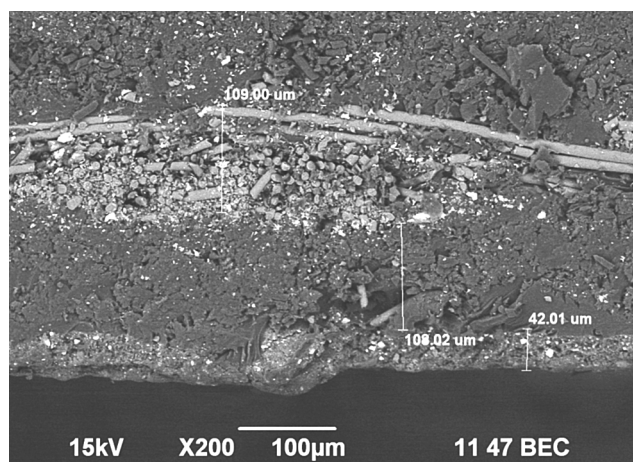


Рис. 14. Зображення зрізу кромки фрагменту у відображених електронах (знизу зображення шар сірого кольору). Збільшення – 200, масштабна мітка – 100 мікрометрів

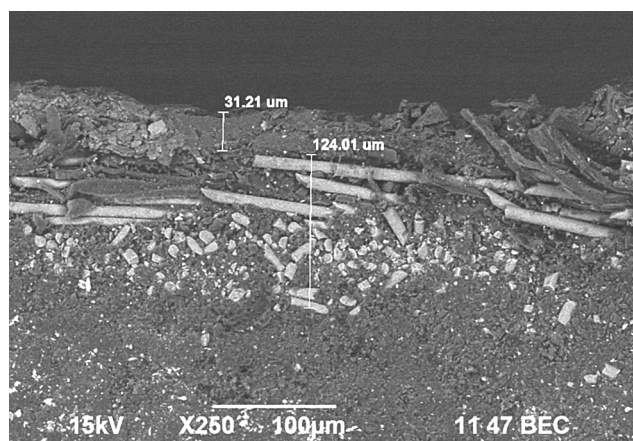


Рис. 15. Зображення зрізу кромки фрагменту у відображених електронах (зверху зображення шар чорного кольору). Збільшення – 250, масштабна мітка – 100 мікрометрів

мінювання. На рисунку також представлений спектр характеристичного рентгенівського випромінювання цієї ділянки вимірювання.

На рис. 17. представлені результати рентгенівського мікроаналізу волокон шару штучної тканини. Мікроаналіз здійснювався у визначеній прямокутній ділянці. Вимірювані концентрації хімічних елементів усереднювались в межах цієї ділянки, яка показана на зображенні у відображених електронах. Концентрації хімічних елементів представлені у масових процентах.

На рис. 18. представлені результати рентгенівського мікроаналізу матеріалу шару стільникової, пористої структури (стільники порожні без наповнювача). Мікроаналіз здійснювався у визначеній прямокутній ділянці. Вимірювані концентрації хімічних елементів усереднювались в межах цієї ділянки, яка показана на зображенні у відображених електронах. Концентрації хімічних елементів представлені у масових процентах.

На рис. 19. представлені результати рентгенівського мікроаналізу на поверхні шару полімеру чорного кольору, яким покрита одна зі сторін досліджуваного фрагмен-



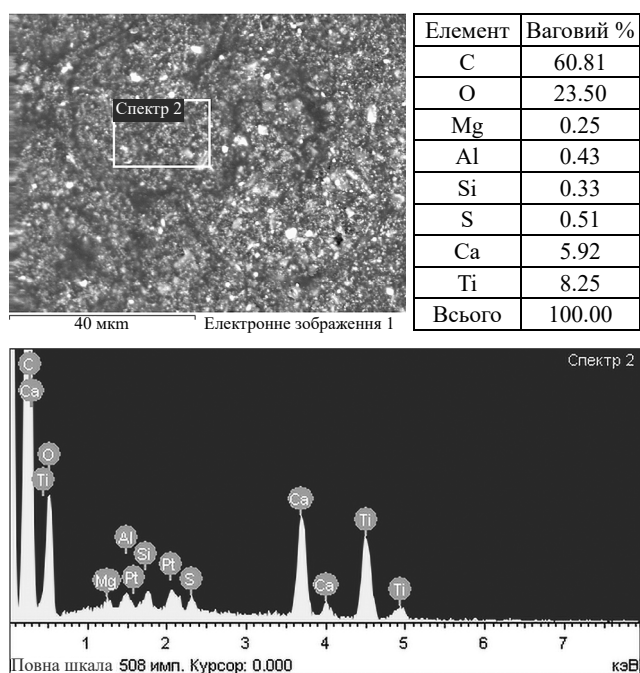


Рис. 16. Результати рентгенівського мікроаналізу на поверхні шару покриття сірого кольору

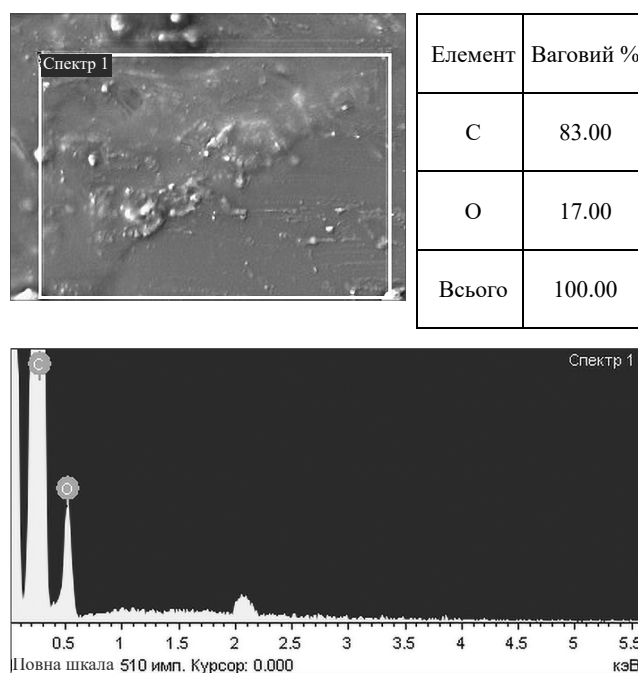


Рис. 18. Результати рентгенівського мікроаналізу матеріалу шару стільникової, пористої структури

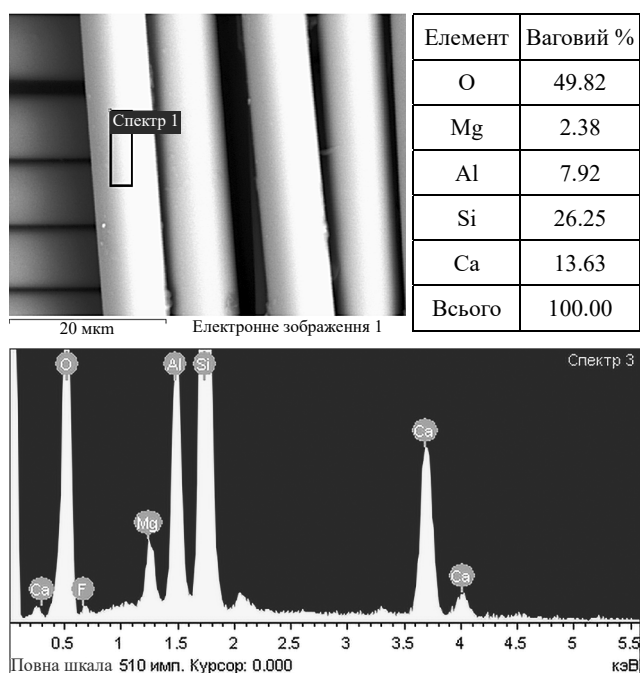


Рис. 17. Результати проведення рентгенівського мікроаналізу волокон шару штучної тканини

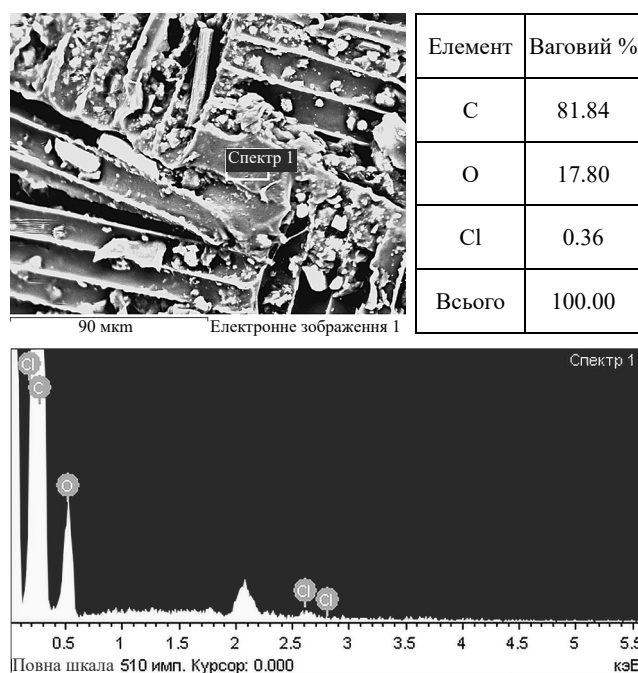


Рис. 19. Результати рентгенівського мікроаналізу на поверхні шару полімеру чорного кольору, яким покрита одна зі сторін досліджуваного фрагмента

та. Мікроаналіз здійснювався у визначеній прямокутній ділянці. Вимірювані концентрації хімічних елементів усереднювались в межах цієї ділянки, яка показана на зображенні у відображених електронах. Концентрації хімічних елементів представлені у масових процентах.

На рис. 20. представлені результати рентгенівського мікроаналізу полімеру, який знаходиться знизу і зверху шару стільникової, пористої структури фрагменту. Мікроаналіз здійснювався у визначеній прямокутній ділянці.

На рис. 21. представлені результати проведення рентгенівського мікроаналізу речовини матриці (в'яжуча речо-

вина) шару полімеру, армованого штучною тканиною. Мікроаналіз здійснювався у визначеній прямокутній ділянці. Вимірювані концентрації хімічних елементів усереднювались у межах цієї ділянки, яка показана на зображенні зрізу кромки фрагменту у відображених електронах. Концентрації хімічних елементів представлені у масових процентах.

На рис. 22 представлені результати проведення рентгенівського мікроаналізу матеріалу шару полімеру, що знаходиться проміж шарів полімеру, армованих штучною тканиною. Мікроаналіз здійснювався у визначеній

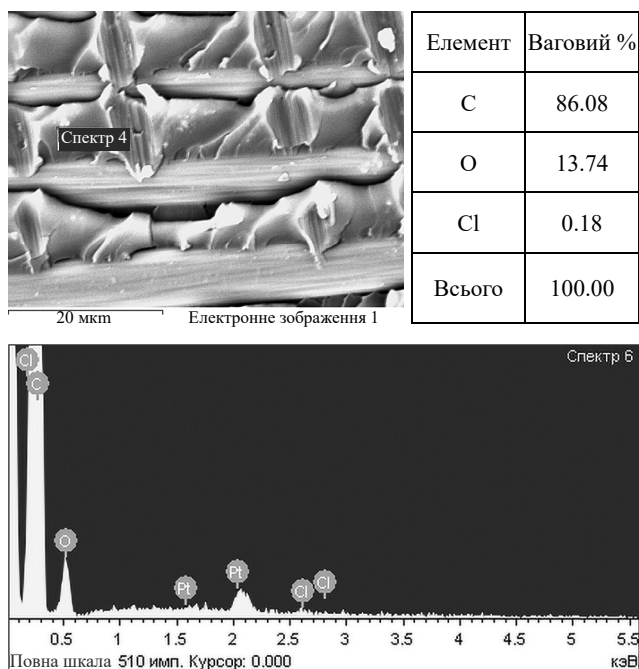


Рис. 20. Результати рентгенівського мікроаналізу полімеру, який знаходиться знизу і зверху шару стільникової, пористої структури

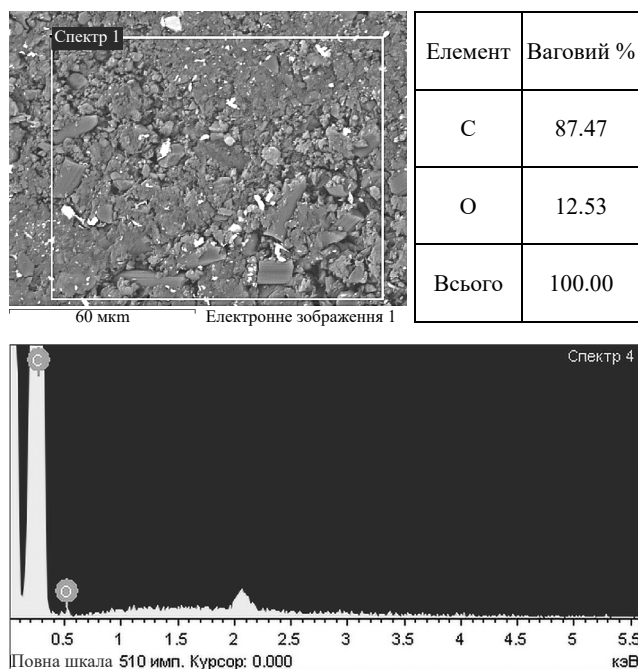


Рис. 22. Результати рентгенівського мікроаналізу матеріалу шару полімеру, що знаходиться проміж шарів полімеру, армованих штучною тканиною

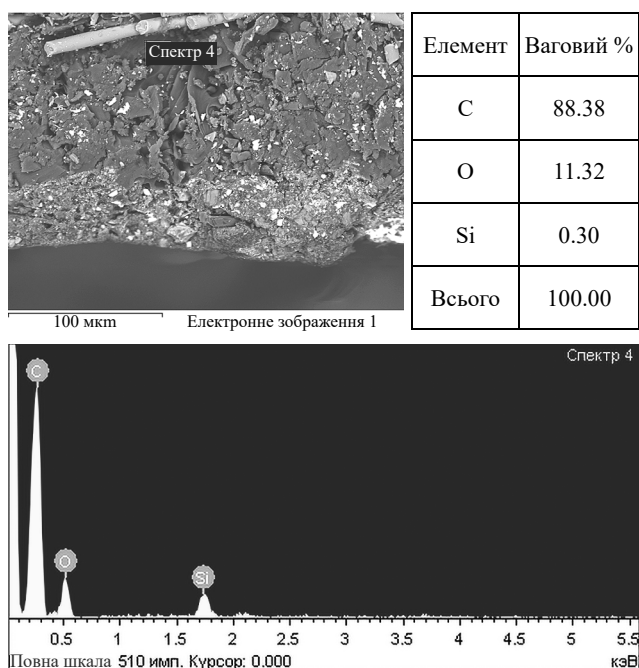


Рис. 21. Результати проведення рентгенівського мікроаналізу речовини матриці (в'язуча речовина) шару полімеру, армованого штучною тканиною

прямокутній ділянці. Вимірювані концентрації хімічних елементів усереднювались в межах цієї ділянки, яка показана на зображенні зрізу кромки фрагменту у відображених електронах.

## ВИСНОВКИ

1. Корпус планеру бажуючого боеприпасу «SHANED-136» складається за перетином із семи шарів багатослововолокнистих композиційних матеріалів і має товщину 6020 мкм.

2. В об'ємі корпусу планеру бажуючого боеприпасу «SHANED-136» під шаром полімеру чорного кольору, шаром полімеру, армованого штучною тканиною і шаром полімеру спостерігається шар стільникової, пористої структури (стілки діаметром 3,2 мм, порожні, без будь якого наповнювача). На зворотній стороні фрагменту корпусу планеру наявне суцільне покриття сірого кольору. Перелік та товщини шарів корпусу планеру БПЛА за перетином наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Перелік та товщини шарів корпусу планеру БПЛА «SHANED-136»

| №  | Найменування шарів корпусу планеру за перетином | Товщина, мкм |
|----|-------------------------------------------------|--------------|
| 1. | Шар полімеру чорного кольору                    | 50           |
| 2. | Шар полімеру, армований штучною тканиною        | 300          |
| 3. | Шар полімеру                                    | 70           |
| 4. | Шар стільникової пористої структури             | 5155         |
| 5. | Шар полімеру                                    | 70           |
| 6. | Шар полімеру, армований штучною тканиною        | 300          |
| 7. | Шар покриття сірого кольору                     | 75           |

3. Шар полімеру чорного кольору (№ 1), яким покрита зовнішня сторона корпусу планеру, має наступний хімічний склад: C – 81,84 %; O – 17,80 %; Cl – 0,36 %.

Шари полімеру, армовані штучною тканиною (№ 2, № 6), є композитом, наповнювачем якого є склотканина зі скловолокон розміром від 8 до 10 мкм, а матрицею (в'язуча речовина) є полімер. Хімічний склад волокон скловолокна: Si – 26,25 %; O – 49,82 %; Mg – 2,38 %; Al –

7,92 %; Са – 13,63 %. Хімічний склад матриці (в'язуча речовина): С – 88,38 %; О – 11,32 %; Si – 0,30 %.

Шари полімеру, які знаходяться нижче і вище шару стільникової пористої структури (№ 3, № 5), мають наступний хімічний склад: С – 86,08 %; О – 13,74 %; Cl – 0,18 %. Матеріал шару стільникової пористої структури (№ 4) є полімером і складається з наступних хімічних елементів із відповідною концентрацією: С – 83,00 %; О – 17,00 %. Шар покриття корпусу планеру сірого кольору (№ 7) має наступний хімічний склад і концентрації хімічних елементів: С – 60,81 %; О – 23,50 %; Mg – 0,25 %; Al – 0,43 %; Si – 0,33 %; S – 0,51 %; Са – 5,92 %; Ti – 8,25 %.

4. Кромка корпусу планеру складається за перетином із п'яти шарів багатошарових композиційних матеріалів і має товщину 1390 мкм.

В об'ємі кромки корпусу планеру бажуючого боєприпасу «SHANED-136» відсутній шар стільникової, пористої структури. Перелік та товщини шарів кромки корпусу планеру БПЛА за перетином наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Перелік та товщини шарів кромки корпусу планеру БПЛА «SHANED-136»

| №  | Найменування шарів кромки корпусу планеру за перетином | Товщина, мкм |
|----|--------------------------------------------------------|--------------|
| 1. | Шар полімеру чорного кольору                           | 50           |
| 2. | Шар полімеру, армований штучною тканиною               | 300          |
| 3. | Шар полімеру                                           | 665          |
| 4. | Шар полімеру, армований штучною тканиною               | 300          |
| 5. | Шар покриття сірого кольору                            | 75           |

5. Хімічний склад шарів кромки корпусу планеру та основної частини корпусу планеру бажуючого боєприпасу «SHANED-136» є ідентичними і мають однакові концентрації хімічних елементів.

6. Обраний метод дослідження фрагментів бажуючого боєприпасу «SHANED-136» дозволив з максимальною точністю визначити хімічний склад, структуру та топографію поверхонь матеріалів, що, у свою чергу, дозволить забезпечити економію часу та ресурсів при розробленні систем виявлення та протидії зазначеним засобам ураження.

#### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Богданов В.Л., Григоренко О.Я., Чепков І.Б., Одноралов І.В., Кременицький В.В., Сперкач С.О. Ідентифікація країни походження безпілотних літальних апаратів на підставі аналізу елементної бази за методом сканівної електронної мікроскопії. *Озброєння та військова техніка*. Київ: Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України. 2023. № 1(37). С. 57–62. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.1\(37\).57-62](https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.1(37).57-62).
2. Богданов В.Л., Григоренко О.Я., Чепков І.Б., Одноралов І.В., Кременицький В.В., Сперкач С.О., Трачевський В.С. Аналіз фізико-хімічних властивостей ме-

талевих фрагментів корпусів артилерійських снарядів на основі експериментального підходу. *Озброєння та військова техніка*. Київ: Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України. 2022. № 1(33). С. 43–56. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.1\(33\).43-56](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.1(33).43-56).

3. Богданов В.Л., Григоренко О.Я., Чепков І.Б., Одноралов І.В., Кучинський А.В., Кременицький В.В., Сперкач С.О. Застосування методу скануючої електронної мікроскопії при визначенні хімічного складу металевих фрагментів крилатих та авіаційних ракет виробництва російської федерації. *Озброєння та військова техніка*. Київ: Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України. 2023. № 2(38). С. 18–25. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.2\(38\).18-25](https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.2(38).18-25).
4. Богданов В.Л., Григоренко О.Я., Чепков І.Б., Одноралов І.В., Кучинський А.В., Кременицький В.В., Сперкач С.О. Застосування методу скануючої електронної мікроскопії при визначенні хімічного складу, структури та топографії поверхні композитних матеріалів фрагментів крилатих ракет виробництва російської федерації. *Озброєння та військова техніка*. Київ: Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України. 2023. № 3(39). С. 36–48. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.3\(39\).36-48](https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.3(39).36-48).
5. Голдстейн Дж., Ньюбери Д. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. М.: Мир. 1984. 303 с.
6. Weillie Zhou & Zhong Lin Wang. (2006). *Scanning Microscopy for Nanotechnology (Techniques and Applications)*. Springer. 522 p.

#### REFERENCES

1. Bohdanov, V.L., Grigorenko, O.Ya., Chepkov, I.B., Odnoralov, I.V., Kremenitskyi, V.V. & Sperkach, S.O. (2023). "Identifikatsiia krainy pokhodzhennia bezpilotnykh litalnykh aparativ na pidstavi analizu elementnoi bazy za metodom skanivnoi elektronnoi mikroskopii" [Identification of the country of origin of unmanned aerial vehicles based on the analysis of the elemental base by the method of scanning electron microscopy]. *Weapons and military equipment*. K.: Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine. No. 1(37). Pp. 57–62. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.1\(37\).57-62](https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.1(37).57-62).
2. Bohdanov, V.L., Grigorenko, O.Ya., Chepkov, I.B., Odnoralov, I.V., Kremenitskyi, V.V., Sperkach, S.O. & Trachevskyi, V.S. (2022). "Analiz fizyko-khimichnykh vlastyvostei metalevykh fragmentiv korpusiv artyleriyskykh snariadiv na osnovi eksperymental'nogo pidkhodu" [Analysis of physico-chemical properties of metal fragments of artillery shell casings based on an experimental approach]. *Weapons and military equipment*. K.: Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine. No. 1(33). Pp. 43–56. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.1\(33\).43-56](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.1(33).43-56).
3. Bohdanov, V.L., Grigorenko, O.Ya., Chepkov, I.B., Odnoralov, I.V., Kuchinskyi, A.V., Kremenitskyi, V.V. &

- Sperkach S.O. (2023). "Zastosuvannia metodu skanuiuchoi elektronnoi mikroskopii pry vyznachenni khimichnogo skladu metalevykh fragmentiv krylatykh ta aviatsiinykh raket vyrobnytsva rosiiskoi federatsii" [Application of the method of scanning electron microscopy in the determination of the chemical composition of metal fragments of cruise and aircraft missiles manufactured in the Russian Federation], Weapons and military equipment. K.: Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine. No. 2(38). Pp. 18–25. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.2\(38\).18-25](https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.2(38).18-25).
4. Bohdanov, V.L., Grigorenko, O.Ya., Chepkov, I.B., Odnoralov, I.V., Kuchinsky, A.V., Kremenyskyi, V.V. & Sperskach S.O. (2023). "Zastosuvannia metodu skanuiuchoi elektronnoi mikroskopii pry vyznachenni khimichnogo skladu, struktury ta topografii poverkhni kompozytnykh materialiv fragmentiv krylatykh ta aviatsiinykh raket vyrobnytsva rosiiskoi federatsii" [Application of the method of scanning electron microscopy in the determination of the chemical composition, structure and topography of the surface of composite materials of fragments of cruise missiles manufactured in the Russian Federation], Weapons and military equipment. K.: Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine. No. 3(39). Pp. 36–48. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.3\(39\).36-48](https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.3(39).36-48).
5. Goldstein, J. & Newbery, D. (1984). "Rastrovaia elektronnaia mikroskopia i rentgenovskii mikroanaliz" [Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis], Mir, M. 303 p.
6. Weillie Zhou & Zhong Lin Wang. (2006). Scanning Microscopy for Nanotechnology (Techniques and Applications). Springer. 522 p.

**Bohdanov V.L., Grigorenko O.Ya., Chepkov I.B., Odnoralov I.V., Kuchinsky A.V., Kremenyskyi V.V., Sperskach S.O.**

**INVESTIGATION OF THE CHEMICAL STORAGE, STRUCTURE AND TOPOGRAPHY OF COMPOSITE MATERIALS IN THE CASE OF THE «SHAHED-136» BOARDING AMMUNITION AIRLITER BY THE METHOD OF SCANNING ELECTRONIC MICROSCOPY**

*The article presents the results of studying the microstructural characteristics of airframe materials that were tested during the preparation of the «Shahed-136» barrage ammunition using the frozen method of scanning electron microscopy. The results of the analysis of the warehouse and structure of warehouse elements of fragments of the UAV «Shahed-136» glider, manufactured from different materials, which were removed during the hours of conducting hardware investigations from the stagnation of the X-ray microanalyzer J XA-8200 imaging JEOL Ltd (Japan) and scanning electron microscope JSM-6490LV with energy dispersive spectrometer INKA Energy 350XT.*

*The body of the airframe for the loitering ammunition «Shahed-136» is made from rich spherical composite material in a flat shape. The results of the investigation of the chemical composition, structure and topography of the surface of composite materials using scanning electron microscopy indicate the vicinity of their formation, it is important to add viscous carbon fiber plastics, hybrid composite materials and polymers in some materials of structural elements and coatings. The main purpose of solidifying these composite materials is to improve the performance of gliders, as well as to ensure a reduction in radio emissions.*

*The investigations were carried out by forming an information base to separate the detection algorithms and anti-barrage ammunition systems.*

**Key words:** *barrage ammunition, composite materials, X-ray microanalysis, material storage, structure, surface topography.*

**Відомості про авторів:**

**Богданов В'ячеслав Леонідович**

академік НАН України, доктор фізико-математичних наук  
Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9864-9120>

**Григоренко Олександр Ярославович**

член-кореспондент НАН України,  
доктор фізико-математичних наук, професор  
Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-4109-2672>

**Чепков Ігор Борисович**

доктор технічних наук, професор  
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>

**Одноралов Ігор Васильович**

доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-7151-3175>

**Кучинський Андрій Володимирович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, докторант, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-1687-9393>

**Кремєницький Валерій Вікторович**

кандидат фізико-математичних наук  
Технічний центр НАН України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-1448-6323>



**Сперкач Світлана Олексіївна**

кандидат фізико-математичних наук  
Технічний центр НАН України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3168-6300>

*Information about the authors:***Bogdanov Viacheslav**

Academician of the NAS of Ukraine  
Doctor of Physics and Mathematics  
Institute of Mechanics named S.P. Tymoshenko of the  
NAS of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9864-9120>

**Grygorenko Oleksandr**

Corresponding Member of the NAS of Ukraine  
Doctor of Physics and Mathematics  
Professor  
Institute of Mechanics named S.P. Tymoshenko of the  
NAS of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-4109-2672>

**Chepkov Igor**

Doctor of Technical Sciences  
Professor  
Central Scientific Research Institute of Armament and  
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>

**Odnoralov Igor**

Doctor of Technical Sciences, Senior Research  
Central Scientific Research Institute of Armament and  
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-7151-3175>

**Andrii Kuchinskyy**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Scientist, Doctoral Student  
Central Scientific Research Institute of Armament and  
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-1687-9393>

**Kremenyskyi Valerii**

Candidate of Physics and Mathematics  
Technical Center of NAS of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1448-6323>

**Sperkach Svitlana**

Candidate of Physics and Mathematics  
Technical Center of NAS of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3168-6300>

*Стаття надійшла до редколегії 09.10.2023.*