

УДК 620.186:623.746-519 (55)

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.1\(41\).75-81](https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.1(41).75-81)

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)

ОСОБЛИВОСТІ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ, СТРУКТУРИ ТА ТОПОГРАФІЇ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ КОРПУСУ ПЛАНЕРА МОДЕРНІЗОВАНОГО БАРАЖУЮЧОГО БОЄПРИПАСУ «SHAHED-136» (ЧОРНОГО)

У статті представлено результати дослідження мікроструктурних характеристик композиційних матеріалів корпусу планера, які використовуються під час виготовлення модернізованого баражуючого боєприпасу «Shahed-136» із застосуванням методу скануючої електронної мікроскопії. Наведено результати аналізу складу та структури складових елементів фрагментів планера БПЛА «Shahed-136» (чорного), виготовлених із композитних 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

В останній декаді листопада 2023 року проти інфраструктурних об'єктів України загарбником вперше було завдано удару модернізованими бойовими безпілотними літальними апаратами «Герань-2». Їх характерними зовнішніми особливостями є фарбування у чорний колір (рис. 1).

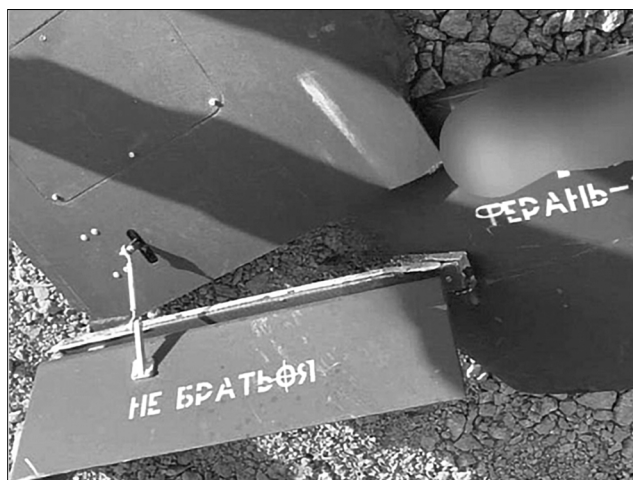


Рис. 1. Фрагмент корпусу планера збитого модернізованого БПЛА «Герань-2»

Як зазначалося [1], цей дрон ідентифіковано як баражуючий боєприпас «Shahed-136», який розроблено та виготовлено в Ірані компанією Shahed Aviation Industries. В той же час, у першому кварталі 2024 року на російських інформаційних публіках висвітлено процес серійного виробництва зазначених баражуючих боєприпасів нібито на потужностях заводу у м. Слабуга (Татарстан), побудованому за участю авіабудівної корпорації Quds Aviation Industry (Іран).



Зазначені фактори обумовлюють нагальну необхідність формування ефективної системи своєчасного виявлення дронів технічними засобами. Для успішної реа-

лізації цього завдання необхідно провести дослідження з визначення хімічного складу, структури та топографії композиційних матеріалів корпусу планера модернізованого баражуючого боєприпасу «Shahed-136» (чорного) з метою формування алгоритмів їх виявлення та розроблення систем протидії [2].

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 [3, 4], що, у свою чергу, дозволить забезпечити економію часу та ресурсів при розробці систем протидії [5–7].

РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СКАНУЮЧОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ МІКРОСКОПІЇ ПІД ЧАС ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ, СТРУКТУРИ ТА ТОПОГРАФІЇ ПОВЕРХНІ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ФРАГМЕНТА КОРПУСУ ПЛАНЕРА МОДЕРНІЗОВАНОГО БАРАЖУЮЧОГО БОЄПРИПАСУ «SHAHED-136» (ЧОРНОГО)

Дослідження хімічного складу, структури фрагмента корпусу планера модернізованого баражуючого боєприпасу «Shahed-136» здійснювалися за допомогою сканівного електронного мікроскопу JSM-6490LV виробництва фірми JEOL (Японія), який функціонував у режимі отримання 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 планера модернізованого баражуючого боєприпасу «Shahed-136» виготовлений з багатошарового композитного матеріалу, пофарбований з однієї сторони чорною фарбою (рис. 2).

В об'ємі фрагмента розташовані два композитні шари, наповнювачами яких є штучна тканина. Між цими шарами розташований шар стільникової, пористої структури (стільники порожні, без якогось наповнювача). Розташу-

вання шарів фрагмента зовнішнього покриття корпусу за перетином представлено на рис. 3.

Найменування шарів фрагмента корпусу БпЛА «Shahed-136» (чорний)	Шар фарби чорного кольору
	Шар полімеру, армований штучною тканиною
	Шар стільникової, пористої структури (стільники порожні, без якогось наповнювача)
	Шар полімеру, армований штучною тканиною

Рис. 3. Перелік шарів корпусу планера модернізованого БпЛА «Shahed-136 за перетином

На рис. 4. представлено зображення поверхні шару фарби чорного кольору у вторинних електронах.

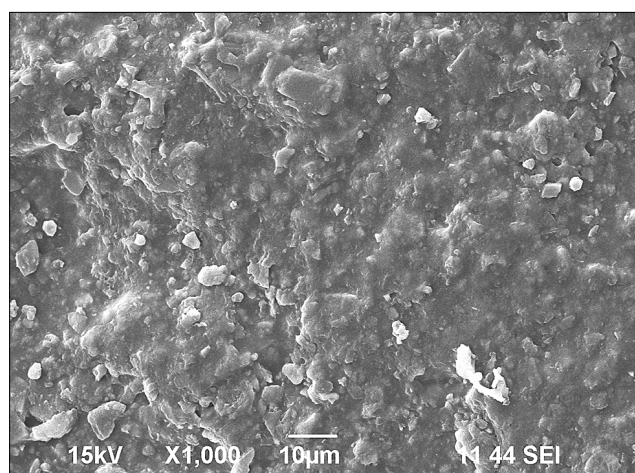


Рис. 4. Зображення поверхні шару фарби чорного кольору у вторинних електронах. Прискорювальна напруга – 15 кВ. Збільшення – 1000, масштабна мітка – 10 мікрометрів

На рис. 5. представлено зображення ділянки композита з наповнювачем у вигляді штучної тканини у вторинних електронах, який розташований нижче шару фарби, а на рис. 6 представлено зображення фрагментів її волокон

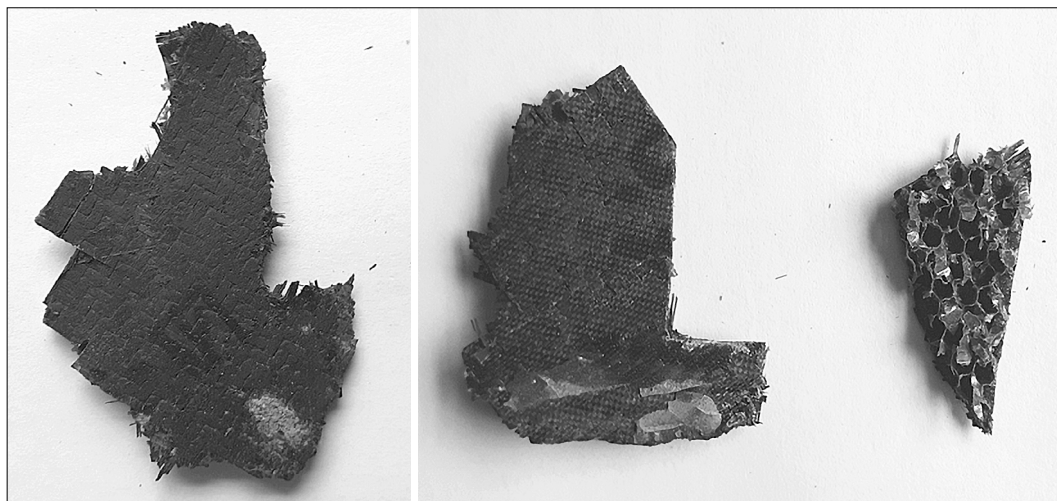
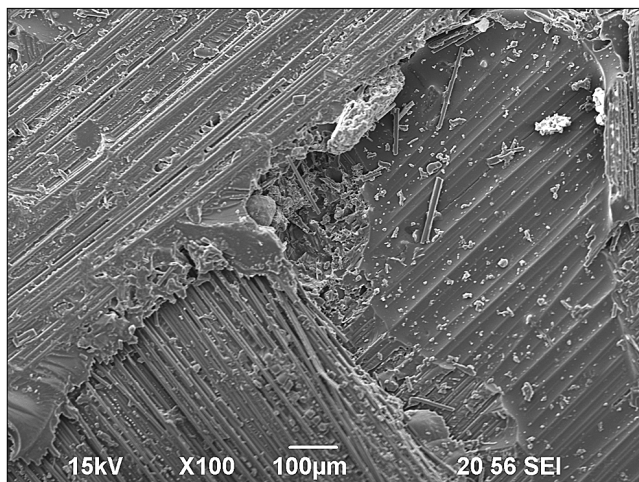
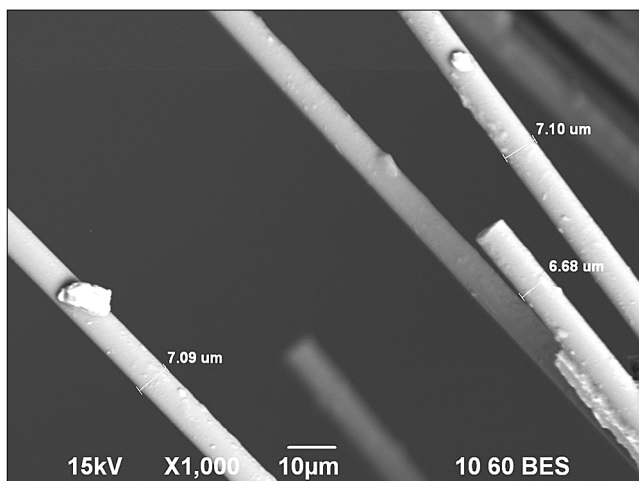


Рис. 2. Фрагмент корпусу планера модернізованого БпЛА «Shahed-136» (обидві сторони)

у відображених електронах. Прискорювальна напруга – 15 кВ. Збільшення – 100, масштабна мітка – 100 мікрометрів.



Р и с . 5. Зображення ділянки композита з наповнювачем у вигляді штучної тканини у вторинних електронах

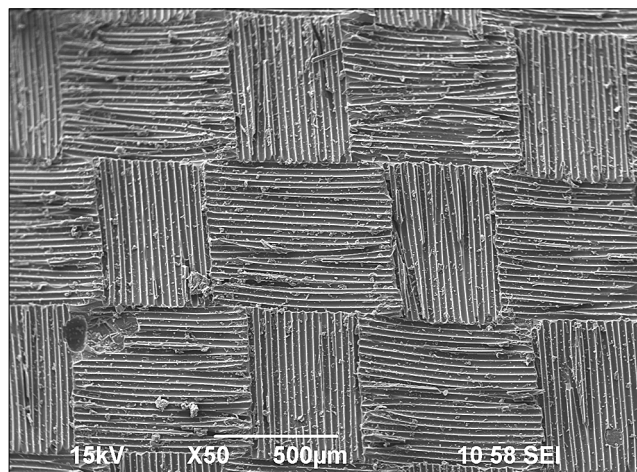


Р и с . 6. Зображення фрагментів волокон у відображених електронах, з яких сформовано штучну тканину

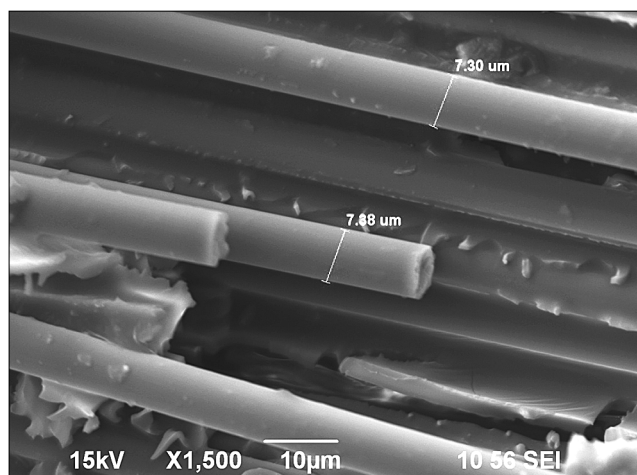
На рис. 7 представлено зображення ділянки композита з наповнювачем у вигляді штучної тканини у вторинних електронах, який розташований нижче шару стільникової пористої структури, а на рис. 8 представлено зображення фрагментів волокон у вторинних електронах, з яких сформовано цю штучну тканину. Прискорювальна напруга – 15 кВ. Збільшення – 1500, масштабна мітка – 10 мікрометрів. На зображенні вказана товщина волокон.

На рис. 9 представлено зображення ділянки шару стільникової, пористої структури у вторинних електронах.

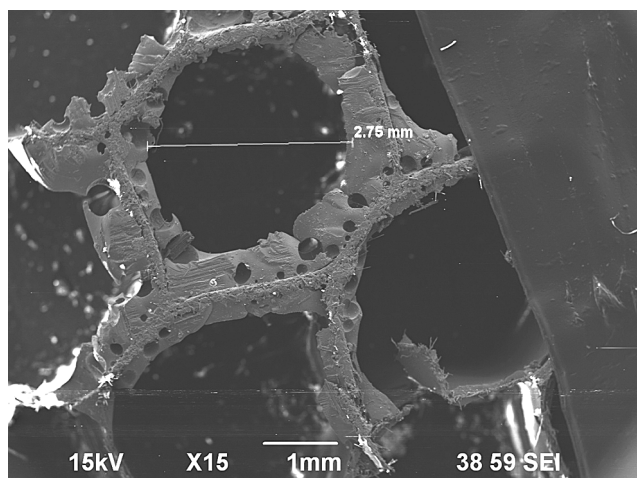
Для дослідження структури і вимірювання концентрацій хімічних елементів в об'ємі фрагмента, а також для виміру товщини різних шарів були виготовлені зрізи фрагмента корпусу БпЛА. На рис. 10 представлено зображення у вторинних електронах ділянки зрізу шару композита з наповнювачем у вигляді штучної тканини,



Р и с . 7. Зображення ділянки композита з наповнювачем у вигляді штучної тканини у вторинних електронах, який розташований нижче шару стільникової пористої структури

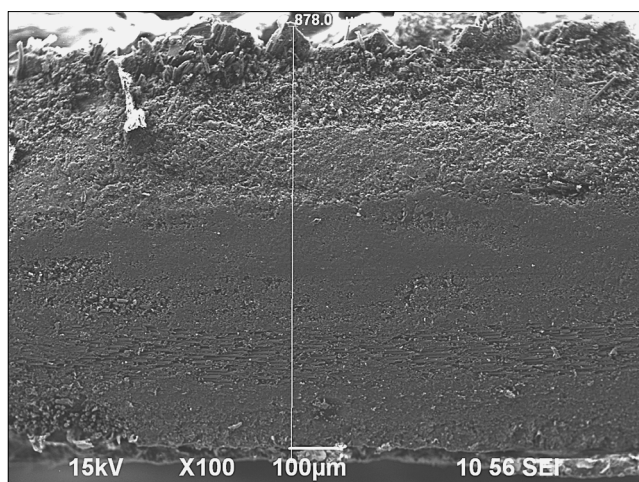


Р и с . 8. Зображення фрагментів волокон у вторинних електронах, з яких сформовано штучну тканину

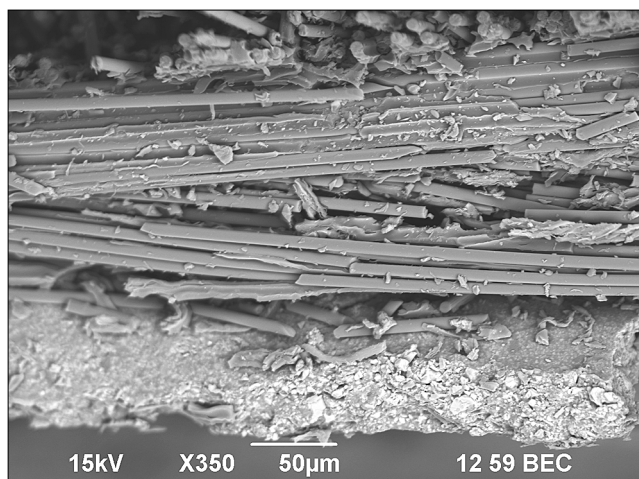


Р и с . 9. Зображення ділянки шару стільникової, пористої структури у вторинних електронах

який розташований нижче шару фарби. На рис. 11 представлено зображення у відображених електронах ділянки зрізу фрагмента корпусу БпЛА, на якому видно волокна,



Р и с . 10. Зображення ділянки зрізу шару композита з наповнювачем у вигляді штучної тканини у вторинних електронах, який розташований нижче шару фарби

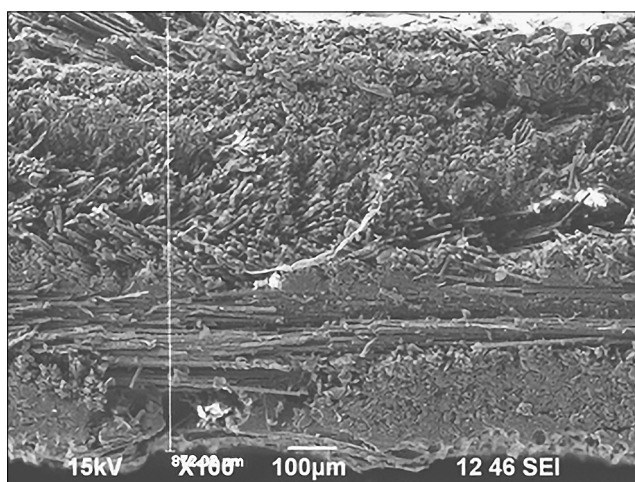


Р и с . 11. Зображення у вторинних електронах ділянки зрізу фрагмента корпусу БпЛА, на якому видно волокна, що утворюють штучну тканину, а також шар фарби чорного кольору (внизу зображень)

що утворюють штучну тканину, а також шар фарби чорного кольору (внизу зображень). На рис. 12 представлено зображення у вторинних електронах ділянки зрізу шару композита з наповнювачем у вигляді штучної тканини, який розташований нижче шару стільникової, пористої структури.

З метою визначення хімічного складу композитних матеріалів, які застосовуються під час виготовлення корпусу модернізованого БпЛА «Shahed-136» (чорний) було проведено рентгенівський мікроаналіз всіх його шарів. Концентрації хімічних елементів вимірювались на К-лініях характеристичного рентгенівського випромінювання. Результати проведеного рентгенівського мікроаналізу показав наступне.

1. Досліджуваний фрагмент корпусу модернізованого БпЛА «Shahed-136» (чорний) є багатошаровим композитним матеріалом. Перелік шарів фрагмента та їх товщин наведено у табл. 1.



Р и с . 12. Зображення у вторинних електронах ділянки зрізу шару композита з наповнювачем у вигляді штучної тканини, який розташований нижче шару стільникової, пористої структури

Т а б л и ц я 1. Перелік та товщини шарів фрагмента корпусу модернізованого БпЛА «Shahed-136»

№	Перелік шарів фрагмента корпусу модернізованого БпЛА «Shahed-136»	Товщина шару, мкм
1.	Шар фарби чорного кольору	40
2.	Шар полімеру, армований штучною тканиною з вуглецевого волокна	870
3.	Шар стільникової пористої структури	5000
4.	Шар полімеру, армований штучною тканиною з вуглецевого волокна	870

2. Фрагмент корпусу має чотири шари, два з яких є композитом товщиною 870 мкм, що складається з полімерної матриці та наповнювача у вигляді штучної тканини з вуглецевих волокон. В об'ємі фрагмента між шарами полімеру, армованого штучною тканиною з вуглецевого волокна (наповнювач), спостерігається шар стільникової, пористої структури товщиною 5000 мкм (при цьому стільники порожні, без якогось наповнювача і мають діаметр біля 3 мм). Зовнішня поверхня фрагмента корпусу пофарбована чорною фарбою, товщина шару фарби становить 40 мкм.

3. Вуглецеві волокна товщиною 7 мкм, з яких сформована штучна тканина (наповнювач вказаних вище двох шарів композиту), практично складаються з одного хімічного елемента – вуглецю. Виміряні за допомогою рентгенівського аналізу концентрації вуглецю досягають 100 %.

4. Полімер (в'язуча речовина вказаних вище двох шарів композиту) має наступний, ідентичний хімічний склад для двох шарів (за винятком того, що у шару полімеру, який розташований нижче шару стільникової, пористої структури присутні Ca і Si з невеликими концентраціями):

Хімічний елемент	Концентрації хімічних елементів в масових % матриці шару полімеру, який розташований нижче шару фарби чорного кольору	Концентрації хімічних елементів в масових % матриці шару полімеру, який розташований нижче шару стільникової, пористої структури
C, вуглець	78,72	78,35
O, кисень	18,62	18,80
Cl, хлор	0,65	0,60
Na, натрій	1,16	1,12
Ca, кальцій	–	0,35
K, калій	0,85	0,65
Si, кремній	–	0,13

5. Матеріал шару стільникової пористої структури є полімером і складається з наступних хімічних елементів з відповідною концентрацією: C – 82,42 %; O – 17,58 %. Слід підкреслити, що хімічний склад, діаметр стільників (3 мкм) і товщина шару (5000 мкм) стільникової пористої структури фрагмента модернізованого БпЛА «Shahed-136» (чорний) і фрагмента зовнішнього покриття корпусу БпЛА «Shahed-136», який досліджувався раніше [2], практично співпадають.

5. Шар фарби чорного кольору має наступний хімічний склад:

Хімічний елемент	Концентрації хімічних елементів в масових % фарби чорного кольору
C, вуглець	51,14
O, кисень	32,48
Mg, магній	1,48
Al, алюміній	0,58
Si, кремній	1,44
Ca, кальцій	12,53
Na, натрій	0,36

ВИСНОВКИ

1. Фрагмент корпусу модернізованого БпЛА «Shahed-136» (чорний) є композитним матеріалом загальною шириною близько 7 мм, в якому містяться ідентичні за хімічним складом і товщиною (870 мкм) два шари полімеру, армовані штучною тканиною. На відміну від раніше досліджених фрагментів БпЛА «Shahed-136», які містили композитні шари з полімерною матрицею і наповнювачем зі склотканини, в даному фрагменті в якості наповнювача використовується штучна тканина з вуглецевих волокон. Тому ці два шари виконують дві функції: зміцнення конструкції та забезпечення поглинання електромагнітного випромінювання. Радіопоглинання здійснюється за рахунок електропровідності вуглецевих волокон.

2. Для створення чорного кольору фарби у неї додається в якості пігменту дрібнодисперсний технічний вуглець з концентрацією вуглецю в частинках від 85 % до 98 % і розмірами частинок від 200 мкм до 25 нм. При дослідженні фарби не були виявлені окремі частинки, волокна або інші утворення, які містять високі концент-

рації вуглецю (вище за середню концентрацію вуглецю на поверхні фарби). Це швидше за все пов'язано з тим, що частинки пігмента не визначаються через середню високу концентрацію вуглецю в фарбі і малий розмір частинок пігменту. Частинки пігменту можуть вносити внесок у поглинання електромагнітного випромінювання, але внаслідок малої товщини шару фарби (40 мкм) цей внесок незначний. Наприклад, для відомої радіопоглинаючої фарби ЗПСИЛ 750 РПМ-К коефіцієнт відображення менше 10 Дб досягається при товщині шару фарби не менше 900 мкм. Тому, поглинання радіохвиль в нашому випадку відбувається у шарах полімеру, армованого штучною тканиною з вуглецевих волокон.

3. Враховуючи вищевикладене, можливо зробити загальний висновок, що досліджуваний фрагмент модернізованого БпЛА «Shahed-136» (чорний) є радіопоглинаючим діелектричним матеріалом за рахунок присутності двох шарів полімеру з наповнювачем у вигляді штучної тканини, сформованої з вуглецевих волокон.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ідентифікація країни походження безпілотних літальних апаратів на підставі аналізу елементної бази за методом сканівної електронної мікроскопії / Богданов В.Л., Григоренко О.Я., Чепков І.Б., Одноралов І.В., Кременицький В.В., Сперкач С.О. 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. Визначення хімічного складу, структури та топографії композиційних матеріалів корпусу планера баражуючого боєприпасу «Shahed-136» методом скануючої електронної мікроскопії / Богданов В.Л., Григоренко О.Я., Чепков І.Б., Одноралов І.В., Кучинський А.В., Кременицький В.В., Сперкач С.О. Озброєння та військова техніка. Київ: Центральний науково дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України. 2023. № 4(40). С. 53—61. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.4\(40\).53-61](https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.4(40).53-61).
3. Застосування методу скануючої електронної мікроскопії при визначенні хімічного складу металевих фрагментів крилатих та авіаційних ракет виробництва російської федерації / Богданов В.Л., Григоренко О.Я., Чепков І.Б., Одноралов І.В., Кучинський А.В., Кременицький В.В., Сперкач С.О. 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. Застосування методу скануючої електронної мікроскопії при визначенні хімічного складу, структури та топографії поверхні композитних матеріалів фрагментів крилатих ракет виробництва російської федерації / Богданов В.Л., Григоренко О.Я., Чепков І.Б., Одноралов І.В., Кучинський А.В., Кременицький В.В., Сперкач С.О. 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. Weilie Zhou. Scanning Microscopy for Nanotechnology (Techniques and Applications); Weilie Zhou (Ed.), Zhong Lin Wang (Ed.). Springer. 2006. 522 p.
7. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и ракетно-космических конструкций из композиционных материалов. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 1998. 516 с.

REFERENCES

1. Bohdanov, V.L., Grigorenko, O.Ya., Chepkov, I.B., Odnoralov, I.V., Kremenyskyi, V.V. & Sperkach, S.O. (2023). "Identyfikatsiia 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., Kremenyskyi, V.V. & Sperkach, S.O. (2023). "Vyznachennia khimichnogo skladu, struktury ta topographii kompozytsiinykh materialiv korpusu planera barazhuiuchoho boeprypasu «Shahed-136» metodom skanuuiuchoi elektronnoi mikroskopii" [Investigation of the chemical storage, structure and topography of composite materials in the case of the «Shahed-136» boarding ammunition airliner by the method of scanning electronic microscopy], Weapons and military equipment. K.: Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine. No 4(40). Pp. 53—61. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.4\(40\).53-61](https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.4(40).53-61).
3. Bohdanov, V.L., Grigorenko, O.Ya., Chepkov, I.B., Odnoralov, I.V., Kremenyskyi, V.V. Kuchinskyy, A.V. & Sperkach, S.O. (2023). "Zastosuvannia metodu skanuuiuchoi elektronnoi mikroskopii pry vyznachenni khimichnogo skladu metalevykh fragmentiv krylatykh ta aviatsiinykh raket vyrobnytstva 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.
4. Bohdanov, V.L., Grigorenko, O.Ya., Chepkov, I.B., Odnoralov, I.V., Kremenyskyi, V.V., Kuchinskyy, A.V. & Sperkach, S.O. (2023). [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 elekt-ronnaia mikroskopiia i rentgenovskii mikroanaliz" [Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis], Mir, M. 303 p.
6. Weilie Zhou. Scanning Microscopy for Nanotechnology (Techniques and Applications); Weilie Zhou (Ed.), Zhong Lin Wang (Ed.). Springer. 2006. 522 p.
7. Bulanov, I.M. & Sparrow, V.V. (1998). "Tekhnologiiia raketnykh i raketno-kosmicheskikh konstrukttsii iz kompozitnykh meterialov" [Technology of rocket and rocket-space structures made of composite materials], MSTU im. N. E. Bauman, M. 516 p.

**Bogdanov V.L., Grygorenko O.Ya.,
Chepkov I.B., Odnoralov I.V., Kremenyskyi V.V.,
Kuchinskyy A.V., Sperkach S.O.**

PECULIARITIES OF THE CHEMICAL COMPOSITION, STRUCTURE AND TOPOGRAPHY OF THE COMPOSITE MATERIALS OF THE MODERNIZED BARRAGE AMMUNITION AIRFRAME «SHAHED-136» (BLACK)

The article presents the results of studying the micro-structural characteristics of airframe materials that were tested during the preparation of «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 modernized «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 are presented.

The body of the airframe for the loitering ammunition modernized «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.

Keywords: *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, начальник

Центрального науково-дослідного інституту 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 Chief 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 Kuchinskyi

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 09.12.2024.