

ВИВЧЕННЯ ПЕРЕДАВАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА ІКТ У КОНТЕКСТІ РОЗГЛЯДУ ФІЗИЧНИХ ОСНОВ ФУНКЦІОНУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ НА УРОКАХ ФІЗИКИ

Василь Величко, Ніна Головіна, Оксана Острей

Волинський національний університет імені Лесі Українки,

пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, UA–43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-4502-2645>

Velychko.Vasyl2022@vnu.edu.ua;

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1152-1536>

Holovina.Nina@vnu.edu.ua;

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1174-8367>

ostrey.oxana@vnu.edu.ua

Активне застосування ІКТ технологій відіграє одну з найважливіших ролей у сучасних реаліях агресії РФ проти України. Військові ІКТ використовують обладнання, що забезпечує взаємодію між пристроями на великих відстанях. Потік електромагнітного випромінювання виступатиме передавальним середовищем ІКТ. Генерація, фіксація та визначення походження цього випромінювання відбувається засобами радіоелектронної боротьби. Радіоелектронна боротьба – це військові дії, де використовують електромагнітну енергію для забезпечення обізнаності про ситуацію та створення наступальних та оборонних ефектів. Засоби радіоелектронної боротьби складаються з комбінації засобів радіоелектронної розвідки, радіоелектронної протидії та радіоелектронного захисту.

Окреслено фізичні основи функціонування радіоелектронної боротьби крізь призму вивчення фізичного передавального середовища ІКТ. Описано принцип дії та складові радіоелектронної боротьби з використанням ментальних карт. Перелічено засоби радіоелектронної боротьби ворога та їх тактико-технічні характеристики.

Звернуто увагу на важливість вивчення засобів радіоелектронної боротьби на уроках фізики. Проаналізовано перелік обов'язкових тем базових знань з фізики, що задекларовано в Державному стандарті базової середньої освіти. Виділено конкретні теми для вивчення фізичних основ роботи засобів радіоелектронної боротьби. Вивчення радіоелектронної боротьби на уроках фізики найбільше сприятиме формуванню базових компетентностей: математичної; у галузі природничих наук, техніки і технологій; інноваційної; інформаційно-комунікаційної та отриманню результатів навчання. На ментальній карті проілюстровано складові кожної компетентності. Наголошено на ролі вивчення РЕБ як засобу національно-патріотичного виховання.

Ключові слова: передавальне середовище ІКТ, радіоелектронна боротьба, базові компетентності.

Постановка проблеми. XXI століття називають “Інформаційною ерою” (англ. *Information Age*) [1–3], без використання електромагнітної частини спектра інформаційного середовища та інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) неможливе повноцінне функціонування суспільства загалом і кожної особи зокрема. ІКТ – це комплекс програмних та апаратних засобів і середовища передавання даних. У закладах середньої освіти під вивчення ІКТ виділено навчальний предмет “Інформатика”, де головну увагу приділено програмним засобам й оглядово розглянуто будову апаратних засобів. Передавальному середовищу ІКТ, на жаль, увагу не приділено, оскільки, відповідно до [4], тему “Мережеві технології та Інтернет” вивчають у 5-му класі, а основні поняття передавального середовища ІКТ розглядають у курсі фізики з 7-го класу. Однак саме від властивостей передавального середовища, зокрема електромагнітного поля і електромагнітних хвиль, залежить функціонування ІКТ комплексів загалом.

У сучасних реаліях агресії рф проти України, на відміну від військових конфліктів XX століття, одну з найважливіших ролей відіграє активне застосування ІКТ обома сторонами збройного протистояння. Для цього використовують радіоелектронні засоби боротьби (РЕБ).

Відповідно до статті 10 Закону України “Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо окремих питань проходження військової служби мобілізації та військового обліку” [5] передбачено обов’язкову військову підготовку усіх громадян віком від 18 до 25 років, яка має проводитися у закладах фахової передвищої освіти та ЗВО. Тому, важливо ще у школі під час вивчення усіх навчальних дисциплін акцентувати на розгляді матеріалу з військовою тематикою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомий сервіс моніторингу польотів flightradar24 запропонував нову послугу: GPS Jamming Map [6], яка відображає регіони з активним глушінням GPS-сигналу. Уважно розглянувши певну карту, можна відмітити, що одні з найактивніших глушінь відбуваються в зоні бойових дій. Зокрема, в периметрі активних бойових дій Близького Сходу та центрально-східної Європи – України. Це пов’язано з інтенсивним застосуванням РЕБ систем. Ці пристрої впливають на передавальне середовище ІКТ, руйнуючи зв’язок між засобами військових операцій і впливають на результативність військових дій. Тому проводиться інтенсивне впровадження нових технологічних рішень для підвищення ефективності засобів РЕБ. Сінгх Д. у [7] розглядає в історичному розрізі розвиток використання засобів електронної боротьби від першого застосування понад століття тому до зміни операційних концепцій сучасності. Проте у його публікації за 2021 рік ще не розглянуто роль засобів

РЕБ у сучасній “війні дронів”. Христов І. у [8] на практичних прикладах розкриває можливості деяких сучасних інформаційно-комунікаційних технологій і засобів радіоелектронної боротьби, які можуть бути та вже використовуються у сценаріях гібридної війни. Муслу Е. А. та Карал Ө. у [9] описують значення моделювання в системах електронної боротьби як спосіб тестування та навчання без витрат і небезпеки. Автори звертають увагу на те, що за стандартного моделювання загрози використовують такі параметри сигналу, як радіочастота, інтервал повторення імпульсів, ширина імпульсу, а в [9] описано моделювання загрози через маневреність у 3D просторі. Платформи загроз і типи сканування їх антен (постійне сканування, кругове сканування, секторне сканування, растрове сканування, спіральне сканування, сканування, перемикання пелюсток) виражаються математично у тривимірному просторі за допомогою кутів Ейлера. Уоррен П. дю Плессіс у [10] розглядає використання програмно-орієнтованих мережевих систем як середовище для РЕБ, що зосереджена на багатьох різних варіантах використання електромагнітного спектра, та аналізує можливості співпраці між спільнотами кібервійни та радіоелектронної боротьби. Шарма П., Сарма К. К., Маторакіс Н. у [11] описують останні тенденції та програми, що розвиваються з використанням систем штучного інтелекту у засобах електронної боротьби. Адамі Д. у [12] подав огляд на перший підручник з електронної боротьби, виданий у 2001 році. У цьому підручнику весь матеріал згруповано у п’ять секцій: загальні принципи з математичним апаратом, опис виявлення та супроводження цілей, способи групового картографування та документування, основи застосування радарів у майбутньому, описи конкретних радарів. Огляд опубліковано в Аеронавігаційному журналі з метою зацікавити інженерів цього профілю.

Мета статті – вивчення передавального середовища ІКТ у контексті розгляду фізичних основ функціонування радіоелектронної боротьби на уроках фізики.

Для досягнення мети потрібно виконати **завдання**:

- окреслити фізичні основи функціонування радіоелектронної боротьби, вивчаючи фізичне передавальне середовище ІКТ;
- визначити важливість вивчення засобів радіоелектронної безпеки на уроках фізики;
- окреслити складові компетентностей, які формуватимуться під час розгляду РЕБ на уроках фізики.

Фізичні основи функціонування радіоелектронної боротьби.

Радіолокація, зв’язок, навігація, управління особовим складом та озброєнням – ці складові є критично важливими в сучасній війні. За допомогою ІКТ забезпечується ефективний військовий менеджмент, виконання бойових завдань та взаємозв’язок між командирами та солдатами. Використання ІКТ

передбачає застосування обладнання, що генерує потік електромагнітного випромінювання певного діапазону. Фіксація та визначення походження цього випромінювання є завданнями радіоелектронної розвідки (РЕР), основними технічними компонентами яких є антени широкого діапазону.

Очевидно, обладнання ІКТ вразливе до впливу радіоелектронної протидії (РЕП) – це сукупність заходів, спрямованих на порушення або повне припинення роботи радіоелектронних систем противника. Сучасні РЕП мають високу потужність, спрямованість та точність впливу. За допомогою радіопомп (генераторів – електронних пристроїв, що створюють сигнал, необхідного діапазону) виникають перешкоди у широкому діапазоні частот, що називають глушінням або jamming [13; 14]. Це призводить до блокування радіоелектронних систем противника. Генератори перешкод працюють у певному радіусі на частоті пристрою, роботі якого потрібно завадити. Якщо частоти пристрою та глушника не збігаються, глушіння не впливає на роботу пристрою. Крім того, РЕП застосовують для введення в оману противника. Фальшиві радіосигнали використовують для створення помилкової інформації або для дезорганізації дій противника. Наприклад, фальшиві радіосигнали не дають можливість визначити напрям атаки.

Розвиток РЕП потребує від військових розробки ефективних засобів радіоелектронного захисту (РЕЗ) – це сукупність заходів, спрямованих на забезпечення стійкості радіоелектронних систем до впливу РЕП противника. Сучасні засоби РЕЗ можуть автоматично адаптуватися до змін у радіоелектронному середовищі, а також використовувати різні методи захисту: шифрування інформації, що робить її нечитабельною для противника, навіть під час перехоплення радіосигналу; захист від шкідливого програмного забезпечення (ШПЗ) противника, що запобігає проникненню ШПЗ на радіоелектронні системи.

Сукупність РЕР, РЕП та РЕЗ становлять засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ), де ці засоби комбінуються.

Одним з найскладніших методів РЕБ є декодування радіосигналу супротивника і втручання в радіопередачу. Наприклад, для безпілотних літаючих апаратів (БПЛА) – це перехват управління. Хоча глушіння сигналу, на якому відбувається радіопередача, простіший, тому, найпоширеніший метод – це той, що не дає супротивнику використовувати свої засоби зв'язку, а керування БПЛА стає неможливим.

Принцип дії та складові РЕБ проілюстровано на ментальній карті (рис.1), створеній авторами на основі [15; 16]. У загальному розумінні – радіоелектронна боротьба (РЕБ) – це комплекс заходів, спрямованих на порушення або повне припинення радіоелектронної діяльності противника.

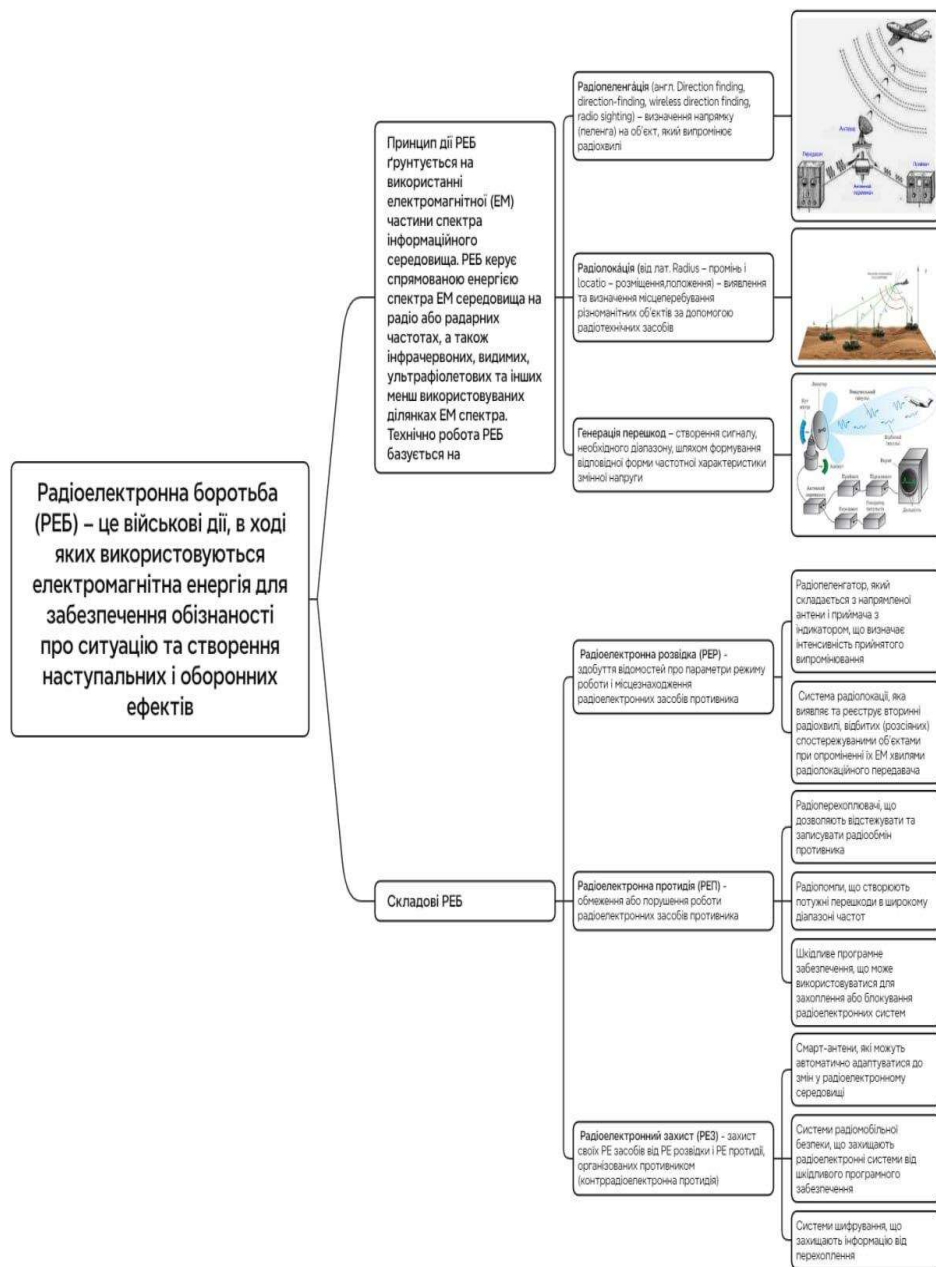


Рис. 1. Ментальна карта “Принцип дії та складові РЕБ”, створена авторами



Рис. 2. Ментальна карта “Засоби РЕБ ворога”, створена авторами

Отже, ефективність РЕБ визначають такими факторами, як: сила, точність, спрямованість впливу перешкод; швидкість адаптації до змін у радіоелектронному середовищі; стійкість до впливу ворожих РЕБ.

Для протидії засобам РЕБ ворога потрібно мати інформацію про їх технічні характеристики, тому автори створили табл. 1 на основі [17; 18]. У сучасній війні російські загарбники використовують різні види РЕБ, зовнішній вигляд, призначення та специфікацію яких проілюстровано на ментальній карті (рис. 2), створеній авторами на основі [17].

Таблиця 1

**Тактико-технічні характеристики РЕБ ворога,
створені авторами на основі [17; 18]**

Назва комплексу	Діапазон технічного аналізу сигналів, МГц	Діапазон радіорозвідки, МГц	Діапазон радіопридушення, МГц	Випромінювана потужність, Вт	Ширина спрямованості передавальної антени, сектор бойової роботи град.: за кутом місця за азимутом	Точність пеленгації, град.	Максимальна дальність дії, км:
Ртуть-БМ	95 – 420	95 – 420	95 – 420	250	±150		
Мандат (Р-330)	1,5 – 1000	немає даних	немає даних	1000	немає даних	немає даних	< 60
Диабазол (Р-330М1П)	100 – 2000	100 – 2000	100 – 1900	немає даних	< 40, 90 – 120	3	немає даних
Москва-1 (шифр 1Л267)	200 – 2000 2860 – 3540 8000 – 17500	немає даних	немає даних	20000	0 – 30 0 – 360	немає даних	≥ 400
Красуха-2 (індекс 1Л269)	2900 – 3200	немає даних	немає даних	немає даних	0 – 10 0 – 360	немає даних	< 250
Дзюдоіст	0,01 – 20000	0,1 – 18000	0,1 – 10000	3500		2 – 3	5 – 20
Красуха-С4	8000 – 20000	2860 – 3540	2860 – 3540		0 – 5 360		< 250
Леер-2	0,1 – 18000	20 – 2700	30 – 2700	200 – 500	немає даних	3	або 6, або 40
Лорандит	20 – 2000	20 – 2000	137 – 174 410 – 470 100 – 500	100	немає даних	3	немає даних
Репеллент 1	200 – 6000	200 – 6000	200 – 6000	300 – 1000		≤ 2	10 – 30
Инфауна (РБ-531Б)	25 – 2500	немає даних	25 – 2500	75	немає даних	5	≤ 0,15
Шиповник-Аэро	25 – 2500	25 – 2500	25 – 100 400 – 500 800 – 925 2400 – 2485	немає даних	360	3	5 – 20

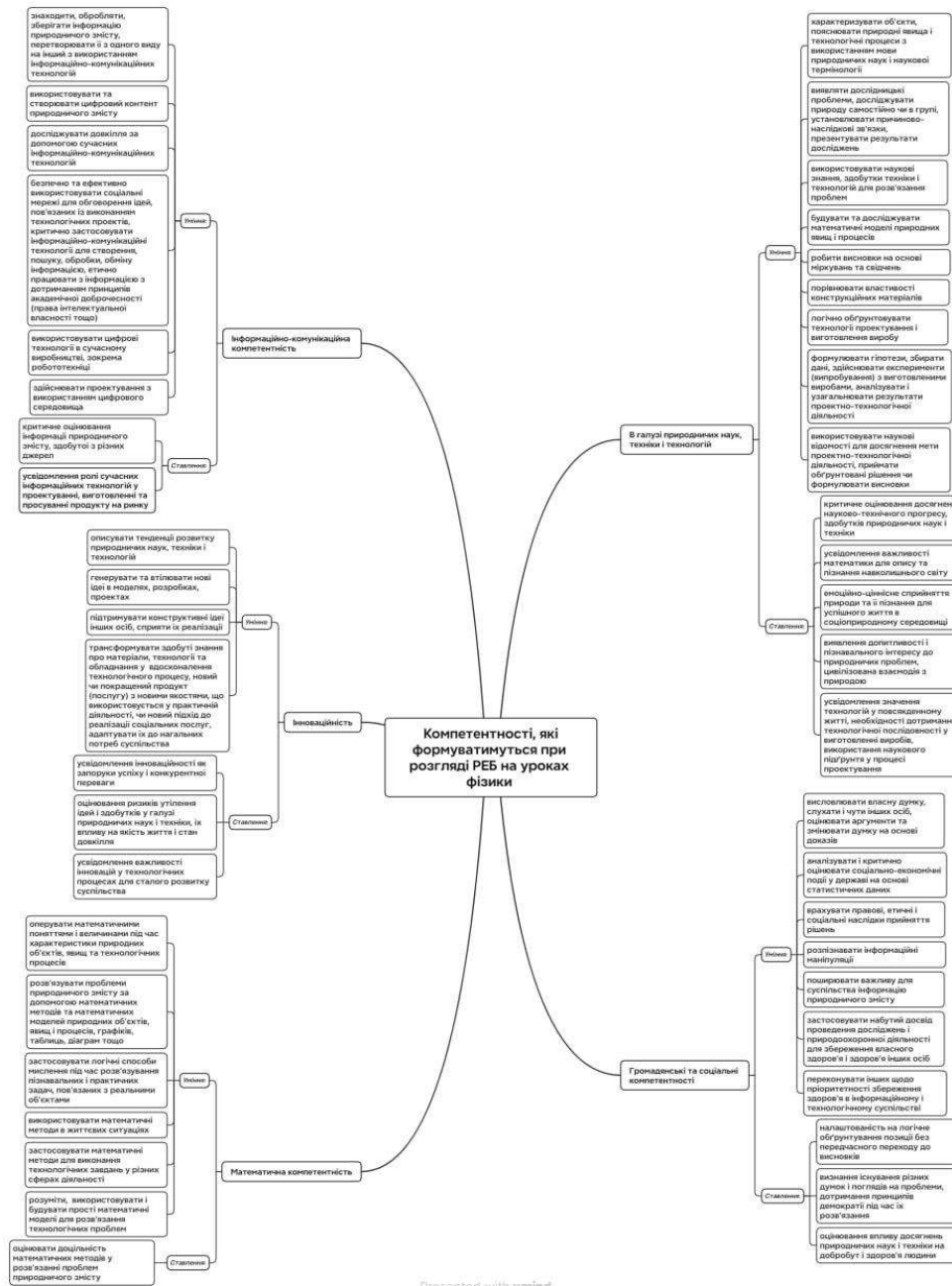
Цю інформацію здобувають за допомогою розвідданих, а також військовими у бойових діях під час ураження ворожих РЕБ та вивчення їх будови. Кожна зі сторін конфлікту намагається максимально засекретити дані про свої РЕБ і поширити дані про РЕБ ворога. Адже відкриті технічні характеристики дають інженерам можливість розробляти нові засоби РЕБ. Інформація про українські засоби РЕБ засекречена.

Особливістю протистояння України агресії РФ є широке застосування у бойових діях БПЛА. Тому роль РЕБ стає важливою за будь-яких військових операцій як засіб захисту та протидії. Ознайомлення з фізичними принципами дії РЕБ через призму вивчення електромагнітного середовища функціонування ІКТ повинно стати важливим компонентом шкільних дисциплін, оскільки військова підготовка молоді стає обов'язковою в сучасних реаліях.

Важливість вивчення РЕБ на уроках фізики. Відповідно до Державного стандарту базової середньої освіти (ДСБСО) [19] “Метою базової середньої освіти є ... формування компетентностей, необхідних для їх соціалізації та громадянської активності, свідомого вибору подальшого життєвого шляху та самореалізації, продовження навчання на рівні профільної освіти або здобуття професії...”. Кожна освітня галузь повинна реалізовувати компетентнісний потенціал через розвиток умінь і формування ставлень та базові знання галузі. Критеріями оцінювання сформованості певної компетентності є перелік обов'язкових результатів навчання учнів.

Вивчення РЕБ на уроках фізики найбільше сприятиме формуванню базових компетентностей: математичної; у галузі природничих наук, техніки і технологій; інноваційної; інформаційно-комунікаційної. На рис. 3 проілюстровано складові кожної компетентності, які формуватимуться під час розгляду РЕБ на уроках фізики.

ДСБСО подає перелік базових знань у природничій галузі, де фізичний складник декларує вивчення обов'язкових тем. Розгляд фізичних основ роботи РЕБ може бути ілюстрацією для розгляду тем: фізика і техніка; фізичні основи сучасних технологій і виробництва; фізика в побуті; речовина і поле; будова речовини; рух, види руху; основні параметри руху; коливання і хвилі; взаємодія тіл; електричний струм; електромагнітна взаємодія; основні фізичні закони, що визначають перебіг механічних, електричних, магнітних явищ; закони збереження. Важливо акцентувати увагу, що саме фізика вивчає електромагнітне середовище функціонування ІКТ сучасних РЕБ.



Presented with xmind

Рис 3. Ментальна карта “Складові компетентностей, які формуватимуться під час розгляду РЕБ на уроках фізики”, створена авторами на основі [19]

На уроках фізики матеріал про вивчення передавального середовища ІКТ радіоелектронних засобів боротьби буде не тільки предметом вивчення, а й основою для національно-патріотичного виховання. Описані авторами тактико-технічні характеристики дають можливість розробити чимало завдань на військову тематику про РЕБ практичного змісту.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Зроблено огляд літератури, в якому проаналізовано:

- сторічну історію застосування радіоелектронних засобів у військових діях;

- сучасні дослідження у галузі покращення ефективності роботи РЕБ через використання 3D моделювання та штучного інтелекту.

Для вивчення передавального середовища ІКТ у контексті розгляду фізичних основ функціонування радіоелектронної боротьби на уроках фізики:

- окреслено фізичні основи функціонування радіоелектронної боротьби під час вивчення фізичного передавального середовища ІКТ на прикладі засобів радіоелектронної боротьби ворога з їх тактико-технічними характеристиками;

- акцентовано на важливості вивчення передавального середовища ІКТ крізь призму функціонування засобів радіоелектронної безпеки на уроках фізики;

- окреслено складові компетентностей, які формуватимуться під час розгляду РЕБ на уроках фізики.

У перспективі подальших досліджень потрібно окреслити роль і місце вивчення передавального середовища ІКТ радіоелектронних засобів боротьби в українській середній освіті загалом і на уроках фізики зокрема; запропонувати завдання на військову тематику з РЕБ практичного змісту з використанням тактико-технічних характеристик засобів радіоелектронної боротьби ворога, наведених у наступній статті авторів.

Зважаючи на те, що десятилітня агресія рф проти України стала реальністю сучасних школярів, то підбір змістовного навантаження на військову тематику, запропоноване авторами, на уроках фізики буде:

- мотивацією для вивчення фізики через пояснення принципів роботи багатьох сучасних військових приладів та способів використання їх на практиці;

- засобом для формування на поглиблення основних знань про передавальне середовище ІКТ – електромагнітне поле та електромагнітні хвилі, від властивостей якого залежить функціонування ІКТ комплексів загалом;

- засобом військово-патріотичного виховання та формування національно-патріотичних якостей школярів.

1. *Alberts D. S., Papp D. S.* The Information Age Anthology. The Information Age: An Anthology on Its Impact and Consequences. CCRP. 1997. Т. 1. URL: http://www.dodccrp.org/files/Alberts_Anthology_I.pdf (дата звернення: 26.03.2024).
2. *Alberts D. S., Papp D. S.* The Information Age Anthology. National Security Implications of the Information Age. CCRP. 2000. Т. 2. URL: http://www.dodccrp.org/files/Alberts_Anthology_II.pdf (дата звернення: 26.03.2024).
3. *Alberts D. S., Papp D. S.* The Information Age Anthology. The Information Age Military. CCRP. 2001. Т. 3. URL: http://www.dodccrp.org/files/Alberts_Anthology_III.pdf (дата звернення: 26.03.2024).
4. Україна, МОН. Програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Інформатика 5–9 класи. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-5-9-klas/onovlennya-12-2017/8-informatika.docx> (дата звернення: 26.03.2024).
5. Україна, Верховна Рада : Закон України № 3633-IX “Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо окремих питань проходження військової служби мобілізації та військового обліку”. Голос України. 18 квітня 2024. № 17 (69). URL: <http://www.golos.com.ua/documents/z-3633-ix.pdf>.
6. GPS jamming map. Flightradar24. URL: <https://www.flightradar24.com/data/gps-jamming> (дата звернення: 01.04.2024).
7. *Singh D.* Electronic warfare: changing operational concepts. Air power J. 2021. Т. 16. № 2. С. 43–64. URL: <https://capsindia.org/wp-content/uploads/2021/12/Daljit-Singh.pdf> (дата звернення: 01.04.2024).
8. *Hristozov I.* Application of information and communications technologies and means of radio-electronic warfare in hybrid war. Inf. & Secur.: Int. J. 2018. Т. 39. No. 3. P. 265–274. URL: https://connections-qj.org/ru/system/files/3922_hristozov_radioelectronic_warfare.pdf?download=1 (дата звернення: 01.04.2024).
9. *Muslu E. A. and Karal Ö.* Mathematical Modeling of Threats in Electronic Warfare Systems. 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). Istanbul ; Turkey, 2021. P. 1–4. DOI: 10.1109/SIU53274.2021.9477995.
10. *du Plessis W. P.* Software-Defined radio (SDR) as a mechanism for exploring cyber-electronic warfare (EW) collaboration. URL: https://digifors.cs.up.ac.za/issa/2014/Proceedings/Workshop/15_Final_Document.pdf (дата звернення: 02.04.2024).

11. Sharma P., Sarma K. K., Mastorakis N. E. Artificial intelligence aided electronic warfare systems-recent trends and evolving applications. IEEE Access. 2020. Т. 8. Р. 224761–224780. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9292960> (дата звернення: 03.04.2024).
12. EW101: A First Course in Electronic Warfare D. Adamy Artech House, 46 Gillingham Street. London SW1V 1AH, UK. 2001. 308 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0001924000012744>.
13. Генератор коливач частот в засобах РЕБ. anti-dron-obladnannya. URL: <http://gsm-signal.in.ua/anti-dron-obladnannya/generator-kachayushhejsya-chastoty-v-zasobax-reb.html> (дата звернення: 15.04.2024).
14. Pärilin K., Riihonen T. and Turunen M. Sweep Jamming Mitigation Using Adaptive Filtering for Detecting Frequency Agile Systems. International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS). Budva ; Montenegro, 2019. Р. 1–6. DOI: 10.1109/ICMCIS.2019.8842761.
15. РЕБ – основа сучасних ефективних збройних сил. Військовий кур'єр. Аналітика. Озброєння та військова техніка. URL: <https://mil.co.ua/reb-osnova-suchasnyh-efektyvnyh-zbrojnyh-syl/> (дата звернення: 15.04.2024).
16. Вакуленко М., Вакуленко О. Фізичний тлумачний словник. URL: <https://ddpu.edu.ua/fizmatzbirnyk/slovniki/sl11.pdf> (дата звернення: 15.04.2024).
17. Засоби радіоелектронної боротьби ворога. Розвідувальна підготовка. URL: <https://sprotyv7.com.ua/lesson/zasobi-radioelektronnoi-borotbi-voroga> (дата звернення: 15.04.2024).
18. Засоби розвідки та радіоелектронної боротьби. Читиво. URL: https://shron1.chtyvo.org.ua/viiskova_sprava/Zasoby_rozvidky_ta_radioelektronnoi_borotby_ZS_RF.pdf (дата звернення: 15.04.2024).
19. Україна, Кабінет Міністрів України. (2022, 30 серп.). Постанова № 972, 27. Про внесення змін до Державного стандарту базової середньої освіти. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/972-2022-p#Text> (дата звернення: 15.04.2024).

References

1. Alberts, D. S., Papp, D. S. (1997). The Information Age Anthology. The Information Age: An Anthology on Its Impact and Consequences. CCRP, 1. Retrieved from http://www.dodccrp.org/files/Alberts_Anthology_I.pdf.
2. Alberts, D. S., Papp, D. S. (2000). The Information Age Anthology. National Security Implications of the Information Age. CCRP, 2. Retrieved from http://www.dodccrp.org/files/Alberts_Anthology_II.pdf.

3. Alberts, D. S., Papp, D. S. (2001). The Information Age Anthology. The Information Age Military. CCRP, 3. Retrieved from http://www.dodccrp.org/files/Alberts_Anthology_III.pdf.
4. Ukraina, MON. *Prohrama dlia zahal'noosvitnikh navchal'nykh zakladiv*. Informatyka 5–9 klasy. Retrieved from <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-5-9-klas/onovlennya-12-2017/8-informatika.docx>.
5. Ukraina, Verkhovna Rada, Zakon Ukrainy № 3633-IX “Pro vnesennia zmin do deiakykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy schodo okremykh pytan' prokhozhenia vijs'kovoï sluzhby mobilizatsii ta vijs'kovoho obliku”. *Holos Ukrainy*, 17 (69). Retrieved from <http://www.golos.com.ua/documents/z-3633-ix.pdf>.
6. GPS jamming map. Flightradar24. Retrieved from <https://www.flightradar24.com/data/gps-jamming>.
7. Singh, D. (2001). Electronic warfare: changing operational concepts. *Air power J.*, 16, 2, 43–64. Retrieved from <https://capsindia.org/wp-content/uploads/2021/12/Daljit-Singh.pdf>.
8. Hristozov, I. (2018). Application of information and communications technologies and means of radio-electronic warfare in hybrid war. *Inf. & Secur.: Int. J.*, 39, 3, 265–274. Retrieved from https://connections-qj.org/ru/system/files/3922_hristozov_radioelectronic_warfare.pdf?download=1.
9. Muslu, E. A. and Karal, Ö. (2021). Mathematical Modeling of Threats in Electronic Warfare Systems, *29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. Istanbul, Turkey, 1–4. DOI: 10.1109/SIU53274.2021.9477995.
10. du Plessis, W. P. Software-Defined radio (SDR) as a mechanism for exploring cyber-electronic warfare (EW) collaboration. Retrieved from https://digifors.cs.up.ac.za/issa/2014/Proceedings/Workshop/15_Final_Document.pdf.
11. Sharma, P., Sarma, K. K. ta Mastorakis, N. E. (2020). Artificial intelligence aided electronic warfare systems-recent trends and evolving applications. *IEEE Access*, 8, 224761–224780. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9292960>.
12. EW101: A First Course in Electronic Warfare D. Adamy Artech House. 46 Gillingham Street, London SW1V 1AH, UK. 2001. 308. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0001924000012744>.
13. Henerator kachaiuschejsia chastoty v zasobakh REB. anti-dron-obladnannya. Retrieved from <http://gsmsignal.in.ua/anti-dron-obladnannya/generator-kachayushhejsya-chastoty-v-zasobax-reb.html>.
14. Pärilin, K., Riihonen, T. and Turunen, M. (2019). Sweep Jamming Mitigation Using Adaptive Filtering for Detecting Frequency Agile Systems.

International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS). Budva, Montenegro, 1-6. DOI: 10.1109/ICMCIS.2019.8842761.

15. REB – osnova suchasnykh efektyvnykh zbrojnykh syl. Vijs'kovyj kur'ier. Analityka. Ozbroyennia ta vijs'kova tekhnika. Retrieved from <https://mil.co.ua/reb-osnova-suchasnyh-efektyvnyh-zbrojnyh-syl/>.

16. Vakulenko, M., Vakulenko, O. Fizychnyj tlumachnyj slovnyk. Retrieved from <https://ddpu.edu.ua/fizmatzbirnyk/slovniky/sl11.pdf>.

17. Zasoby radioelektronnoi borot'by voroha. Rozviduval'na pidhotovka. Retrieved from <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/zasobi-radioelektronnoi-borotbi-voroga>.

18. Zasoby rozvidky ta radioelektronnoi borot'by. Chtyvo. Retrieved from https://shron1.chtyvo.org.ua/viiskova_sprava/Zasoby_rozvidky_ta_radioelektronnoi_borotby_ZS_RF.pdf.

19. Ukraina, Kabinet Ministriv Ukrainy. (2022, 30 serp.). Postanova № 972, 27. Pro vnesennia zmin do Derzhavnoho standartu bazovoi seredn'oi osvity. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/972-2022-p#Text>.

Стаття: надійшла до редколегії 09.09.2024

доопрацьована 29.10.2024

прийнята до друку 02.11.2024

THE STUDY OF THE ICT TRANSMISSION ENVIRONMENT IN THE CONTEXT OF CONSIDERING THE PHYSICAL FOUNDATIONS OF THE FUNCTIONING OF ELECTRONIC WARFARE IN PHYSICS LESSONS

Vasyl Velychko, Nina Holovina, Oksana Ostrei

Lesya Ukrainka Volyn National University,

pr. Voli, 13, Lutsk, Ukraine, UA-43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-4502-2645>

Velychko.Vasyl2022@ynu.edu.ua;

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1152-1536>

Holovina.Nina@ynu.edu.ua;

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1174-8367>

ostrey.oxana@ynu.edu.ua

The active use of ICT plays one of the most important roles in the modern realities of the Russian Federation's aggression against Ukraine. Military ICT uses equipment that ensures interaction between devices over long distances. The flow of electromagnetic radiation acts as the ICT transmission medium. The generation, detection, and determination of the origin of this radiation is carried out utilizing radio-electronic warfare. Electronic warfare is a military operation that uses electromagnetic energy to provide situational awareness and create offensive and defensive effects. The means of radio-

electronic warfare consists of a combination of radio-electronic intelligence, radio-electronic countermeasures, and radio-electronic protection.

This study outlines the physical foundations of the functioning of radio-electronic warfare through the prism of studying the physical transmission environment of ICT. It describes the principle of action and components of electronic warfare using mental maps. Also, the enemy's means of radio-electronic warfare and their tactical and technical characteristics are listed.

The importance of studying radio-electronic warfare in physics lessons is defined. The analysis covers the mandatory physics topics declared in the State Standard of Basic Secondary Education. Specific topics for studying the physical foundations of REW tools are indicated. The study of electronic warfare in physics lessons will significantly contribute to the formation of basic competencies in: mathematics, natural sciences, engineering and technology, innovation, information and communication, and improving learning outcomes. The components of each competency are illustrated on the mental map. The role of the study of REW as a means of national patriotic education is emphasized.

Keywords: ICT transmission environment, radio-electronic warfare (REW), basic competencies.