https://doi.org/10.51707/2618-0529-2026-35-01

УДК 37.091.33:621.396.67

А. І. Атамась,
В. В. Василенко

ПРАКТИКУМ «АНТЕННО-ФІДЕРНІ ПРИСТРОЇ» ВІРТУАЛЬНОГО STEM-ЦЕНТРУ МАЛОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Анотація. *У статті обґрунтовано актуальність інтеграції у навчальний процес радіофізичних та інженерних знань, зокрема теорії антенно-фідерних пристроїв (АФП). Цей напрям відповідає сучасній концепції STEM-освіти, оскільки має яскраво виражені трансдисциплінарні зв'язки з природничими науками, інжинірингом, технологіями й математикою. Метою дослідження є розроблення та експериментальна перевірка практикуму «Антенно-фідерні пристрої» для віртуального STEM-центру Малої академії наук України. Практикум складається із семи лабораторних робіт, які включають розрахунки, моделювання у комп'ютерному середовищі MMANA-GAL та експериментальні дослідження. Роботи охоплюють дослідження найпростіших антен (півхвильовий та петльовий вібратори), визначення напруженості електричного поля, потужності радіосигналу у точці прийому, посилення (Ga) і спрямованості багатоелементних антен, а також проєктування і прототипування антени для цифрового ефірного телебачення. Для практичних випробувань багатоелементних антен використовувалася макетна модель, а вимірювання проводились за допомогою логарифмічного детектора AD8313 та SDR-приймача. Практична перевірка робіт показала доволі точний збіг результатів розрахунків і моделювання з показниками експериментальних дослідів. Наприклад, різниця між розрахованим і виміряним значеннями потужностей у точці прийому знаходиться в межах 10 %. Розроблений практикум повністю відповідає концепції STEM та сприяє розвитку інженерних і технічних компетенцій учнів. Моделювання, прототипування і випробування антени для ефірного цифрового телебачення може успішно використовуватись як підсумкове проєктне завдання.*

Ключові слова: *STEM-освіта, радіозв'язок, антенно-фідерні пристрої, моделювання антен.*

Постановка проблеми. Радіозв'язок і бездротове передавання інформації відіграють важливу роль у житті сучасної людини. Під час дії карантинних обмежень саме завдяки цим технологіям вдалося організувати дистанційне навчання учнів шляхом проведення занять у режимі онлайн і трансляції уроків на каналах ефірного телебачення. В умовах воєнного стану вони широко застосовуються ще й для сповіщення населення про можливі небезпеки. Ефективність засобів радіозв'язку деякою мірою залежить від уміння споживачів здійснювати їх налаштування, для чого корисним є розуміння фізичних принципів їхньої роботи. Відповідно для підвищення безпеки населення та обороноздатності всієї країни важливим є навчання принципів радіозв'язку як в шкільній, так і в позашкільній освіті.

Найголовнішим елементом будь-якого передавача або приймача є антена, яка випромінює та приймає електромагнітні хвилі. Для ефективної та безпечної роботи антена має бути узгоджена з фідером — пристроєм, що з'єднує її з виходом передавача або входом приймача. Теорія антенно-фідерних пристроїв (АФП) вивчає принципи роботи й проєктування антен і фідерних ліній, які використовуються для передачі та прийому радіохвиль. Вона базується

© Атамась А. І., Василенко В. В.

на принципах електромагнетизму та хвильової оптики. Проєктування антен пов'язане з інженерними математичними розрахунками та роботою зі спеціальним програмним забезпеченням. Випробування прототипів антен потребує знань і практичних навичок у роботі з вимірювальними приладами й обладнанням.

Розглянемо напрям «Антенно-фідерні пристрої» у площині концепції STEM-освіти (*рис. 1*).

Напрям «Антенно-фідерні пристрої» безпосередньо стосується фізики. Практичні заняття за цим напрямом сприяють розвитку компетенцій, пов'язаних з технікою радіоприйому та радіопередачі, роботою зі спеціалізованим програмним забезпеченням та обладнанням, математичним обробленням результатів випробувань. Крім того, цей напрям може передбачати роботи з проєктування та створення антен й узгоджувальних пристроїв. Такі роботи розвивають компетенції, пов'язані з інженерними розрахунками й моделюванням антен, у тому числі за допомогою спеціальних комп'ютерних програм, добором обладнання та матеріалів, математичним моделюванням фізичних процесів у АФП.

Отже, напрям «Антенно-фідерні пристрої» відповідає сучасній концепції STEM, оскільки має яскраво виражені трансдисциплінарні зв'язки з природничими науками, інжинірингом, технологіями й математикою. Для повноцінного існування і розвитку цього напряму у STEM-освіті необхідне методичне забезпечення та обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Принципи радіомовлення, телебачення і радіотелефонного зв'язку розглядаються у шкільному курсі фізики під час вивчення розділу «Електромагнітні коливання та хвилі». Підручник з фізики для 11 класу за ред. В. Г. Бар'яхтара і С. О. Довгого у переліку орієнтовних тем проєктів, рефератів, повідомлень та експериментальних досліджень містить декілька тем, присвячених випромінюванню, прийманню та властивостям електромагнітних хвиль [1]. У навчальній програмі, якій відповідає цей підручник, передбачена демонстрація «Випромінювання та приймання електромагнітних хвиль».

Курс «Основи електроніки» STEM-лабораторії МАНЛаб містить розділ «Радіозв'язок. Модуляція й детектування», який передбачає виконання трьох практичних робіт: «FM-передавач», «FM-приймач», «Реєстратор грози» [2]. Для їх виконання застосовуються доступні електронні компоненти, тому, коли є бажання, ці роботи можна виконати самостійно. Опанування цього розділу з виконанням передбачених практичних робіт дає змогу здобути знання лише основних принципів радіозв'язку.

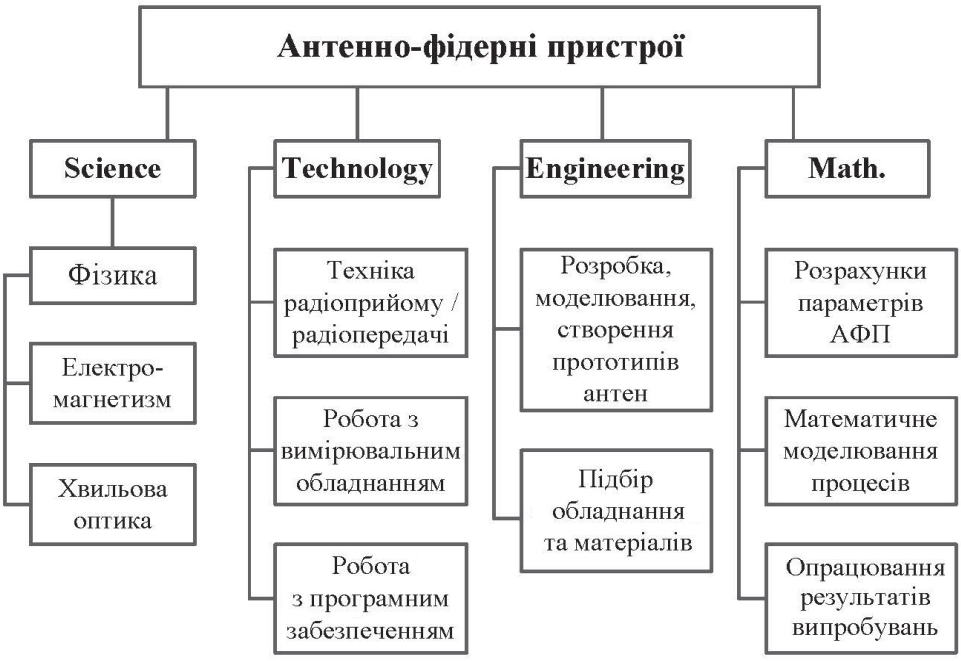


Рис. 1. Напрям «Антенно-фідерні пристрої» у площині концепції STEM

ISSN 2786-4510 (Online)

Розвиток бездротових технологій, які є невід'ємною складовою сучасного життя суспільства, зумовлює потребу в якісній підготовці фахівців у сфері STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics). Водночас актуальною залишається проблема недостатньої залученості молоді до технічних спеціальностей, зокрема через поширене уявлення про складність STEM-дисциплін. Дослідження Pew Research Center засвідчило, що значна частка респондентів виявляла інтерес до STEM-кар'єри, проте не обрала її, пояснивши своє рішення саме складністю навчальних дисциплін [3]. Саме тому сучасна освітня політика має бути спрямована на пошук інструментів, які робили б вивчення фізичних та інженерних принципів більш доступним, практико-орієнтованим і мотиваційно привабливим.

Одним із таких інструментів є аматорське радіо (Ham Radio), яке розглядається як ефективний засіб залучення молоді до STEM-освіти. Зокрема, радіоаматорство представлене як практико-орієнтований освітній інструмент, здатний зменшити розрив між теоретичною підготовкою інженерів і практичними навичками, затребуваними сучасною промисловістю [4]. Автори підкреслюють, що аматорське радіо сприяє розвитку навичок проєктування, налагодження та діагностики реальних радіоелектронних систем.

Практичний досвід інтеграції аматорського радіо в освітні STEM-програми середньої школи наведено у статті, де описано впровадження відповідних навчальних модулів у системі державних шкіл міста Чесапік (штат Вірджинія, США) [5]. На прикладі курсу Electronics II показано, що використання аматорського радіо дає змогу поєднати теоретичні знання та практичні навички роботи з реальними радіотехнічними системами, включно з їх монтажем, налаштуванням і дотриманням регуляторних вимог. Зазначений підхід сприяє підвищенню мотивації учнів і формуванню інтересу до інженерних спеціальностей.

У сфері позашкільної освіти значну увагу приділяють використанню популярних серед молоді цифрових платформ. Зокрема, у процесі дослідження Вустерського політехнічного інституту [6] було розроблено комплекс навчальних активностей, що поєднують радіоаматорство та STEM, серед яких — використання гри Minecraft із модифікацією RadioCraft [7], демонстрації радіопеленгування («полювання на лисиць») та інструменти для підготовки до отримання аматорської ліцензії. Такі підходи забезпечують практичне ознайомлення з принципами бездротового зв'язку й антенними системами.

Окрім вивчення технічних аспектів, STEM-освіта повинна сприяти розвитку критичного мислення, креативності й етичних міркувань [8; 9], формуючи відповідальне громадянство. Радіозв'язок у цьому контексті може слугувати прикладом як соціально значущого застосування (зокрема, під час надзвичайних ситуацій), так і потенційних зловживань, що формує підґрунтя для відповідального ставлення до технологій.

Ефективність використання аматорського радіо для підвищення інтересу до науки підтверджується також програмами космічної спрямованості. Дослідження, присвячене програмі ARISS (Amateur Radio on the International Space Station), показало статистично значуще зростання зацікавленості учнів науковою діяльністю після участі в сеансах радіозв'язку з астронавтами МКС [10].

Отже, аналіз сучасних досліджень засвідчує доцільність інтеграції радіофізичних та інженерних знань, зокрема теорії антенно-фідерних пристроїв, у навчальний процес. Використання інтерактивних, практико-орієнтованих і цифрових інструментів є важливим чинником подолання бар'єру сприйняття STEM-дисциплін як складних і малопривабливих, що відповідає ключовим завданням сучасної STEM-освіти. У зв'язку із цим актуальним є створення спеціалізованого практикуму з антенно-фідерних пристроїв, який може використовуватися самостійно і як доповнення до курсу «Основи електроніки».

Метою роботи є розроблення та експериментальна перевірка практикуму з антенно-фідерних пристроїв.

Виклад основного матеріалу. Практикум «Антенно-фідерні пристрої» складається із семи лабораторних робіт [2].

1. Дослідження півхвильового вібратора у моделювальному комп'ютерному середовищі.

2. Дослідження петльового вібратора у моделювальному комп'ютерному середовищі.

3. Визначення напруженості електричного поля електромагнітної хвилі та потужності радіосигналу у точці прийому.

4. Дослідження багатоелементної антени у моделювальному комп'ютерному середовищі.

5. Дослідження посилення та спрямованості багатоелементної антени.

6. Дослідження посилення та спрямованості багатоелементної антени за допомогою SDR-приймача.

7. Моделювання антени для ефірного цифрового телебачення.

Перша робота присвячена моделюванню та дослідженню найпростішої антени — півхвильового вібратора. Її опис містить розгорнуті теоретичні відомості [11–14], які охоплюють основні поняття теорії антен, та питання узгодження антен з лініями передачі. У роботі пропонується розрахувати півхвильовий вібратор на певну частоту, використовуючи формули та графіки, наведені у теоретичній частині, змоделювати його у комп'ютерній програмі MMANA-GAL і дослідити залежність смуги пропускання ΔF від співвідношення довжини хвилі до діаметра λ/d. Під час виконання цієї роботи учні опановують моделювальне комп'ютерне середовище й закріплюють теоретичні відомості.

У наступній роботі учні розраховують, моделюють та досліджують петльовий вібратор, який має збільшену порівняно з лінійним ширину смуги пропускання [11; 12]. Вони знайомляться з поняттям еквівалентного діаметра та доходять висновку, що для створення широкосмугової антени необов'язково використовувати масивні елементи.

На рис. 2 зображено графіки залежності ширини смуги пропускання від співвідношення λ/d для лінійного й петльового вібраторів, отримані під час практичної перевірки роботи.

Для лінійного вібратора в розрахунок брався діаметр дроту, з якого він утворюється, а для петльового — еквівалентний діаметр. При цьому діаметр дроту залишався однаковим — 10 мм, а еквівалентний діаметр змінювався шляхом зміни відстані між дротами. З рис. 2 видно, що петльовий вібратор, виготовлений з того самого дроту, що й лінійний, має значно більшу ширину смуги пропускання.

У третій лабораторній роботі під назвою «Визначення напруженості електричного поля електромагнітної хвилі та потужності радіосигналу у точці прийому» пропонується визначити напруженість електричного поля та потужність сигналу у точці прийому розрахунковим та експериментальним методами й порівняти результати. Для експериментального визначення параметрів радіосигналу як джерело сигналу пропонується використовувати радіомодуль RFM119W-868S1 зі штировою антеною, а у функції приймача — логарифмічний детектор AD8313 з півхвильовим вібратором.

Під час відтворення цієї роботи вимірювальна антена розміщувалася щодо джерела радіосигналу відповідно до рис. 3.

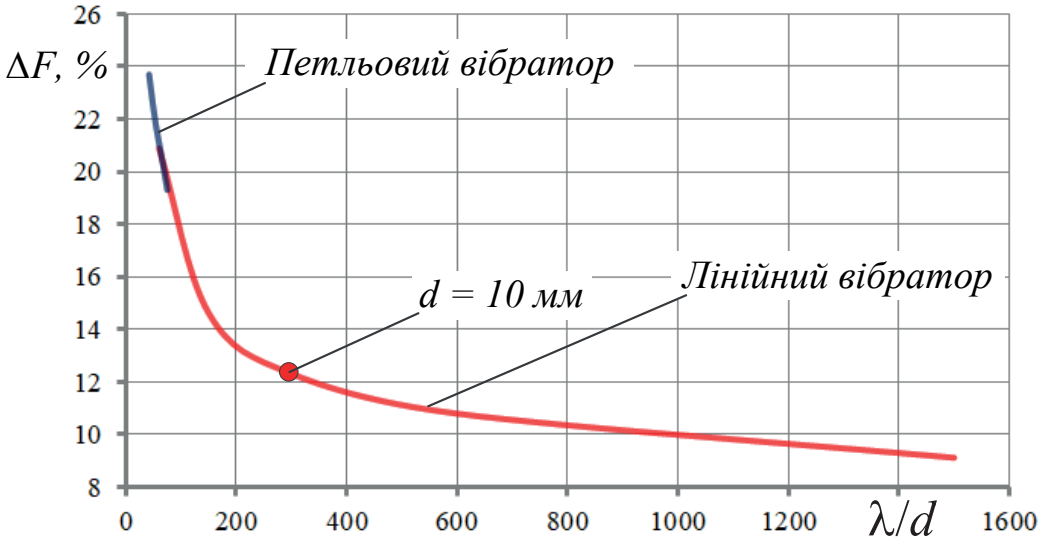


Рис. 2. Графіки залежності смуги пропускання від співвідношення довжини хвилі та діаметра для лінійного й петльового вібраторів

ISSN 2786-4510 (Online)

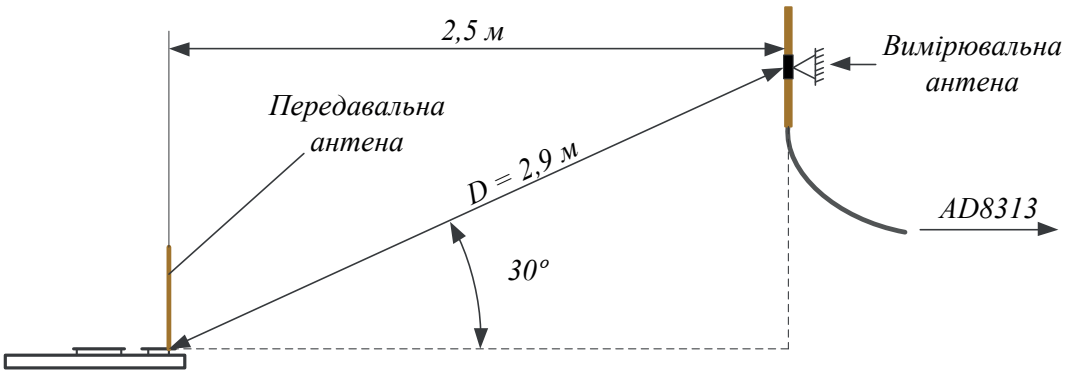


Рис. 3. Розміщення вимірювальної антени відносно джерела радіосигналу

Потужність джерела сигналу становила 20 мВт, а коефіцієнт посилення передавальної антени при такому положенні відносно вимірювальної антени — близько –1,5 dBi, або близько 0,708 в абсолютних величинах [13]. Розрахункове значення напруженості електричного поля у точці прийому складає 0,225 В/м. Фізична довжина вимірювальної антени становила 0,154 м, а її діюча довжина — 0,098 м. Розрахункове значення напруги на затисках вимірювальної антени становить 0,022 В, а потужність радіосигналу за умови ідеального узгодження (КСХ = 1) — 9,7 мкВт. Під час експериментального визначення потужності напруга на виході логарифмічного детектора становила 1,28…1,29 В, що відповідає вхідній потужності близько –20,5 dBm, або 8,9 мкВт. Різниця між розрахованим та виміряним значеннями потужності знаходиться в межах 10 %. Дещо нижче значення виміряної потужності зумовлене неідеальним узгодженням антен.

У наступній роботі учні знайомляться з багатоелементними антенами типу «Хвильовий канал». Їм пропонується змоделювати дві антени цього типу з 3 та 6 елементами, дослідити зміну коефіцієнта посилення *Ga* та співвідношення фронтального випромінювання і тилового *F/B* при переході від 3 до 6 елементів.

Під час виконання п’ятої та шостої робіт учні експериментально досліджують посилення та спрямованість багатоелементної антени, змодельованої у попередній роботі. Для цього використовується макетна модель антени, в конструкції якої передбачена можливість швидкого монтування пасивних елементів. Джерелом сигналу в обох роботах слугує радіомодуль RFM119W-868S1 зі штировою антеною. Як приймач у роботі № 5 використовується логарифмічний детектор AD8313 з півхвильовим вібратором, а в роботі № 6 — SDR-приймач з тим самим півхвильовим вібратором. Півхвильовий вібратор в обох випадках є активним елементом досліджуваної багатоелементної антени.

У таблиці 1 наведені результати моделювання та експериментальних досліджень 3- та 6-елементної антени для частоти 868 МГц з використанням під час експерименту логарифмічного детектора.

У таблиці 2 наведені результати моделювання та експериментальних досліджень 3- та 6-елементної антени для частоти 868 МГц з використанням під час експерименту SDR-приймача.

З таблиць 1 та 2 видно, що отримані експериментально висновки та результати моделювання в обох випадках збігаються з доволі високою точністю. Використання SDR-приймача

Таблиця 1

Результати практичної перевірки лабораторної роботи № 5

N, ел.	Моделювання		Експеримент		Відмінність	
	Ga, dBi	*F/B*, dB	*Ga*, dBi	*F/B*, dB	Δ *Ga*, %	Δ *F/B*, %
3	7,11	15,67	6,64	14,4	6,61	8,10
6	9,87	17,51	9,24	16,2	6,38	7,48

Таблиця 2

Результати практичної перевірки лабораторної роботи № 6

N, ел.	Моделювання		Експеримент		Відмінність	
	Ga, dBi	*F/B*, dB	*Ga*, dBi	*F/B*, dB	Δ *Ga*, %	Δ *F/B*, %
3	7,11	15,67	6,84	15,1	3,80	3,64
6	9,87	17,51	9,64	16,9	2,33	3,48

показує очікувано вищу точність завдяки можливості встановлення меншої ціни поділки під час вимірювання потужності сигналу.

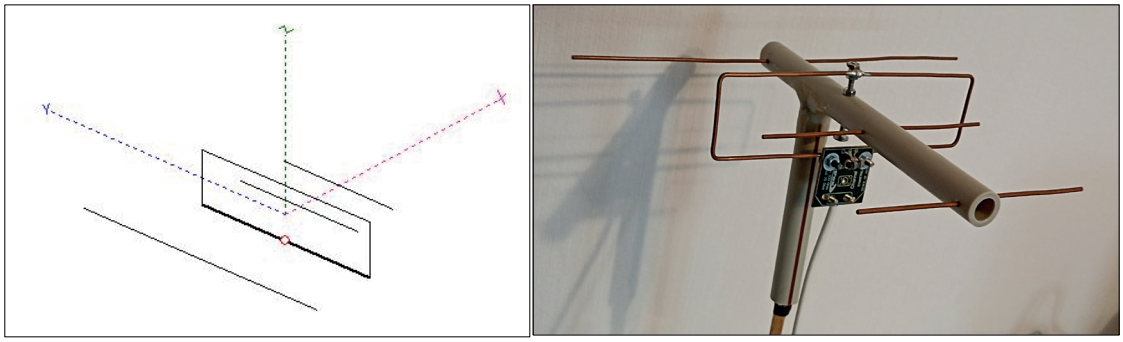
Остання робота присвячена моделюванню антени для ефірного цифрового телебачення. Учням пропонується розрахувати та змоделювати у моделювальному комп'ютерному середовищі MMANA-GAL антену для прийому сигналу ефірного цифрового телебачення для конкретного передавача, що працює в певній місцевості. Матеріалом для моделювання буде мідний дріт діаметром 3,6 мм, що відповідає промисловому мідному дроту перетином 10 мм^2. Моделювання слід починати з активного елемента з подальшим додаванням пасивних. Антена, змодельована у цій лабораторній роботі, може бути виготовлена й випробувана учнями. На рис. 4 зображено комп'ютерну модель чотирьохелементної антени для ефірного цифрового телебачення та її прототип.

Випробування антени-прототипу показали впевнений прийом усіх чотирьох мультиплексів дециметрового діапазону, на які вона була розрахована.

Висновки. Практикум «Антенно-фідерні пристрої» віртуального STEM-центру Малої академії наук України відповідає сучасній концепції STEM, оскільки має яскраво виражені зв'язки з фізикою та містить інженерну, технологічну й математичну складові. Практична перевірка лабораторних робіт практикуму показала достатньо точний збіг результатів розрахунків і моделювання з отриманими у процесі експериментальних дослідів. Отже, моделювання, прототипування та випробування антени для ефірного цифрового телебачення може успішно використовуватися як підсумкове проєктне завдання для учнів.

Список використаних джерел

1. Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О. Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом В. М. Локтєва) : підручник для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. Харків : Ранок, 2019. 272 с.
2. Віртуальний STEM-центр Малої академії наук України. URL: https://stemua.science/ (дата звернення: 14.01.2026).
3. Kennedy B., Hefferon M., Funk C. Half of Americans think young people don't pursue STEM because it is too hard. *Pew Research Center.* URL: https://www.pewresearch.org/short-reads/2018/01/17/half-of-americans-think-young-people-dont-pursue-stem-because-it-is-too-hard/ (дата звернення: 14.01.2026).



а) *б)*

Рис. 4. Комп'ютерна модель (а) та прототип антени (б) для ефірного цифрового телебачення

ISSN 2786-4510 (Online)

4. Witkowski D., Ojha S. Amateur Radio in STEM Education. *IEEE Microwave Magazine.* 2016. Vol. 17. № 4. Pp. 53–58. DOI: https://doi.org/10.1109/MMM.2016.2515305.
5. Lennon E. Teaching the Future with Ham Radio: Virginia's Chesapeake Public School System introduces Amateur Radio into its electronics classrooms. *QST.* 2015. Vol. 99. № 3. Pp. 81–82.
6. Ham Radio as a Gateway for STEM Education: An Interactive Qualifying Project / M. Amin et al. Worcester : Worcester Polytechnic Institute, 2024. 60 p.
7. Minecraft Ham Radio Project "RadioCraft". URL: https://wb1gof.org/RadioCraft/ (дата звернення: 14.01.2026).
8. Ratcliffe M., Grace M. Science Education for Citizenship: Teaching Socio-Scientific Issues. London : McGraw-Hill Education, 2003. 178 p.
9. Hacioglu Y., Gulhan F. The Effects of STEM Education on the Students' Critical Thinking Skills and STEM Perceptions. *Journal of Education in Science, Environment and Health (JESEH).* 2021. Vol. 7. № 2. Pp. 139–155. DOI: https://doi.org/10.21891/jeseh.771331.
10. Amateur Radio on the International Space Station. URL: https://ariss-usa.org/ (дата звернення: 14.01.2026).
11. Bieńkowski Z., Lipiński E. Amatorskie anteny KF i UKF. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i ŁącznoŚci, 1978. 518 s.
12. Rothammel K. Antennenbuch. Berlin : Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB), 1975. 320 s.
13. Rothammel K. Rothammel's Antenna Book / rev. and ed. by A. Krischke ; transl. from German. 1st Eng. ed. Baunatal : DARC Verlag, 2019. 1600 p.
14. Лінії радіозв'язку та антенні пристрої : навч. посіб. / М. Д. Ільїнов та ін. Київ : ВІТІ, 2018. 250 с.

References

1. Bariakhtar, V. H., Dovhyi, S. O., Bozhynova, F. Ya., & Kiriukhina, O. O. (2019). *Fizyka (riven standartu, za navchalnoiu prohramoiu avtorskoho kolektyvu pid kerivnytstvom V. M. Loktieva) [Physics (standard level, according to the curriculum of the author team under the leadership of V. M. Loktev)].* Kharkiv : Ranok [in Ukrainian].
2. Virtualnyi STEM-tsentr Maloi akademii nauk Ukrainy [Virtual STEM Center of the Junior Academy of Sciences of Ukraine]. (n. d.). *stemua.science.* Retrieved from https://stemua.science/ [in Ukrainian].
3. Kennedy, B., Hefferon, M., & Funk, C. (2018). Half of Americans think young people don't pursue STEM because it is too hard. *Pew Research Center. pewresearch.org.* Retrieved from https://www.pewresearch.org/short-reads/2018/01/17/half-of-americans-think-young-people-dont-pursue-stem-because-it-is-too-hard/.
4. Witkowski, D., & Ojha, S. (2016). Amateur Radio in STEM Education. *IEEE Microwave Magazine*, 17 (4), 53–58. DOI: https://doi.org/10.1109/MMM.2016.2515305.
5. Lennon, E. (2015). Teaching the Future with Ham Radio: Virginia's Chesapeake Public School System introduces Amateur Radio into its electronics classrooms. *QST*, 99 (3), 81–82.
6. Amin, M., Ehrensperger, C., Gomez-Haibach, K., Kratmann, A., Malnicof, A., & Russo, M. (2024). *Ham Radio as a Gateway for STEM Education: An Interactive Qualifying Project*. Worcester, MA : Worcester Polytechnic Institute.
7. Minecraft Ham Radio Project "RadioCraft". (n. d.). *wb1gof.org.* Retrieved from https://wb1gof.org/RadioCraft/.
8. Ratcliffe, M., & Grace, M. (2003). *Science Education for Citizenship: Teaching Socio-Scientific Issues*. London, UK : McGraw-Hill Education.
9. Hacioglu, Y., & Gulhan, F. (2021). The Effects of STEM Education on the Students' Critical Thinking Skills and STEM Perceptions. *Journal of Education in Science, Environment and Health (JESEH)*, 7 (2), 139–155. DOI: https://doi.org/10.21891/jeseh.771331.
10. Amateur Radio on the International Space Station. (n. d.). *ariss-usa.org.* Retrieved from https://ariss-usa.org/.
11. Bieńkowski, Z., & Lipiński, E. (1978). *Amatorskie anteny KF i UKF [Amateur HF and VHF antennas].* Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności [in Polish].
12. Rothammel, K. (1975). *Antennenbuch [Antenna Book].* Berlin : Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) [in German].
13. Rothammel, K. (2019). *Rothammel's Antenna Book.* A. Krischke (Ed.). (1st Eng. ed.). Baunatal : DARC Verlag.
14. Ilinov, M. D., Hurskyi, T. H., Borysov, I. V., & Hrytsenok, K. M. (2018). *Linii radiozviazku ta antenni prystroi [Radio communication lines and antenna systems].* Kyiv : VITI [in Ukrainian].

A. I. Atamas,
V. V. Vasylenko

ANTENNA-FEEDER DEVICES PRACTICUM OF THE VIRTUAL STEM CENTER OF THE JUNIOR ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

Abstract. *The relevance of integrating radiophysical and engineering knowledge, in particular the theory of antenna-feeder devices (AFDs), into the educational process is substantiated. This area corresponds to the modern concept of STEM education, as it demonstrates pronounced transdisciplinary connections with natural sciences, engineering, technology, and mathematics. The purpose of this study is to develop and experimentally validate the practicum "Antenna-Feeder Devices" for the Virtual STEM Center of the Junior Academy of Sciences of Ukraine. The practicum consists of seven laboratory works that include analytical calculations, computer simulation using the MMANA-GAL environment, and experimental investigations. The laboratory works cover the study of basic antennas (half-wave dipole and loop antenna), determination of electric field strength and radio signal power at the reception point, evaluation of gain (Ga) and directivity of multi-element antennas, as well as the design and prototyping of an antenna for digital terrestrial television. For practical testing of multi-element antennas, a physical prototype was used, and measurements were carried out using an AD8313 logarithmic detector and an SDR receiver. Experimental validation demonstrated good agreement between calculated, simulated, and measured results. In particular, the difference between calculated and measured power values at the reception point does not exceed 10 %. The developed practicum fully complies with the STEM education framework and contributes to the development of students' engineering and technical competencies. Antenna modeling, prototyping, and testing for digital terrestrial television can be effectively used as a final project-based assignment.*

Keywords: *STEM education, radio communication, antenna-feeder devices, antenna modeling.*

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Атамась Артем Іванович — канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу створення навчально-тематичних систем знань, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, art.atamas@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-8709-3208

Василенко Володимир Володимирович — молодший науковий співробітник відділу створення навчально-тематичних систем знань, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, Vol_odya@ukr.net; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8864-2363

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Atamas A. I. — PhD in Engineering, Senior Research Scientist of the Department for the Creation of Educational and Thematic Knowledge Systems, NC "Junior Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine, art.atamas@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-8709-3208

Vasylenko V. V. — Junior Research Scientist of the Department for the Creation of Educational and Thematic Knowledge Systems, NC "Junior Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine, Vol_odya@ukr.net; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8864-2363

Рукопис надійшов до редакції / Received 20.01.2026
Рукопис прийнято до друку / Accepted 03.03.2026
Опубліковано / Available online 30.04.2026

Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License