

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2026.2.6>

Received: 12.03.2026
Revised: 03.04.2026
Accepted: 23.04.2026

Олександр СЛЄЩОВ, Богдан САВЧЕНКО, Надія СОБА,
Тарас ФЕДОРІВ, Ірина ВИШТАЛЮК

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

УДК 678.067.7.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ З ЕЛЕКТРОМАГНІНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета. Встановлення частотних залежностей відбиття ЕМВ від полімерних композитів, що містять електропровідні наповнювачі в залежності від їх складу та просторової структури, створеної адитивним виробництвом.

Методика. Відбивну здатність електропровідних полімерних композитів щодо електромагнітного випромінювання визначали за розробленою методикою, що заснована на визначенні ступеня зменшення інтенсивності відбитого сигналу в частотному інтервалі 3–14 ГГц.

Результати. Стаття присвячена дослідженню взаємодії зразків полімерних композитів з функціональними наповнювачами з електромагнітним випромінюванням, зокрема з урахуванням впливу товщини матеріалу, типу наповнювача та полімерної матриці на ступінь зменшення інтенсивності відбитого сигналу. Максимальну ефективність поглинання електромагнітного випромінювання виявили зразки з товщиною, співрозмірною з довжиною хвилі для частоти 10 ГГц (зокрема близько 10 мм), внутрішньою структурою типу «лінії» («0°/90°») та ступенем заповнення 5%, що відповідає розміру комірки близько 3,1×3,1 см. Найвищі показники ослаблення спостерігались у частотному інтервалі 9–11 ГГц, де для композитів на основі ТПУ та ПЕТГ значення послаблення електромагнітного випромінювання перевищували –45 дБ.

Наукова новизна. Встановлено, що композиції на основі ТПУ демонструють більш виражений ефект зменшення зворотного відбиття ніж композиції на основі ПЕТГ, що, ймовірно, пов'язано з кращою взаємодією на межі ТПУ-наповнювач, а також з більшою рухливістю полімерних ланцюгів, яка сприяє формуванню провідних перколяційних каналів.

Практична значимість. Досліджено вплив складу та структури матеріалу електропровідних полімерних композитів на характеристики відбиття електромагнітного випромінювання. Встановлено можливість цілеспрямованого регулювання поглинальних властивостей 3D-друкованих ЕПК шляхом варіювання геометрії їхньої внутрішньої структури.

Ключові слова: термопластичний поліуретан; поліетилентерфталатгліколь; електромагнітне випромінювання; електропровідні полімерні композити; адитивне виробництво.

Вступ. Інтенсивний розвиток сучасних радіоелектронних систем, засобів зв'язку, безпілотних платформ, а також систем радіолокації та захисту інформації зумовлює зростання потреби у створенні матеріалів із керованими електромагнітними властивостями [1, 2]. Особливий інтерес у цьому контексті становлять електропровідні полімерні композити, які поєднують малу густину, технологічність переробки, корозійну стійкість і можливість регулювання електрофізичних характеристик у широких межах. Такі матеріали розглядаються як перспективні для використання в радіопоглинальних покриттях, екранувальних елементах, функціональних компонентах електронних пристроїв, а також у конструкціях спеціального призначення [3].

Одним із найбільш перспективних підходів до формування полімерних композиційних матеріалів із заданою архітектурою є адитивне виробництво [4]. На відміну від традиційних методів переробки полімерів, 3D-друк дає змогу не лише виготовляти вироби складної геометричної форми, а й цілеспрямовано керувати їхньою внутрішньою структурою, зокрема щільністю заповнення, орієнтацією шарів, розмірами комірок і типом просторової конфігурації [5–7]. Це створює широкі можливості для регулювання процесів відбиття, поглинання та розсіювання електромагнітного випромінювання всередині матеріалу [8, 9].

Відомо, що ефективність взаємодії полімерних композитів з електромагнітним випромінюванням визначається сукупною дією низки чинників, серед яких важливу роль відіграють природа полімерної матриці, тип і концентрація електропровідного наповнювача, міжфазна взаємодія компонентів, а також морфологічні та геометричні параметри сформованої структури [10, 11]. Водночас питання впливу просторової архітектури 3D-друкованих композитів на їхню відбивну здатність і радіопоглинальні характеристики в мікрохвильовому діапазоні залишаються недостатньо вивченими. З огляду на це актуальним є встановлення закономірностей зміни характеристик відбитого сигналу залежно від складу електропровідного композиту та параметрів його внутрішньої структури, сформованої методом адитивного виробництва.

Постановка завдання. Проведення порівняльного аналізу взаємодії зразків електропровідних полімерних композитів різного складу з електромагнітним випромінюванням, зокрема з урахуванням впливу товщини матеріалу, типу наповнювача та полімерної матриці на ступінь зменшення інтенсивності відбитого сигналу є актуальним завданням. Реалізація такого підходу дає можливість науково обґрунтувати вибір раціональних композицій для використання їх як маскувальних матеріалів або радіопоглинальних елементів із наперед заданими характеристиками відбиття.

Метою досліджень є встановлення частотних залежностей відбиття ЕМВ від полімерних композитів, що містять електропровідні наповнювачі в залежності від їх складу та просторової структури, створеної адитивним виробництвом.

Вихідні дані. Для досліджень як полімерну матрицю для створення ЕПК було використано термопластичний поліуретан (ТПУ) марки COIM LARIPUR 9025 та термопластичний полієфір поліетилентерефталатгліколь (ПЕТГ) марки Skygreen KN200 (виробник SK Chemicals, Південна Корея). Як функціональні наповнювачі використовували багатопарові вуглецеві нанотрубки марки NC7000 (Nanosyl, Бельгія) та карбонільне залізо марки ВК-3. Рецептний склад досліджуваних композицій подано в табл. 1

Таблиця 1

Рецептурний склад досліджуваних композицій

Назва компоненту	Вміст, % мас.	
	Композиція на основі ТПУ	Композиція на основі ПЕТГ
ТПУ	73	0
ПЕТГ	0	73
Вуглецеві нанотрубки	7	7
Карбонільне залізо	20	20

Попередньо висушені при 60°C протягом 8 год в термошафі з циркуляцією повітря полімерні матриці та наповнювачі перетворювали в мононитку для адитивного виробництва з використанням двошнекового екструдера з діаметром шнека 25 мм, та співвідношенням L/D 35. Температурні режими отримання мононитки на основі ТПУ 200-220°C, на основі ПЕТГ – 260–265°C.

Для отримання дослідних зразків методом адитивного виробництва використовували технологію пошарового наплавлення розплаву з використанням 3D принтеру типу Creality K1. З монониток на основі ТПУ та на основі ПЕТГ виготовляли серію дослідних зразків у вигляді квадрату 150*150 мм зі зміною параметрів товщини та типу заповнення. Технологічні параметри адитивного виробництва дослідних зразків наведено в таблиці 2. Мононитку попередньо висушували в термошафі з циркуляцією повітря при 60°C протягом 8 год.

Для оцінювання відбивальної здатності ЕПК щодо електромагнітного випромінювання було розроблено методику, що ґрунтується на визначенні рівня зменшення інтенсивності відбитого сигналу в частотному інтервалі 3–14 ГГц. Застосування цієї методики дало змогу кількісно охарактеризувати ефективність послаблення відбитого електромагнітного

випромінювання під час його проходження крізь зразки, які відрізнялися складом, товщиною, та просторовою структурною.

Таблиця 2

Технологічні параметри друку дослідних зразків на основі ТПУ та ПЕТГ

Параметр	Значення для серії зразків ТПУ та ПЕТГ							
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
Т екструзії, °С	250							
Т екструзії першого шару, °С	260							
Коефіцієнт екструзії	1.05							
Продуктивність, мм ³ /с	10							
Швидкість екструзії, мм/с	50							
Висота головки над шаром, мм	1							
Т столу, °С	90							
Діаметр сопла, мм	0.8							
Ширина екструзії, мм	0.6							
Висота шару, мм	0.4							
Щільність заповнення, % (при типі заповнення «гіроїд»)	5	10	20	-	-	-	-	-
Щільність заповнення, % (при типі заповнення «лінії» напрям «0°/90°»)	-	-	-	2	5	10	5	5
Товщина зразка, мм	5	5	5	5	5	5	10	15

Вимірювальний стенд (рис. 1) включав генератор сигналу, передавальну і приймальну ширококугові антени, а також лінзу Люнеберга, яку використовували для фокусування відбитого випромінювання. Антени були розміщені просторово розділено для усунення прямого каналу зв'язку між джерелом сигналу та приймачем. Така схема забезпечувала реєстрацію сигналу, сформованого виключно внаслідок відбиття від поверхні досліджуваних зразків. Як контрольний відбивальний елемент застосовували плоску алюмінієву пластину з чітко визначеними електропровідними властивостями, яка виконувала функцію базового еталона для фіксації максимально можливого рівня відбиття.

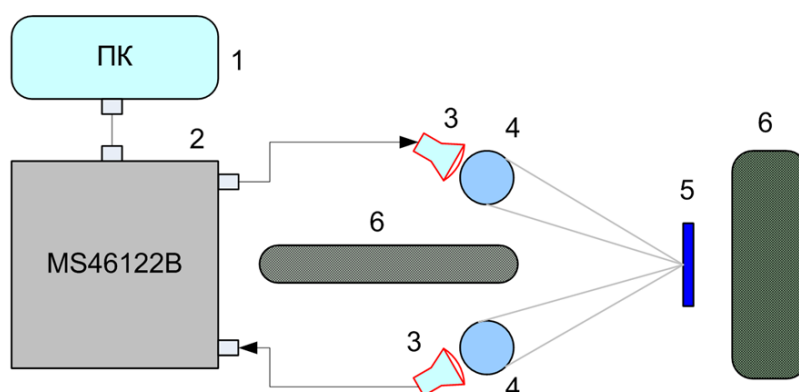


Рис. 1. Вимірювальний стенд для оцінки взаємодії з ЕВМ:

1 – персональний комп'ютер, застосунок; 2 – аналізатор мереж; 3 – антена Вівальді; 4 – лінза Люнеберга Д140; 5 – зразок в фокусній відстані; 6 – поглинальний матеріал

Перший етап експерименту передбачав вимірювання сигналу, відбитого від поверхні металевої пластини з алюмінію, що був еталоном. Далі перед пластиною встановлювали

зразок полімерного композиту квадратної форми розміром 150×150 мм. Для кожного зразка проводили серію вимірювань у заданому частотному діапазоні з кроком 1 ГГц. Послаблення інтенсивності відбитого сигналу, виражене в децибелах, визначали як різницю між відбиття для еталону та дослідного зразка. Для підвищення достовірності результатів кожен зразок досліджували щонайменше тричі, після чого обчислювали середнє значення та відповідні похибки.

Важливою особливістю запропонованої методики було використання лінзи Люнеберга, яка забезпечувала фокусування відбитого електромагнітного випромінювання у вузькій зоні прийому. Це сприяло зменшенню втрат сигналу та підвищенню чутливості приймальної системи.

Результати досліджень подавали у вигляді графічної залежності послаблення інтенсивності (дБ) від частоти (ГГц).

Результати дослідження. Проведені дослідження взаємодії електропровідних композитів на основі ТПУ та ПЕТГ з електромагнітним випромінюванням у частотному діапазоні 3–14 ГГц засвідчили, що ефективність відбиття суттєво залежить від природи полімерної матриці, типу електропровідного наповнювача, геометричних особливостей внутрішньої структури виробу та ступеня його заповнення (рис. 2).

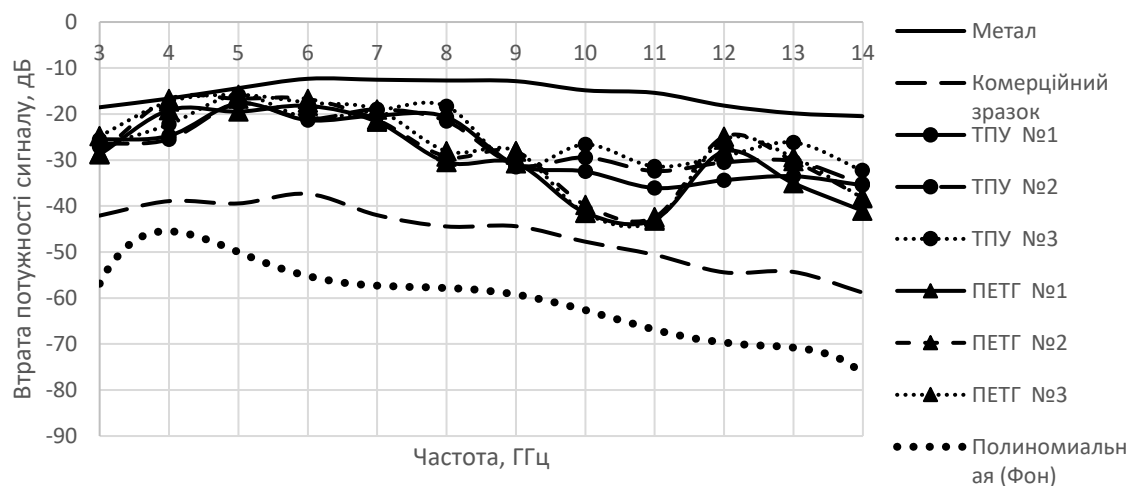


Рис. 2. Залежність послаблення інтенсивності відбитого електромагнітного випромінювання від частоти для ЕПК із типом заповнення «гіроїд»

Відповідно до одержаних результатів, композиції на основі ТПУ майже в усьому дослідженому частотному діапазоні характеризувалися вищою відбивальною здатністю порівняно з композиціями на основі ПЕТГ за однакового типу внутрішньої структури та однакового вмісту наповнювача. Найвищі значення послаблення рівня сигналу були зафіксовані за щільності заповнення 5%, коли структура типу «гіроїд» забезпечувала більш ефективне відбиття та поглинання електромагнітного випромінювання завдяки ізотропній просторовій структурі.

Для композицій на основі ТПУ при щільності заповнення 5% максимальне послаблення сигналу спостерігалось на частоті 11 ГГц і становило $-36,09$ дБ, що є близьким до значення комерційного зразка. Зі збільшенням щільності заповнення до 10% і 20% ефективність відбивання дещо знижувалася. Таке зниження ймовірно пов'язано зі зменшенням кількості повітряних порожнин, які сприяють багаторазовому відбиттю електромагнітних хвиль. Композиції на основі ПЕТГ виявляли подібну, проте менш виражену тенденцію. Так за щільності заповнення 5% зразок композиції на основі ПЕТГ досягав значення близько $-42,92$ дБ на частоті 11 ГГц. Подальше ущільнення внутрішньої структури супроводжувалося помітним зниженням ефективності поглинання, особливо в діапазоні 10–14 ГГц, де втрати сигналу не перевищували $-30,22 \dots -38,29$ дБ.

Отже, одержані результати показують, що найбільш виражений ефект втрат випромінювання забезпечують композиції з ступенем заповнення 5% і тривимірною гіроїдною архітектурою внутрішньої структури. При цьому композиції на основі ТПУ демонструють певну перевагу порівняно з матеріалами на основі ПЕТГ, що, ймовірно, пов'язано з ефективнішою міжфазною взаємодією поліуретанової матриці з наповнювачами, а також з більшою рухливістю полімерних ланцюгів, яка сприяє формуванню провідних перколяційних каналів. Отримані результати мають важливе практичне значення для створення легких маскувальних матеріалів, призначених для роботи в радіочастотному діапазоні, зокрема для потреб військової та аерокосмічної сфер.

У межах дослідження додатково було розглянуто вплив ступеня заповнення дослідного зразка типу «лінії» з орієнтацією « $0^\circ/90^\circ$ » на здатність полімерних композитів на основі ТПУ і ПЕТГ зменшувати інтенсивність відбитого електромагнітного випромінювання. Встановлено, що зниження щільності заповнення до 5% сприяє формуванню комірок розміром близько $3,1 \times 3,1$ см, що є співвимірним із довжиною хвилі в діапазоні 10 ГГц і, відповідно, відповідає умовам формування резонансного поглинального шару.

Найвищі значення втрати потужності сигналу в частотному інтервалі 9–13,9 ГГц спостерігалися саме для зразків зі щільністю заповнення 5% (рис. 3). При цьому максимальне послаблення для композиції на основі ПЕТГ становило $-48,82$ дБ на частоті 11 ГГц, що є найкращим значенням для досліджених зразків. Для композицій на основі ТПУ аналогічний показник на цій самій частоті становив $-36,94$ дБ. Це свідчить про те, що щільність заповнення 5% для типу «лінії» (« $0^\circ/90^\circ$ ») дозволяє ефективно відбивати та розсіювати електромагнітне випромінювання в об'ємі матеріалу.

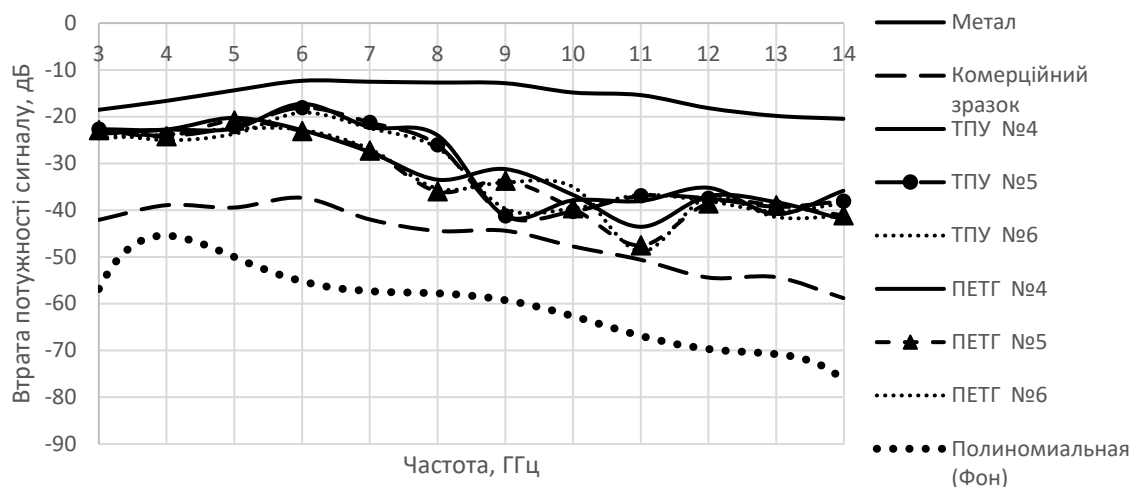


Рис. 3. Залежність послаблення відбитого електромагнітного випромінювання від частоти для ЕПК із внутрішньою структурою типу «лінії»

Водночас зниження щільності заповнення до 2% спричиняло зменшення ефективної поверхні поглинання, що супроводжувалося зниженням втрат потужності сигналу. Так, на частоті 10 ГГц рівень ослаблення для композицій на основі ТПУ зі щільністю заповнення 2% становив $-37,9$ дБ, тоді як для зразків із заповненням 5% цей показник досягав уже $-40,3$ дБ. Підвищення щільності заповнення до 10%, призводило до згладжування поглинання випромінювання, що пов'язано зі зменшенням розміру внутрішніх отворів. Це, зокрема, проявлялося у зниженні втрат інтенсивності сигналу для композицій на основі ПЕТГ зі щільністю заповнення 10% до $-35,0$ дБ на частоті 10 ГГц.

Незважаючи на отримані дані, жоден із досліджених зразків не показав кращої ефективності втрат сигналу, ніж комерційний радіопоглинальний матеріал, для якого було характерне стабільне загасання в межах $-43 \dots -50$ дБ. Водночас одержані дані мають важливе практичне значення, оскільки підтверджують можливість цілеспрямованого регулювання

поглинальних властивостей 3D-друкованих ЕПК шляхом варіювання геометрії їхньої внутрішньої структури. Найбільш вдале поєднання характеристик для зразків із типом заповнення «лінії» (« $0^\circ/90^\circ$ ») спостерігалось у композицій на основі ПЕТГ зі щільністю заповнення 5%. Саме така конфігурація забезпечувала оптимальний баланс між геометричними параметрами структури, резонансним розсіюванням і питомою електропровідністю.

Було досліджено вплив товщини дослідних зразків полімерних композитів з типом заповнення «лінії» (« $0^\circ/90^\circ$ ») на послаблення відбитого електромагнітного випромінювання в частотному діапазоні 3–14 ГГц (рис. 4). Як свідчать наведені результати, збільшення товщини з 5 до 10 мм супроводжується суттєвим зростанням втрат сигналу для обох типів полімерних матриць, особливо в області 10 ГГц, де товщина матеріалу співвимірна з довжиною електромагнітної хвилі.

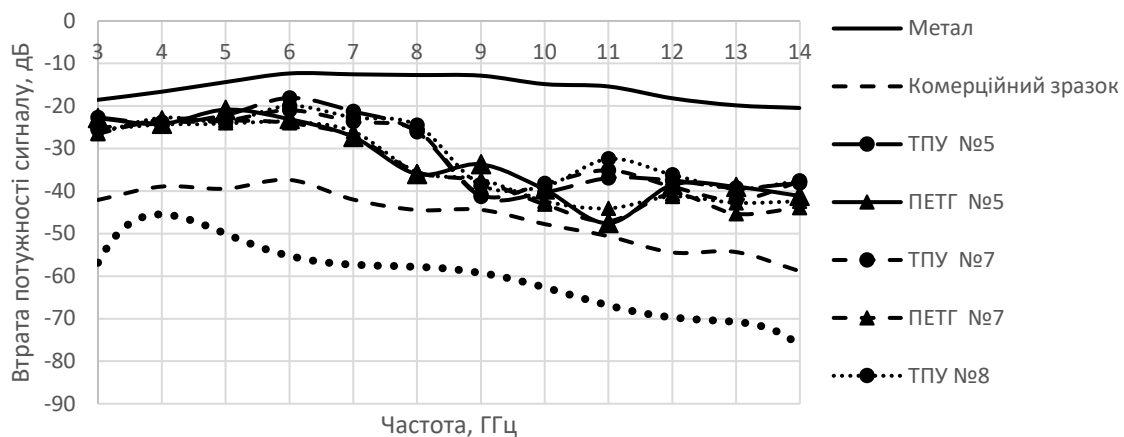


Рис. 4. Залежність послаблення відбитого електромагнітного випромінювання від частоти для ЕПК різної товщини

Для композицій на основі ТПУ було зафіксовано зростання втрат інтенсивності відбитого сигналу від $-40,28$ дБ для зразків товщиною 5 мм до $-43,88$ дБ для зразків товщиною 10 мм на частоті 13,99 ГГц. Водночас зразок товщиною 15 мм за аналогічних умов продемонстрував нижчу ефективність, оскільки втрата потужності сигналу становила лише $-35,35$ дБ. Це свідчить про наявність певної оптимальної товщини, яка, ймовірно, пов'язана з кратністю довжини хвилі або проявом резонансних ефектів усередині структури. Подібні закономірності були характерні і для композицій на основі ПЕТГ. Найвищу ефективність також зафіксовано для зразків товщиною 10 мм, де втрата сигналу досягала $-43,88$ дБ, тоді як для товстіших зразків товщиною 15 мм цей показник знижувався до $-40,45$ дБ.

Таким чином, збільшення товщини зразка до значення кратного довжині хвилі, сприяє підвищенню втрат потужності відбитого випромінювання. Проте збільшення товщини зразка вище розміру хвилі призводить до зниження ефективності втрат сигналу, що, ймовірно, зумовлено інтерференційним перекриттям хвиль і зменшенням поглинання матеріалу. Для зразків товщиною 15 мм на частоті 10 ГГц значення втрат потужності виявилися нижчими, ніж для зразків товщиною 10 мм. Водночас слід зазначити, що для обох полімерних матриць спостерігався подібний характер розподілу втрат сигналу в усьому дослідженому частотному діапазоні. Разом із тим композиції на основі ПЕТГ виявляли дещо вищу ефективність у межах 9–13 ГГц, що може бути пов'язано з більшою полярністю поліетилентерефталатгліколю, яка впливає на механізми резонансного поглинання під час проходження електромагнітного випромінювання крізь структуру.

Отже, одержані результати підтверджують, що для досягнення необхідного рівня зниження втрат сигналу електромагнітного випромінювання доцільно використовувати зразки

товщиною 10 мм з типом заповнення внутрішньої структури «лінії» («0°/90°») і щільності заповнення 5%.

Висновки. Проведено порівняльний аналіз взаємодії зразків полімерних композитів на основі ТПУ та ПЕТГ з електромагнітним випромінюванням у діапазоні частот 3–14 ГГц. Досліджено вплив виду полімеру, наповнювача, геометрії внутрішньої структури та ступеня заповнення на ефективність зменшення інтенсивності відбитого сигналу.

Встановлено, що найвищу ефективність поглинання електромагнітного випромінювання демонструють зразки з товщиною, кратною довжині хвилі на частоті 10 ГГц (наприклад, 10 мм), структурою типу «лінії» («0°/90°») та щільністю заповнення близько 5%, що відповідає розміру комірки ~3.1×3.1 см. Найкращі результати фіксувалися в діапазоні 9–11 ГГц, де значення послаблення перевищували –45 дБ для композицій на основі ТПУ і ПЕТГ.

Ці результати можуть бути використані при створенні маскувальних матеріалів для поглинання випромінювання у заданому частотному діапазоні. Зокрема, композиція на основі ТПУ з товщиною зразка 10 мм, щільністю заповнення типу «лінії» 5% є перспективним матеріалом для створення елементів радіопоглинальних матеріалів нового покоління.

Фінансування. Це дослідження було профінансовано Міністерством освіти і науки України в рамках науково-технічного проекту № РС/64-2024 від 30.09.2024, що реалізовувався за рахунок зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій «Горизонт 2020».

References

Література

1. Sankaran, S., Deshmukh, K., Ahamed, M. B., & Pasha, S. K. K. (2018). Recent advances in electromagnetic interference shielding properties of metal and carbon filler reinforced flexible polymer composites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 114, 49–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.08.006>.
1. Sankaran S., Deshmukh K., Ahamed M. B., Pasha S. K. K. Recent advances in electromagnetic interference shielding properties of metal and carbon filler reinforced flexible polymer composites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2018. Vol. 114. P. 49–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.08.006>.
2. Liang, C., Gu, Z., Zhang, Y., Ma, Z., Qiu, H., Gu, J. et al. (2019). Structural Design Strategies of Polymer Matrix Composites for Electromagnetic Interference Shielding: A Review. *Nano-Micro Letters*, 13, 181. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40820-021-007072>.
2. Liang C., Gu Z., Zhang Y., Ma Z., Qiu H., Gu J. et al. Structural Design Strategies of Polymer Matrix Composites for Electromagnetic Interference Shielding: A Review. *Nano-Micro Letters*. 2019. Vol. 13. Art. 181. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40820-021-007072>.
3. Kumar, P., Narayan Maiti, U., Sikdar, A., Kumar Das, T., Kumar, A., & Sudarsan, V. J. P. R. (2019). Recent advances in polymer and polymer composites for electromagnetic interference shielding: review and future prospects. *Polymer Reviews*, 59(4), 687–738. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583724.2019.1625058>.
3. Kumar P., Narayan Maiti U., Sikdar A., Kumar Das T., Kumar A., Sudarsan V. J. P. R. Recent advances in polymer and polymer composites for electromagnetic interference shielding: review and future prospects. *Polymer Reviews*. 2019. No. 59(4). P. 687–738. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583724.2019.1625058>.
4. Fedoriv, T., & Sliptsov, O. (2025). Doslidzhennia adytyvnoho vyrobnytstva elektroprovodnykh polimernykh kompozytiv [Research into the additive manufacturing of conductive polymer composites]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 351(3), 520–527. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-67> [in Ukrainian].
4. Федорів Т., Слєпцов О. Дослідження адитивного виробництва електропровідних полімерних композитів. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2025. No. 351(3). С. 520–527. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-67>.
5. Park, S., Shou, W., Makatura, L., Matusik, W., & Fu, K. K. (2022). 3D printing of polymer composites: Materials, processes, and applications. *Matter*, 5(1),
5. Park S., Shou W., Makatura L., Matusik W., Fu K. K. 3D printing of polymer composites: Materials, processes, and applications. *Matter*. 2022. No. 5(1)ю

- 43–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matt.2021.10.018>.
6. Lei, L., Yao, Z., Zhou, J., Wei, B., & Fan, H. (2020). 3D printing of carbon black/polypropylene composites with excellent microwave absorption performance. *Composites Science and Technology*, 200, 108479. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108479>.
7. Jayanth, N., Senthil, P., & Mallikarjuna, B. (2022). Experimental investigation on the application of FDM 3D printed conductive ABS-CB composite in EMI shielding. *Radiation Physics and Chemistry*, 198, 110263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110263>.
8. Lee, K. P. M., Baum, T., Shanks, R., & Daver, F. (2021). Graphene–polyamide-6 composite for additive manufacture of multifunctional electromagnetic interference shielding components. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(9), 49909. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.49909>.
9. Xue, T., Yang, Y., Yu, D., Wali, Q., Wang, Z., Cao, X., ... & Liu, T. (2023). 3D printed integrated gradient-conductive MXene/CNT/polyimide aerogel frames for electromagnetic interference shielding with ultra-low reflection. *Nano-Micro Letters*, 15(1), 45. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40820-023-01017-5>.
10. Chand, K., Zhang, X., & Chen, Y. (2022). Recent progress in MXene and graphene based nanocomposites for microwave absorption and electromagnetic interference shielding. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(10), 104143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104143>.
11. He, L., Shi, Y., Wang, Q., Chen, D., Shen, J., & Guo, S. (2020). Strategy for constructing electromagnetic interference shielding and flame retarding synergistic network in poly (butylene succinate) and thermoplastic polyurethane multilayered composites. *Composites Science and Technology*, 199, 108324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108324>.
- P. 43–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matt.2021.10.018>.
6. Lei L., Yao Z., Zhou J., Wei B., Fan H. 3D printing of carbon black/polypropylene composites with excellent microwave absorption performance. *Composites Science and Technology*. 2020. Vol. 200. Art. 108479. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108479>.
7. Jayanth N., Senthil P., Mallikarjuna B. Experimental investigation on the application of FDM 3D printed conductive ABS-CB composite in EMI shielding. *Radiation Physics and Chemistry*. 2022. Vol. 198. Art. 110263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110263>.
8. Lee K. P. M., Baum T., Shanks R., Daver F. Graphene–polyamide-6 composite for additive manufacture of multifunctional electromagnetic interference shielding components. *Journal of Applied Polymer Science*. 2021. No. 138(9). Art. 49909. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.49909>.
9. Xue T., Yang Y., Yu D., Wali Q., Wang Z., Cao X., ... Liu T. 3D printed integrated gradient-conductive MXene/CNT/polyimide aerogel frames for electromagnetic interference shielding with ultra-low reflection. *Nano-Micro Letters*. 2023. No. 15(1). Art. 45. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40820-023-01017-5>.
10. Chand K., Zhang X., Chen Y. Recent progress in MXene and graphene based nanocomposites for microwave absorption and electromagnetic interference shielding. *Arabian Journal of Chemistry*. 2022. No. 15(10). Art. 104143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104143>.
11. He L., Shi Y., Wang Q., Chen D., Shen J., Guo S. Strategy for constructing electromagnetic interference shielding and flame retarding synergistic network in poly (butylene succinate) and thermoplastic polyurethane multilayered composites. *Composites Science and Technology*. 2020. Vol. 199. Art. 108324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108324>.

SLIEPTSOV OLEXANDR
PhD, Assistant,
Department of Chemical Technologies
and Resource Saving,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0608-1855>
Scopus Author ID: 57189215952
E-mail: slyepcov.oo@knuud.edu.ua

SAVCHENKO BOHDAN
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Chemical Technologies
and Resource Saving,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8636-5734>
Scopus Author ID: 56685269800
E-mail: 1079@ukr.net

SOVA NADIYA

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Chemical Technologies
and Resource Saving,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3550-6135>
Scopus Author ID: 56685569600
E-mail: djanc@ukr.net

FEDORIV TARAS

Ph.D., Research Associate,
Department of Chemical Technologies
and Resource Saving,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0002-4644-3993>
E-mail: fedoriv04@gmail.com

VYSHTALIUK IRYNA

Student,
Department of Chemical Technologies
and Resource Saving,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
E-mail: iravishtalyuk12@gmail.com

**Olexandr SLIEPTSOV, Bohdan SAVCHENKO,
Nadiya SOVA, Taras FEDORIV, Iryna VYSHTALIUK**

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**STUDY OF THE INTERACTION BETWEEN POLYMER COMPOSITES PRODUCED
BY ADDITIVE MANUFACTURING AND ELECTROMAGNETIC RADIATION**

Purpose. Determination of the frequency-dependent electromagnetic wave reflection characteristics of polymer composites containing electrically conductive fillers, depending on their composition and the spatial structure created by additive manufacturing.

Methodology. The reflectivity of electrically conductive polymer composites with respect to electromagnetic radiation was determined using a developed methodology based on measuring the reduction in the intensity of the reflected signal in the 3–14 GHz frequency range.

Findings. This article examines the interaction of samples of electrically conductive polymer composites of various compositions and structures with electromagnetic radiation, specifically considering the influence of material thickness, filler type, and polymer matrix on the degree of reduction in reflected signal intensity. The highest electromagnetic radiation absorption intensity is demonstrated by samples with a thickness that is a multiple of the wavelength at a frequency of 10 GHz (e.g., 10 mm), a “line” structure (“0°/90°”), and a loading density of about 5%, corresponding to a cell size of ~3.1×3.1 cm. The best results were recorded in the 9–11 GHz range, where attenuation values exceeded –45 dB for TPU- and PETG-based composites.

Originality. It has been established that TPU-based composites exhibit a more pronounced reduction in specular reflectance compared to PETG-based composites, which is likely due to more effective interfacial interaction between the polyurethane matrix and the fillers, as well as with greater mobility of the polymer chains, which promotes the formation of conductive percolation channels.

Practical value. The study investigated the effect of the composition and structure of conductive polymer composites on their electromagnetic radiation reflection characteristics. It was found that the absorption properties of 3D-printed conductive polymer composites can be specifically controlled by varying the geometry of their internal structure.

Keywords: thermoplastic polyurethane; polyethylene terephthalate glycol; electromagnetic radiation; conductive polymer composites; additive manufacturing.