

DOI: <https://doi.org/10.15407/rpra29.01.076>
УДК 535.42+535.44:535.211:535.341

М.Г. Кокодій¹, А.О. Натарова²,
Д.В. Гуріна¹, І.О. Приз¹, В.О. Маслов¹, В.Д. Карлов²

¹ Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна
E-mail: kokodiyng@gmail.com

² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
вул. Сумська, 77/79, м. Харків, 61023, Україна
E-mail: anastasiia.natarova@gmail.com

ЕФЕКТ АНОМАЛЬНО СИЛЬНОГО ПОГЛИНАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТОНКИМИ ПРОВІДНИКОВИМИ ВОЛОКНАМИ

Предмет і мета роботи. Досліджено ефект аномально сильної взаємодії електромагнітного випромінювання з тонкими провідниковими волокнами. Ефект полягає в тому, що металеві напівпровідникові або графітові волокна, діаметр перерізу яких у кілька сотень разів менший за довжину хвилі, здатні сильно поглинати електромагнітну хвилю. Визначено, за яких співвідношень між довжиною хвилі, показником заломлення та діаметром перерізу волокна відбувається найбільш ефективна передача енергії випромінювання.

Методи та методологія. Проведено аналіз задачі дифракції електромагнітної хвилі на циліндрі в умовах, коли діаметр циліндра набагато менший від довжини хвилі. Формули для обчислення фактора ефективності поглинання циліндром падаючого на нього випромінювання мають вигляд рядів, в яких коефіцієнти залежать від діаметра циліндра, його показника заломлення і довжини хвилі. Якщо діаметр циліндра набагато менший за довжину хвилі, вирази для коефіцієнтів рядів можна розкласти в ряд за малим параметром і врахувати тільки їх перший член. Проведено експеримент, в якому було виміряно енергію мікрохвильового випромінювання, передану тонкому графітовому волокну.

Результати. Знайдені співвідношення між довжиною хвилі, діаметром перерізу волокна і значенням провідності, коли ефект найсильніший. В експерименті пучок випромінювання з довжиною хвилі 8 мм передавав графітовому волокну з діаметром перерізу 12 мкм більше 10 % енергії, незважаючи на відсутність фокусування. Площа волокна, на яку падав пучок, була в 300 разів менша від площі поперечного перерізу пучка.

Висновки. Провідникові волокна, які мають діаметр перерізу, набагато менший від довжини хвилі падаючого на них електромагнітного випромінювання, сильно поглинають це випромінювання. Максимальне поглинання спостерігається, коли довжина хвилі в речовині волокна приблизно в 10 разів більша за діаметр його перерізу. Ефект може бути використаним для передачі енергії електромагнітного випромінювання мішеням з тонкого волокна без фокусування пучка випромінювання і для створення захисних екранів у мікрохвильовому діапазоні.

Ключові слова: дифракція, розсіяння, поглинання, тонке волокно.

Цит у в а н н я: Кокодій М.Г., Натарова А.О., Гуріна Д.В., Приз І.О., Маслов В.О., Карлов В.Д. Ефект аномально сильного поглинання електромагнітного випромінювання тонкими провідниковими волокнами. *Радіофізика і радіоастрономія*. 2024. Т. 29, № 1. С. 76–82. <https://doi.org/10.15407/rpra29.01.076>

Citation: Kokodiy, M.G., Natarova, A.O., Gurina, D.V., Priz, I.O., Maslov, V.O., Karlov, V.D., 2024. Effect of anomalously strong absorption of electromagnetic radiation in fine conductive fibers. *Radio Phys. Radio Astron.*, **29**(1), pp. 76–82. <https://doi.org/10.15407/rpra29.01.076>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2024. Статтю опубліковано відповідно до умов відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher PH "Akadempriodyka" of the NAS of Ukraine, 2024. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Вступ

Задача дифракції електромагнітного випромінювання на циліндрі давно відома в електродинаміці. Результати її розв'язання наведені у класичних монографіях [1–3] та численних сучасних наукових публікаціях. Аналіз дифракційної картини дає можливість отримати інформацію про розмір поперечного перерізу циліндра, його форму, показник заломлення [4].

Дія хвилі на циліндр буває найсильнішою, коли діаметр циліндра порівняний з довжиною хвилі. За таких умов виникають резонанси і взаємодія хвилі з циліндром посилюється. На об'єкти з малими розмірами відносно довжини хвилі її дія в більшості випадків слабка. Проте в роботі [5] описано експеримент з тонким металевим волокном. У ньому спостерігалось сильне поглинання мікрохвильового випромінювання. Довжина хвилі була в кілька сотень разів більша за діаметр перерізу дротинки. У роботах [6–8] описано експерименти, в яких дротинка була розташована уздовж осі пучка випромінювання. Ефект сильного поглинання випромінювання тут також спостерігався.

У всіх цих роботах не пояснюється фізична природа ефекту. Однак її розуміння необхідне як для теоретичних досліджень, так і для практичного застосування ефекту (для передачі енергії електромагнітного випромінювання малим мішеням без фокусування на них пучка, для створення захисних екранів у мікрохвильовому діапазоні тощо).

Нижче наведено результати досліджень, які дозволяють зрозуміти природу ефекту. Розглянуто випадок нормального падіння хвилі на циліндр.

1. Поглинання та розсіяння електромагнітного випромінювання тонким дротом

Експерименти в роботах [1–8] показують, що за деяких співвідношень між довжиною хвилі випромінювання та діаметром перерізу тонкого провідникового циліндра поглинання і розсіяння випромінювання можуть бути великими. Зокрема, це спостерігається в сантиметровому та міліметровому діапазонах, коли діаметр циліндра

становить кілька мікрометрів, тобто він у сотні разів менший за довжину хвилі.

Поглинання енергії випромінювання характеризується фактором ефективності поглинання $Q_{abs} = P_{abs}/P$, де P — потужність випромінювання, яке влучило на циліндр, P_{abs} — потужність випромінювання, яке поглинув циліндр. Так, на рис. 1 видно, що фактор ефективності поглинання випромінювання нікелевим волокном діаметром декілька мікрометрів за довжини хвилі випромінювання 10 см становить декілька тисяч.

Якщо хвиля падає на циліндр нормально до його осі, електричний вектор повинен бути паралельним осі циліндра (E -хвиля). У випадку H -хвилі (електричний вектор хвилі перпендикулярний до осі циліндра) ефект сильної взаємодії з випромінюванням не спостерігається.

З'ясуємо природу цього ефекту.

Фактор ефективності поглинання може бути обчислений за формулою [1–3]:

$$Q_{abs}^E = \frac{2}{\rho} \sum_{l=-\infty}^{\infty} [\operatorname{Re}(b_l) - |b_l|^2], \quad (1)$$

де

$$b_l = \frac{m J_l'(m\rho) J_l(\rho) - J_l(m\rho) J_l'(\rho)}{m J_l'(m\rho) H_l^{(2)}(\rho) - J_l(m\rho) H_l^{(2)'}(\rho)}, \quad (2)$$

$J_l(z)$ — функція Бесселя; $H_l^{(2)}(z)$ — функція Ханкеля 2-го роду; l — індекс функції; $\mu_2 = \mu_1 = 1$, $m = n - ik$ — комплексний показник заломлення, n — дійсний показник заломлення, k — показник затухання хвилі в речовині, $i = \sqrt{-1}$ — уявна одиниця. Штрих над знаком функції означає похідну за всім аргументом.

У мікрохвильовому діапазоні комплексний показник заломлення провідникового середовища визначається формулою [1]:

$$m = \sqrt{\frac{\sigma}{2\omega\epsilon_0}}(1 - i), \quad (3)$$

де σ — питома провідність; ω — кутова частота; ϵ_0 — діелектрична проникність вільного простору.

Ми вважаємо, що циліндр тонкий і виконуються умови:

$$\rho \ll 1, |m\rho| \ll 1.$$

Отже, у ряді (1) можна обмежитися одним членом, а в коефіцієнтах b_l — першим членом роз-

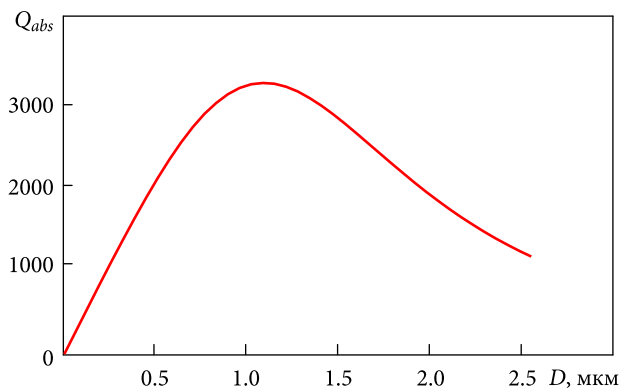


Рис. 1. Фактор ефективності поглинання випромінювання нікелевим волокном

кладення в ряд функцій $J_1(\rho)$, $J_1(m\rho)$, $H_1^{(2)}(\rho)$, оскільки їх аргумент малий. Після деяких перетворень одержимо:

$$Q_{abs} = \frac{2}{\rho} \frac{\frac{2}{\pi n^2 \rho^2}}{\left(1 + \frac{2}{\pi n^2 \rho^2}\right)^2 + \left(\frac{2 \ln \rho}{\pi}\right)^2}. \tag{4}$$

У цьому виразі одиницею в сумі, яка стоїть у знаменнику, можна знехтувати, і вираз спрощується:

$$Q_{abs} = \frac{\pi n^2 \rho}{1 + \left[(n\rho)^2 \ln \rho\right]^2}. \tag{5}$$

Визначимо положення та величину максимуму поглинання. Динаміка залежності $Q_{abs}(\rho)$ визначається, в основному, величиною ρ . Величина $\ln(\rho)$ змінюється повільно, тому диференціюємо формулу (5) за аргументом ρ , вважаючи, що $\ln(\rho) = \text{const}$. Одержимо:

$$1 - n^4 \rho^4 \left[3(\ln \rho)^2 + 2 \ln \rho \right] = 0.$$

Розв'язавши це рівняння, знайдемо значення ρ , при якому фактор ефективності поглинання Q_{abs} максимальний.

Другий доданок у квадратних дужках нехтовно малий порівняно з першим, тому його можна

Розв'язки рівняння (7)

i	0	1	2	3	4	5	6
$n\rho$	0.100	0.501	0.268	0.259	0.258	0.258	0.258

не брати до уваги. Тоді рівняння набуде вигляду:

$$1 - n^4 \rho^4 3(\ln \rho)^2 = 0. \tag{6}$$

Його можна розв'язати методом послідовних наближень:

$$n\rho_{i+1} = \frac{1}{\sqrt[4]{3(\ln \rho_i)^2}}. \tag{7}$$

Початкове значення величини ρ має бути малим. У таблиці показані результати послідовних наближень розв'язання рівняння при початковому наближенні $n\rho = 0.100$.

У другому рядку таблиці показані значення $n\rho = \pi D / \lambda_i$, де $\lambda_i = \lambda / n$ — довжина хвилі всередині циліндра. Видно, що значення кореня рівняння (7) встановилося швидко — за три ітерації. Отже, умова максимуму поглинання така:

$$n\rho \approx 0.26, \tag{8}$$

або

$$D \approx 0.1 \lambda_i. \tag{9}$$

Таким чином, максимум поглинання буде в циліндрі, діаметр якого приблизно в 10 разів менший за довжину хвилі в середовищі.

Підстановка умови (8) у вирази (4) і (5) дає значення максимуму фактора ефективності поглинання:

$$Q_{abs \max} \approx \frac{n}{2} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\sigma \lambda}{\pi c \epsilon_0}}. \tag{10}$$

Незважаючи на деяку зовнішню схожість кривої на рис. 1 з резонансною кривою, це не резонанс. У випадку резонансу на характерному розмірі об'єкта укладається ціле число напівхвиль, а в цьому разі діаметр циліндра набагато менший за довжину хвилі.

2. Якісне пояснення ефекту

З виразів (9) і (10) видно, що ефект сильного поглинання електромагнітного випромінювання в дуже тонкому волокні спостерігається, коли діаметр перерізу волокна близький до товщини скін-шару в ньому. Тоді поле заповнює все волокно, і об'ємна густина поля в ньому максимально можлива, а тому максимально можлива і потужність поглиненого випромінювання P_{abs} .

При збільшенні діаметра фактор ефективності поглинання $Q_{abs} = P_{abs} / P$ деякий час збільшується, тому що поглинена потужність пропорційна квадрату діаметра, а потужність падаючого випромінювання лінійно залежить від діаметра. Проте коли діаметр перерізу волокна стає більшим за товщину скін-шару, поле заповнює тільки частину об'єму волокна, і середнє значення інтенсивності електричного поля при збільшенні діаметра зменшується. Зменшуються поглинена потужність і фактор ефективності поглинання. Цим пояснюється наявність максимуму на графіку залежності фактора ефективності поглинання від діаметра.

Існує значення діаметра, за якого відношення P_{abs} / P максимальне. Воно описується співвідношенням (9).

Вплив провідності подвійний. З одного боку, вона має бути достатньо великою, щоб була велика об'ємна густина енергії $W_e = \sigma E^2$. З іншого боку, вона має бути достатньо малою, щоб товщина скін-шару була великою. Якщо провідність велика, то скін-шар тонкий і максимум поглинання буде в тонких волокнах. Якщо провідність мала, то скін-шар більш товстий і максимум поглинання буде у більш товстих волокнах.

Відіграє роль і довжина хвилі випромінювання. При великих довжинах хвиль скін-шар товстий і максимум поглинання спостерігається у волокнах більшого діаметра.

Підставивши у формулу (10) вираз для товщини скін-шару

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu\omega\sigma}},$$

отримаємо

$$Q_{abs\max} = \frac{Z_0}{4} \sigma \delta,$$

де $Z_0 = 377$ Ом — характеристичний опір вільного простору.

Поглинання посилюється зі збільшенням провідності або товщини скін-шару. Проте одночасно ці величини збільшуватися не можуть. При збільшенні провідності товщина скін-шару зменшується. Це призводить до появи максимуму за певного значення діаметра волокна.

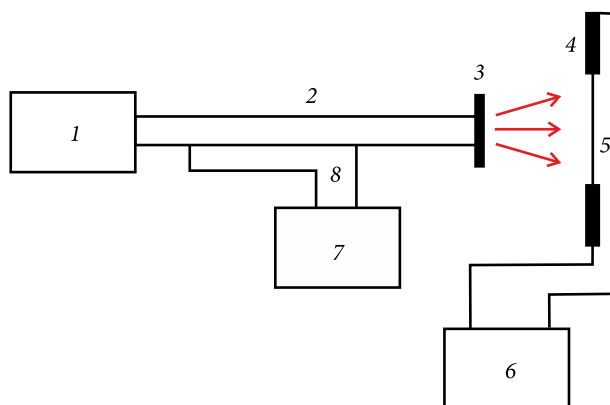


Рис. 2. Експериментальна установка: 1 — лампа зворотної хвилі; 2 — хвилевід; 3 — фланець хвилеводу; 4 — рамка; 5 — волокно; 6 — омметр; 7 — ватметр; 8 — спрямований відгалужувач

Максимум фактора ефективності поглинання випромінювання нікелевим волокном має місце при діаметрі 1.15 мкм, коли довжина хвилі дорівнює 10 см.

3. Експеримент

Функціональну схему експериментальної установки показано на рис. 2. Джерелом випромінювання служила лампа зворотної хвилі 1. Довжина хвилі випромінювання могла змінюватись від 8 до 11 мм; тип хвилі H_{10} . Випромінювання виводилось хвилеводом 2 з перерізом 7.2×3.4 мм. На відстані 3 мм від вихідного фланця 3 знаходилась рамка 4 з графітовим волокном 5 діаметром $D = 12$ мкм. Волокно розташовувалося перпендикулярно до широкої стінки хвилеводу в максимумі електричного поля. Довжина волокна становила $L = 70$ мм, і вся енергія, яка вийшла з хвилеводу, потрапляла на нього. Частина енергії поглиналась у волокні і нагрівала його. Нагрів визначався за зміною електричного опору, вимірюваного омметром 6. Потужність випромінювання вимірювалась ватметром 7, який з'єднувався з хвилеводом спрямованим відгалужувачем 8.

4. Коефіцієнт поглинання енергії волокном

Потужність джерела випромінювання $P_0 = 0.5$ Вт. Опір «холодного» (тобто при кімнатній температурі) волокна $R_0 = 4149$ Ом, опір «гарячого» (нагрітого електромагнітним випромінюванням) волокна $R = 4100$ Ом. Середня по довжині волокна

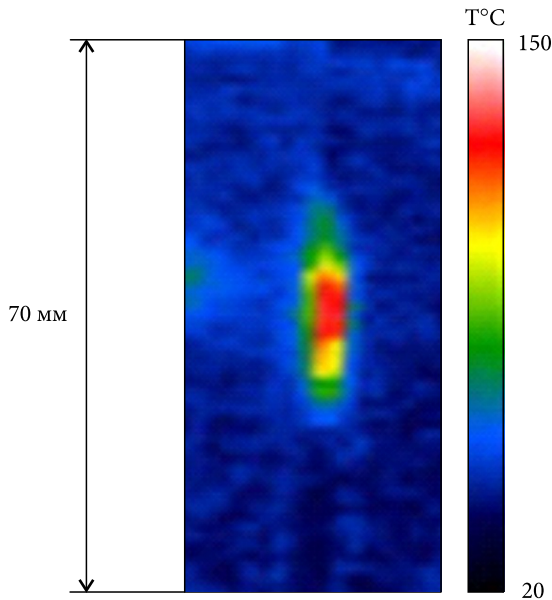


Рис. 3. Теплова картина нагрітого волокна

температура нагрівання визначається як

$$\Delta T = \frac{R - R_0}{\alpha_R R_0} = 39 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Тут $\alpha_R = -0.0003 \text{ град}^{-1}$ — температурний коефіцієнт опору графіту. При нагріванні опір графіту зменшується.

Потужність, яка поглинається в тонкому волокні, визначається законом Ньютона для теплових процесів [9]:

$$P_{abs} = \alpha_P L \Delta T = 0.055 \text{ Вт}.$$

Тут $\alpha_P = 0.02 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$ — погонний коефіцієнт теплового обміну волокна із зовнішнім середовищем. Він визначає кількість тепла, яке йде у зовнішнє середовище з 1 м волокна при різниці температур волокна та навколишнього середовища $1 \text{ }^\circ\text{C}$. Якщо волокно тонке, то цей коефіцієнт не залежить від його діаметра [10].

Коефіцієнт поглинання дорівнює:

$$K_{abs} = \frac{P_{abs}}{P_0} = 0.11.$$

Таким чином, у волокні поглинається 11 % енергії мікрохвильового випромінювання, незважаючи на те, що діаметр перерізу волокна в 600 разів менший, ніж поперечний розмір пучка випромінювання.

На рис. 3 показано теплову картину нагрітого випромінюванням графітового волокна, отриману за допомогою тепловізора. На рисунку видно нагріту центральну область довжиною приблизно 10 мм. Її температура близько $100 \text{ }^\circ\text{C}$ при середній температурі волокна $39 \text{ }^\circ\text{C}$.

5. Фактор ефективності поглинання

На волокно потрапляє випромінювання потужністю

$$P = I_0 D b,$$

де I_0 — інтенсивність випромінювання в місці розташування волокна; D — діаметр перерізу волокна; b — довжина ділянки, яка опромінюється. Це розмір вертикальної стінки хвилеводу ($b = 3.4 \text{ мм}$).

Волокно розташоване посередині широкої стінки хвилеводу в місці максимуму електричного поля хвилі H_{10} . Інтенсивність випромінювання тут дорівнює

$$I_0 = \frac{2P_0}{ab},$$

де a і b — розміри поперечного перерізу хвилеводу.

Отже,

$$P = 0.00167 \text{ Вт}$$

і фактор ефективності поглинання

$$Q_{abs} = \frac{P_{abs}}{P} = 33.$$

Розрахований за формулами (1) і (2) фактор ефективності поглинання становить $Q_{abs} = 22$. З огляду на великий розкид параметрів різних видів графіту, збіг теоретичних та експериментальних значень задовільний.

Висновки

Провідникові волокна, які мають діаметр перерізу, набагато менший від довжини хвилі падаючого на них електромагнітного випромінювання, сильно поглинають це випромінювання. Максимальне поглинання спостерігається, коли довжина хвилі в речовині волокна приблизно в 10 разів більша за діаметр його перерізу. Ефект аномаль-

но сильного поглинання електромагнітного випромінювання тонкими провідниковими волокнами може бути використаний для передачі його енергії мішеням з тонкого дроту без фокусування пучків випромінювання і для створення захисних екранів у мікрохвильовому діапазоні.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Van de Hulst H.C. *Light scattering by small particles*. New York, Dover Publ., 1981. 536 p.
2. Kerker M. *The scattering of light and other electromagnetic radiation*. New York, London, Academic Press, 1969. 671 p.
3. Bohren C.F., Huffman D.R. *Absorbing and scattering of light by small particles*. New York, Wiley, 1983. 664 p.
4. Lazarev L.P., Mirovitskaya S.D. *Control of geometrical and optical parameters of fibers*. Moscow: Radio and svyaz, 1988 (in Russian).
5. Kuzmichev V.M., Kokodii N.G., Safronov B.V., and Balkashin V.P. Values of the absorption efficiency factor of a thin metal cylinder in the microwave band. *J. Commun. Technol. Electron.* 2003. Vol. 48, Iss. 11. P. 1240–1242.
6. Akhmeteli A., Kokodii N., Safronov B., Balkashin V., Priz I., Tarasevich A. Efficient non-resonant absorption of electromagnetic radiation in thin cylindrical targets: experimental evidence. *Proc. SPIE.* 2014. Vol. 9097, id. 90970H 11 p. DOI: 10.1117/12.2053482
7. Kokodii N.G., Kaydash M.V., Timaniuk V.A. Interaction of electromagnetic radiation with a thin metal wire in the case of a glancing incident wave. *J. Commun. Technol. Electron.* 2017. Vol. 62, Iss. 3. P. 205–211. DOI: 10.1134/S1064226917130010
8. He Shi, Shulga S.N., Kokodii N.G., Gorobets N.N., Kiiko V.I., Butrym A.Yu., Zheng Yu. Interaction of electromagnetic waves in a waveguide with very thin wires. *J. Commun. Technol. Electron.* 2011. Vol. 56, Iss. 10. P. 1193–1196. DOI: 10.1134/S1064226911100123
9. Гільчук А.В., Халатов А.А. *Теорія теплопровідності*. Частина 1. Навчальний посібник. Київ: КПІ, 2017. 86 с.
10. Bosworth R.C.L. *Heat transfer phenomena*. PTY. Ltd, Sydney, 1952. 211 p.

Стаття надійшла 22.02.2023

REFERENCES

1. Van de Hulst, H.C., 1981. *Light scattering by small particles*. New York, Dover Publ.
2. Kerker, M., 1969. *The scattering of light and other electromagnetic radiation*. New York, London, Academic Press.
3. Bohren, C.F., Huffman, D.R., 1983. *Absorbing and scattering of light by small particles*. New York, Wiley.
4. Lazarev, L.P., Mirovitskaya, S.D., 1988. *Control of geometrical and optical parameters of fibers*. Moscow: Radio i svyaz Publ. (in Russian).
5. Kuzmichev, V.M., Kokodii, N.G., Safronov, B.V., Balkashin, V.P., 2003. Values of the absorption efficiency factor of a thin metal cylinder in the microwave band. *J. Commun. Technol. Electron.*, **48**(11), pp. 1240–1242.
6. Akhmeteli, A., Kokodii, N., Safronov, B., Balkashin, V., Priz, I., Tarasevich, A., 2014. Efficient non-resonant absorption of electromagnetic radiation in thin cylindrical targets: experimental evidence. *Proc. SPIE.*, **9097**, id. 90970H 11 pp. DOI: 10.1117/12.2053482
7. Kokodii, N.G., Kaydash, M.V., Timaniuk, V.A., Priz, I.A., 2017. Interaction of electromagnetic radiation with a thin metal wire in the case of a glancing incident wave. *J. Commun. Technol. Electron.*, **62**(3), pp. 205–211. DOI: 10.1134/S1064226917130010
8. He, Shi, Shulga, S.N., Kokodii, N.G., Gorobets, N.N., Kiiko, V.I., Butrym, A.Yu., Zheng, Yu., 2011. Interaction of electromagnetic waves in a waveguide with very thin wires. *J. Commun. Technol. Electron.*, **56**(10), pp. 1193–1196. DOI: 10.1134/S1064226911100123
9. Gilchuk, A.V., Khalatov, A.A., 2017. *Theory of heat conductivity*. Part 1. Basic handbook. Kyiv, KPI Publ. (in Ukrainian).
10. Bosworth, R.C.L., 1952. *Heat transfer phenomena*. PTY. Ltd, Sydney.

Received 22.02.2023

M.G. Kokodii¹, A.O. Natarova²,
D.V. Gurina¹, I.O. Priz¹, V.O. Maslov¹, V.D. Karlov²

¹V.N. Karazin Kharkiv National University
4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
77/79, Sumska St., Kharkiv, 61023, Ukraine

EFFECT OF ANOMALOUSLY STRONG
ABSORPTION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION
IN FINE CONDUCTIVE FIBERS

Subject and Purpose. The effect of abnormally strong interaction of electromagnetic radiation with fine conductive fibers is considered. Metal, semiconductor, or graphite fibers can heavily absorb electromagnetic radiation provided the fiber diameter is several hundred times smaller than the radiation wavelength. For the most effective transfer of radiation energy, a proper ratio of the radiation wavelength, fiber refractive index, and fiber diameter is sought.

Methods and Methodology. The diffraction problem of a cylinder whose diameter is much smaller than the incident wavelength is treated. The formulas to compute the radiation absorption efficiency have a series appearance. The series coefficients depend on the diameter of the cylinder, its refractive index, and the wavelength. With the cylinder diameter much smaller than the wavelength, these coefficients can be series expanded in the small parameter, and it should suffice to take into account only the first term. The findings are experimentally verified by measurements of the microwave radiation energy transmitted to a fine graphite fiber.

Results. Relationships have been determined of the fiber diameter, fiber conductivity, and wavelength when the effect of the electromagnetic radiation absorption was at its strongest. The experiment showed that even unfocused, an 8 mm wave beam transmitted more than 10% of the energy to a graphite fiber of a 12 μm diameter. The size of the fiber area struck by the beam was 300 times smaller than the beam cross-section.

Conclusions. Conductive fibers of a cross-sectional diameter much smaller than the incident radiation wavelength strongly absorb this radiation. The absorption is at its strongest when the radiation wavelength in the fiber substance is approximately 10 times larger than the cross-sectional diameter of the fiber. The effect of the anomalously strong absorption of electromagnetic radiation can be used to transfer the electromagnetic radiation energy to fine-fiber targets no matter whether the radiation beam is focused or not. Also, this effect can be of use for making protective screens in the microwave region.

Keywords: *diffraction, scattering, absorption, fine fiber.*