



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **156648** (13) **U**
(51) МПК (2024.01)
H05K 9/00
G12B 17/00
G12B 17/02 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

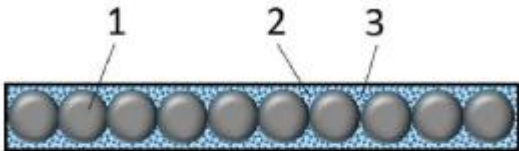
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2023 04146	(72) Винахідник(и):	Вовченко Людмила Леонтіївна (UA), Мацуй Людмила Юріївна (UA), Загородній Володимир Васильович (UA), Олійник Віктор Валентинович (UA)
(22) Дата подання заявки:	01.09.2023	(73) Володілець (володільці):	КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА, вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	25.07.2024		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	24.07.2024, Бюл.№ 30		

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ЕКРАН ІЗ КЕРОВАНИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ ВІДБИТТЯ ТА ПОГЛИНАННЯ
МІКРОХВИЛЬОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

(57) Реферат:

Електромагнітний екран із керованими коефіцієнтами відбиття та поглинання мікрохвильового випромінювання містить полімерну матрицю, рівномірно наповнену вуглецевими наповнювачами двох типів і магнітними частинками на основі заліза. Як вуглецеві наповнювачі двох типів використовують вуглецеві нанотрубки та графітові нанопластинки, як полімерну матрицю використовують епоксидну смолу, як магнітні частинки на основі заліза використовують карбонільне залізо. Екран виконаний двошаровим, у якому перший шар є структурованим і являє собою полімерну основу, рівномірно наповнену щільно розміщеними в один шар скляними кульками, на які нанесено електропровідне композитне покриття з полівінілпіролідону та графітових нанопластинок у співвідношенні 4:1. Полімерною основою є епоксидна смола з карбонільним залізом у співвідношенні 2:3, а другий шар є електропровідним і складається з епоксидної смоли та вуглецевих нанотрубок у співвідношенні (47-49):(3-1).



Фіг. 2

UA 156648 U

UA 156648 U

Корисна модель належить до галузі електромагнітної безпеки, а саме до виробництва засобів захисту від електромагнітного випромінювання (ЕМВ), стосується способу виготовлення багат шарової композитної структури і може бути використана під час розробки, виробництва та експлуатації захисних екранів та покриттів в різних галузях господарства як для захисту від ЕМВ живих об'єктів, так і для зменшення відбитого від різноманітних об'єктів падаючого на них мікрохвильового випромінювання для мінімізації паразитного електромагнітного фону у оточуючому середовищі і захисту електронних приладів від негативного впливу вторинного ЕМВ. Використання бездротової передачі інформації сучасними електронними технологіями призводить до зростання інтенсивності випромінювання, і, переважно, радіовипромінювання і мікрохвиль. Зменшення розмірів елементів електронних приладів (мікросхеми, процесори, реле і т.д.) для збільшення обчислювальної потужності, що припадає на одиницю об'єму пристрою, призводить до збільшення їх вразливості до зовнішнього випромінювання, а також електричних полів, створених сусідніми елементами пристрою. В умовах зростаючого електромагнітного забруднення це означає, що екранування і поглинання небажаного випромінювання є актуальною сучасною задачею. Для цього зараз використовують широкий ряд матеріалів, і найбільш типовими є метали. Проте, основними недоліками металевих екранів є їхня велика вага, низька корозійна стійкість та майже стовідсоткове відбиття ними падаючого на екран ЕМВ, що створює джерело вторинного електромагнітного випромінювання. Гарною альтернативою металевим екранам є розробка полімерних композиційних матеріалів, що наповнені різними наночастинками, які при правильному проектуванні забезпечують потреби в електропровідних неметалевих матеріалах, для ефективного екранування та поглинання електромагнітного випромінювання.

Відомий електромагнітний екран з керованим коефіцієнтом відбиття, який складають з полімеру (матриці), у тілі якої рівномірно розподілені частинки сполук металу з необхідною для захисту концентрацією (патент України на корисну модель № 118480, Електромагнітний екран з керованим коефіцієнтом відбиття, опубл. 10.08.2017, <https://uapatents.com/3-118480-elektroniagnitnijj-ekran-z-kerovanim-koeficiehntom-vidbittya.html>). Як матрицю використовують суміш полівінілхлориду та поліпропілену, як наповнювач - дрібнодисперсний порошок оксиду заліза із частинками, нанорозмір яких знаходиться в діапазоні 100-300 нм. Керованість коефіцієнта відбиття із необхідною величиною загального коефіцієнта екранування за рахунок поглинання електромагнітної енергії у тілі матеріалу забезпечують зміною концентрації металевої компоненти. Недоліком цього екрана є відносно невисокі коефіцієнти екранування ЕМВ, значення яких коливаються в межах 5-К25 і досягають у обмеженому інтервалі частот. Також суттєвим недоліком такого аналогу є порівняно високі концентрації дороговартісного нанорозмірного металевого наповнювача.

Відомий композитний металополімерний електромагнітний екран (патент України на корисну модель № 103339, Електромагнітний екран з вибіркоким поглинанням, опубл. 10.12.2015р., <https://uapatents.com/4-103339-elektromagnitniji-ekran-z-vibirkovim-poglinaimyam.html>). Цей екран складають з полімерної матриці, у тілі якої рівномірно розчинені металеві пелюстки, в матрицю вміщено металеву сітку з розміром чарунки, який відповідає поглинанню електромагнітного випромінювання визначеної частоти. Недоліками даної конструкції є те, що для забезпечення високих значень коефіцієнту поглинання застосовують металеву сітку та металеві пелюстки, що робить конструкцію важкою, складність технології виготовлення, та складність керування параметрами поглинання, оскільки для кожного діапазону поглинання потрібно виготовляти сітки з різними розмірами комірки, а недотримання вузьких значень розмірів нівелює всю роботу.

Відомий електромагнітний екран, в якому підвищення захисних властивостей забезпечують створенням градієнта електрофізичних властивостей матеріалу у напрямку від однієї до другої поверхні. (Патент України на корисну модель № 144619, Градієнтний електромагнітний екран опубл. 12.10.2020 р., <https://base.uipv.org/searchMNV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=271795&chapter=description>). Градієнтний електромагнітний екран виконаний пласкої конструкції і складають з полімерної матриці та дрібнодисперсного залізовмісного екрануючого наповнювача, при цьому у тілі екрана між двома пласкими поверхнями забезпечено градієнт концентрації частинок наповнювача. Недоліком такої конструкції є те, що існуючі на сьогоднішній день технології мало придатні для промислового виготовлення великої площі покриття з градієнтним розподілом наповнювача, необхідного для захисту об'єктів з великими габаритами. Загальним недоліком таких екранів є недостатня ефективність у кількох частотних смугах, некерованість захисних властивостей, значна вага і висока вартість.

За найближчий аналог прийнятий композиційний матеріал для захисту від електромагнітного випромінювання, який містить полімерну матрицю, рівномірно наповнену вуглецевими наповнювачами двох типів і магнітними частинками на основі оксидів перехідних металів. (Патент України на корисну модель № 114444, Композиційний матеріал для захисту від електромагнітного випромінювання, опубл. 10.03.2017 р., <https://uapatent.com/8-114444-kompoziciijnijj-material-dlya-zakhistu-vid-elektromagnitnogo-viprominyuvannya.html>). Як вуглецеві наповнювачі були використані колоїдний графіт (середній розмір частинок 1,75-2,00 мкм) та графітізована сажа, як оксид перехідного металу використовувався оксид марганцю (IV), оксид нікелю (III), або змішаний оксид заліза (II, III). Як полімерну матрицю вибрано полівінілбутираль, а як розчинник вибрано етиловий спирт. Було визначено оптимальний склад захисного композитного покриття, яке забезпечує максимально можливий екрануючий ефект в діапазоні частот 17-27 ГГц. Так, пропонують оптимальне співвідношення струмопровідних наповнювачів один до одного, 1:3, де 1 частина - графітізована сажа, 3 частини - колоїдний графітовий препарат, а найбільш оптимальний вміст оксидів перехідних металів складає 13,3 % для оксиду марганцю (IV) та нікелю (III) і 6,7 мас. % для змішаного оксиду заліза (II, III), відповідно. Запропонований композитний матеріал дозволяє отримувати та контролювати питомий опір струмопровідного покриття в межах 0,4-2,19 Ом·см.

Головними недоліками найближчого аналогу є достатньо високий вміст наповнювачів (колоїдний графіт - 20 ваг. %, сажа - 6,7 ваг. %, оксид металу - до 13,3 ваг. %), а наявність розчинника (етиловий спирт) у композитній суміші до 60 ваг. %, який випаровується після нанесення композитного покриття на субстрат, може погіршувати однорідність розподілу наповнювачів в композиті і адгезію покриття до широкого кола матеріалів різних типів. Крім того, відносно високий екрануючий ефект (до 30 дБ в діапазоні частот 17-27 ГГц) забезпечують в основному високими коефіцієнтами відбиття ЕМВ, що може негативно впливати на роботу електронних приладів, які працюють поряд, внаслідок дії вторинного відбитого ЕМВ та загалом погіршувати електромагнітну обстановку.

В основу корисної моделі поставлено задачу, створення легкого, корозійностійкого електромагнітного екрана з захисними властивостями, керованими у широкому діапазоні частот та амплітуд екранованих електромагнітних полів та з низькими показниками коефіцієнта відбиття і достатньо високими коефіцієнтами поглинання ЕМВ в діапазоні частот 8-18 ГГц.

Поставлена задача вирішується тим, що електромагнітний екран із керованими коефіцієнтами відбиття та поглинання електромагнітного мікрохвильового випромінювання містить полімерну матрицю, рівномірно наповнену вуглецевими наповнювачами двох типів і магнітними частинками на основі заліза, у якому, згідно з корисною моделлю, як вуглецеві наповнювачі двох типів використовують вуглецеві нанотрубки та графітові нанопластики, як полімерну матрицю використовують епоксидну смолу, як магнітні частинки на основі заліза використовують карбонільне залізо, при цьому екран виконаний двошаровим, у якому перший шар є структурованим і являє собою полімерну основу, рівномірно наповнену щільно розміщеними в один шар скляними кульками, на які нанесено електропровідне композитне покриття з полівінілпіралідону та графітових нанопластинок у співвідношенні 4:1, а полімерною основою є епоксидна смола з карбонільним залізом у співвідношенні 2:3, а другий шар є електропровідним і складають з епоксидної смоли та вуглецевих нанотрубок у співвідношенні $(47 \div 49):(3 \div 4)$.

Практичні дослідження показали, що перспективними є електромагнітні екрани композитної структури, які складають з декількох шарів матеріалів з різними електрофізичними властивостями.

Екран, який запропонований, забезпечує створення селективного розподілу електропровідного наповнювача в структурованому шарі, з додатково введенням дрібнодисперсним магнітним наповнювачем у композитну структуру і реалізують наступним чином: спочатку на скляні кульки наносять тонкий шар електропровідного покриття на основі полівінілпіралідону (ПВП) і графітових нанопластинок (ГНП), 20 ваг. % ГНП/80 ваг. % ПВП (діаметр скляних кульок - 2,2 мм, товщина покриття 20 мкм, електропровідність покриття - 50 См/м), далі формують структурований композитний шар, який складають із щільноупакованого шару із скляних кульок із електропровідним покриттям, який заливають композитною сумішшю 60 ваг. % дрібнодисперсного карбонільного заліза (Рс)/епоксидна смола+отверджувач (40 ваг. %), після чого відбувається полімеризація композитного шару. Загальна концентрація ГНП в цьому шарі складає 1,7 ваг. %, товщина шару - 2,7 мм. Наступним етапом є нанесення на цей структурований композитний шар електропровідного композитного шару на основі епоксидної смоли із наповнювачем вуглецеві нанотрубки (ВНТ), концентрація ВНТ 2 ваг. %,

питома електропровідність цього шару 3.5×10^{-5} См/м, товщина 2.0 мм і, таким чином, формують двошаровий екран.

Додатково нижнім може бути як електропровідний шар, так і структурований шар.

Для довідки: нижнім у двошаровому екрані вважають шар, який є другим після шару, на який падає електромагнітне випромінювання. Керування захисними властивостями екрана здійснюють за рахунок зміни складу полімеронаповненої матриці та/або за рахунок зміни черговості шарів в екрані. Якщо потрібні характеристики екранування мікрохвильового випромінювання на рівні 20 дБ, то співвідношення співвідношення між епоксидною смолою та вуглецевими нанотрубками в електропровідному шарі забезпечують як 49:1. Якщо потрібно збільшити коефіцієнт екранування і ефективний коефіцієнт поглинання $A_{\text{ф}}$ то граничне співвідношення співвідношення між епоксидною смолою та вуглецевими нанотрубками забезпечують як 47:3.

Суть корисної моделі, що запропонована, пояснюють ілюстраціями, на яких:

фіг. 1 - схематичне зображення структурованого композитного шару із щільноупакованих скляних кульок із електропровідною оболонкою (1) в епоксидній матриці (2);

фіг. 2 - схематичне зображення структурованого композитного шару із щільноупакованих скляних кульок із електропровідною оболонкою (1) в епоксидній матриці (2) з магнітними частинками Fe (3);

фіг. 3 - схематичне зображення двошарового екрана: верхній шар - структурований композитний шар із щільноупакованих скляних кульок із електропровідною оболонкою в епоксидній матриці з магнітними частинками, нижній шар - електропровідний композитний шар 2ваг. % ВНТ/епоксидна смола;

фіг. 4 - частотна залежність ефективності екранування SE, захисних екранів у діапазоні частот 8-12 ГГц;

фіг. 5 - частотна залежність коефіцієнту відбиття R захисних екранів у діапазоні частот 8-12 ГГц;

фіг. 6 - частотна залежність коефіцієнту поглинання A захисних екранів у діапазоні частот 8-12 ГГц;

фіг. 7 - частотна залежність ефективного коефіцієнта поглинання $A_{\text{еф}}$ захисних екранів у діапазоні частот 8-12 ГГц;

фіг. 8 - частотна залежність ефективності екранування $SE_{\text{т}}$ захисних екранів у діапазоні частот 12-18 ГГц;

фіг. 9 - частотна залежність коефіцієнту відбиття R захисних екранів у діапазоні частот 12-18 ГГц;

фіг. 10 - частотна залежність коефіцієнту поглинання A захисних екранів у діапазоні частот 12-18 ГГц;

фіг. 11 - частотна залежність ефективного коефіцієнта поглинання $A_{\text{еф}}$ захисних екранів у діапазоні частот 12-18 ГГц;

фіг. 12 - схематичне зображення двошарового екрана: верхній шар - електропровідний композитний шар 2ваг. % ВНТ/епоксидна смола, нижній шар - структурований композитний шар із щільноупакованих скляних кульок із електропровідною оболонкою в епоксидній матриці з магнітними частинками.

Практичне виконання корисної моделі.

Виготовлення екрана, що запропонований, проводилося в декілька етапів. Спочатку на скляні кульки (діаметр 2.2 мм) наносять тонкий шар електропровідного покриття на основі полівінілпіролідону (ПВП) і графітових нанопластинок (ГНП), 20ваг. % ГНП 80 ваг. % ПВП (товщина покриття 20 мкм, електропровідність покриття - 50 См/м), далі формують структурований композитний шар, який складають із щільноупакованого шару із скляних кульок із електропровідним покриттям, який заливають композитною сумішшю 60 ваг. % дрібнодисперсного карбонільного заліза (Fe)/епоксидна смола+отверджувач (40ваг. %), після чого відбувається полімеризація композитного шару. Загальна концентрація ГНП в цьому шарі складає 1.7 ваг. %, товщина шару - 2.7мм. Наступним етапом є нанесення на цей структурований композитний шар електропровідного композитного шару на основі епоксидної смоли із наповнювачем вуглецеві нанотрубки (ВНТ), концентрація ВНТ 2ваг. %, питома електропровідність цього шару 3.5×10^{-5} См/м, товщина 2.0 мм і, таким чином, формують двошаровий екран.

Для наочної демонстрації переваг корисної моделі були також виготовлені 2 одношарових та 1 двошаровий екрани для екранування ЕМВ, які відрізняють складом та черговістю шарів.

Зразок №1 складався із структурованого композитного шару із щільноупакованих скляних кульок із електропровідною оболонкою в епоксидній матриці (фіг. 1). Склад електропровідної

оболонки 20ваг. % графітові нанопластинки/80ваг. % полівінілпіролідон. Товщина зразка - 2,7 мм;

Зразок №2 складався із структурованого композитного шару із щільноупакованих скляних кульок із електропровідною оболонкою в епоксидній матриці, наповнений 60 ваг. % частинками карбонільного заліза (фіг. 2). Товщина зразка - 2,7 мм;

Зразок №3 складався із структурованого композитного шару (верхній шар) із щільноупакованих скляних кульок із електропровідною оболонкою в епоксидній матриці, наповнений 60 ваг. % частинками карбонільного заліза та нанесеного на нього з однієї сторони електропровідного шару (нижній шар), виготовленого на основі епоксидної смоли та багатостінних вуглецевих нанотрубок (ВНТ), як наповнювача (фіг. 3). Зовнішній діаметр нанотрубок складав 10-30 нм, довжина - 10 мкм. Концентрація нанотрубок у шарі складала 2ваг. %. Загальна товщина двошарового зразка - 4.7 мм.

Можливість керування коефіцієнтами відбиття та поглинання ЕМВ може бути забезпечена за рахунок

а) варіювання концентрації наповнювача (ВНТ) в електропровідному композитному шарі, який наносять на структурований композитний шар із скляними кульками, що впливає на електропровідність, діелектричну та магнітну проникності, які визначають рівень діелектричних (електричних) та магнітних втрат в композиті;

б) варіювання товщини та черговості шарів в двошаровому екрані для вирішення максимального узгодження хвильових імпедансів на першій границі "повітря-екран" і зміни балансу між коефіцієнтами відбиття та поглинання в бік збільшення поглинання ЕМВ. Присутність дрібнодисперсних частинок металу у вигляді наповнювача у епоксидній матриці зменшує питому вагу порівняно із металевим виробом і не погіршує корозійну стійкість наповненої епоксидної матриці.

Таким чином, фізичний принцип роботи запропонованої корисної моделі пояснюють тим, що для кращого узгодження хвильових імпедансів на першій границі "повітря-екран" і зменшення вмісту нановуглецевого наповнювача у конструкції для екранування ЕМВ створюють його селективний розподіл шляхом нанесення на непровідні скляні кульки, а для покращення характеристик поглинання ЕМВ додатково вводять у епоксидну матрицю магнітний наповнювач (60ваг. % Fe) мікронного розміру (5-7 мкм), який призводить до зростання діелектричних втрат за рахунок великої кількості міжфазних границь і додаткових магнітних втрат в матеріалі. Нанесення додаткового композитного шару на основі епоксидної смоли і нановуглецевого наповнювача (ВНТ) на основний структурований шар із скляними кульками покращує ефективність екранування ЕМВ як за рахунок поглинання в цих шарах, так і за рахунок багаторазового відбиття на границях шарів екрана.

Було виготовлено два типи зразків за розмірами: паралелепіпеди товщиною d мм (23 мм x 10 мм x d мм) та паралелепіпеди товщиною d мм (16,0 мм x 8,0 мм x d мм); форма зразків і розміри визначалися розмірами хвилеводів, які використовувалися при дослідженні. Товщина d зразків варіювалась залежно від складу і кількості шарів в конструкції екрана.

Зразки розміщували у хвилеводі. Було проведено дослідження ефективності екранування електромагнітного випромінювання, коефіцієнту відбиття і визначено коефіцієнт поглинання ЕМВ у двох частотних діапазонах: 8-12 ГГц та 12-18 ГГц (результати наведено на фіг.4-11). Ефективний коефіцієнт поглинання визначають як $A_{\text{еф}}=A/(1-R)$, де коефіцієнти поглинання A, відбиття R і проходження T ЕМВ зв'язані між собою рівнянням енергетичного балансу: $A+T+R=1$. Ефективність екрана $SE_T=10\log T$.

Як видно з фіг. 4-7, досліджені зразки №2 та №3 ефективні як захисні екрани в усьому досліджуваному діапазоні частот 8-12 ГГц, зокрема, одношаровий зразок №2 має ефективність екранування ЕМВ 17-18 дБ, коефіцієнт відбиття R 0,55-0,65, та ефективний коефіцієнт поглинання $A_{\text{еф}}=0,939-0,965$, що свідчить про високу ефективність поглинання ЕМВ в діапазоні частот 8-12 ГГц цим екраном на відміну від екрана №1. Тобто додавання в епоксидну матрицю 60 ваг. % карбонільного заліза значно підвищує екранувальні характеристики за рахунок більш ефективного поглинання мікрохвиль при виникненні додаткових магнітних втрат. Для двошарового екрана (зразок №3) в цьому діапазоні частот ефективність екранування майже така сама, але при цьому коефіцієнт відбиття та поглинання ЕМВ залежать від розташування шарів в екрані: коли першим в напрямку поширення ЕМВ є шар із щільноупакованих скляних кульок із електропровідною оболонкою в епоксидній матриці, наповнений 60 ваг. % частинками карбонільного заліза (позначення зразка 3-1) коефіцієнт відбиття ЕМВ є мінімальним $\# = 0,3-0,09$ (фіг. 5), коефіцієнт поглинання, $A=0,670-0,889$ (фіг. 6) і ефективний коефіцієнт поглинання ЕМВ $A_{\text{еф}}=0,955-0,977$ (фіг. 7). Коли в напрямку поширення ЕМВ першим є композитний шар 2 %ВНТ/епоксидна смола (фіг. 12, позначення зразка 3-2 на фіг. 4-7) змінює баланс в сторону

збільшення коефіцієнту відбиття R і зменшення коефіцієнту поглинання A ЕМВ, але ефективний коефіцієнт поглинання $A_{\text{еф}}$ ЕМВ залишають достатньо високим: $jR=0,59-0,44$, $A=0,382-0,537$ та $A_{\text{еф}}=0,927-0,964$.

Як показано на фіг. 8-11, для діапазону частот 12-18 ГГц, ефективність екранування ЕМВ зростає до 26 дБ для зразків №2 та №3, причому для зразка №2 коефіцієнт відбиття R зменшують до значень 0,2-0,05, в той час як коефіцієнт поглинання A зростає до значень 0,8-0,9, що є важливим, оскільки більша частина ЕМВ входить у екран і поглинають всередині захисного екрана. Для двошарового екрана (зразок №3) коефіцієнт відбиття є значно вищим ($R=0,4$), ніж для зразка №2, але меншим за коефіцієнт поглинання ЕМВ ($A=0,6$). Для цих двох типів зразків (№ 2 та №3) також збільшують ефективний коефіцієнт поглинання ЕМВ $A_{\text{еф}}$, який складає 0,968-0,995 (фіг. 11).

Таким чином, з найкращими показниками екранування мікрохвильового випромінювання з високим коефіцієнтом поглинання є зразок двошарового екрана, що складають із структурованого композитного шару (шар №1) із щільноупакованих скляних кульок із електропровідною оболонкою в епоксидній матриці, наповненій 60 ваг. % частинками карбонільного заліза та нанесеного на нього електропровідного шару (шар №2) на основі епоксидної смоли та багатостінних вуглецевих нанотрубок (2 ваг. %) зі значеннями ефективного коефіцієнту поглинання 0,940-0,995 в діапазонах частот 8-12 ГГц та 12-18 ГГц, який є прикладом найоптимальнішого виконання корисної моделі. При цьому приклад найкращого найоптимальнішого виконання корисної моделі жодним чином не обмежує можливість виконання екрана у будь-яких з запропонованих співвідношень компонентів у формулі.

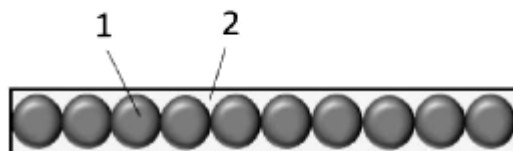
Таким чином, корисна модель забезпечує створення легкого, корозійностійкого електромагнітного екрана з захисними властивостями, керованими у широкому діапазоні частот (8-18 ГГц) за рахунок варіювання співвідношення компонентів композитних шарів, їх товщини та черговості в двошаровому екрані, можливість зміни балансу між коефіцієнтами відбиття та поглинання в бік збільшення поглинання ЕМВ всередині екрана для мінімізації паразитного електромагнітного фону в навколишньому середовищі.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

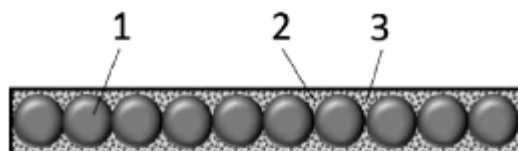
1. Електромагнітний екран із керованими коефіцієнтами відбиття та поглинання мікрохвильового випромінювання, який містить полімерну матрицю, рівномірно наповнену вуглецевими наповнювачами двох типів і магнітними частинками на основі заліза, який **відрізняється** тим, що як вуглецеві наповнювачі двох типів використовують вуглецеві нанотрубки та графітові нанопластинки, як полімерну матрицю використовують епоксидну смолу, як магнітні частинки на основі заліза використовують карбонільне залізо, при цьому екран виконаний двошаровим, у якому перший шар є структурованим і являє собою полімерну основу, рівномірно наповнену щільно розміщеними в один шар скляними кульками, на які нанесено електропровідне композитне покриття з полівінілпіролідону та графітових нанопластинок у співвідношенні 4:1, а полімерною основою є епоксидна смола з карбонільним залізом у співвідношенні 2:3, а другий шар є електропровідним і складається з епоксидної смоли та вуглецевих нанотрубок у співвідношенні (47-49):(3-1).

2. Електромагнітний екран за п. 1, який **відрізняється** тим, що нижнім є електропровідний шар.

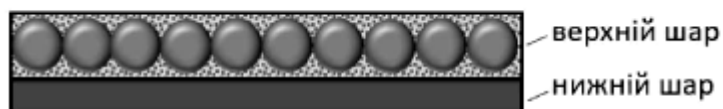
3. Електромагнітний екран за п. 1, який **відрізняється** тим, що нижнім є структурований шар.



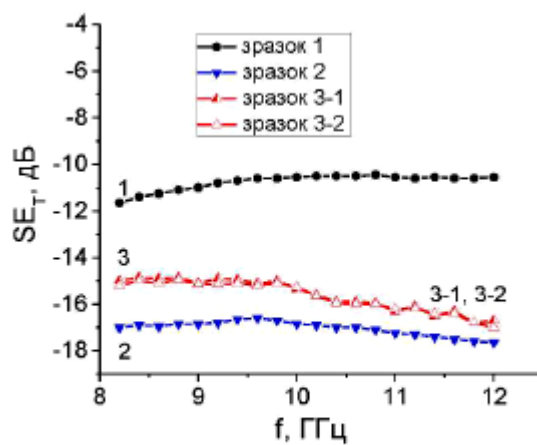
Фіг. 1



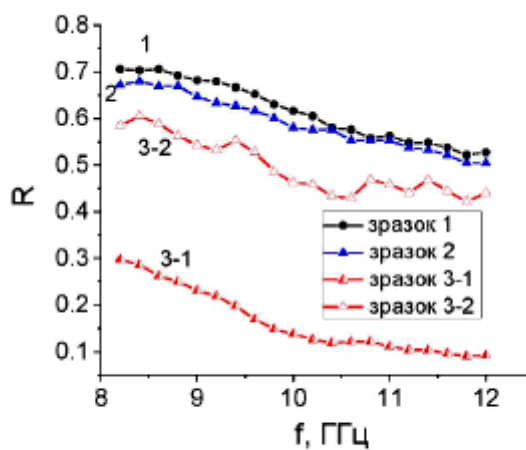
Фиг. 2



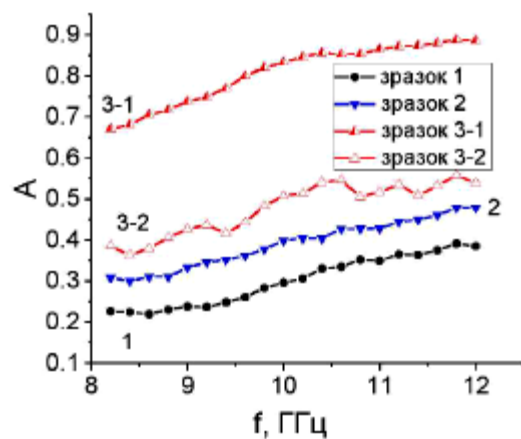
Фиг. 3



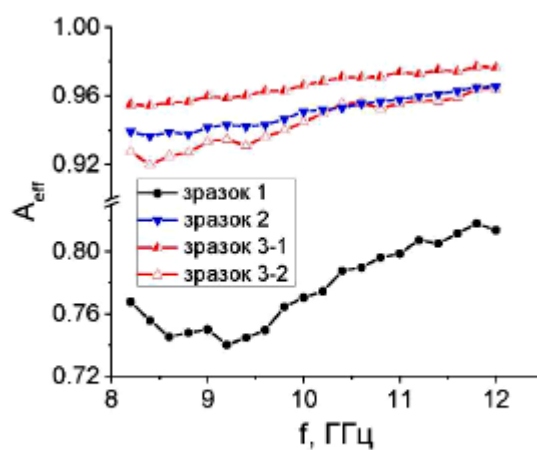
Фиг. 4



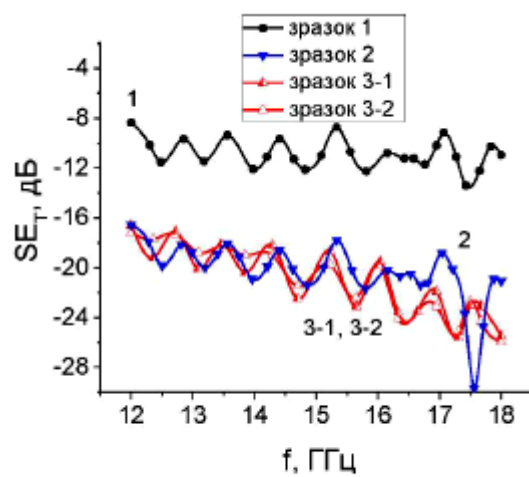
Фиг. 5



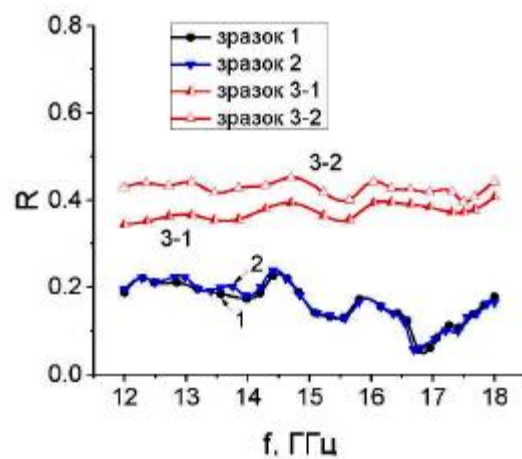
Фиг. 6



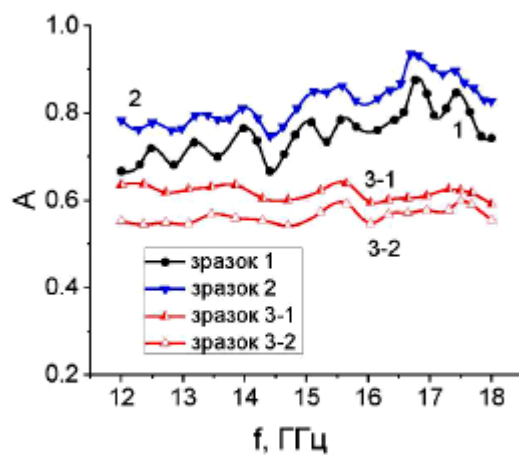
Фиг. 7



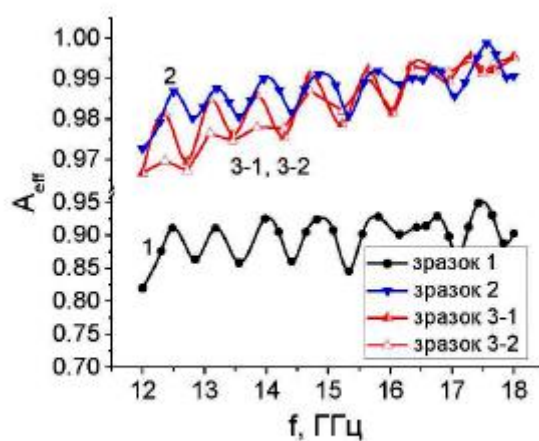
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Fig. 12