

УДК 331.45, 614.8:631, 621.396.6

## РОЗРОБКА СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИСОКИМ РІВНЕМ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Биковський А. І., Романченко Ю. А., Шведчикова І. О.

## DEVELOPMENT OF MODERN MATERIALS WITH HIGH PROTECTION LEVEL FROM ELECTROMAGNETIC RADIATION

Bykovsky A. I., Romanchenko Ju. A., Shvedchykova I. O.

*У статті висвітлено питання захисту обслуговуючого персоналу від дії електромагнітних випромінювань шляхом зменшення їх інтенсивності. Наведено результати досліджень розроблених високоефективних електромагнітоізолюючих шаруватих екранів, виготовлених із вітчизняних матеріалів.*

**Ключові слова:** магнітоізолюючі матеріали, електромагнітоізолюючий шар, магнітоізол, коефіцієнт відбиття випромінювання, дифракція.

**Вступ.** Широкий розвиток електронних систем та телекомунікацій призвів до серйозних проблем, пов'язаних з електромагнітним забрудненням. Тому актуальним завданням є розроблення ефективних засобів захисту організму людини від негативного впливу електромагнітного випромінювання. Теоретичними та клінічними дослідженнями встановлено шкідливий вплив електромагнітних випромінювань на організм людини, який може привести до погіршення координації руху, послаблення гостроти зору, ураження серцево-судинної та нервової систем, руйнації клітин тощо. Під впливом електромагнітного випромінювання відбуваються різноманітні біохімічні зрушення. Тому особливого значення набувають питання зменшення негативної дії різних проявів електромагнітного випромінювання [1].

**Аналіз літературних даних і постановка проблеми.** Одним з найбільш поширених методів захисту від електромагнітного випромінювання є екранування. Для його здійснення застосовуються екрани різної конфігурації, виготовлені з міді, сталі, вуглеводневих волокон, полімерів, полімерних композиційних матеріалів тощо. Окрім того, значні захисні властивості також мають будівельні матеріали [2, 3].

В роботі [4] запропонований підхід до дослідження і розробки поглинаючих матеріалів на основі пінополістиролу (EPS) з додаванням графіту,

що має таку особливість: поглинаючі властивості матеріалу практично не залежать від кута падіння електромагнітної хвилі. Запропонований підхід дозволив створити матеріал з найкращими коефіцієнтами відбиття і поглинання в широкому діапазоні кутів падіння електромагнітної хвилі в нижній частині частотного діапазону.

Для захисту від електромагнітного випромінювання, що генерується працюючими електричними і електронними пристроями, розроблені і досліджені екрануючі матеріали на основі тканих матеріалів, покритих високопровідними шарами [5, 6].

Для ізотропного екранування в роботі [6] запропоновано використовувати зразки на основі мідного дроту і поліамідних ниток, виготовлених за допомогою електронного ткацького верстата. Результати досліджень в діапазоні від 2 ГГц до 20 ГГц [5] показали, що тканини з провідними покриттями мають певні переваги в порівнянні з тканинами з вбудованими металізованими нитками. У той же час екрануючі властивості в низькочастотному діапазоні (20 кГц – 50 кГц) для всіх досліджених провідних тканин ідентичні, незважаючи на тип провідної добавки.

В роботі [7] розглядаються сучасні дослідження в області проектування і характеристики композитів на основі полімер / вуглець в якості екрануючих матеріалів електромагнітного поля. Розглянуто комбінації вуглецевих наповнювачів з іншими компонентами, такими як металеві наночастинки або провідні полімери, визначено ефективність композитів/пристроїв для поглинання і/або відбиття електромагнітного випромінювання.

Аналіз літературних джерел щодо захисту від дії електромагнітних випромінювань показує, що найбільшу протидію проходженню електромагнітної енергії забезпечують металеві екрани. Способи

зниження рівня електромагнітних випромінювань, які діють на людину, розробляються в напрямі використання зовнішніх екранів. Електромагнітне випромінювання з поверхні та через поверхню екрана може бути частково приховано за допомогою різноманітного покриття у вигляді плівок, металевих сіток тощо.

У всіх сіткових захисних матеріалах ефективність екранування не зменшується зі збільшенням інтенсивності випромінювання, а деякі частоти електромагнітних випромінювань діють на клітини організму людини тільки при малих інтенсивностях або октавних частотах. Низькочастотні поля при значному опромінюванні можуть привести до розладу різних фізіологічних процесів.

Таким чином, потребують подальших досліджень поглинальних матеріалів, які відповідають вимогам максимального поглинання електромагнітних хвиль в широкому частотному діапазоні при мінімальному відбитті.

**Мета роботи.** Розроблення шаруватих електромагнітоізолюючих екранів, виготовлених із вітчизняних матеріалів, та дослідження їх характеристик.

Для вирішення цієї проблеми необхідно проведення наукових досліджень та конструктивно-технологічних рішень із використанням різних якісно нових складових композицій.

**Матеріали та результати досліджень.** Електромагнітні хвилі виникають при прискореному русі електричних зарядів. Це взаємопов'язані процеси від зміни електричних і магнітних полів. Наскрізне поглинання електромагнітної енергії обумовлене проникненням електромагнітних хвиль через будь-який матеріал, що відтворює кратність захисту магнітних випромінювань. Найбільше наскрізне затухання мають суцільні металеві екрани. Проте принципового значення товщина матеріала не має, тому використовують переважно тонку металеву фольгу. Основним принципом зменшення дії електромагнітної енергії, яка проникає через матеріали екрана, являється наскрізне та дифракційне проникнення та затухання [8].

Величина наскрізного дифракційного проникнення та затухання залежить від орієнтації електромагнітних хвиль, а вектор електромагнітної складової по відношенню до напрямку електропроводів та площини сіток залежить від частоти випромінювання та характеристики сітки.

Захист людини від дії електромагнітного випромінювання, в основу якого закладено принцип поглинання електромагнітних хвиль, застосовується при створенні аналогів вільного простору при антенних навантаженнях. Екрануючі матеріали повинні відповідати вимогам максимального поглинання електромагнітних хвиль в широкому частотному діапазоні при мінімальному відбитті та відсутності шкідливих випромінювань.

Був розроблений екран магнітопоглинальний "МАГНІТОП" [9], який має шарову конструкцію.

На рис. 1 представлений загальний вигляд екрана магнітопоглинального "МАГНІТОП". Екран магнітопоглинальний має тонке листове оцинковане залізо 1, графітову суміш 2, яка містить порошок 3, вуглецеву тканину 4, сітку із скло- або базальтових волокон 5.

Екран магнітопоглинальний працює таким чином: на поверхні, яка відтворює електромагнітну хвилю, закріплюють запропонований екран магнітопоглинальний. Електромагнітні хвилі заданих частот подають під прямим кутом на поверхню оцинкованого заліза, графіту, де проходить відбивання значної частини цього поля. При цьому в організованій структурі матеріалу відбувається багаторазове внутрішнє відбивання та поглинання шарами графітової суміші, алюмінієвого порошку, вуглецевої тканини та діелектричної сітки із склонилок або базальтових.

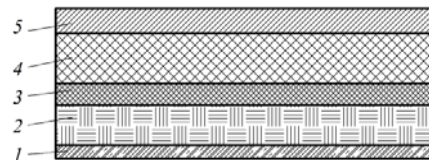


Рис. 1. Загальний вигляд екрана магнітопоглинального "МАГНІТОП" [9]

Були розроблені та досліджені багат шарові та технологічні за виготовленням конструкції МАГНІТОІЗОЛ-1 та МАГНІТОІЗОЛ-2 з високим рівнем захисту від електромагнітного випромінювання [10]. Магнітоізолюючий шаровий матеріал МАГНІТОІЗОЛ-1 включає базальтов'язальну тканину, яка просочена полімерною сумішшю, виготовленою із компонентів дисперсії ПВА – 35-40%, порошку кристалічного графіту – 50-55%, вермикуліту – 10-5%; вуглецеву тканину; склотканину або базальтову тканину. Шари закріплюють на клейовій основі.

Магнітоізолюючий шаровий матеріал МАГНІТОІЗОЛ-2 включає базальтов'язальну тканину, просочену полімерною сумішшю, виготовленою із компонентів акрилового клею - 35-40%, порошку кристалічного графіту – 50-55%, вермикуліту – 8-10%; вуглецеву тканину; лавсанову тканину, алюмінієву фольгу. Шари закріплюють на клейовій основі. Наприклад, на епоксидному клеї.

Результати експериментальних досліджень дії електромагнітних хвиль на поверхні матеріалів МАГНІТОІЗОЛ-1 та МАГНІТОІЗОЛ-2 приведені в табл.

На основі даних досліджень було відтворено залежності змін коефіцієнта відбиття від частоти коливань електромагнітних хвиль, які приведені на рис. 2. Крива 1 відтворює характер зміни коефіцієнта відбиття для матеріалу МАГНІТОІЗОЛ-1 та крива 2 відповідно для матеріалу МАГНІТОІЗОЛ-2. Як видно із проведених

досліджень коефіцієнт відбиття монотонно збільшується від частоти коливань.

Таблиця

**Характеристика властивостей магнітоізолюючих матеріалів**

Коефіцієнт відбиття при частоті, МГц	Найменування матеріалу	
	МАГНІТОІЗОЛ-1	МАГНІТОІЗОЛ-2
50	0,60	0,60
100	0,65	0,70
500	0,80	0,85
1000	0,95	1,00
1500	0,90	0,95
2000	0,95	0,97
2500	0,90	0,95
3000	0,97	1,00
3500	1,00	1,05
4000	1,11	1,15

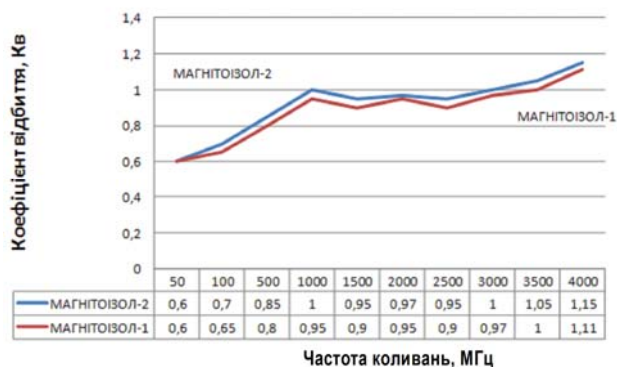


Рис. 2. Залежність коефіцієнта відбиття електромагнітних хвиль ( $K_B$ ) від частоти коливань (МГц)

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак матеріалів і технічним результатом полягає у створенні умов для одночасних процесів багаторазового внутрішнього відбивання, дифракції і інтерференції електромагнітних хвиль в організованій структурі матеріалу і за рахунок цього практично повного поглинання їх енергії, тобто самих електромагнітних хвиль. Енергія електромагнітних хвиль перетворюється в теплову, яка завдяки високій теплопровідності елементарних волокон, контакту між ними, розсіюється по всьому матеріалу. Наведений в волокнах струм (за рахунок зміни потужності самої хвилі) легко нейтралізується всією масою матеріалу і особливо полімерною складовою матеріалу волокна. При сприйманні потужних електромагнітних хвиль вбирач їх може періодично (чи постійно) заземлятися.

Організована структура магнітоізолюючих шарових матеріалів при проходженні електромагнітних хвиль полягає в регулярному використанні базальтової тканини з графітовим наповнювачем. Завдяки цьому одне й теж елементарне волокно по чергово займає положення то на поверхні нитки (тканини), або в її центрі, як і в нижній її (по відношенню до поверхні тканини)

частини. При цьому, в організованій структурі матеріалу, розвиненій за рахунок використання для формування вуглецевої складової та базальтової тканини, яка включає графітову суміш, відтворюється їх багаторазове внутрішнє відбивання, дифракція, інтерференція і поглинання їх енергії в об'ємі матеріалу. Енергія електромагнітних хвиль, що поглинається, перетворюється в теплову енергію, яка ефективно розсіюється по поверхні матеріалу в першу чергу, завдяки високій теплопровідності безперервно зв'язаних вуглецевих ниток та організованим контактам між базальтовими нитками тканини. Потужність відбитої хвилі, яка вимірюється за допомогою приймальної антени, значно менша, ніж падаючої. Коефіцієнт відбиття обчислюється як відношення потужностей падаючої і відбитої хвилі.

Захист від електромагнітного випромінювання здійснюється шляхом розміщення магнітоізолюючого шарового матеріалу МАГНІТОІЗОЛ-1 і МАГНІТОІЗОЛ-2 між оператором і джерелом випромінювання.

### Висновки.

Таким чином, розроблені та досліджені матеріали забезпечують високий рівень захисту людини від негативного впливу електромагнітного випромінювання. Матеріали технологічні за виготовленням і забезпечують значне збільшення ефекту захисту від негативного впливу на організм людини біологічно шкідливих випромінювань, що веде до зменшення професійних захворювань та травматизму.

### Литература

- Евдокимова, В. А. Контроль електромагнітного излучения в производственной рабочей зоне и на судах [Текст] / В. А. Евдокимова, В. А. Маслов, О. Н. Товстокорый, В. В. Подобода // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2013. – №2 (9). – С. 97-101.
- Гупало, О. С. Радиационная безопасность применяемых строительных материалов [Текст] / О. С. Гупало, А. С. Беликов, В. И. Денисенко, В. А. Шаломов // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2008. – Вып. 46. – С.21-26.
- Островский, О. С. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн [Текст] / О. С. Островский, Е. Н. Одаренко, А. А. Шматько // Физическая инженерия поверхности. – 2003. – Том 1, №2. – 161-173.
- Семенец, В.В. Разработка материала для защиты медицинского персонала от воздействия излучения [Текст] / В. В. Семенец, Т. Е. Стыщенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 2(5). – С. 30-37.
- Rubežienė, V. Development and investigation of electromagnetic shielding fabrics with different electrically conductive additives [Text] / V. Rubežienė, Ju. Baltušnikaitė, S. Varnaitė-Žuravliova, A. Sankauskaitė, A. Abraitienė, Jo. Matuzas // Journal of Electrostatics. – 2015. – Vol. 75. – P. 90-98.
- Chen, H. C. Fabrication of conductive woven fabric and analysis of electromagnetic shielding via measurement and

- empirical equation [Text] / H.C. Chen, K.C. Lee, J.H. Lin, M. Koch // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – Vol. 184. – P. 124-130.
7. Thomassin, J. Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials [Text] / J. Thomassin, C. Jérôme, T. Pardoën, C. Bailly, I. Huynen, C. Detrembleur // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2013. – Vol. 74. – P. 211-232.
  8. Ключев, В. В. Испытательная техника. Справочник [Текст] / В. В. Ключев. – М.: Машиностроение, 1982.
  9. Патент на корисну модель № 85014, Україна, Н01В 17/64 (2006.01). Екран магнітопоглинальний "Магнітоп" / Биковський А. І., Толлок О. В., Чувашов Ю. М., Гаврилюк М. С., Буйанко М. М., Мальгота О. А.; заявл. 18.04.13; опубл. 11.11.13, Бюл. № 21. – 5 с.
  10. Патент на корисну модель № 85012, Україна, МПК (2013.01). Магнітоізолюючий шаровий матеріал "Магнітоізол" / Биковський А. І., Чувашов Ю. М., Настєвич В. П., Божко В. І., Ященко О. М.; заявл. 18.04.13; опубл. 11.11.13, Бюл. № 21. – 5 с.

#### References

1. Evdokimova, V. A. Kontrol' jelektromagnitnogo izlucheniya v proizvodstvennoj rabochej zone i na sudah [Tekst] / V. A. Evdokimova, V. A. Maslov, O. N. Tovstokoryj, V. V. Podobeda // Naukovij visnik Hersons'koї derzhavnoї mors'koї akademii. – 2013. – №2 (9). – S. 97-101.
2. Gupalo, O. S. Radiacionnaja bezopasnost' primenjaemyh stroitel'nyh materialov [Tekst] / O. S. Gupalo, A. S. Belikov, V. I. Denisenko, V. A. Shalomov // Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie. – 2008. – Vyp. 46. – S.21-26.
3. Островский, О. С. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн [Текст] / О. С. Островский, Е. Н. Одаренко, А. А. Шматко // Физическая инженерия поверхности. – 2003. – Том 1, №2. – 161-173.
4. Semeneč, V.V. Razrabotka materiala dlja zashhity medicinskogo personala ot vozdeystvija izlucheniya [Tekst] / V. V. Semeneč, T. E. Stycenko // Vostočno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2016. – № 2(5). – S. 30-37.
5. Rubežienė, V. Development and investigation of electromagnetic shielding fabrics with different electrically conductive additives [Text] / V. Rubežienė, Ju. Baltušnikaitė, S. Varnaitė-Žuravliova, A. Sankauskaitė, A. Abraitienė, Jo. Matuzas // Journal of Electrostatics. – 2015. – Vol. 75. – P. 90-98.
6. Chen, H. C. Fabrication of conductive woven fabric and analysis of electromagnetic shielding via measurement and empirical equation [Text] / H.C. Chen, K.C. Lee, J.H. Lin, M. Koch // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – Vol. 184. – P. 124-130.
7. Thomassin, J. Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials [Text] / J. Thomassin, C. Jérôme, T. Pardoën, C. Bailly, I. Huynen, C. Detrembleur // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2013. – Vol. 74. – P. 211-232.
8. Kljuev, V. V. Ispytatel'naja tehnika. Spravochnik [Tekst] / V. V. Kljuev. – М.: Mashinostroenie, 1982.
9. Patent na korysnu model' № 85014, Ukrai'na, N01V 17/64 (2006.01). Ekran magnitopoglynal'nyj "Magnitop" / Bykovs'kyj A. I., Tolok O. V., Chuvashov Ju. M.,

- Gavryljuk M. S., Bujanko M. M., Mal'gota O. A.; zavavl. 18.04.13; opubl. 11.11.13, Bjul. № 21. – 5 s.
10. Patent na korysnu model' № 85012, Ukrai'na, MPK (2013.01). Magnitoizoljujuchyj sharovyj material "Magnitoizol" / Bykovs'kyj A. I., Chuvashov Ju. M., Nastjevych V. P., Bozhko V. I., Jashhenko O. M.; zavavl. 18.04.13; opubl. 11.11.13, Bjul. № 21. – 5 s.

#### Биковский А.И., Подобед И.М., Романченко Ю.А., Шведчикова И.А. Разработка современных материалов с высоким уровнем защиты от электромагнитного излучения

*В статье освещены вопросы защиты обслуживающего персонала от действия электромагнитных излучений путем снижения их интенсивности. Приведены результаты исследований разработанных высокоэффективных электромагнитоизолирующих послойных экранов, изготовленных из отечественных материалов.*

**Ключевые слова:** магнитоизолирующие материалы, электромагнитоизолирующий слой, магнитоизол, коэффициент отражения излучения, дифракция.

#### Bykovsky A. I., Podobjed I. M., Romanchenko Ju. A., Shvedchikova I. O. Development of modern materials with high protection level from electromagnetic radiation

*Problems of service staff protection from electromagnetic radiation influence by intensity reducing described in the article. Magneto absorbing screen "MAGNETOP" with multi-layer construction is developed. Multilayered and manufacturability constructions MAGNITOIZOL-1 and MAGNITOIZOL-2 with high level of protection from electromagnetic radiation were developed and investigated. The results of experimental researches by influence of electromagnetic waves on surface of developed high-efficiency electromagnetically insulating layered screens made from available materials are presented. Dependence of reflection coefficient changes from electromagnetic waves frequency based on research data was constructed. The conducted studies have shown that reflection coefficient increases monotonically from frequency. It is established that, developed and studied materials provide a high level of human protection from the negative influence of electromagnetic radiation.*

**Keywords:** magneticisalating materials, elektromagneticisalating layer, mahnitoizol, reflectance radiation, diffraction.

**Биковський Анатолій Іванович** – к.т.н., ДП «Інститут машин і систем» (м. Київ).

**Романченко Юлія Андріївна** – асистент кафедри електричної інженерії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля (м. Северодонецьк).

**Шведчикова Ірина Олексіївна** – д.т.н., професор, завідувач кафедри електричної інженерії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля (м. Северодонецьк). [ishved@i.ua](mailto:ishved@i.ua)

*Рецензент:* д.т.н., професор **Горбунов М.І.**

Стаття подана 1.02.2017