

УДК 691.32:691.5:699.887

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.241225.141.1217

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ БЕТОНІВ ТА РОЗЧИНІВ ДЛЯ ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

САВИЦЬКИЙ М. В.¹, докт. техн. наук, проф.,

ШЕХОРКІНА С. Є.², докт. техн. наук, проф.,

БОРДУН М. В.^{3*}, докт. філософії, доц.,

СМИРНОВ А. С.⁴, докт. філософії,

ЛЯСОТА О. В.⁵, асп.

¹ Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Український державний університет науки і технологій, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: ms@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-3325-4675

² Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 021-84-44, e-mail: svitlana.shekhorkina@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

^{3*} Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (098) 260-11-91, e-mail: bordun.maryna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-8539-2423

⁴ Лабораторія досліджень атомних та теплових електростанцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 983-67-59, e-mail: smyrnov.anton@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-2500-2323

⁵ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 483-03-73, e-mail: lyasota198422@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4269-2434

Анотація. Постановка проблеми. Сьогодні актуальними питаннями оборони і безпеки України є захист від дії електромагнітних полів штучного походження. Електромагнітні поля спричиняють збої в роботі обладнання, якості зв'язку. Існує можливість за допомогою спеціальної апаратури виявляти спецоб'єкти, втручатися в системи інформаційного та енергетичного забезпечення. Розвиваються технології зброї електромагнітної нейтралізації та ураження спрямованою енергією, яка може вивести з ладу системи управління критичної інфраструктури і оборони. Перспективним напрямом взаємодії з електромагнітними полями є стелс-технології малопомітності для запобігання виявлення військових об'єктів у радіолокаційному та інших спектрах. Пасивні засоби (екранування, радіопогинання) дають змогу забезпечувати ефективний захист приміщень, систем управління, оборонних об'єктів за електричною та магнітною складовими поля.

Мета статті – аналіз сучасного стану науково-прикладної проблеми, постановка завдань та обґрунтування методології подальшого дослідження. **Висновки.** Завдання науково-дослідної роботи спрямовані на розробку наукових та експериментальних основ створення електропровідних бетонів і розсіюючих та радіопоглинаючих покриттів для екранування електромагнітних полів і стелс-технологій на основі вуглецево-цементних композитів, що забезпечать інформаційну безпеку та стійкість об'єктів і систем оборони, критичної інфраструктури, бойових машин і підвищать ступінь їх захисту та виживаності. Результати досліджень матимуть високу наукову цінність, оскільки полягатимуть у розвитку напряму створення високофункціональних композитів різного призначення. Беззаперечним також є практичне значення запланованих результатів для безпеки та обороноздатності країни при захисті і зменшенні вірогідності виявлення і враження оборонних об'єктів, об'єктів критичної інфраструктури, командних пунктів, бойових машин, забезпечення інформаційної безпеки об'єктів і систем управління і прийняття рішень.

Ключові слова: електропровідність; бетон; розчин; вуглецево-цементні композити; електромагнітні поля

METHODOLOGICAL PRINCIPLES FOR DEVELOPING ELECTRICALLY CONDUCTIVE CONCRETES AND MORTARS FOR ELECTROMAGNETIC FIELD SHIELDING

SAVYTSKYI M.V.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
SHEKHORKINA S.Yev.², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
BORDUN M.V.^{3*}, *PhD, Doc.*,
SMYRNOV A.S.⁴, *PhD*,
LYASOTA O.V.⁵, *Postgrad. Stud.*

¹ Department of Reinforced-Concrete and Masonry Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: ms@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-3325-4675

² Department of Reinforced-Concrete and Masonry Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (095) 021-84-44, e-mail: svitlana.shekhorkina@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

^{3*} Department of Reinforced-Concrete and Masonry Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (098) 260-11-91, e-mail: bordun.maryna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-8539-2423

⁴ Department of Research of Nuclear and Thermal Power Plants, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (050) 983-67-59, e-mail: smyrnov.anton@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-2500-2323

⁵ Department of Reinforced-Concrete and Masonry Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 483-03-73, e-mail: lyasota198422@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4269-2434

Abstract. Problem Statement. Current pressing issues for Ukraine's defense and security include protection from the effects of artificially generated electromagnetic fields. Electromagnetic fields cause malfunctions in equipment and degrades communication quality. There is a potential for specialized equipment to detect special-purpose facilities and interfere with information and energy supply systems. Technologies for electromagnetic neutralization weapons and directed-energy weapons, capable of disabling control systems of critical infrastructure and defense, are being developed. The perspective area of interaction with electromagnetic fields involves stealth technologies for low observability to prevent the detection of military objects in radar and other spectra. Passive means (shielding, radio absorption) enable effective protection of premises, control systems, and defense installations against the electric and magnetic components of the field. **The article's purpose** is to analyze the current state of the scientific-applied problem, define tasks, and substantiate the methodology for further research. **Conclusions.** The tasks of the research are aimed at developing scientific and experimental foundations for creating electrically conductive concretes and dispersive/radio-absorbing coatings for shielding electromagnetic fields and for stealth technologies based on carbon-cement composites. These will ensure information security and resilience of defense objects and systems, critical infrastructure, and combat vehicles, enhancing their level of protection and survivability. The research results will possess high scientific value, as they will contribute to advancing the field of creating high-performance composites for various purposes. The practical significance of the planned results for the nation's security and defense capability is also undeniable, concerning the protection and reduction of the likelihood of detection and destruction of defense objects, critical infrastructure facilities, command posts, and combat vehicles, as well as ensuring the information security of objects, control, and decision-making systems.

Keywords: *electrical conductivity; concrete; mortar; carbon-cement composites; electromagnetic fields*

Постановка проблеми. Швидкий розвиток телебачення і радіозв'язку, мобільного стільникового зв'язку, Інтернету спричиняє дедалі більше «забруднення» довкілля електромагнітними полями. Наведені електромагнітні поля все частіше спричиняють збої в роботі ІТ-обладнання, впливають на якість зв'язку. Одночасно з цим, існує реальна можливість, за

допомогою спеціальної апаратури, використовуючи побічні електромагнітні випромінювання та наведення електронних приладів, виявляти замасковані об'єкти, знімати конфіденційну інформацію з серверів, прослуховувати перемовини. Дією високочастотного електромагнітного випромінювання можна втручатися в роботу систем інформаційного та енергетичного

забезпечення, на канали передачі даних, контролю та управління, або навмисно знищувати дані на електронних носіях [1].

Однією з найбільших небезпек може бути дія електромагнітного імпульсу (ЕМІ, англ. *electromagnetic pulse, EMP*) трьох типів: 1) ядерного, 2) сонячного та 3) збройного – одномоментного вивільнення величезної кількості електромагнітної енергії. Висотний ядерний вибух створює миттєвий потік гамма-променів, що взаємодіють з магнітним полем Землі, породжуючи коливальний електричний струм. Він спричиняє швидке зростання випромінюваного електромагнітного поля – ЕМІ. На сьогодні більш вірогідним є ЕМІ від сонячних спалахів (англ. *Solar Flare*) і корональними викидами маси (англ. *coronal mass ejection, CME*). Сонячний спалах і CME призводять до того, що величезна кількість енергії або високоенергетичних частинок спрямовується до Землі. Корональний викид маси, що іноді називають «мега-сонячним спалахом», може бути руйнівним. ЕМІ-зброя не призначена для фізичного ураження людей, вона призначена для випромінювання електромагнітних імпульсів з метою виведення з ладу енергосистем або електричних пристроїв [2].

В світі стрімко розвиваються технології зброї електромагнітної нейтралізації та ураження спрямованою енергією. Значний сплеск енергії в вигляді ЕМІ може повністю вивести з ладу об'єкти і системи управління критичної інфраструктури і оборони (мережі зв'язку, системи GPS, мобільний зв'язок, бойові машини – автомобілі та транспортні засоби, літаки, кораблі, підводні човни і ракети, практично будь-який електричний пристрій). Наступний напрям, пов'язаний із взаємодією з електромагнітними полями – технологія малопомітності або стелс – технології (англ. *Stealth technology*) – комплекс засобів пасивної радіоелектронної протидії, яка охоплює низку методів, що застосовуються до бойових машин та військових об'єктів для зниження їх помітності у радіолокаційній, інфрачервоній

та інших галузях спектра виявлення для підвищення виживаності.

На сьогодні актуальними питаннями оборони і безпеки України є засоби захисту від дії електромагнітних полів штучного походження. Екранування електромагнітних полів системами захисту є важливим завданням інформаційної безпеки, захисту приміщень, систем управління, забезпечення малопомітності бойових машин, оборонних об'єктів і т. п. Застосування пасивного захисту у вигляді електромагнітних екранів і радіопоглинаючих покриттів, дає змогу вирішувати завдання ефективного захисту за електричною та магнітною складовими поля.

Для вирішення вищенаведених проблем, колектив ННІ ПДАБА УДУНТ виконує комплексну науково-дослідну роботу «Електропровідні бетони і розсіюючі та радіопоглинаючі покриття для екранування електромагнітних полів і стелс-технологій» (№ ДР 0125U001955).

На основі вивчення стану питання і існуючих результатів досліджень, в тому числі власних пошукових досліджень, в якості матеріалів для електромагнітних екранів і радіопоглинаючих покриттів авторами пропонуються електропровідні композиційні матеріали – бетони і покриття з використанням електропровідних вуглецевих наповнювачів, що вирізняються високою ефективністю дії, доступністю, простотою технології виконання, низькою вартістю. За ступенем важливості, новизною поставлених задач, обсягом, запланованими результатами такі дослідження в Україні виконуються вперше.

Мета статті – аналіз сучасного стану науково-прикладної проблеми, постановка завдань та обґрунтування методології дослідження.

Огляд публікацій. Останнім часом в світі стрімко розвиваються технології зброї електромагнітної нейтралізації та ураження спрямованою енергією (англ. *Directed-energy weapon, DEW*), електромагнітного імпульсу (англ. *Electromagnetic Pulse, EMP*) та високопотужної мікрохвильової зброї

(англ. *High Powered Microwave (HPM) Weapons*), високопотужної мікрохвильової електромагнітної бомби (англ. *High Power Microwave Electromagnetic Bomb, HPM E-BOMB*) [3]. Це зброя у вигляді потужного мікрохвильового обладнання, що випромінює енергію у заданому напрямі, яка перенавантажує електронні системи, завдяки чому виводить їх з ладу.

Значний сплеск енергії в вигляді ЕМР може повністю вивести з ладу: електричну мережу, системи GPS, мобільний зв'язок, стаціонарні телефони, інтернет, автомобілі та транспортні засоби, радіозв'язок, системи освітлення, практично будь-який електричний пристрій. Найбільш вразливими до імпульсів є системи управління, на яких працюють майже всі сучасні установки і об'єкти критичної інфраструктури, в тому числі: нафтопереробні заводи, трубопроводи, телефонні мережі, системи управління повітряним рухом, національні та місцеві електростанції, міські мережі водопостачання. Зважаючи на серйозність загроз від ЕМІ, в США розроблено системний документ і стандарти по захисту критичної інфраструктури (мережі зв'язку, транспортні системи, водоочисні споруди, аварійні служби, фінансові послуги) від його дії [4].

Всі системи захисту можливо поділити на активні і пасивні [5]. Активні методи захисту полягають у приховуванні інформативних сигналів за рахунок шумової чи загороджувальної перешкоди за допомогою генераторів шуму або постановників перешкод, наприклад клітки Фарадея [6]. У зв'язку з бурхливим розвитком у світі новітніх технологій і виробництв технічних засобів різного призначення, включно із засобами приймання-передавання та обробки інформації, активні технічні засоби захисту інформації швидко застарівають. При цьому більш потужна сучасна техніка не може не завдавати шкоди здоров'ю своїх користувачів.

Фізично обґрунтованим, надійним і одним із найдієвіших засобів пасивного

захисту об'єкта від перелічених вище видів загроз є спеціальне екранування приміщень або застосування модульних екранованих кабін і кімнат [7]. Системи пасивного захисту діляться на ті, що відбивають входні імпульси (електромагнітний екран у вигляді сталевих, мідних, алюмінієвих листів, фольги, гнучкі композитні матеріали у вигляді сітки, тканини або плівки) і ті, що поглинають (електропровідні бетони, композитні матеріали, плівки). Як правило, матеріали які відбивають, є досить дорогими, тому екранування приміщень є дорогим рішенням. Останнім часом з'явилися композиційні матеріали, які поглинають, що можуть бути ефективним і досить дешевим рішенням. За позірної зовнішньої простоти, це рішення дає змогу, за умови врахування особливостей поширення радіохвиль і кваліфікованого виконання екраноспороди, домогтися істотного ослаблення фонового сигналу. Крім того, захисне екранування приміщень дозволяє виключити шкідливий вплив на людину сильних електромагнітних полів від різних засобів електромагнітного випромінювання.

В якості матеріалів для електромагнітних екранів і радіопоглинаючих покриттів пропонуються електропровідні композиційні матеріали – бетони, розчини і покриття. Електропровідність у цих композитах забезпечується електропровідними компонентами (наповнювачами), які можливо об'єднати в дві групи: металічні і вуглецеві. В'яжучі електропровідних композитів можна розділити на такі групи: полімерні, рідкоскляні, мінеральні [8]. Відомі результати досліджень в Україні електропровідних покриттів для захисту від корозії [9], композитних радіопоглинаючих структур для створення протирадіолокаційних покриттів повітряних об'єктів з метою захисту від радіолокаційних систем виявлення і розпізнавання [10]. На сьогодні достатнього обґрунтування вибору електропровідних наповнювачів і в'яжучих для створення електропровідних бетонів не існує, як не

існує і стандартів на тестування електропровідності наповнювачів і композиційних матеріалів. Необхідна їх розробка. Окремі пропозиції з цих питань були запропоновані в роботах авторів [11–13]. Одні з перших досліджень за стандартними методиками електропровідних бетонів як захисту від електромагнітних полів були проведені в США [14]. На сьогодні такі дослідження інтенсивно проводяться в КНР [15–17] та інших країнах.

На основі вивчення стану питання і існуючих публікацій, в тому числі власних пошукових досліджень, в якості матеріалів для електромагнітних екранів і радіопоглинаючих покриттів авторами пропонуються електропровідні композиційні матеріали – бетони, розчини і покриття з використанням електропровідних вуглецевих наповнювачів, що вирізнятимуться високою ефективністю дії, доступністю, простотою технології виконання, низькою вартістю. Для цього необхідно провести комплекс експериментально-теоретичних досліджень, направлених на розробку: композиційних електропровідних бетонів і покриттів, методів дослідження електропровідності наповнювачів і композитів, методів дослідження захисних властивостей бетонів і покриттів від дії електромагнітних полів, техніко-економічної оцінки застосування бетонів і покриттів. За ступенем важливості, новизною поставлених задач, обсягом, запланованими результатами такі дослідження в Україні виконуються вперше.

Методи та засоби, методика та методологія досліджень. Виходячи з проведеного аналізу можна зробити висновок, що на сьогодні існує розрізнена база даних щодо джерел випромінювання електромагнітних хвиль і їх характеристики – довжина хвиль і частота. Це відноситься до електромагнітних хвиль як природного, так і штучного походження. Необхідно узагальнити інформацію щодо розробок захисних композицій і методів дослідження захисної дії та запропонувати типологію електропровідних вуглецевих наповнювачів

за величиною їх електропровідності і питомого опору, а також за властивостями поглинання електромагнітної дії.

Наступним етапом є проведення експериментальних досліджень для обґрунтування типів вуглецевих наповнювачів в'язучих для електропровідних розчинів і бетонів, а також розсіюючих та радіопоглинаючих покриттів. Передбачається тестування електропровідності типових зразків вуглецевих наповнювачів (технічна сажа, коксова дрібниця, графітова пудра, вуглецева фібра) при зміні тиску і напруги електричного струму. Наповнювач буде навантажуватись через електропровідні пуансони, до яких буде прикладатися електричний струм певної напруги і замірятися електротехнічні характеристики матеріалу. За результатами оцінки експериментальних даних буде обґрунтовано вибір перспективних наповнювачів за критерієм найвищої електропровідності.

Подальші кроки передбачають проєктування складів та експериментальні дослідження електропровідних розчинів і бетонів і покриттів з різними вуглецевими наповнювачами. Для цього буде розроблено та обґрунтовано методику підбору складів, технологічні рішення введення електропровідних гідрофобних і схильних до агрегації вуглецевих наповнювачів, визначені параметричні точки перколяції явища електропровідності композитів. Експериментальні дослідження електропровідності бетонів з різними вуглецевими наповнювачами передбачається проводити на стандартних зразках в лабораторних умовах (рис. 1, 2). В результаті будуть обґрунтовані склади сумішей та надані рекомендації щодо вибору вуглецевих наповнювачів та в'язучих для електропровідних розчинів і бетонів в залежності від умов застосування матеріалів.

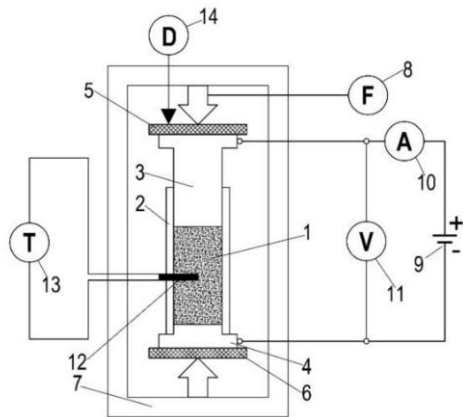


Рис. 1. Схема для тестування питомого опору електропровідних наповнювачів:

- 1 – струмопровідний наповнювач;
- 2 – матриця (діелектрична труба);
- 3, 4 – верхній і нижній струмопровідні пуанسونи;
- 5, 6 – верхня і нижня діелектричні прокладки;
- 7 – прес; 8 – вимірювач зусилля преса;
- 9 – акумулятор; 10 – амперметр; 11 – вольтметр;
- 12 – термометр; 13 – індикатор температури;
- 14 – індикатор переміщення

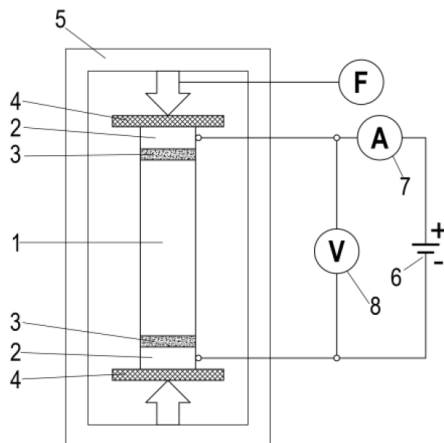


Рис. 2. Схема для тестування питомого опору бетону:

- 1 – зразок бетону; 2 – електропровідна пластина; 3 – електропровідна прокладка;
- 4 – діелектрична прокладка; 5 – гідролічний чи механічний прес або струбцина; 6 – акумулятор;
- 7 – амперметр; 8 – мультиметр

Фінальним етапом роботи буде дослідження захисних властивостей електропровідних бетонів і покриттів при дії електромагнітних випромінювань. Для експериментальних досліджень захисних властивостей бетону та покриттів при дії електромагнітних випромінювань буде адаптована стандартна закордонна методика ASTM D4935-18 [18] з врахуванням наявного вітчизняного обладнання для генерації і вимірювання електромагнітних

хвиль (рис. 3).

Проведені експериментальні дослідження дозволять сформулювати рекомендації щодо проектування оптимальних складів електропровідних бетонів і покриттів для екранування електромагнітних полів, які будуть ґрунтуватися на показниках ефективності захисту від дії електромагнітних хвиль різної частоти, а також економічної ефективності використання матеріалів з врахуванням дисконтування.

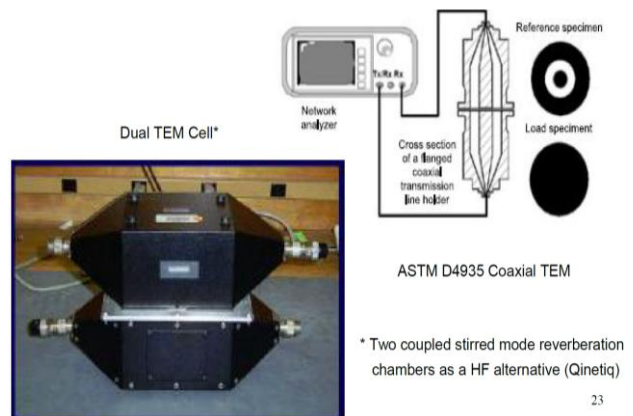


Рис. 3. Схема стандартного методу вимірювання ефективності електромагнітного екранування плоских матеріалів згідно [18]

Висновки

Завдання науково-дослідної роботи спрямовані на розробку наукових та експериментальних основ створення електропровідних бетонів і розсіюючих та радіопоглинаючих покриттів для екранування електромагнітних полів на основі вуглецево-цементних композитів, що забезпечать інформаційну безпеку та стійкість об'єктів і систем оборони, критичної інфраструктури, бойових машин, підвищать ступінь їх захисту та виживаності.

Результати досліджень матимуть високу наукову цінність, оскільки будуть полягати у розвитку напряму створення високофункціональних композитів різного призначення. Беззаперечним також є практичне значення запланованих результатів для безпеки та обороноздатності

країни. Отримані теоретичні та експериментальні дані можуть бути використані при захисті і зменшенні вірогідності виявлення і враження оборонних об'єктів, об'єктів критичної інфраструктури, командних пунктів, бойових машин, забезпечення інформаційної безпеки об'єктів і систем управління і прийняття рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Hidden Dangers of Electricity Are a Mortal Threat to Humanity [Електронний ресурс]. American Intelligence Media. URL: <https://aim4truth.org/2020/09/25/the-hidden-dangers-of-electricity-are-a-mortal-threat-to-humanity> (дата звернення: 26.11.2025).
2. The Sensible Guide To Electromagnetic Pulse Attacks [Електронний ресурс]. Primal Survivor. URL: <https://www.primalsurvivor.net/emp-protection-preparation/> (дата звернення: 26.11.2025).
3. Directed Energy Weapons: High Power Microwaves. Office of Naval Research [Електронний ресурс]. Office of Naval Research. URL: <https://www.onr.navy.mil/organization/departments/code-35/division-353/directed-energy-weapons-high-power-microwaves> (дата звернення: 26.11.2025).
4. Electromagnetic Pulse (EMP) Protection and Resilience Guidelines for Critical Infrastructure and Equipment [Електронний ресурс]. Arlington, Virginia : National Cybersecurity and Communications Integration Center, 2019. 70 p. URL: https://www.cisa.gov/sites/default/files/publications/19_0307_CISA_EMP-Protection-Resilience-Guidelines.pdf (дата звернення: 26.11.2025).
5. LearnEMC – Introduction to Practical Electromagnetic Shielding [Електронний ресурс]. LearnEMC – LearnEMC Home Page. URL: <https://learnemc.com/practical-em-shielding> (дата звернення: 26.11.2025).
6. What Is A Faraday Cage? EMF Protection Pros [Електронний ресурс]. EMF Protection Pros. URL: <https://www.emfprotectionpros.com/faraday-cage/> (дата звернення: 26.11.2025).
7. Electromagnetic Pulse Shielding Mitigations Best Practice. Homeland Security [Electronic resource]. U.S. Department of Homeland Security. URL: <https://www.dhs.gov/science-and-technology/publication/electromagnetic-pulse-shielding-mitigations-best-practice> (date of access: 26.11.2025).
8. Большаков В. І., Савицький М. В. Електропровідні нанокompозити для систем діагностики технічного стану герметизуючих оболонок АЕС. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. № 5 (218). С. 16–34.
9. Плутин А. А. Электропроводящие покрытия для защиты от электрокоррозии: обоснование конструкции защиты и требований к покрытию. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. 2013. № 47 (1020). С. 101–107.
10. Осинский Г., Субач В., Биков В., Колчигін М. Зниження радіолокаційної помітності літальних апаратів за допомогою Stealth-технологій. *Озброєння та військова техніка*. 2018. № 18 (2). С. 71–74.
11. Savytskyi M., Sukhyi K., Savytskyi O., Babenko M., Shevchenko T. Carbon materials for electrically conductive concrete. *E3S Web of Conferences. ICSBT-2024*. Vol. 534. P. 01019. 2024. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453401019>
12. Savytskyi M., Pang W., Sun L., Savytskyi O., Bordun M., Li Y., Xia Y., Wang H. Development of Test Methods in the Process of Electrically Conductive Concrete Production. *9th International Conference on Mechanical Structures and Smart Materials. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing*. Vol. 2845. 2024. P. 012032. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2845/1/012032>
13. Savytskyi M., Sukhyi K., Savytskyi O., Shevchenko T., Bordun M. Smart Concretes as the Basis for Creating Smart Buildings. *Proceedings of EcoComfort 2024. EcoComfort-2024. Lecture Notes in Civil Engineering*. Vol. 604. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-67576-8_42
14. Krause A., Nguyen L., Tuan C., Bonsell J., Chen B. Conductive Concrete as an Electromagnetic Shield. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*. 2012. Pp. 85–87. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/286729977.pdf> (дата звернення: 26.11.2025).
15. Peng M., Qina F. Clarification of Basic Concepts for Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness. URL: <https://arxiv.org/pdf/2112.03272> (дата звернення: 26.11.2025).
16. Choi I., Kim J., Seo S., Lee D. Radar absorbing sandwich construction composed of CNT, PMI foam and carbon/epoxy composite. *Composite Structures*. 2012. Vol. 94 (9). Pp. 3002–3008. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.04.009>
17. Kim S., Lee S., Zhang Y., Park S., Gu J. Carbon-Based Radar Absorbing Materials toward Stealth Technologies. *Adv. Sci.* 2023. Vol. 10. P. 104. URL: <https://doi.org/10.1002/advs.202303104>
18. ASTM D 4935-18. Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials. ASTM International : West Conshohocken, PA, USA, 2018.

REFERENCES

1. The Hidden Dangers of Electricity Are a Mortal Threat to Humanity [Electronic resource]. American Intelligence Media. URL: <https://aim4truth.org/2020/09/25/the-hidden-dangers-of-electricity-are-a-mortal-threat-to-humanity> (date of access: 26.11.2025).
2. The Sensible Guide To Electromagnetic Pulse Attacks [Electronic resource]. Primal Survivor. URL: <https://www.primalsurvivor.net/emp-protection-preparation/> (date of access: 26.11.2025).
3. Directed Energy Weapons : High Power Microwaves. Office of Naval Research [Electronic resource]. Office of Naval Research. URL: <https://www.onr.navy.mil/organization/departments/code-35/division-353/directed-energy-weapons-high-power-microwaves> (date of access: 26.11.2025).
4. Electromagnetic Pulse (EMP) Protection and Resilience Guidelines for Critical Infrastructure and Equipment [Electronic resource]. Arlington, Virginia : National Cybersecurity and Communications Integration Center, 2019, 70 p. URL: https://www.cisa.gov/sites/default/files/publications/19_0307_CISA_EMP-Protection-Resilience-Guidelines.pdf (date of access: 26.11.2025).
5. LearnEMC – Introduction to Practical Electromagnetic Shielding [Electronic resource]. LearnEMC – LearnEMC Home Page. URL: <https://learnemc.com/practical-em-shielding> (date of access: 26.11.2025).
6. What Is A Faraday Cage? EMF Protection Pros [Electronic resource]. EMF Protection Pros. URL: <https://www.emfprotectionpros.com/faraday-cage/> (date of access: 26.11.2025).
7. Electromagnetic Pulse Shielding Mitigations Best Practice. Homeland Security [Electronic resource]. U.S. Department of Homeland Security. URL: <https://www.dhs.gov/science-and-technology/publication/electromagnetic-pulse-shielding-mitigations-best-practice> (date of access: 26.11.2025).
8. Bolshakov V.I. and Savytskyi M.V. *Elektroprovodni nanokompozyty dlia system diahnostryky tekhnichnoho stanu hermetyzuiuchykh obolonok AES* [Electrically conductive nanocomposites for diagnostic systems for the technical condition of nuclear power plant containment shells]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprovsk'a State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2016, no. 5 (218), pp. 16–34. (in Ukrainian).
9. Plugin A.I.A. *Elektroprovodyashchie pokrytiya dlya zashchity ot elektrokorrrozii: razrabotka sostavov* [The electrically conductive coating for protection against galvanic corrosion: development of formulations]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universitetu "KhPI". Seriya : Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekologiia* [Bulletin of the State Technical University "KhPI". Series : Chemistry, Chemical Technology and Ecology]. 2013, iss. 64 (1037), pp. 120–128. (in Russian).
10. Osynovyi H., Subach V., Bykov V. and Kolchyhin M. *Znyzhennia radiolokatsiinoi pomitnosti litalnykh aparativ za dopomohou Stealth-tekhnologii* [Reducing the radar visibility of aircraft using Stealth technologies]. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika* [Arms and Military Equipment]. 2018, no. 18 (2), pp. 71–74. (in Ukrainian).
11. Savytskyi M., Sukhyy K., Savytskyi O., Babenko M. and Shevchenko T. Carbon materials for electrically conductive concrete. *E3S Web of Conferences. ICSBT 2024*. Vol. 534, p. 01019, 2024. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453401019>
12. Savytskyi M., Pang W., Sun L., Savytskyi O., Bordun M., Li Y., Xia Y. and Wang H. Development of Test Methods in the Process of Electrically Conductive Concrete Production. 9th International Conference on Mechanical Structures and Smart Materials. Journal of Physics : Conference Series. *IOP Publishing*. Vol. 2845, 2024, p. 012032. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2845/1/012032>
13. Savytskyi M., Sukhyy K., Savytskyi O., Shevchenko T. and Bordun M. Smart Concretes as the Basis for Creating Smart Buildings. Proceedings of EcoComfort 2024. EcoComfort 2024. Lecture Notes in Civil Engineering. Vol 604. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-67576-8_42
14. Krause A., Nguyen L., Tuan C., Bonsell J and Chen B. Conductive Concrete as an Electromagnetic Shield. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*. 2012, pp. 85–87. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/286729977.pdf> (date of access: 26.11.2025).
15. Peng M. and Qina F. Clarification of Basic Concepts for Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness. URL: <https://arxiv.org/pdf/2112.03272> (date of access: 26.11.2025).
16. Choi I., Kim J., Seo S. and Lee D. Radar absorbing sandwich construction composed of CNT, PMI foam and carbon/epoxy composite. *Composite Structures*. 2012, vol. 94 (9), pp. 3002–3008. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.04.009>
17. Kim S., Lee S., Zhang Y., Park S. and Gu J. Carbon-Based Radar Absorbing Materials toward Stealth Technologies. *Adv. Sci.* 2023, vol. 10, 2303, p. 104. URL: <https://doi.org/10.1002/advs.202303104>
18. ASTM D 4935-18. Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials. ASTM International : West Conshohocken, PA, USA, 2018.

Надійшла до редакції: 26.09.2025.