

## ДИСПЕРСНОАРМОВАННИЙ НІЗДРЮВАТИЙ БЕТОН ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

В. Р. Сердюк, І. О. Сівак, О. В. Христинч, П. В. Постовий

*Представлено інформацію про поширення шкідливих впливів на навколишнє середовище електромагнітних випромінювань (ЕМВ), як найбільш проблемного штучно-створеного негативного фактора 21-го століття. Обґрунтовано актуальність розширення спектру використання бетонів з металевим заповнювачем для виготовлення радіопоглинаючих покриттів і конструкцій бар'єрного захисту від ЕМВ. Проаналізовано механізми послаблення ЕМВ радіоекрануючими матеріалами і обґрунтовано доцільність використання дисперсноармованого ніздрюватого бетону для виготовлення захисних конструкцій. Підтверджено наукову гіпотезу можливості набування радіоекрануючих і радіопоглинаючих властивостей зразками екранів виготовлених з дисперсноармованого металонасиченого бетону.*

**Ключові слова:** електромагнітні випромінювання, радіопоглинаючий матеріал, дисперсно-армований бетон, ніздрювата структура, бар'єрний екран, ефективність екранування, електрофізичні властивості.

## ДИСПЕРСНОАРМИРОВАННЫЙ ЯЧЕИСТЫЙ БЕТОН ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

В. Р. Сердюк, И. О. Сивак, А. В. Христинч, П. В. Постовой

*Представлено информацию о расширении вредного влияния на окружающую среду Электромагнитных излучений (ЭМИ), как наиболее проблемного искусственно-созданного вредного фактора 21-го века. Обосновано актуальность расширения спектра использования бетонов с металлическим наполнителем для изготовления радиопоглощающих покрытий и конструкций барьерной защиты от ЭМИ. Выполнен анализ механизмов ослабления ЭМИ радиоэкранирующими материалами и обосновано целесообразность использования дисперсноармированного ячеистого бетона для изготовления защитных конструкций. Подтверждено научную гипотезу получения образцов с заданными радиоэкранирующими и радиопоглощающими свойствами изготовленных с дисперсноармированного металлонасыщенного бетона.*

**Ключевые слова:** электромагнитные излучения, радиопоглощающий материал, дисперсноармированный бетон, ячеистая структура, барьерный экран, эффективность экранирования, электрофизические свойства.

## FIBROUS CELLULAR CONCRETE PROTECTION FROM ELECTROMAGNETIC RADIATION

V. Serduk, I. Sivak, A. Khrystych, P. Postovy

*Provides information on the expansion of the harmful environmental impact of electromagnetic radiation (EMR) as the most problematic artificially causing harmful factor of the 21st century. The urgency of spreading the use of concrete with a metal filler for the production of radio-absorbing coatings and construction of barrier protection from electromagnetic radiation. The analysis of the mechanisms of attenuation EMR radio shielding materials and proved the feasibility of the use of dispersion-reinforced cellular concrete for the production of protective structures. Confirmed scientific hypothesis obtain samples s specified radio shielding and radio absorbing properties of fabricated metal-fibrous concrete.*

**Keywords:** electromagnetic radiation, radio-absorbing material, fiber concrete, cellular structure, a barrier screen, shielding effectiveness, the electrical properties.

### Вступ

Будівництво 21-го століття потребує застосування нових ефективних доступних недорогих будівельних матеріалів спеціального призначення для захисту від техногенних шкідливих факторів. В середині 20 століття з'явився новий небезпечний екологічний фактор – електромаг-

нітне забруднення навколишнього середовища. Небезпека якого швидко росте по мірі розвитку і використання сучасних електронних технологій і систем, які є джерелами електромагнітних полів. Безперервний ріст електромагнітного фону обумовлений різким збільшенням кількості радіо- і телевізійних станцій, розширенням мережі високовольтних ліній електропередач, швидким зростанням систем мобільного і радіотелефонного зв'язку, радіолокаційних установок, широким впровадженням радіоелектронних пристроїв, надвисокочастотних випромінюючих приладів і технологій в багатьох областях промисловості, а також в побутових умовах.

Проблема обмеження шкідливого впливу екологічних факторів відноситься до проблем державного значення. У розділі "Державна система екологічного моніторингу" Постанови Верховної Ради України від 5 березня 1998р. № 188/98- ВР "Про основні напрями державної політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки", запропоновано: "... розробити і втілити архітектурно-планувальні, інженерні заходи захисту від ЕМВ".

Для вирішення актуальних задач з розробки нового різновиду будівельних матеріалів спеціального призначення і разом з тим зниження собівартості кінцевої продукції будівництва і скороченню витрат сировини, паливно-енергетичних і інших ресурсів, особлива роль відводиться розширенню використання промислових відходів. Дрібнодисперсні металеві шлами – відходи металообробних виробництв є сировинним матеріалом для отримання ніздрюватого бетону з широким спектром електрофізичних властивостей.

**Формулювання задач наукових досліджень.** Розроблені науковцями методи біологічного захисту від електромагнітного випромінювання (ЕМВ) поділяються на організаційні та технічні, а засоби захисту на колективні, локальні та індивідуальні. В основу більшості технічних методів захисту покладено принцип відбиття (метод екранування) та поглинання потоку випромінювань. При цьому на ділянці надвисоких частот (НВЧ) переважно використовують поглинаючі матеріали, а на високих частотах (ВЧ) – відбиваючі (екрануючі) матеріали [1-2].

У діапазоні НВЧ об'єкти захисту звичайно знаходяться від впливом полів дальньої зони, а на високих частотах – під впливом полів ближньої зони. Переважно домінуючим об'єктом досліджень є плоскі електромагнітні хвилі (поля у дальній зоні), а як захисний матеріал досліджуються або метали, або широко відомі конструкції поглиначів електромагнітних хвиль. Комплексне дослідження проблеми, у якому б розглядалися технічні методи і засоби захисту, стосовно ВЧ- та НВЧ-електромагнітного випромінювання для дальньої та ближньої зон залишається маловивченим.

Проблемними завданнями науковців у сфері проектування конструкцій екранів біологічного захисту від ЕМВ є створення композиційного будівельного матеріалу з гетерогенними характеристиками його макро- і мікроструктурних параметрів. Головним призначенням таких систем є комплексне забезпечення синтезу електрофізичних механізмів одночасного послаблення, поглинання, розсіювання і відбивання проникаючого потоку випромінювання. Одним із шляхів вирішення таких задач є створення поліфункціонального композиційного матеріалу в структурі якого створюються умови для забезпечення найбільш плавного переходу від хвильових характеристик повітря до характеристик матеріалу екрана (з метою зменшення відбиття) і найбільш повного поглинання електромагнітної енергії в конструкції екрана [2-4].

**Шляхи вирішення задач досліджень і результати експериментальних випробувань.**

Сучасні композиційні матеріали екранів біологічного захисту класифікуються за конструктивними і електрофізичними ознаками, а також по робочому діапазону довжин хвиль. По конструктивному виконанню ПЕВ можна розділити на одношарові, багатошарові, стільникові, шиповидні і комбіновані поглиначі. За електрофізичними ознаками - на діелектричні, феритові і феррито-діелектричні. А по діапазону хвиль – на вузькодіапазонні і широкодіапазонні. Зменшення відбиття електромагнітного поля (ЕМП) від поверхні радіопоглинаючих матеріалів досягають, наприклад, тим, що матеріалу надається структура чи форма, яка збільшує його активну поверхню, схильну до випромінювання. Матеріал робиться волокнистим або пористим, покривається пірамідалною або конусною поверхнею. Падаючи на таку поверхню, електромагнітна хвиля декілька разів відбивається і втрачає значно більше енергії, ніж при падінні на рівну поверхню. Подібного ефекту добиваються, коли шари поглинаючого матеріалу розташовують в порядку зростання щільності в міру віддалення від зовнішньої поверхні екрана. Екрани, виконані з таких матеріалів, які поглинають електромагнітну енергію в широкому діапазоні частот і є ширококутовими [4-5].

Використання заповнювачем дрібнозернистого бетону металевого дрібнодисперсного порошку (відходи металообробки) дозволило отримати новий різновид композиційних матеріалів спеціального призначення. В процесі реалізації декількох наукових проєктів, відображених в публікаціях [6-7], підтверджено набування металонасиченим бетоном екрануючої здатності послаблювати і поглинати ЕМВ низьких і середніх частот. Проблемними питаннями дослідників було отримання рівномірно-поризованих дисперсноармованих структур з металонасиченою матрицею.

Для встановлення взаємозв'язку між фізико-механічними і електрофізичними характеристиками зразків металонасиченого композиційного матеріалу і як наслідок його радіоекрануючими властивостями нами проведено експериментальні дослідження. Для виготовлення зразків дисперсноармованого бетону використовували мінеральне в'язуче – портландцемент ПЦ II/Б-400, добавки (СП-1(С-3) і Sika latex), кварцевий пісок і металевий заповнювач – дрібнодисперсний порошок шламів металообробки. Метою проведених робіт було отримання дослідних зразків дисперсно-армованих моделей радіопоглинаючого покриття або екрану ніздрюватої структури.

В таблиці наведено узагальнені результати дослідження фізико-механічних характеристик зразків-моделей радіозахисного покриття з різними компонентними складами сировинних сумішей. Показники щільності структури, середнього значення міцності при стиску і електрофізичні характеристики дисперсноармованого композиційного матеріалу приведені для зразків віброущільнених формувальних сумішей. В крайній графі таблиці представлено значення середньої густини поризованих зразків для різних рецептур формувальних сумішей.

Таблиця – Узагальнені макроструктурні і електрофізичні характеристики дослідних зразків

Серія зразків	Вміст металевого заповнювача, % мас	Міцність при стиску, МПа	Показник щільності структури	Питомий електричний опір, Ом×см	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>
1	0	41,5	0,76	1,0×10 <sup>9</sup>	320
2	10	45,4	0,8	7,0×10 <sup>7</sup>	356
3	20	48,8	0,808	8,3×10 <sup>5</sup>	412
4	30	52,3	0,836	9,0×10 <sup>4</sup>	456
5	40	50,1	0,868	5,2×10 <sup>4</sup>	498
6	50	41,6	0,842	1,6×10 <sup>4</sup>	564
7	60	31,2	0,833	1,1×10 <sup>3</sup>	612
8	70	22,8	0,8	0,8×10 <sup>3</sup>	724

На мікрорівні дисперсноармовані ніздрюваті бетони з добавкою металевого наповнювача можуть бути представлені як складні багаточастинні гетерогенні системи. У складі таких структур розташовані різні складові компоненти властивості (фізичними, механічними і електрофізичними) кожного з яких досить суттєво різняться між собою. Мінеральне в'язуче з добавками відіграє роль матриці, в структурі якої в хаотичному порядку розташовані діелектричний (кварцевий пісок) і електропровідний (металевий порошок) заповнювачі. Мінеральний заповнювач і електропровідний компонент, який надає матеріалу радіозахисні властивості, беруть участь в процесах організації структури твердіння цементних композицій, що виражається в зміні кінетики і значень пластичної міцності. Такі структуроутворюючі процеси в подальшому відображаються на електрофізичних і радіозахисних властивостях зразків-моделей радіопоглинаючого екрану ніздрюватої структури. Кварцевий пісок забезпечує створення макроструктурного каркасу, а також сприяє руйнуванню агрегатів мінерального в'язучого і металевого дрібнодисперсного наповнювача на стадії перемішування суміші. На стадії формування поризованих масивів одним із напрямків вирішення завдань з покращення фізико-механічних характеристик матеріалу є удосконалення рецептурно-технологічних параметрів виготовлення металонасиченого бетону ніздрюватої структури з регламентованими фізикомеханічними характеристиками.

### Висновки

- Проведеними дослідженнями підтверджено наукову гіпотезу набування дисперсноармованим ніздрюватим бетоном радіоекрануючих і радіопоглинаючих властивостей необхідних для виготовлення конструкцій екранів захисту від ЕМВ. Фізико-механічні характеристики дослідних зразків відповідають вимогам, які висунуті до конструкційно-теплоізоляційних

будівельних матеріалів. Результати дослідження електрофізичних характеристик зразків композиційного матеріалу ніздрюватої структури підтверджують наявність у нього захисних властивостей від шкідливих впливів ЕМВ. Отриманий ніздрюватий дисперсноармований бетон є аналогом багат шарових екранів варіотропних структур, ефективність екранування в товщині метало насиченого ніздрюватою зразка на мікрорівні забезпечується завдяки багат шаровості структури і наявності в ній великої кількості площ поверхонь розділу фаз (кристалізована мінеральна матриця і діелектричний та струмопровідний заповнювачі). Такий матеріал є аналогом існуючих в практиці екранування ЕМВ атеньюторів. Принцип дії таких конструкцій полягає в багаторазових відбиваннях і поглинаннях потоків енергії випромінювань товщиною їхніх складних структур.

#### Використана література

1. Защита от ионизирующих излучений : учебн. для вузов в 2 т. / [Н. Г. Гусев, В. А. Климанов, В. П. Машкович, А. П. Суворов]; под ред. Н.Г. Гусева. – [3-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – Т.1: Физические основы защиты от излучения. – 1989. – 512 с.
2. Максимов Б. К. Статическое электричество в промышленности и защита от него / Б. К. Максимов, А. А. Обух. – М.: Энергия, 1978. – 80 с.
3. Черепанов В. П. Электронные приборы для защиты РЭА от электрических перегрузок: справочник / В. П. Черепанов, А. К. Хрульов, И. П. Блудов. – М.: Радио и связь, 1994. – 224 с.
4. Шапиро Д. Н. Электромагнитное экранирование: Научное издание / Шапиро Д. Н. – Долгопрудный: Интеллект. – 2010. – 120 с.
5. Elektrostatisches Verhalten von Bodenbenbelagen // Zentralblatl fur Inductricbau. – 1988, №1, S.7-10.
6. Сердюк В. Р. Бетон электропроводный металлонасыщенный / В. Р. Сердюк. – Винница : Континент, 1993. – 239 с.
7. Лемешев М. С. Формування структури електропровідного бетону під впливом електричного струму // М. С. Лемешев / Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2006. – №3. – С. 36-40.

**Сердюк Василь Романович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри менеджменту будівництва та цивільної оборони Вінницького національного технічного університету.

**Сивак Іван Онуфрійович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри технології та автоматизації машинобудування Вінницького національного технічного університету.

**Христич Олександр Володимирович** – к.т.н., доцент кафедри менеджменту будівництва та цивільної оборони Вінницького національного технічного університету.

**Постовий Павло Володимирович** – студент Вінницького національного технічного університету.

**Сердюк Василий Романович** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой менеджмента строительства и гражданской обороны Винницкого национального технического университета.

**Сивак Иван Онуфриевич** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии и автоматизации машиностроения Винницкого национального технического университета.

**Христич Александр Владимирович** – к.т.н., доцент кафедры менеджмента строительства и гражданской обороны Винницкого национального технического университета.

**Постовой Павел Владимирович** – студент Винницкого национального технического университета.

**Serduk Vasil** – professor, head of department of construction management and civil defence Vinnytsia National Technical University.

**Sivak Ivan** – professor, head of technology and automation engineering Vinnytsia National Technical University.

**Khrystych Alexander** – Ph.D., docent of department of Construction Management and Civil Defence Vinnytsia National Technical University.

**Postovy Paul** – Student Vinnytsia National Technical University.