

## **БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

**М, С. Лемешев, О. В Березюк**

*В статті запропоновано використання металонасиченого бетону як радіопоглинаючого і радіоекрануючого матеріалу. Приведені основні радіозахисні характеристики бетону-м ніздрюватої і щільної структури.*

*Ключові слова: металонасичений бетон, радіопоглинаючий матеріал, радіоекрануючий матеріал, радіозахисний матеріал.*

*Вступ.* На сучасному етапі життєдіяльності людини все активніше впроваджується техніка, яка генерує електромагнітне випромінювання (ЕМВ) різного діапазону частот. При цьому має місце постійне нарощування робочих потужностей. Сумарна напруженість електромагнітного поля (ЕМП) в місцях використання такого обладнання збільшується в порівнянні з природним рівнем ЕМП від 100 до 10000 разів [1-2]. Особливо великі потужності електромагнітного випромінювання мають місце поблизу радіотранслюючих станцій, засобів радіолокації, радіозв'язку, різних енергоємних установок [2].

*Постановка проблеми.* Встановлено, що організм людини реагує як на зміни природного геомагнітного поля, так і на вплив електромагнітних випромінювань від технічних джерел [2-5]. Негативний вплив ЕМВ на здоров'я людини є предметом великої кількості наукових досліджень. З кожним роком збільшується кількість наукових даних, що свідчать про негативну біологічну дію електромагнітних випромінювань на людину, її імунну і нервову системи. Варто очікувати, що і в подальшому у зв'язку з постійним зростанням виробництва і використання електромагнітної енергії, її вплив на всі живі організми буде збільшуватися. ЕМП стають потенційно більш небезпечними, чим радіаційні аварії [6].

Зростаючий рівень електромагнітного випромінювання вимагає розробки нового типу будинків і споруд, які захищали б живі організми, а також радіоелектронні засоби від його впливу.

Радіоекрануючі конструкції (РЕК) і радіопоглинаючі матеріали (РПМ) дозволяють знизити рівень антропогенних електромагнітних полів (ЕМП) всередині будинку до необхідного мінімуму, і забезпечити нормальну життєдіяльність людей. Тому створення нових сучасних ефективних, доступних і недорогих радіозахисних матеріалів (РЗМ) є актуальною задачею сьогодення.

*Аналіз існуючих радіопоглинаючих матеріалів.* РПМ діляться на два класи: немагнітні і магнітні. Немагнітні мають багат шарову структуру з плавною або ступінчастою зміною діелектричної і магнітної проникності по товщині. Верхній (вхідний) шар зазвичай складається з матеріалу, що має діелектричну проникність, близьку до одиниці; наступні шари виготовляються з твердих діелектриків з великою і малою діелектричною проникністю. Основними недоліками таких РПМ є їх громіздкість і складність у виготовленні, що обмежує діапазон експлуатаційних умов їх застосування, а також використання при їх виготовленні токсичних матеріалів і речовин. [7-9]. До певної міри цих недоліків позбавлені магнітні РПМ, основним компонентом яких є мелкодисперсні феритові матеріали. Недоліком таких РПМ є значна вага і крихкість, так як основним компонентом таких матеріалів (біля 80%) є магнітний наповнювач.

*Постановка задачі.* У Вінницькому національному технічному університеті виконуються роботи зі створення РЗМ на основі бетону електропровідного металонасиченого (бетел-м). Компонентом такого бетону є дисперсний електропровідний наповнювач, а функції в'язучого виконує цемент.

Електропровідний наповнювач дисперсний шлам сталі ШХ-15 є відходом шарикопідшипникового виробництва. Металевий порошок має ряд особливостей у порівнянні з порошками, отриманими за допомогою інших технологій. У процесі шліфування (абразивного стирання) при високих температурах відбувається процес окислення металу, який в практичній діяльності отримав назву окисдування [9-11]. На поверхні частинок сталі утворюється три шари, які складаються із закису заліза (FeO), магнетиту (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) і гематиту (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). В результаті шлам сталі ШХ-15 набуває властивостей фериту і його можна розглядати як спеціально підготовлений наповнювач для створення радіозахисних матеріалів.

Для оцінки ефективності захисту від ЕМВ необхідно визначити два основних показники: рівень затухання електромагнітної енергії за екраном; потужність відбитої електромагнітної хвилі перед екраном. Затухання енергії обумовлене тепловими втратами в товщі матеріалу, які залежать від частоти ЕМВ, товщини екрана і властивостей самого матеріалу. Питома вага відбитої електромагнітної хвилі залежить від властивостей екрана.

Оцінка ефективності екранування з урахуванням реальних умов є досить складною задачею, яка залежить від товщини екрана, його діелектричної і магнітної проникності. Для попередньої оцінки можна скористатися наступними рівняннями:

ефективність екранування для електричної складової ЕМП

$$K_e = \frac{E_{np}}{E_{nad}}; \quad (1)$$

ефективність екранування для магнітної складової

$$K_n = \frac{H_{np}}{H_{над}}; \quad (2)$$

ефективність екранування в децибелах

$$K_e = 20 \lg \frac{E_{np}}{E_{над}}; \quad (3)$$

$$K_n = 20 \lg \frac{H_{np}}{H_{над}}, \quad (4)$$

де  $E_{np}$ ,  $H_{np}$ ,  $E_{над}$ ,  $H_{над}$  - відповідно електрична і магнітна складові напруженості прониклого і падаючого ЕМВ.

Згідно приведених рівнянь матеріал, у якого велика ефективність екранування, застосовується як радіозахисний матеріал. Варто відмітити, що при цьому не враховується його основна властивість – поглинання ЕМВ. З огляду на сучасні вимоги з екологічної безпеки для радіозахисних приміщень виконання умови щодо максимально можливого екранування явно недостатньо. Не менш важлива вимога забезпечення нормованого поглинання і розсіювання енергії ЕМВ в середині екрану. Адже відбитий сигнал ЕМВ може породжувати хвильовий резонанс. За таких умов навіть невеликі потужності ЕМВ на окремих частотах можуть підсилюватися в тисячу разів і перевищувати встановлені безпечні для людини норми [11-13].

*Дослідження радіозахисних властивостей бетелу-м.* При проведенні досліджень нами використовувався портландцемент ПЦ I-500 Кам'янець - Подільського цементного заводу і відмитий шліфувальний шлам сталі ШХ-15. Хімічний і мінералогічний склад цементу приведено в табл.1 і табл.2.

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики портландцементу

В'язуче	Нормальна густина	Строки тужавіння, год.		Тонина помелу (залишок на ситі № 008), %	Істинна густина, кг/м <sup>3</sup>	Питома поверхня, см <sup>2</sup> /г
		початок	кінець			
Портландцемент ПЦ I-500	25	3,5	5,5	9,4	3100	3400

Таблиця 2

## Хімічний склад портландцементу

Вид цементу	Вміст оксидів, %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	в.п.п
Портландцемент ПЦ І-500	22,86	4,55	4,11	61,9	1,11	0,41	1,82	2,51

Хімічний склад шліфувального шламу сталі ШХ-15 Вінницького підшипникового заводу приведено в табл.3.

Таблиця 3

Хімічний склад сталі ШХ–15 після термообробки протягом 1,2 годин при 900<sup>0</sup>С

Види шламу	Складові елементи, %							
	С	О	Cr	Mn	Si	S	P	Fe та ін.
Після обкатки	1,34	2,14	1,06	0,25	0,31	0,06	≤ 0,03	інше
Обпилюваний	1,72	3,51	0,64	0,25	0,41	0,075	≤ 0,03	інше

Необхідно відмітити, що не менш важливою екологічною вимогою до будинків і споруд є зведення їх із будівельних матеріалів, які повинні виконувати умову по гранично допустимому рівню природних радіонуклідів, які є джерелами іонізуючого ЕМВ. Рівень САПРН (сумарна питома активність природних радіонуклідів) в основному характеризується радіоактивними елементами Th<sup>232</sup>, Ra<sup>226</sup> і K<sup>40</sup>. Згідно ДБН В.1.4–97, введеного з 1.01.98 всі будівельні матеріали і сировина на території України розподілені на три класи: матеріли. Рівень САПРН, в яких менше 370 Бк · кг<sup>-1</sup> відносяться до першого класу, від 370 до 740 Бк · кг<sup>-1</sup> – до другого, від 740 до 1350 Бк · кг<sup>-1</sup> – до третього. Використання матеріалів першого класу дозволяється для усіх видів будівництва без обмежень.

Результати оцінки рівня концентрації природних радіонуклідів в сировинних матеріалах композиту – бетелу-м проведені в лабораторії радіаційної гігієни Українського науково-гігієнічного центру в м. Києві ( табл. 4).

Таблиця 4

## Власна активність природних радіонуклідів будівельних матеріалів

Матеріал	Питома активність, Бк/кг				Ефективна питома активність, Бк/кг
	Cs <sup>137</sup>	K <sup>40</sup>	Ra <sup>226</sup>	Th <sup>232</sup>	
Цемент	< 2	73,3	17,5	10,8	36,6
Пісок	3,3	35,2	5,0	3,8	12,4
Шлам ШХ–15	< 2	< 10	< 5	< 5	< 10

Згідно даних таблиці 4 складові компоненти дрібнозернистого металонасиченого бетону відносяться до 1 класу. Таким чином даний матеріал не є джерелом надмірного іонізуючого електромагнітного випромінювання.

Зразки для вивчення радіозахисних властивостей бетелу-м виготовлялися ніздрюватої ( $400-700 \text{ кг/м}^3$ ) і щільної ( $1600-2100 \text{ кг/м}^3$ ) структури, з різною кількістю дисперсного провідника (в % від маси в'язучого). Вимірювання рівня проникаючої та відбитої енергії ЕМВ проводилися в лабораторії “Електродинаміки та мікрохвильових телекомунікаційних пристроїв” Вінницького національного технічного університету. Для вимірювання радіозахисних властивостей матеріалу використовували вимірювальну лінію, яка включала високочастотний генератор, хвилевід в який поміщали зразки, а також приймач, за допомогою якого фіксували результати вимірювань.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що ефективність екранування ЕМВ бетелу-м залежить від частоти ЕМВ, структури і товщини матеріалу, а також концентрації шламу (рис.1,2) в композиційному матеріалі.

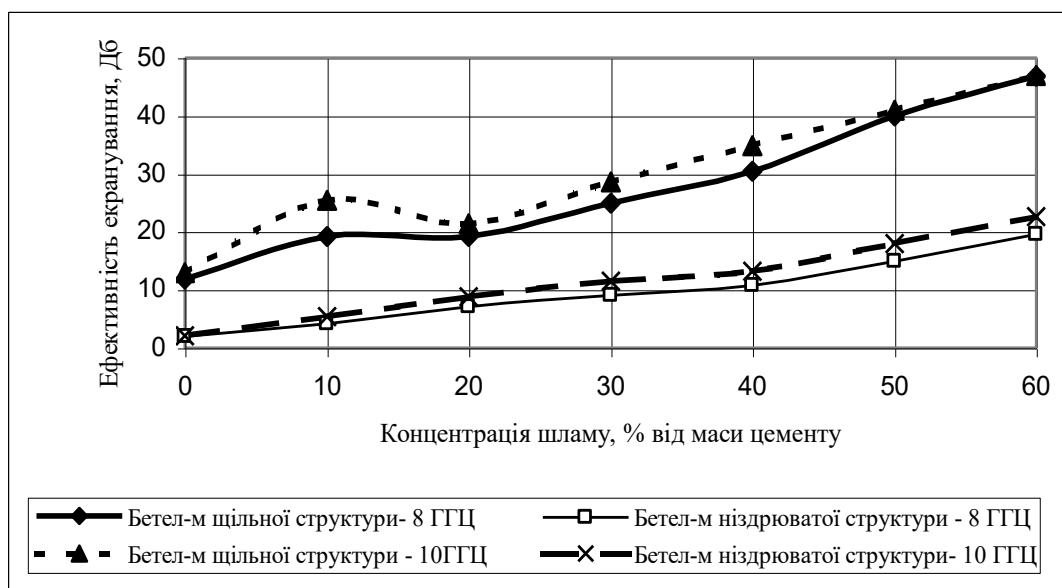


Рис.1. Ефективність екранування бетелу-м щільної і ніздрюватої структури в залежності від концентрації шламу сталі ШХ-15 і частоти ЕМВ.

Як видно з рис.1 незалежно від структури матеріалу по мірі збільшення концентрації шламу ефективність екранування покращується, але разом з тим збільшуються коефіцієнт відбиття, особливо для бетелу-м щільної структури (рис.2). Необхідно відмітити, при зменшенні частоти ЕМВ до 4 ГГц ефективність екранування зменшується на 20-30%, а при збільшенні – до 20 ГГц навпаки покращується.

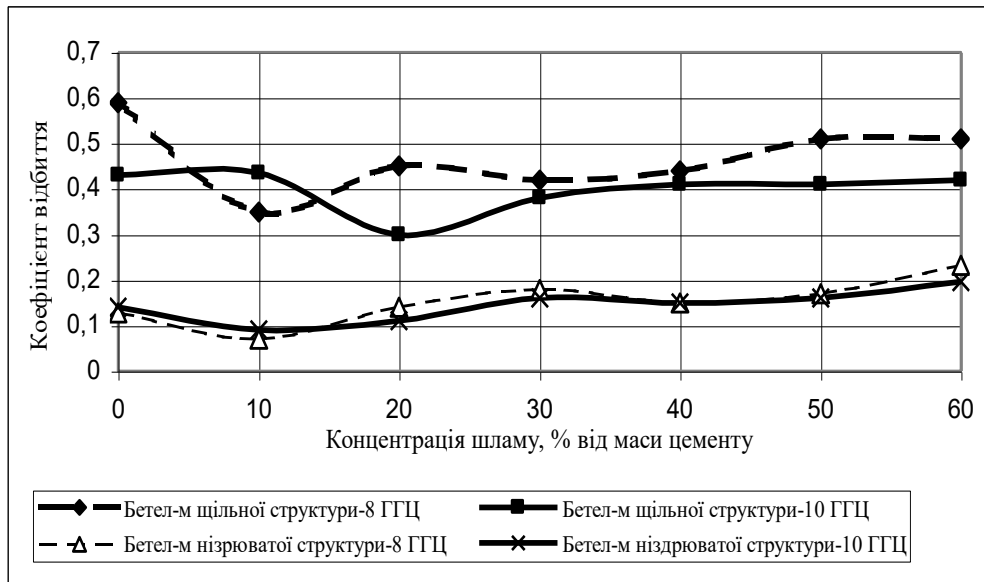


Рис.2. Коефіцієнт відбиття бетелу-м щільної і ніздрюватої структури в залежності від концентрації шламу сталі ШХ-15 і частоти ЕМВ.

Проаналізувавши рис.1 і 2, приходимо до такого висновку, бетел-м щільної структури має достатньо високі радіозахисні властивості (20-50 дБ, що означає зменшення ЕМВ в 10-350 раз), при товщині 10 мм. Такий матеріал відбиває 30-50% енергії ЕМВ від своєї поверхні, а іншу частину поглинає металоцементна матриця. Наприклад, металеві екрани відбивають майже все електромагнітне випромінювання, яке є дуже небезпечне в замкнених приміщеннях для здоров'я людини. Врахувавши два основних показники радіозахисних матеріалів, щільний бетел-м займає проміжне місце між радіопоглинаючим і радіоекрануючим матеріалом. На наш погляд, такий матеріал все ж таки необхідно віднести до радіоекрануючого через високий коефіцієнт відбиття ЕМВ.

Необхідною умовою радіопоглинаючих матеріалів (РПМ) є низький коефіцієнт відбиття ЕМВ. В бетелі-м ніздрюватої структури виконується дана умова (рис.2), що дає можливість віднести його до радіопоглинаючого. Однак ніздрюваті бетели мають порівняно низьку ефективність поглинання ЕМП (рис.1), яка складає 4-22 дБ, при товщині матеріалу 40мм. Покращити поглинання можна за рахунок збільшення товщини екрана. Поєднання ніздрюватої і щільної структури дає можливість отримати радіопоглинаючий матеріал з низьким коефіцієнтом відбиття, великим рівнем поглинання ЕМВ і порівняно невеликою товщиною екрана.

Додаткові вимоги до радіозахисних матеріалів і конструкцій, крім основних характеристик: екологічна безпека, негорючість, поєднання в собі звукопоглинаючих і теплозахисних властивостей, а іноді і декоративних властивостей.

Найбільш повно перерахованим вимогам відповідає ніздрюватий бетел-м. Поєднання низької теплопровідності, малої щільності з достатньою конструктивною міцністю, а головне, регулювання фізико-механічними властивостями через зміну середньої щільності, макроструктури робить його найперспективнішим радіозахисним матеріалом. Саме ніздрюватий бетел-м через особливості своєї структури забезпечує порівняно мале відбиття електромагнітних хвиль, що є основною характеристикою РПМ.

#### *Висновки*

Шлам сталі ШХ-15, який отримують в результаті технологічного процесу отримання шарикопідшипників, можна вважати спеціально підготовленим наповнювачем для радіозахисних матеріалів через вміст відповідних оксидів заліза.

На основі проведених досліджень бетел-м щільної структури можна вважати, як радіоекрануючий матеріал, а ніздрюватий бетел-м – радіопоглинаючий матеріал. Перспективним для захисту від ЕПВ представляється суміщення ніздрюватої та щільної структури в одній конструкції.

#### **Список використаної літератури**

1. В. И. Комлев [и др.] // Рабочая одежда. – 2003. – №1. – С. 4-8. Современное состояние проблемы индивидуальной защиты человека от электромагнитных излучений радиочастотного диапазона / Р. Х. Фатхутдинов, Р. А. Тарасова,
2. Радиочастоты и микроволны. Совместное издание Программы ООН по окружающей среде Всемирной организации здравоохранения и Международной ассоциации по радиационной защите. – М.: Медицина, 1984. – 145 с.
3. Сердюк, В.Р. Технологічні особливості формування металонасичених бетонів для виготовлення радіозахисних екранів / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев, О.В. Христич // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2007. – № 4. – С. 58-65.
4. Лемешев М.С. Теоретические предпосылки создания радиопоглощающего бетона бетела-м / М. С. Лемешев // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – Макіївка: ДДАБА. – 2005. – №1. – С. 60-64.
5. Лемешев М.С. Покриття із бетелу-м для боротьби з зарядами статичної електрики / М.С. Лемешев, О.В. Христич // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: Науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2009. – С. 29-31
6. Сердюк В.Р. Радіозахисні покриття варіатропної структури із бетелу-м / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2008. – № 5. – С. 37-40.
7. Сердюк В. Р. Радіопоглинаючі покриття з бетелу-м / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев // Збірник наукових статей “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”. Рівне, 2005. – Випуск № 12. – С. 62-68.
8. Сердюк В.Р. Технологические приемы повышения радиопоглощающих свойств изделий из бетэла-м / В.Р.Сердюк М.С. Лемешев // Строительные материалы и изделия. – 2005. – №5. – С. 2 – 6.
9. Лемешев М.С. Формування структури електропровідного бетону під впливом електричного струму / М.С. Лемешев // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: Науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця. – 2006. – С. 36-41
10. Лемешев М.С. Активний метод захисту підземних металевих споруд від електричної корозії / М.С. Лемешев // Матеріали доповідей II Республіканської науково-технічної

конференції “ Індівідуальний житловий будинок”. – Вінниця: Континент, 1998. – С.121 - 124.

11. Сердюк, В. Р. Формування структури анодних заземлювачів з бетелу-м для систем катодного захисту / В. Р. Сердюк, М. С. Лемешев, О.В. Христич // Науково-технічний збірник. Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, 2010, Випуск 35. – С. 99-104.
12. Лемешев, М. С. Розробка радіозахисних будівельних матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання / М. С. Лемешев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: Збірник наукових праць за матеріалами V Всеукраїнської наук.-техн. конф. 1-3 березня 2005 року.- Вінниця:УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – С.244-250.
13. Лемешев М. С. Металлонасыщенные бетоны для защиты от электромагнитного излучения / М. С. Лемешев // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури – Одеса: Зовнішрекламсервіс. – 2013. - №33. – С. 253-256.