

З метою перевірки стійкості програми кількість граничних елементів була подвоєна. Результати комп'ютерного експерименту показали розбіжність в величинах напружень в порівнянні з попередньою дискретизацією в межах 4—5 %.

Висновки

1. Здійснено застосування МГЕ до визначення напружено-деформованого стану системи «паля— основа» в лінійній постановці задачі.
2. Проведено алгоритмізацію узагальнювальних співвідношень та здійснено комп'ютерну реалізацію поставленої задачі, виконано числовий експеримент.
3. Результати числового експерименту добре узгоджуються з експериментальними даними, що підтверджує можливість прогнозування опору паль за розробленою програмою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. П. Бенерджи, Р. Баттерфилд. Методы граничных элементов в прикладных науках. М: Мир, 1984, 494 с.
2. А. І. Моргун. Экспериментальное исследование совместной работы бипирамидальных свай с их основанием. Автореф. Дис... канд. техн. наук., — Одесса, ОИСИ, 1976. — 20 с.
3. А. С. Моргун. Застосування методу граничних елементів у розрахунках паль в пластичному середовищі ґрунту. — Вінниця: Універсум-Вінниця, 2001. — 70 с.

Рекомендована кафедрою промислового та цивільного будівництва

Надійшла до редакції 8.01.02
Рекомендована до опублікування 23.04.02

Моргун Алла Серафимівна — доцент кафедри промислового та цивільного будівництва,
Вінницький державний технічний університет

УДК 666.9.015:762

В. Р. Сердюк, д. т. н., проф., О. В. Христич, к. т. н.

СИНГУЛЯРНІ ЕФЕКТИ В РАДІАЦІЙНО-ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЯХ БЕТЕЛУ-М

Забезпечення радіаційної безпеки персоналу, населення і навколишнього середовища, є однією з найважливіших проблем, від вирішення якої залежать масштаби практичного використання ядерної енергії в народному господарстві. В загальному комплексі технічних рішень захисту від іонізуючих випромінювань важлива роль відводиться спеціальним матеріалам і конструкціям, здатним послаблювати радіацію.

Світовий досвід будівництва об'єктів ядерної енергетики, сховищ для зберігання радіоактивної сировини та захоронення відходів, будівництва споруд цивільної оборони показує, що найпоширенішого використання серед спеціальних матеріалів для захисту від радіоактивних випромінювань набули бетони. Завдяки можливості використання у складі цих композиційних матеріалів різноманітних наповнювачів, бетони поєднують і оптимізують в собі широкий спектр механічних, фізичних і спеціальних властивостей. На сьогоднішній день для захисних конструкцій ядерних установок розроблена велика кількість видів і складів бетонів [1].

Найефективнішими, з точки зору радіаційного захисту, матеріалами для виготовлення екранувальних конструкцій від нейтронного і фотонного випромінювань є багат шарові металоводні конструкції. Їх виготовляють шляхом розташування у конструкціях наповнених водою пластин сталі або свинцю. Оптимальною концентрацією металу з таких спсте-

мах є вміст 65 — 80 мас %. Недоліком таких спеціальних варіотропних конструкцій є їхня висока вартість

Будівельні бетони, як конструкційного призначення так і спеціальні, можна віднести до одного із різновидів композиційних матеріалів. Для таких штучних будівельних матеріалів однією з характерних особливостей є набування ними якісно нових властивостей у порівнянні з відповідними характеристиками для кожного окремо взятого складового компоненту — так звані сенергетичні ефекти. Експлуатаційні характеристики отриманих нових будівельних матеріалів будуть регламентуватись, як кількісними та якісними властивостями складових компонентів, так і варіюванням їхніх рецептурно-технологічних параметрів.

Наповнення матриці-в'язучого — портландцементу дрібнодисперсним металевим наповнювачем і кварцовим піском, забезпечило отримання нового різновиду спеціальних бетонів — бетон електротехнічний металонасичений (бетел-м). Завдяки хорошій адгезії мінерального в'язучого і частинок металевого порошку, наявності в складі композиційного матеріалу підвищеної кількості залізовміщувальних гідросилікатів та інших новоутворень цементного каменю з підвищеним вмістом хімічно зв'язаної води, бетел-м може бути представлений як новий композиційний матеріал з широким діапазоном теплофізичних, фізико-механічних, струмопровідних і радіаційно-захисних властивостей.

У фізичному розумінні бетел-м являє собою синтезовану гетерогенну систему, властивості кожного елемента якої різняться між собою. Так, наприклад, один є діелектричною зв'язкою, а інший — електропровідною складовою матеріалу. Завдяки рівномірному розподілу дрібнодисперсного металевого наповнювача в структурі композиту отриманий матеріал з великими поверхнями розподілу фаз є на мікроскопічному рівні аналогією багатшарових металоводних екранів. Взаємопов'язування в структурі дрібнозернистого металонасиченого бетону штучно синтезованих новоутворень (продукти гідратації мінерального в'язучого і окисленого металевого наповнювача), які містять підвищений вміст водню у вигляді хімічно-зв'язаної води і важких елементів (металу), забезпечуватимуть набування бетелом-м проміжних радіаційно-захисних властивостей поміж металевими і звичайними бетонними екранами [2—3].

Для дослідження впливу рецептурно-технологічних параметрів виготовлення зразків бетелу-м на їхні радіаційно-захисні властивості, використовували плитки-моделі екранів товщиною від 10 до 70 мм різного компонентного складу. Значення кількісних характеристик процесів послаблення іонізуючих випромінювань визначались в лабораторії радіаційної гігієни Українського наукового гігієнічного центру (м. Київ). Екранувальні властивості зразків (лінійний і масовий коефіцієнти послаблення, товщина шару половинного послаблення випромінювань та коефіцієнт масового захисту) звичайного і металонасиченого дрібно-зернистих бетонів досліджувались в умовах геометрії вузького пучка (детектор, розташований за екраном, реєструє лише нерозсіяне випромінювання, спрямоване коліматором). Як джерела іонізуючих випромінювань, використовувались природні радіонукліди (таблиця). Вимірювання інтенсивності потоку проникної радіації визначались за кількістю імпульсів в пікові повного поглинання.

Характеристика природних джерел іонізуючих випромінювань

і	Радіонуклід	A_{pi}^{241}	$E_{и}^{152}$	$E_{и}^{\wedge 2}$	$Ш^{22}$	$C_{з}^{137}$	$E_{и}^{152}$	$E_{и}^{152}$	$E_{и}^{152}$	Co^{60}	$№^{22}$	Со60
!	ЕУ, кеВ	60	121	344	511	661	778,9	964	1112	1170	1270	1320

Як обладнання використовувались: детектор з надчистого германію модифікації 7229 p; аналізатор імпульсів СапБегга — 35РИІЗ (виробництва СІНА) свідоцтво перевірки \.Б 301572 і гамма — спектрометр з багатоканальним аналізатором «УАККО» ЗПЛЗМА Х° 265 із напівпровідниковим детектором РКOC 3020 № Р140 (свідоцтво № 05/98 від 20.03.98).

В результаті проведених досліджень встановлено загальну закономірність зміни радіаційно-захисних властивостей зразків в залежності від їх компонентного складу і фізичних характеристик, яка підпорядковується класичному закону Бугера-Ламберта. Так, в цілому л-тя усіх енергій гамма-випромінювань зміна вмісту металевого наповнювача від б до = :-,*< 3ПІ, 2003, № 1

80 мас %, призводить до зменшення товщини екрану у 1,1...2,2 рази. Використання механічних впливів (вібропресування) під час формування зразків забезпечує підвищення середньої густини композиційного матеріалу на 18...36 %, що відповідно і відображається на його екрануючих характеристиках. Для металонасичених зразків простежується зменшення товщини захисту в середньому у 2,6 раз зі збільшенням середньої густини зразків від 1800 до 2760 кг/м³. При цьому також слід відмітити, що у вказаних рецептурно-технологічних параметрах змінюється питомий опір зразків бетелу-м в межах від 10⁴ до 10¹¹ Омхм.

Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують обґрунтовану гіпотезу стосовно набуття звичайними дрібнозернистими бетонами підвищених радіаційно-захисних властивостей зі зміною їхніх рецептурно-технологічних параметрів і набуття ними струмопровідності за умови сталої середньої густини зразків. Так як фізична природа та механізми взаємодії з елементами речовини захисного екрану гама- і рентгівського випромінювань однакові, то у визначених енергетичних спектрах таких побічно-іонізуючих випромінювань отриманий електротехнічний бетон може бути впроваджений як альтернатива традиційним дорогим спеціальним матеріалам під час будівництва рентген-кабінетів.

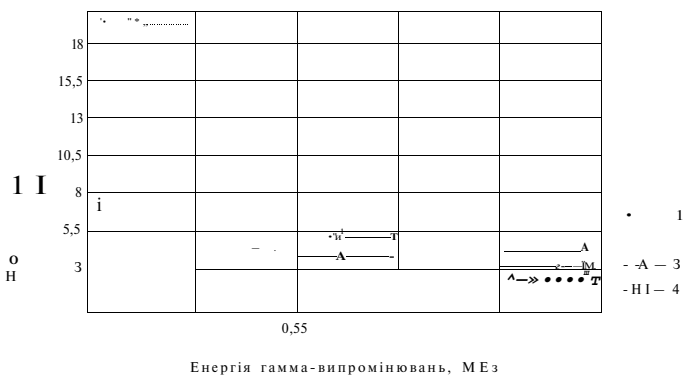


Рис. 1. Вплив енергії гамма-випромінювань на товщину зразків-моделей захисту: 1 — контрольні цементно-піщані; 2 — з віброущільненого бетелу-м (вміст металевого наповнювача 36-42 мас %); 3 — з пресованого бетелу-м (теж 56-64 мас %); 4 — з вібропресованого бетелу-м (теж 68-76 мас %)



Рис. 2. Узагальнений хвилеподібний характер залежності міцності дисперснонаповнених композиційних матеріалів від концентрації наповнювача

концентрації частинок заповнювачів в їхньому складі також носить дещо аномальний характер і представлена у вигляді хвилеподібного графіка з чітко вираженими максимумами і мінімумами (рис. 2) [4, 5].

Такі хвилеподібні зміни механічних властивостей композиційних матеріалів мають адитивний характер, не підпорядковуються жодному з математичних законів і називаються ефектами сингулярності [4, 5].

Графік, зображений на рис. 2, доцільно розглянути топологічно-диференційовано з урахуванням інтервалів наповнення матриці-в'язучого. З однієї

сторони окремі частинки наповнювача в складі композиційного матеріалу з певними надмірними концентраціями призводять до зменшення міцності. З іншої сторони — взаємодія дрібнодисперсних частинок між собою призводить до виникнення кластерів, в яких складові елементи взаємодіють між собою через плівкові прошарки матриці-в'язучого, що і забезпечує набуття композитом тих чи інших механічних характеристик.

Тобто при дефіциті зв'язуючого матричного матеріалу створюються групи частинок, які не змочені в'язуючим і взаємодіють між собою виключно за рахунок безпосереднього контакту по ювенільним ділянцям їхніх поверхонь. Такі «сухі» агреговані новоутворення частинок капсулюються в матриці і по суті є псевдопорами, які зменшують міц-

ність. Вірогідність створення агрегатів, або аналогічних новоутворень залежить від частоти взаємодії частинок наповнювача шляхом прямого контакту.

Показані на рис. 1 узагальнені результати досліджень радіаційно-захисних властивостей дрібнозернистих бетонів різного компонентного складу в діапазоні енергій гамма-випромінювань від 60 до 1270 кеВ також носять сингулярний характер. Такі хвилеподібні ефекти зміни товщини шару половинного послаблення енергії гамма-квантів в товщині матеріалу зразка можна пояснити перш за все особливостями формування мікро і макроструктури цементного каменю з його насиченням дисперсним окисленим металевим порошком.

Крім того необхідно також враховувати якісні процеси взаємодії іонізуючих випромінювань різних енергій у-квантів з елементами речовини екрану. Так під час взаємодії фотонного випромінювання з енергією до 500 кеВ в товщині матеріалу для елементів з великими 2 основним процесом є фотоелектричне поглинання (передача енергії електронам). Для елементів речовини з великими і середніми порядковими номерами некогерентне (комптонівське) розсіювання виразно проявляється в діапазоні енергій від 0,5 до 10 МеВ. Ймовірність розсіювання зі збільшенням $E\gamma$ зростає пропорційно щільності речовини. Утворення електронно-позитронних пар розпочинається з енергією гамма-випромінювання $E\gamma > 1,022$ МеВ. Тобто коли $E\gamma$ рівна або більша за суму енергії взаємопов'язаної з масою спокою електрона і позитрона. Даний процес має місце під час взаємодії у-квантів з електричним полем ядра атома. Ймовірність таких взаємодій зростає зі збільшенням $E\gamma$ пропорційно 2^2 поглинального матеріалу [6].

За рахунок таких взаємодій радіаційно-захисні властивості матеріалу, лінійний коефіцієнт послаблення дорівнює сумі лінійних коефіцієнтів, що характеризують кожний процес окремо (1).

$$\mu = \tau + a + \chi \quad (1)$$

де μ — лінійний коефіцієнт фотоелектричного поглинання; a — лінійний коефіцієнт, що характеризує комптон-ефект; χ — лінійний коефіцієнт поглинання в процесі утворення пар.

Таким чином, ймовірність впливу того чи іншого процесу взаємодії на величину повного лінійного коефіцієнта послаблення іонізуючого випромінювання залежить від значення енергії у-випромінювання і виду поглинаючого елемента. Внаслідок збільшення енергії і зменшення довжини хвилі, проникна здатність фотонного випромінювання збільшується.

В практиці радіаційного захисту часто використовуються композиційні матеріали, до складу яких входять різноманітні елементи, тому для речовин різного хімічного складу значення масового коефіцієнта може розраховуватись за формулою 2.

де P — кількість елемента в відносних одиницях маси матеріалу.

Для композиційних матеріалів, до складу яких входять елементи з малими і середніми атомними номерами, для певних енергій гамма-квантів проявляються різні механізми взаємодії випромінювань з елементами речовини поглинального матеріалу. Згідно довідникових даних для елементів з атомними номерами від 4 до 20 в діапазоні енергій гамма-випромінювань до 80 кеВ переважним процесом взаємодії є фотоелектричне поглинання, з 80 до 600 кеВ — комптонівське (некогерентне) розсіювання і від 550 та вище — утворення електронно-позитронних пар [6].

Поясненням виявлених сингулярних ефектів в результатах експериментальних досліджень є перш за все різні механізми процесів взаємодії гамма-квантів з композиційним матеріалом захисного екрану в залежності від енергії випромінювань і вмісту дрібнодисперсного металевго наповнювача. Якісні характеристики процесів взаємодії будуть проявлятися кожний по своєму, а кількісною мірою таких процесів є ефективний порядковий номер ($2^e\phi$) полікомпонентного композиційного матеріалу. Для зразків бетелу-м отримані розрахункові середні значення $2^e\phi$ в залежності від рецептурних параметрів виготовлення чіделей захисту знаходяться в межах від 14,5 до 18,8.

По-друге, втрати енергії гамма-випромінювань при взаємодії з бетелом-м пояснюються "х:оз:ю квантово-дуалістичною природою. Тобто, якщо розглядати випромінювання як д:т:к лсевдочастинок, то поглинання їхньої енергії в товщині металонасиченого бето-

пояснюється багаторазовими відбиваннями, розсіюванням і поглинанням квантів металом - штучне подовження траєкторії проникнення. З іншої сторони, якщо розглядати електромагнітне випромінювання як хвилі, то поглинання (згасання) їх в об'ємній струмопровідній матриці бетелу-м відбуватиметься збудженням електромагнітним полем протидії за рахунок омичних витрат.

Наявність в складі нового композиційного матеріалу дрібнодисперсного металевго наповнювача, створення в його структурі залізовміщувальних гідросилікатів і об'ємної струмопровідної матриці, а також варіювання енергетичних спектрів гамма-випромінювань в певній мірі накладаються на ефекти сингулярності, виявлені в результатах експериментальних досліджень радіаційно-екрануючих властивостей зразків бетелу-м. Виявлення таких ефектів в подальшому дозволить покращити ефективність радіаційного захисту та скоротити кошторисні витрати на його будівництво.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дубровский В. Б., Аблевич З. Строительные материалы и конструкции защиты от ионизирующего излучения. Совместное издание СССР — ПНР / Под. ред. В. Б. Дубровского. — М.: Стройиздат, 1983. — 240 с.
2. Сердюк В. Р., Лемешев М. С., Христюк О. В. Фізико-хімічні особливості формування стуктурн електропровідних бетонів // Вісник ВПІ. — 1997. — № 2. — С. 5—9.
3. Христюк О. В., Лемешев М. С. Формування мікроструктури бетонів для захисту ви іоніз> ального випромінювання // Вісник ВПІ. — 1998. — № 2. — С. 18—23.
4. Соломатов В. И., Бобрышев А. Н. Структурообразование и технология полимерных композиционных материалов // Полимерные композиционные материалы в строительстве. — Мл Стройиздат, 1988. — С. 5—16.
5. Ленг Ф. Ф. Разрушение композитов с дисперсными частицами в хрупкой матрице. Компл: зилли:::ные материалы. Разрушение и усталость. — Т. 5. — Мл Мир, 1978. — С. 11—57.
6. Гусев Н. Г., Машкович В. П., Суворов А. П. Защита от ионизирующих излучений. Т 1 Физ. гче:::ие **основи** защиты от излучений / Под общей редакцией Н. Г. Гусева. — Мл Атомиздат, 1980. — 461 с.

Рекомендована кафедрою менеджменту організацій

Наг. -: г_ел_в<_ " 29.08.02
Рекомендована ллл г~ Л~ -ув-в—я 19,12.02

Сердюк Василь Романович, — завідувач кафедри, *Христюк Олександр Володимирович* — старший викладач.

Кафедра менеджменту організацій, Вінницький державний технічний універс^Тe~