

УДК 666.94

Л.Я. Парашук

Академія сухопутних військ, Львів

## ЦЕМЕНТ ДЛЯ ПРОТИРАДІАЦІЙНИХ УКРИТТІВ

У роботі досліджено вплив хімічного складу цементу на захисні характеристики бетону, з якого виготовлено екрануючий матеріал. Показано можливість використання в складі бетону цемент, який в процесі тверднення утворює більшу кількість гідратних сполук.

**Ключові слова:** цемент, гідратні новоутворення, радіаційне забруднення, захисні характеристики

**Постановка проблеми.** Метою державної політики у сфері природної та техногенної безпеки, захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру є забезпечення гарантованого захисту життя і здоров'я людей, земельного, водного і повітряного простору, об'єктів виробничого і соціального призначення у допустимих межах показників ризику, критерії яких встановлюються для конкретного періоду розвитку з урахуванням вітчизняного та світового досвіду у цій галузі. У цьому аспекті набувають своєї практичної ваги питання прогнозування та запобігання надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Світовий досвід, а також досвід нашої держави показує, що ризики військового та мирного часу значною мірою схожі між собою, а методи захисту населення і зовнішнього середовища практично ідентичні. На надзвичайні ситуації техногенного характеру, на їх виникнення та локалізацію найбільше впливає людський чинник. Людина постає в двох іпостасях: як чинник виникнення надзвичайної ситуації, так і її запобігачем. У зв'язку з цим великого значення набуває підготовка фахівців у сфері радіаційного, хімічного та біологічного захисту, а також розробка матеріалів, які дають змогу покращити захисні характеристики споруд, що й стало метою наших досліджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед способів і засобів захисту населення від чинників різного характеру ураження є укриття населення у захисних спорудах. Захисні споруди - це інженерні споруди, які спеціально призначені для захисту населення від небезпечних наслідків аварій і катастроф техногенного та природного характеру, а також зброї масового ураження [1].

Згідно з [2] захисні споруди класифікуються за такими ознаками:

- а) за захисними властивостями:
  - сховище;
  - протирадіаційне укриття (ПРУ);
  - прості укриття;
- б) за призначенням:

- для захисту населення;
- для розміщення органів управління;
- в) за місцем розташування:
  - вбудовані (в підвальному або напівпідвальному приміщенні);
  - окремо розташовані;
- г) за термінами будівництва:
  - завчасно збудовані (до надзвичайної ситуації);
  - швидко споруджені (під час надзвичайної ситуації).

У свою чергу сховища класифікують за захисними властивостями, за місткістю, за місцем розташування, за забезпеченням фільтровентиляційним обладнанням, за часом спорудження.

Ступінь захисту сховищ встановлюється за їх призначенням, місцем розташування, характером виробничої діяльності людей, що укриваються, та інших даних. Він визначається Державними будівельними нормами ДБН В2.2.5-97.

За місткістю (чисельністю людей, що укриваються) сховища поділяються на: малі - до 600 чол., середні - від 600 до 2000 чол., великі - більше 2000 чол. Місткість сховищ визначається сумою місць для сидіння (на першому ярусі) та лежання (на другому і третьому ярусах).

Наступним видом захисних споруд є *протирадіаційні укриття* (ПРУ). Вони забезпечують захист людей від зовнішнього  $\gamma$ - і нейтронного випромінювання і безпосереднього потрапляння радіоактивного пилу в органи дихання, шкіру та одяг. При розташуванні в зоні можливих слабких руйнувань ПРУ захищає і від ударної хвилі з  $\Delta P_{\phi} = 20$  кПа, уламків зруйнованих будівель і безпосереднього потрапляння на шкіру та одяг людей краплин отруйних речовин та аерозолів бактеріальних засобів [3].

За ступенем захисту від радіоактивного випромінювання (ступеню послаблення радіоактивного випромінювання) протирадіаційні укриття поділяють на групи та оцінюються коефіцієнтом послаблення радіації  $K_{\text{посл}}$ , який показує у скільки разів рівень радіації на відкритій

місцевості на висоті 1 м більше від рівня радіації в укритті. Коефіцієнт захисту ПРУ залежить від типу укриття, місця розташування, категорії розміщених в них людей. Укриття обладнують з розрахунком на найменший необхідний коефіцієнт послаблення. Вони обладнуються насамперед у підвальних поверхах будинків і споруд: саме  $K_{\text{посл}}$  має максимальне для всієї споруди значення. Так, підвали 2 і 3-х поверхових кам'яних будівель послаблюють радіацію в 200-300 разів, середня частина підвалу кам'яної будівлі в кілька поверхів – у 500 – 1000 разів, підвали в дерев'яних будинках – в 7-12 разів [4].

Природні радіоактивні речовини та штучно синтезовані ізотопи впливають на живі організми потоками  $\alpha$ -,  $\beta$ - та  $\gamma$ -випромінювання. Перші два характеризуються низькою проникаючою здатністю, а третє ( $\epsilon$  потоком фотонів та нейтронів), рухаючись зі швидкістю світла, володіє великою проникаючою здатністю. Найбільший ефект поглинання енергії нейтронів відбувається під час ударяння їх з частинками, близькими за масою. Механізм полягає в тому, що при зіткненні енергія нейтрона розподіляється приблизно порівну між обома частинками, і чим більше таких зіткнень, тим більша втрата швидкості, а відповідно, більшою є захисна здатність матеріалу. Тому найефективнішим є сповільнення нейтронів в речовинах, що містять воду [5].

У зв'язку з цим **метою** даної роботи є дослідження новітніх будівельних матеріалів, а саме цементів, які в процесі тверднення утворюють велику кількість гідратних сполук для використання в будівництві протирадіаційних укріплень.

**Основна частина.** Головним будівельним матеріалом, який використовують під час зведення ПРУ для захисту від нейтронного та  $\gamma$ -випромінювання є особливо важкий та гідратний бетон. У цьому випадку цемент відіграє роль генератора гідратних сполук, що поглинає нейтрони, а заповнювачі поглинають  $\gamma$ -випромінювання.

Як заповнювачі використовують барит, залізні руди, металобрухт.

Барит – барію сульфат ( $\text{BaSO}_4$ ) – дуже поширений в природі мінерал білого кольору. Його густина  $\approx 4500 \text{ кг/м}^3$ , границя міцності при стиску – близько 50 МПа. Густина бетону на баритовому заповнювачі становить  $3800 \text{ кг/м}^3$ .

Магнетит (магнітний залізняк) – слабоокислена залізна руда ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) густиною  $4500... 5000 \text{ кг/м}^3$  та границею міцності при стиску до 200 МПа. Густина бетону на піску й щебені із магнетиту складає  $4000 \text{ кг/м}^3$ .

Гематитові руди містять червоний залізняк ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), густина гематиту – до  $4300 \text{ кг/м}^3$ , а бетону на його основі – до  $3500 \text{ кг/м}^3$ .

Лимоніт (бурий залізняк) можна представити як ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), тобто може використовуватись як засіб захисту від  $\gamma$ -променів, так й від нейтронів. Густина лимоніту –  $3500 \text{ кг/м}^3$ , лимонітового бетону –  $2600... 2800 \text{ кг/м}^3$ , тобто лимонітовий бетон трохи важчий від звичайного, однак зв'язаної води в ньому може міститись вдвічі більше.

Для отримання особливо важких бетонів густиною  $5000...7000 \text{ кг/м}^3$  застосовують чавун ( $\rho=7500 \text{ кг/м}^3$ ) у вигляді дробу, крихти і скрапу (крупного брухту), а також сталь ( $\rho=7800 \text{ кг/м}^3$ ) у вигляді відрізків, відходів від штампованих виробів, дробленої стружки [6].

Крупність заповнювачів для захисних бетонів визначається масивністю конструкції, що бетонується, і приймається максимально можливою. Зерновий склад заповнювачів підбирають з таким розрахунком, щоб якомога більше наситити бетон важким заповнювачем; чим важчим є отриманий бетон, тим меншою може бути товщина споруди.

Хіміко-мінералогічний склад цементу для захисного бетону повинен бути таким, щоб при твердненні формувались гідратні новоутворення з найбільш можливим вмістом хімічно зв'язаної води. Відомий досвід використання глиноземистих, сульфатшлакових та розширних цементів, а також магнезійного зв'язного, що називають цементом Сореля [7].

Оскільки вищезазвані заповнювачі не мають родовищ в нашому регіоні, а також є дорогими, то дослідження проводили на цементах ПЦ ІІ/А-Ш М400 та розширеного РЦВ-5 (ТУ У 26.5-02071010-141-2010).

Особливості процесів гідратації в'язучого, досліджували з допомогою фізико-хімічних методів аналізу, зокрема рентгенофазового. Як видно з рис. 1, під час тверднення цементу (а) на дифрактограмах фіксуються лінії продуктів гідратації: портландиту ( $d/n=0,263; 0,493 \text{ нм}$ ) та еtringіту ( $d/n= 0,561; 0,973 \text{ нм}$ ), а також кальциту ( $d/n= 0,302 \text{ нм}$ ), інтенсивність яких до 90 доби тверднення поступово зростає. Разом з тим, дифракційні максимуми негідратованого цементу ( $d/n= 0,218; 0,260; 0,277 \text{ нм}$ ) в процесі гідратації закономірно зменшуються.

Використання РЦВ-5 характеризується помітним збільшенням рефлексів кальцію гідроксиду, еtringіту та появою в пізніші терміни тверднення (на 28 добу) гідроалюмінату типу  $\text{C}_4\text{AH}_{13}$  ( $d/n= 1,073 \text{ нм}$ ). Присутність надлишкової кількості  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  сприяє формуванню видовжених призматичних кристалів первинного еtringіту та кальциту, які утворюють міцнісний каркас і забезпечують інтенсивний набір фізико-механічних характеристик, а також підвищує кількість хімічно зв'язаної води.

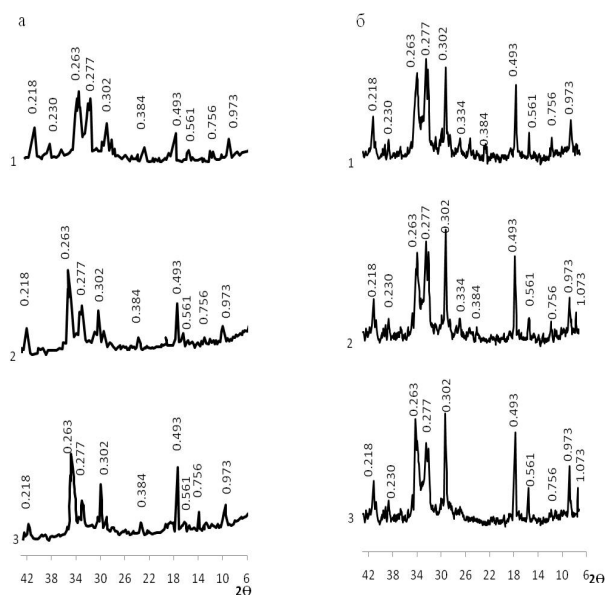


Рис. 1. Дифрактограми цементного каменю на основі ПЦ II/A-III (а) та розширеного РЦВ-5 (б), що тверднули: 1 - 7 діб; 2 - 28 діб; 3 - 90 діб

Кількісний склад продуктів гідратації досліджуваних цементів встановлений з допомогою ДТА (рис. 2).

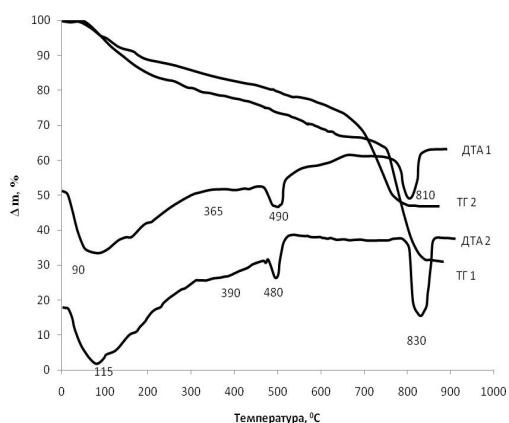


Рис. 2. Дериватограми цементного каменю, що тверднув 7 діб в нормальних умовах: 1 - розширеного РЦВ-5; 2 - ПЦ II/A-III

Зменшення маси в області температур 20-140 °С (табл. 1) можна пов'язати з виділенням залишкової фізичної вологи та частково хімічно зв'язаної води. Гідратну воду у цьому інтервалі втрачають присутні в обох зразках низькоосновні гідросилікати типу CSH (II) та еtringіт. Втрата маси зразків в області температур 130-330 °С відповідає продовженню ступінчастої дегідратації гідросилікатів, еtringіту та початку розкладу гідроалюмінатів. Зменшення маси в області температур 310-450 °С пов'язується з остаточним розкладом гідросилікатів та продовженням розкладу гідроалюмінатів, присутніх в

шарі, наближеному до гранул CaO. Зразок 1 характеризується більшою втратою маси в даному температурному інтервалі, що пояснюється більшим вмістом в ньому високоосновних гідроалюмінатів. Зменшення маси зразків на температурному відрізку 440-550 °С відповідає розкладу портландиту. Подальша втрата маси в температурній області 550-1000 °С, пов'язана з остаточним розкладом гідроалюмінатів та кальциту.

Таблиця 1

Результати комплексного ДТА цементів, що тверднули 7 діб

Досліджуваний цемент	Температурний інтервал, °С	Втрата маси, Δm, %	Ендоефект, T <sub>макс</sub> , °С
Розширений РЦВ-5	20 - 130	2,25	115
	130 - 310	2,5	Не виражений
	310 - 450	1,125	Не виражений
	450 - 550	1	490
	550-1000	5,0	810
Загальні втрати	20 - 1000	11,875	
ПЦ II/A-III	20 - 140	2	90
	140 - 330	2	Не виражений
	330 - 440	0,75	Не виражений
	440 - 550	0,75	480
	550-1000	2,9	830
Загальні втрати	20 - 1000	7,4	

З метою визначення ефективності захисту необхідно провести експериментальні вимірювання зміни інтенсивності випромінювання (у бекерелях) після проходження через бетонні зразки, виготовлені на основі цементу ПЦ II/A-III та РЦВ-5. Для цього була використана установка, схема якої наведена на рис. 3.

За джерело радіоактивного випромінювання 1 використано радіоактивну речовину (<sup>137</sup>Cs), яку поміщали до свинцевого контейнера з невеликим отвором. Радіоактивне випромінювання спрямовували на бетонні зразки-куби однакової товщини 2. Інтенсивність випромінювання після проходження кубів вимірювали за допомогою газорозрядного лічильника Гейгера-Мюллера 3. Кількість зареєстрованих частинок радіоактивного випромінювання підраховував лічильник електричних імпульсів 5.

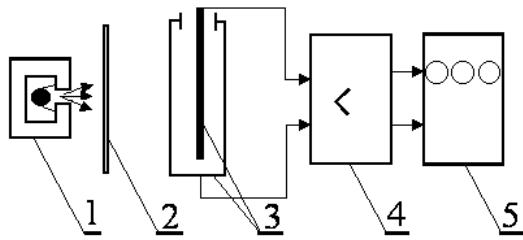


Рис. 3. Схема експериментальної установки для визначення лінійного коефіцієнта поглинання радіоактивного випромінювання:

- 1 – джерело радіоактивного випромінювання;  
 2 – поглинаючий бетон; 3 – лічильник Гейгера-Мюллера;  
 4 – джерело живлення лічильника Гейгера-Мюллера;  
 5 – лічильник електричних імпульсів

Користуючись законом послаблення вузького моноенергетичного пучка  $\gamma$ -квантів при проходженні через речовину обчислено лінійний коефіцієнт поглинання бетонними зразками різного складу та отримано середні результати з врахуванням похибки. Їх значення становлять 0,124 та 0,162 для взірців на основі ПЦ П/А-Ш та РЦВ-5 відповідно, що корелює з результатами вищенаведених фізико-хімічних досліджень.

### Висновки

З вищенаведених результатів видно, що хімічний склад в'язучого, яке входить до складу бетону має значний вплив на захисні характеристики екрануючого матеріалу. Зміна типу цементу зі звичайного ПЦ П/А-Ш на розширний РЦВ-5 за рахунок формування більшої кількості гідратних

сполук в процесі гідратації дає можливість збільшити лінійний коефіцієнт поглинання радіаційного потоку майже на 30%, таким чином зменшуючи товщину захисного шару.

### Список літератури

1. Машкович В.П. Основы радиационной безопасности: учеб. пособ. / В.П. Машкович, А.М. Панченко. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.
2. Константинов М.П., Журбенко О.А. Радиация и безопасность: навчальний посібник. – Суми: ВТД “Університетська книга”, 2003. – 151 с.
3. Кутлахмедов, Ю.О. Основы радиоэкологии: навч. посіб. – К.: Вища школа, 2003. – 319 с.
4. Радиация: Дозы, эффекты, риск / Пер. Ю.А. Банников. – М.: Мир, 1990. – 79 с.
5. Владимиров В.А. Радиационная и химическая безопасность населения / Монография // В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков; МЧС России. – М.: Деловой экспресс, 2005. – 544 с.
6. Специальные цементы / Кузнецова Т.В., Сычев М.М., Осокин А.П. и др. – С-П.: Стройиздат, 1997. – 315 с.
7. Шульце В. Растворы и бетоны на нецементных вяжущих / В. Шульце, В. Тишер, В.П. Эттель. – Москва, 1990. – 240с.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Х.С. Соболев кафедра автомобильных шляхів Національного університету «Львівська політехніка», Львів.

### Цемент для противорадиационных убежищ

Л.Я. Парашук

*В работе исследовано влияние химического состава цемента на защитные характеристики бетона, из которого изготовлен экранирующий материал. Показана возможность использования в составе бетона цемента, который в процессе твердения образует большее количество гидратационных соединений.*

**Ключевые слова:** цемент, гидратационные соединения, радиационное загрязнение, защитные характеристики.

### Antiradiation shelter cement

L. Parashchuk

In this case examines the influence of the chemical composition of cement on the protective properties of concrete, of which the screening material producing. Show the possibility of use in concrete cement that forms larger number of hydrated compounds.during hardening and structurization processes

**Key words:** cement, hydrated formations, radiation pollution, protective properties.