

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

Кафедра спеціальної хімії та хімічної технології

**Матеріали спеціального
призначення для захисту
від іонізуючого
випромінювання**

Конспект лекцій

Харків 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

Кафедра спеціальної хімії та хімічної технології

**Матеріали спеціального
призначення для захисту
від іонізуючого
випромінювання**

Конспект лекцій

Харків 2023

Рекомендовано до друку кафедрою
спеціальної хімії та хімічної технології
НУЦЗ України
(протокол від від 26.09.2022 № 4)

Укладачі: О. В. Христич, В. В. Дейнека, Г. М. Шабанова

Рецензенти: доктор технічних наук, доцент **А. М. Корогодська**, доцент кафедри загальної та неорганічної хімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»,
доктор технічних наук, доцент, **М. В. Кустов**, начальник відділу з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки Національний університет цивільного захисту України

Матеріали спеціального призначення для захисту від іонізуючого випромінювання: конспект лекцій. / Укладачі: О. В. Христич, В. В. Дейнека, Г. М. Шабанова – Х.: НУЦЗУ, 2023. – 75 с.

Конспект лекцій з дисципліни «Матеріали спеціального призначення для захисту від іонізуючого випромінювання» призначений для здобувачів вищої освіти денної та заочної форми навчання. Конспект лекцій складено відповідно до освітньо-професійної програми «Радіаційний та хімічний захист» підготовки магістрів за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». В курсі лекцій розглянуто питання щодо основних відомостей про матеріали та конструкції радіаційного захисту, процесів, що відбуваються в них під час експлуатації, пред'явлених вимог та умов їх застосування.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Лекція 1. Види іонізуючого випромінювання. Методи забезпечення радіаційного захисту людей.....	6
1.1 Види, властивості та одиниці вимірювання іонізуючого випромінювання.....	6
Лекція 2. Радіаційне небезпечні об'єкти та матеріали для забезпечення радіаційного захисту.....	13
2.1 Радіаційне небезпечні об'єкти.....	13
2.1.1 Класифікація радіаційне небезпечних об'єктів.....	13
2.1.2 Екологічні ризики ядерного паливного циклу.....	15
2.1.3 Негативні сторони ядерної енергетики.....	16
2.2 Матеріали для забезпечення радіаційного захисту.....	18
Лекція 3. Класифікація матеріалів для захисту від іонізуючого випромінювання.....	21
3.1 Класифікація матеріалів для захисту.....	21
3.1.1 Легкі матеріали.....	21
3.1.2 Важкі матеріали.....	23
3.2 Заходи по захисту від іонізуючого випромінювання.....	24
3.2.1 Захист від зовнішніх потоків випромінювання.....	24
3.2.2 Засоби індивідуального захисту.....	25
Лекція 4. Загальні вимоги до матеріалів конструкцій радіаційного захисту.....	27
4.1 Загальні вимоги до матеріалів конструкцій радіаційного захисту.....	27
4.1.1 Основні вимоги до матеріалів захисту.....	28
4.1.2 Показники захисних властивостей матеріалу.....	30
Лекція 5. Основні процеси, що відбуваються в матеріалах радіаційного захисту.....	32
5.1 Основні процеси, що відбуваються в матеріалах під дією іонізуючого випромінювання.....	32
5.1.1 Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною.....	32
5.2 Заповнювачі спеціальних бетонів.....	37
5.3 Основні властивості та вимоги щодо експлуатаційної надійності радіаційностійких матеріалів.....	38
Лекція 6. Захисні екрани – основний спосіб радіаційного захисту.....	42
6.1 Захисні екрани – основний спосіб радіаційного захисту.....	42
6.1.1 Екранування від проникаючої радіації.....	43
6.2 Захист від електромагнітних випромінювань.....	43
6.2.1 Характеристика матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання.....	46

6.2.2 Технічні вимоги, що висуваються до матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання.....	47
Лекція 7. Спеціальні бетони – основні матеріали конструкцій для захисту від іонізуючого випромінювання. Склад та властивості спеціальних бетонів.....	50
7.1 Спеціальні захисні бетони.....	50
Лекція 8. Класифікація спеціальних бетонів для захисту від іонізуючого випромінювання.....	57
8.1 Спеціальні захисні бетони.....	57
8.1.1 Класифікація спеціальних бетонів.....	58
8.2 По в'язучій речовині бетони класифікують.....	59
Лекція 9. Застосування матеріалів від іонізуючого випромінювання у захисних спорудах.....	61
9.1 Характеристики бетону.....	61
9.2 Класи та марки бетонів.....	62
9.3 Застосування різних типів бетону.....	63
Лекція 10. Умови застосування важких радіаційностійких бетонів у захисних спорудах.....	65
10.1 Матеріали для спеціальних бетонів.....	65
10.1.1 Заповнювачі для спеціальних бетонів.....	66
10.3 Засипний захист.....	69
Лекція 11. Порівняльна характеристика та умови застосування різних матеріалів радіаційного захисту.....	72
11.1 Заходи запобігання шкідливого впливу іонізуючих випромінювань.....	72
11.1.2 Класифікація захистів.....	73
11.1.3 Групи джерел потенційного опромінення.....	74
11.2 Матеріали для захисту від α -випромінювання.....	74
11.2.2 Матеріали для захисту від β -розпаду.....	75
11.2.3 Матеріали для захисту від γ -випромінювання.....	75
11.3 Застосування матеріалів радіаційного захисту в захисних спорудах.....	77
Контрольні запитання.....	80
Використана література.....	81

ВСТУП

Навчальний курс «Матеріали спеціального призначення для захисту від іонізуючого випромінювання» входить до циклу дисциплін професійної вибіркової підготовки за другим магістерським рівнем за спеціальністю «Хімічні технології та інженерія» освітньо-професійної програми «Радіаційний та хімічний захист», представляє собою відомості щодо основних матеріалів та конструкцій радіаційного захисту, процесів, що відбуваються в них під час експлуатації, пред'явлених вимог та умов їх застосування.

Мета цього видання – надати допомогу здобувачам вищої освіти у самостійному оволодінні теоретичними знаннями з курсу «Матеріали спеціального призначення для захисту від іонізуючого випромінювання», а також навчити майбутніх фахівців орієнтуватися в сформувати у здобувачів теоретичні знання, навички та практичні вміння для розгляду конкретних ситуацій і вирішення практичних завдань. Зміст лекцій містить інформацію щодо - базової термінології, що відноситься до основних понять спеціальних матеріалів для захисту від іонізуючого випромінювання; основних процесів, що відбуваються в матеріалах радіаційного захисту; класифікації бетонів для захисту від іонізуючого випромінювання; умов застосування звичайних важких, жаростійких, радіаційно-стійких бетонів у захисних спорудах; класифікації екранів радіаційного захисту; основні положення математичної теорії експерименту. Ці знання необхідні для кваліфікаційного рішення інженерних задач: розрахунку термодинамічних і кінетичних характеристик типових процесів що відбуваються в матеріалах радіаційного захисту; моделювання та розрахунок умов застосування звичайних важких, жаростійких, радіаційно-стійких бетонів у захисних спорудах; визначення можливих причин та умов виникнення аварійних ситуацій та аварій на промислових об'єктах, пов'язаних з техногенною небезпекою.

Рівень засвоєння матеріалу рекомендується перевіряти за допомогою запитань до самоконтролю.

Матеріал, викладений в конспекті лекцій, може бути також використаний при вивченні окремих тем курсу «Фізико-хімічні основи технологічних процесів захисту довкілля», який входить до циклу професійно вибіркової дисциплін за спеціальністю «Технології захисту навколишнього середовища».

ЛЕКЦІЯ 1. ВИДИ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. МЕТОДИ ЗАБЕСПЕЧЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ЛЮДЕЙ

План:

- 1.1 Види, властивості та одиниці вимірювання іонізуючого випромінювання.
- 1.2 Дія іонізуючого випромінювання на організм людини.
- 1.3 Методи забезпечення радіаційного захисту людей.

Науково-технічний прогрес немислимий без розвитку атомної науки та техніки. У різних галузях людської діяльності – промисловості, медицині, науці, сільському господарстві – використання радіоактивних ізотопів та ядерних випромінювань дедалі більше розширюється, що супроводжується зростанням кількості екологічно небезпечних радіоактивних відходів. У зв'язку з цим знешкодження та локалізація радіоактивних відходів є найбільшою технічною, економічною та соціальною проблемою.

Впровадження нових технологій та нових матеріалів захисту, автоматизація процесів на всіх стадіях поводження з радіоактивними відходами, посилення вимог до них безпеки та посилення радіаційного контролю – все це підвищує вимоги до спеціалістам, які працюють у галузі поводження з радіоактивними відходами.

1.1 Види, властивості та одиниці вимірювання іонізуючого випромінювання

Радіаційний захист — визначається Міжнародним агентством з атомної енергії (МАГАТЕ) як "Захист людей від шкідливих наслідків впливу іонізуючого випромінювання та засоби його досягнення".

Зараження може бути спричинене зовнішнім джерелом випромінювання, що знаходиться за межами людського тіла, або відбуватися внаслідок внутрішнього опромінення, спричиненого потраплянням в організм радіоактивного забруднення. Іонізуюче випромінювання широко використовується у промисловості та медицині та може становити значну загрозу здоров'ю, завдаючи мікроскопічних пошкоджень живій тканині. Існує дві основні категорії впливу іонізуючого випромінювання на здоров'я. У великих дозах воно може спричинити "тканинні" ефекти, які також називають "детермінованими" ефектами через певність, що вони відбудуться. Вимірюється в *греях* та призводить до променевої хвороби. При низькому рівні опромінення можливі статистично підвищені ризики радіоіндукованого раку. Ефекти від низьких доз називаються "стохастичними" через невизначеність їх виникнення. Зазвичай вимірюється у *зівертах*.

Фундаментальним для радіаційного захисту є уникнення або зменшення дози за допомогою простих захисних заходів часу, відстані та ек-

ранування. Тривалість впливу повинна бути обмежена до мінімальної, відстань від джерела випромінювання повинна бути максимальною, а джерело випромінювання — екранованим, коле це можливо. Для вимірювання особистого поглинання дози при професійному чи аварійному впливі, для зовнішнього випромінювання використовуються особисті *дозиметри*, а для внутрішньої дози через потрапляння радіоактивного забруднення застосовуються методи біопроб.

Іонізуюче випромінювання - це випромінювання, взаємодія якого з середовищем призводить до утворення електричних зарядів (іонів) різних знаків.

Джерелом іонізуючого випромінювання є природні та штучні радіоактивні речовини та елементи (уран, радій, цезій, стронцій та ін.). Джерела іонізуючого випромінювання широко використовуються в атомній енергетиці, медицині (для діагностики та лікування) та в різних галузях промисловості (для дефектоскопії металів, контролю якості зварних з'єднань, визначення рівня агресивних середовищ у замкнених об'ємах, боротьби з розрядами статичної електрики і т. ін.).

Іонізуюче випромінювання поділяється на електромагнітне (фотонне) та корпускулярне. До останнього належать випромінювання, що складаються із потоку частинок, маса спокою яких не дорівнює нулю (альфа- і бета-частинок, протонів, нейтронів та ін.).

До електромагнітного випромінювання належать гамма - та рентгенівські випромінювання.

Альфа-випромінювання - це потік позитивно заряджених частинок (ядер атомів гелію), що рухаються зі швидкістю 20 000 км/с.

Бета-випромінювання - це потік електронів та позитронів, швидкість яких наближається до швидкості світла.

Гамма-випромінювання - це короткохвильове електромагнітне випромінювання, яке за своїми властивостями подібне до рентгенівського, однак має значно більшу швидкість (приблизно дорівнює швидкості світла) та енергію.

Іонізуюче випромінювання характеризується **двома основними властивостями**: *здатністю проникати через середовище*, що опромінюється, та *іонізувати повітря і живі клітини організму*. Причому обидві ці властивості іонізуючого випромінювання зв'язані між собою обернено пропорційною залежністю. Найбільшу проникну здатність мають гамма - та рентгенівське випромінювання. Альфа- та бета-частинки, а також інші, що належать до корпускулярного іонізуючого випромінювання, швидко втрачають свою енергію на іонізацію, тому в них порівняно низька проникна здатність.

Дія іонізуючого випромінювання оцінюється **дозою випромінювання**. Розрізняють *поглинуту, еквівалентну та експозиційну дози*. Пог-

линута, еквівалентна та експозиційна дози за одиницю часу (1с) називаються потужностями відповідних доз.

Дія іонізуючого випромінювання на організм людини

При вивченні дії іонізуючого випромінювання на організм людини були виявлені наступні особливості.

1. У людини відсутні органи чуття, що реагують на іонізуюче випромінювання, тому його дія на організм людини відбувається непомітно.

2. Висока ефективність поглинутої енергії. Навіть невелика кількість поглинутої енергії іонізуючого випромінювання може спричинити суттєві біологічні зміни в організмі людини.

3. Наявність прихованого (інкубаційного) періоду виявлення дії іонізуючого випромінювання. Цей період, який ще часто називають періодом уявного благополуччя, тим менший, чим вища доза опромінення.

4. Дія малих доз іонізуючого випромінювання може накопичуватись (кумулятивний ефект).

5. Іонізуюче випромінювання діє не лише безпосередньо на людину, а й на її потомство (генетичний ефект).

6. Різні органи організму людини мають різну чутливість до іонізуючого випромінювання

7. Ступінь дії іонізуючого випромінювання залежить від індивідуальних особливостей організму людини.

8. Наслідки опромінення істотно залежать від його дози та частоти.

Одноразова дія іонізуючого випромінювання великої дози зумовлює більші зміни в організмі людини, ніж його фракціонована дія.

9. Залежно від еквівалентної дози опромінення та індивідуальних особливостей людини зміни в її організмі можуть набути незворотного характеру.

Дія іонізуючого випромінювання на організм людини може бути зовнішньою, внутрішньою (якщо радіоактивна речовина потрапила в організм людини при вдиханні чи з їжею) та комбінованою.

Ступінь радіаційного ураження залежить від виду випромінювання, тривалості та дози опромінення, фізико-хімічних властивостей радіоактивної речовини та індивідуальних особливостей організму людини.

Іонізуюче випромінювання, проникаючи в організм людини, передає свою енергію органам та тканинам шляхом збудження та іонізації атомів і молекул, що входять до складу клітин організму. Це веде до зміни хімічної структури різноманітних з'єднань, що призводить до порушення біологічних процесів, обміну речовин, функції кровотворних органів, змін у складі крові тощо.

Радіаційні ураження можуть бути загальними та місцевими (променеві опіки шкіри, слизових оболонок і т. ін.).

Тривала дія іонізуючого випромінювання в дозах, що перевищують гранично допустимі, може спричинити променеву хворобу, яка характеризується зазвичай такими ознаками: порушення сну, погіршення апетиту, сухість шкіри (перша стадія); розлади органів травлення, порушення обміну речовин, зміни серцево-судинної системи, руйнування кровеносних судин (друга стадія); крововиливи в судинах мозку та серцевому м'язі, випадіння волосся, катаракта, порушення діяльності статевих органів, генетичні порушення (третя стадія).

У табл. 1.1 наведено характерні біологічні та функціональні порушення в організмі людини залежно від сумарної поглинутої дози при одноразовому загальному опроміненні: Гр (Грей-1 кг/1дж)

Таблиця 1.1 Характерні порушення в організмі людини залежно від сумарної поглинутої дози при одноразовому загальному опроміненні

Сумарна поглинута доза, Гр	Порушення в організмі людини
До 0,25	Помітних порушень немає
0,25 - 0,50	Можливі зміни в крові
0,5 - 1,0	Зміни в крові, нормальний стан працездатності порушується
1,0 - 2,0	Погіршується самопочуття, можлива втрата працездатності
2,0 - 4,0	Втрата працездатності, можливий смертельний наслідок
4,0 - 5,0	Смертельні випадки становлять 50 % від загальної кількості уражених людей
6,0 і більше	Смертельні випадки становлять 100 % від загальної кількості уражених людей

Нормування іонізуючого випромінювання

Допустимі дози іонізуючого випромінювання регламентуються Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Згідно з цим нормативним документом визначені наступні категорії опромінюваних осіб:

- категорія А - особи, що постійно чи тимчасово працюють з джерелами іонізуючого випромінювання;

- категорія Б - обмежена частина населення (особи, що не працюють безпосередньо з джерелами випромінювання, але за умовами проживання або розташування робочих місць можуть підлягати опроміненню);

- категорія В - населення області, країни.

За ступенем чутливості до іонізуючого випромінювання встановлено три групи критичних органів (тканин) організму, опромінення яких спричинює найбільшу шкоду здоров'ю людини:

I - усе тіло, статеві органи, червоний кістковий мозок;

II - щитоподібна залоза, м'язи, жирова тканина, печінка, нирки, селезінка, шлунково-кишковий тракт, легені, кришталик ока;

III - кісткова тканина, шкіра, кисті, передпліччя, литки, стопи.

Методи забезпечення радіаційного захисту людей.

Види захисту від іонізуючого випромінювання *фізичний*: застосування різних екранів, матеріалів, що поглинають випромінювання тощо та *біологічний*: є комплексом репаруючих ензимів тощо.

Умови безпеки при використанні радіоактивних ізотопів у промисловості передбачають розробку комплексу захисних заходів та засобів не лише стосовно осіб, які безпосередньо працюють з радіоактивними речовинами, але й тих, хто знаходиться у суміжних приміщеннях, а також населення, що проживає поруч з небезпечним підприємством (об'єктом).

Засоби та заходи захисту від іонізуючого випромінювання поділяються на: *організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні*.

Організаційні заходи від іонізуючого випромінювання передбачають забезпечення виконання вимог норм радіаційної безпеки. Приміщення, які призначені для роботи з радіоактивними ізотопами повинні бути ізольовані від інших і мати спеціально оброблені стіни, стелі, підлоги. Відкриті джерела випромінювання і всі предмети, які опромінюються повинні знаходитись в обмеженій зоні, перебування в якій дозволяється персоналу у виняткових випадках, та й то короткочасно. На контейнери, устаткування, двері приміщень та інші об'єкти наноситься попереджувальний знак радіаційної небезпеки (на жовтому фоні - чорний схематичний трилисник).

На підприємствах складаються та затверджуються інструкції з охорони праці, у яких зазначено порядок та правила безпечного виконання робіт. Для проведення робіт необхідно, за можливістю, обирати якнайменшу достатню кількість ізотопів ("захист кількістю"). Застосування приладів більшої точності дає можливість використовувати ізотопи з меншою активністю ("захист якістю"). Необхідно також організувати дозиметричний контроль та своєчасне збирання і видалення радіоактивних відходів із приміщень у спеціальних контейнерах.

До **технічних заходів** та засобів захисту від іонізуючого випромінювання належать: застосування автоматизованого устаткування з дистанційним керуванням; використання витяжних шаф, камер, боксів, що оснащені спеціальними маніпуляторами, які копіюють рухи рук людини; встановлення захисних екранів.

Санітарно-гігієнічні заходи передбачають: забезпечення чистоти приміщень, включаючи щоденне вологе прибирання; улаштування припливно-витяжної вентиляції з щонайменше п'ятиразовим повітрообміном; дотримання норм особистої гігієни, застосування засобів індивідуального захисту.

До **лікувально-профілактичних заходів** належать: попередній та періодичні медогляди осіб, які працюють з радіоактивними речовинами;

встановлення раціональних режимів праці та відпочинку; використання радіопротекторів - хімічних речовин, що підвищують стійкість організму до іонізуючого опромінення.

Захист працівника від негативного впливу джерела зовнішнього іонізуючого випромінювання досягається шляхом:

- зниження потужності джерела випромінювання до мінімально необхідної величини ("захист кількістю");
- збільшення відстані між джерелом випромінювання та працівником ("захист відстанню");
- зменшення тривалості роботи в зоні випромінювання ("захист часом");
- встановлення між джерелом випромінювання та працівником захисного екрана ("захист екраном").

Захисні екрани мають різну конструкцію і можуть бути стаціонарними, пересувними, розбірними та настільними. Вибір матеріалу для екрана та його товщина залежать від виду іонізуючого випромінювання, його рівня та тривалості роботи.

Для захисту від альфа-випромінювання немає необхідності розраховувати товщину екрана, оскільки завдяки малій проникній здатності цього випромінювання шар повітря в кілька сантиметрів, гумові рукавички вже забезпечують достатній захист.

Екран для захисту від бета-випромінювання виготовляють із матеріалів з невеликою атомною масою (плексиглас, алюміній, скло) для запобігання утворенню гальмівного випромінювання. Досить ефективними є двошарові екрани: з боку джерела випромінювання розташовують матеріал з малою атомною масою товщиною, що дорівнює довжині пробігу бета-частинок, а за ним - з більшою атомною масою (для поглинання гальмівного випромінювання).

Для захисту від гамма-випромінювання, яке характеризується значною проникною здатністю, застосовуються екрани із матеріалів, що мають велику атомну масу (свинець, чавун, бетон, баритобетон). На практиці для визначення товщини захисного екрана часто використовують спеціальні таблиці, чи монограми.

Захист від внутрішнього опромінення досягається шляхом виключення безпосереднього контакту з радіоактивними речовинами у відкритому вигляді та запобігання потраплянню їх у повітря робочої зони.

При роботі з радіоактивними речовинами важливе значення має застосування засобів індивідуального захисту, які запобігають потраплянню радіоактивних забруднень на шкіру та всередину організму, а також захищають від альфа- та, по можливості, від бета-випромінювання.

До засобів індивідуального захисту від іонізуючого випромінювання належать: халати, костюми, пневмокостюми, шапочки, гумові рукавички,

тапочки, бахіли, засоби захисту органів дихання та ін. Застосування тих чи інших засобів індивідуального захисту залежить від виду і класу робіт.

Так, у разі виконання ремонтних і аварійних робіт застосовуються засоби індивідуального захисту короточасного використання - ізолювальні костюми (пневмокостюми) шлангові чи з автономним джерелом подавання повітря до органів дихання, захисні скафандри тощо. Як правило, такі костюми та скафандри мають про свинцьований захисний шар, що надійно захищає тіло людини від іонізуючого випромінювання, навіть при незначній товщині цього шару.

Однією з найважливіших умов життя та праці людини є безпека її життєдіяльності. Радіаційна безпека та протирадіаційні заходи - наука і практика збереження здоров'я людини в умовах роботи з різними джерелами іонізуючого випромінювання. Джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ) знайшли широке застосування в різних галузях промисловості, енергетиці, науці та медицині. За даними Державної санітарно-епідеміологічної служби в Україні налічується близько 10 тисяч підприємств, закладів та установ, де використовуються різноманітні джерела ІВ, у тому числі більше 30 тисяч радіонуклідних приладів. Робота з радіоактивними речовинами та джерелами іонізуючого випромінювання є потенційно небезпечною, тому що у випадку аварії вплив радіоактивних речовин та інших джерел іонізуючого випромінювання людина не може відчувати за допомогою своїх органів чуттів, а виявляє тільки за допомогою спеціальних приладів. Отже, підвищення надійності та безпечності при роботі з ДІВ пов'язане з регламентацією та якісним виконанням відповідних інструкцій та правил. Радіоактивне забруднення, яке може бути заподіяне радіаційною аварією, залишається на тривалий час, а дезактивація має обмежені можливості. Таким чином, важливим елементом стратегії сучасної радіаційної безпеки, який набув особливого значення після аварії на Чорнобильській АЕС, є встановлення перепон руху радіоактивних речовин по ланцюгу живлення - створення захисних методів та матеріалів для захисних споруд від іонізуючого випромінювання.

ЛЕКЦІЯ 2. РАДІАЦІЙНЕ НЕБЕЗПЕЧНІ ОБ'ЄКТИ ТА МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ

План:

2.1 Радіаційне небезпечні об'єкти.

2.1.1 Класифікація радіаційне небезпечних об'єктів

2.1.2 Екологічні ризики ядерного паливного циклу

2.1.3 Негативні сторони ядерної енергетики

2.1 Радіаційне небезпечні об'єкти

Радіаційно небезпечними об'єктами є АЕС, виробництва ядерного палива, переробки та поховання радіоактивних відходів та ін. Аварії на таких об'єктах супроводжуються викидом радіоактивних речовин (РР) в атмосферу, що викликають радіоактивне зараження (РЗ) повітря, місцевості, водоймищ, рослинності. Наслідком РЗ може бути опромінення людей у дозах, що перевищують норми радіаційної безпеки. Такі аварії називають радіаційними.

Радіоактивні речовини – це елементи періодичної системи Д.І. Менделєєва, у яких ядра атомів розпадаються самовільно при цьому сама речовина перетворюється в ізотоп, тобто в речовину з іншої атомною вагою, з обов'язковим випромінюванням трьох променів і β – частинки і γ – променів. Ці промені є іонізуючими променями, оскільки вони іонізують молекули речовини, яку вони пронизують. В організмі людини вони іонізують молекули води H_2O . Особливо небезпечна іонізація молекул води в клітині – внутрішньоклітинної рідини. При іонізації молекула води розщеплюється на два іони – H і OH . Одночасно у клітину постійно надходить кисень O_2 , який вступає в реакцію з H і OH . В результаті утворюється дві речовини: окис водню HO_2 і перекис водню H_2O_2 . Останній за рахунок великої окислювальної спроможності буквально «спалює» елементи клітини і вона гине. Якщо в організмі таких мертвих клітин опиниться багато (а це залежить від поглиненої дози радіації), людина отримує ураження у вигляді променевої хвороби різного ступеня тяжкості.

2.1.1 Класифікація радіаційне небезпечних об'єктів

Радіаційно небезпечний об'єкт (РНО) – об'єкт, при аваріях та руйнуваннях на якому можуть відбутися масові радіаційні ураження людей, тварин та рослин. До радіаційних небезпечних об'єктів відносяться:

- атомні електростанції;
- підприємства з видобування та переробки уранових руд;
- підприємства з виготовлення ядерного палива;
- підприємства з переробки відпрацьованого ядерного палива і захоронення радіоактивних відходів (у загальному вигляді всі вони можуть бути названі підприємствами ядерного паливного циклу - ПЯПЦ).

- науково-дослідні та проектні організації, які мають дослідні реактори, критичні збірки та стенди;
- ядерні енергетичні установки на морських та космічних судах і апаратах;
- стаціонарні військові об'єкти для зберігання ядерних боєприпасів і ракетні старту, а також транспорт, що перевозить радіоактивні матеріали;
- джерела іонізуючого випромінювання у багатьох сферах господарства і наукової діяльності.

До радіаційно-небезпечних об'єктів відносяться також підприємства, які використовують у невеликих кількостях радіоактивні речовини та вироби на їх основі, в тому числі прилади, апарати і установки, що не становлять ядерної небезпеки.

В Україні існує близько 10 тисяч підприємств, установ та організацій, що використовують у своїй діяльності радіаційно-небезпечні технології та джерела іонізуючих випромінювань. На сьогодні в Україні діє 4 атомні електростанції (Запорізька, Південноукраїнська, Рівненська, Хмельницька і Чорнобильська); функціонує 2 дослідницьких реактори, в 6-ти областях розташовані й функціонують регіональні спеціалізовані підприємства з поховання та

переробки радіоактивних відходів, що входять до складу ДК «УкрДО «Радон». У Дніпропетровській та Кіровоградській областях ведеться видобуток уранових руд та їх переробка. Сховища радіоактивних відходів при уранових рудниках переповнені.

У лікувально-профілактичних закладах України експлуатується велика кількість) рентгенівського та радіологічного обладнання, більше 80 % якого вичерпало свій техніко-експлуатаційний ресурс. Майже 75 % території України зазнало радіоактивного забруднення ^{137}Cs , яке більш ніж удвічі перевищувало доаварійні рівні, за рахунок аварії на Чорнобильській АЕС. Утворилися величезні обсяги радіоактивних відходів (РАВ), які суттєво перевищують обсяги, які накопичено внаслідок здійснення інших видів діяльності, пов'язаних з використанням ядерної енергії, джерел іонізуючого випромінювання та радіаційних технологій. У зоні відчуження головними суб'єктами господарювання у сфері поводження з РАВ є державні спеціалізовані підприємства (ДСП) «Чорнобильський спецкомбінат» й «Чорнобильська АЕС».

Отже, забезпечення радіаційної безпеки території, на яких існують РНО, самих об'єктів, персоналу та населення прилеглих територій є актуальною задачею, яка вирішується низкою запобіжних заходів.

Радіаційна безпека на об'єкті та прилеглий території забезпечується за рахунок:

- якості проекту радіаційного об'єкта;
- обґрунтованого вибору району і майданчика для розміщення радіаційного об'єкта; фізичного захисту джерел випромінювання;

- зонування території навколо найбільш небезпечних об'єктів і всередині них; - умов експлуатації технологічних систем;
- санітарно-епідеміологічної оцінки і ліцензування діяльності з джерелами випромінювання;
- санітарно-епідеміологічної оцінки виробів і технологій; наявності системи радіаційного контролю;
- планування і проведення заходів щодо забезпечення радіаційної безпеки персоналу і населення при нормальній роботі об'єкта, його реконструкції та виведенні з експлуатації; підвищення радіаційно - гігієнічної грамотності персоналу та населення.

Радіаційна безпека персоналу забезпечується:

- обмеженнями допуску до роботи з джерелами випромінювання по віку, статі, станом здоров'я та іншими показниками;
- знанням і дотриманням правил роботи з джерелами випромінювання;
- достатністю захисних бар'єрів, екранів і відстані від джерел випромінювання, а також обмеженням часу роботи з джерелами випромінювання;
- створенням умов праці, що відповідають вимогам чинних норм і правил РБ;
- - застосуванням індивідуальних засобів захисту;
- - дотриманням встановлених контрольних рівнів;
- - організацією радіаційного контролю;
- - організацією системи інформації про радіаційну обстановку;
- - проведенням ефективних заходів щодо захисту персоналу при плануванні підвищеного опромінення у разі загрози та виникненні.

Радіаційна безпека населення забезпечується:

- створенням умов життєдіяльності людей, які відповідають вимогам діючих норм і правил радіаційної безпеки;
- встановленням квот на опромінення від різних джерел випромінювання;
- організацією радіологічного контролю;
- ефективністю планування та проведення заходів з радіаційного захисту в нормальних умовах та у випадку радіаційної аварії;
- організацією системи інформації про радіаційний стан.

2.1.2 Екологічні ризики ядерного паливного циклу

Атомна енергетика: негативні та позитивні наслідки для екології.

Атомна енергетика — стала технологія. Згідно з цим принципом при оцінці сталості енерговиробництва необхідно враховувати такі фактори:

1. доступність і ефективність палива;
2. землекористування;
3. екологічні наслідки розміщення відходів;
4. можливості повторного енергетичного циклу;

5. доступність і конкурентоспроможність, включаючи сюди зовнішні та соціальні витрати;

6. кліматичні зміни.

Порівняно з іншими способами виробництва енергії атомна енергетика має низку переваг:

1. Основа ядерного палива — уран, який, крім атомної енергетики, не має іншого конструктивного застосування. Україна має власні поклади урану. Також уранові родовища є в багатьох політично стабільних країнах. Величезна кількість урану міститься у морській воді. За оцінками фахівців, його світових запасів вистачить на декілька тисячоліть.

2. АЕС вимагають найменшої площі у порівнянні з іншими електростанціями.

3. Відходи ядерної енергетики є досить малими за об'ємами порівняно з відходами теплової енергетики, велика частина відходів якої розпорошується в атмосфері, і визнана сьогодні головною складовою парникових газів. На сьогодні лише ядерна та гідроенергетика є серйозними джерелами безвуглецевого та економічного виробництва енергії, які не впливають на процеси глобального потепління.

4. У процесі роботи в паливі утворюються довгоживучі радіонукліди: америцій (Am), кюрій (Cm), нептуній (Np), технецій-99 та йод-129. (На сьогодні розроблені і випробувані технології, завдяки яким довго живучі радіонукліди (з періодом піврозпаду в десятки й сотні тисяч років) вилучаються з відпрацьованого ядерного палива і піддаються трансмутації у швидких реакторах. У такому випадку замкнений ядерно-паливний цикл є екологічно прийнятним, бо вимагає контролю за збереженням вилучених високоактивних відходів (у тому числі стронція-90 і цезія-137) протягом лише 100—200 років. Після падіння активності ці відходи заховуються з дотриманням принципу радіаційно-міграційної еквівалентності (згідно з цим принципом, разом з відходами у земних глибинах ховається така ж кількість радіонуклідів, як і в добутому природному урані).

5. При економічній оцінці будь-якої технології енерговиробництва необхідно враховувати повні зовнішні та соціальні витрати, зокрема екологічні ефекти для паливного циклу, вплив на суспільство (в т. ч. на зайнятість, здоров'я тощо) у локальному, регіональному та глобальному вимірах. Зовнішні витрати в ядерній енергетиці покривають потенційні

витрати у випадку великих аварій, імовірність яких є малою. Якщо враховувати лише експлуатаційні та фінансові витрати, то найдешевшими є ядерна енергія та природний газ. Якщо брати до уваги й зовнішні витрати, то найвигіднішою стає ядерна енергія.

2.1.3 Негативні сторони ядерної енергетики

Головні чинники техногенного впливу експлуатації АЕС на об'єкти навколишнього середовища:

- негативний вплив на людей у технологічних системах;
- стік поверхневих і ґрунтових вод, що містять хімічні та радіоактивні компоненти;
- зміна характеру землекористування й обмінних процесів у безпосередній близькості від АЕС;
- зміна мікрокліматичних характеристик прилеглих районів внаслідок виникнення джерел тепла (ґридарень, водойм, охолоджувачів) при експлуатації АЕС.
- викиди радіоактивних та токсичних речовин – постійні (які перебувають під контролем персоналу АЕС) та залпові (аварійні).

Ядерна енергетика дає значно менше відходів, ніж інші енергогенеруючі технології, але відходи існують. Безпека поховання великої кількості радіоактивних відходів (РАВ) на десятки і сотні тисяч років викликає сумнів через надійність таких довготривалих фізично- геологічних прогнозів.

На більшості АЕС у світі використовують реактори на теплових нейтронах, які працюють за одно контурною або двоконтурною схемою, кожна з яких має свої переваги та недоліки. За своєю конструкцією реактори поділяються на *водо-водяні енергетичні реактори* ВВЕР (LWR і PWR – у іноземній літературі) та *уран-графітові каналні реактори* – реактор великої потужності каналний РВПК (BWR). Вводяться в експлуатацію *реактори на швидких нейтронах* – БН (LMFBR) із трьох контурною системою тепловідводу.

Усі нині діючі українські енергоблоки використовують теплові *легководні реактори* ВВЕР (LWR). LWR вимагають збагаченого урану, що зумовлює залежність неядерних країн від постачальників ядерного палива. Тому деякі держави (зокрема Румунія) будують *важководні реактори* (HWR), де використовується паливо з природного незбагаченого урану.

Глибина вигорання палива у HWR у 4–6 разів менша, ніж у LWR, а це збільшує об'єми відпрацьованого ядерного палива (ОЯП) та зумовлює потребу в більш містких сховищах. Окрім того, існуючі на сьогодні технології переробки ОЯП передбачають вилучення з нього плутонію, а створення власних збагачувальних комбінатів і потужностей для переробки ОЯП у неядерних країнах дає їм можливість напрацьовувати збройовий уран і плутоній на основі цілком легальних каналів атомної енергетики. Ще одним недоліком LWR є те, що в якості палива в них використовується ^{235}U , запасів якого у розвіданих на сьогодні родовищах вистачить лише на 50 – 100 років.

Головним негативним моментом експлуатації АЕС є небезпека аварій і пожеж на них, які, як свідчить досвід, приводять до серйозних негативних наслідків. Отже, одною з актуальних проблем експлуатації АЕС є забезпечення ядерної, радіаційної й пожежної безпеки роботи станції в

усіх режимах, включаючи аварійний, яке досягається як технічними заходами, так і врахуванням людських чинників.

2.2 Матеріали для забезпечення радіаційного захисту

Усі навколишні предмети складаються з речовин, які мають різні властивості. Ці властивості залежать від внутрішньої будови кожної речовини. Сама ж речовина складається з великої кількості дрібних рухомих частинок, які, в свою чергу, складаються з надзвичайно малих атомів. Кожен атом має у своєму складі ядро й електрони. Електрони обертаються навколо ядра. Ядро атома має дуже складну будову і складається з найдрібніших частинок, головні з них – позитивно заряджені протони і нейтральні (без електричних зарядів) – нейтрони. Сукупність атомів, що мають однаковий заряд ядра, називаємо хімічними елементами. Атоми здатні існувати самотійно або групуватися в молекули. Сполучення атомів або молекул утворюють найрізноманітніші речовини, які поділяються на прості й складні. Прості речовини (залізо, мідь, кисень та ін.) складаються з атомів або молекул одного елемента, а складні речовини (сталь, латунь, вуглекислий газ та ін..) – із сполучення атомів двох і більше елементів. У природі складних речовин значно більше, ніж простих. Усі речовини можуть бути в газоподібному, рідкому та твердому станах. Залежно від внутрішньої будови всі тверді речовини поділяються на кристалічні та аморфні. Аморфні речовини (віск, скло та ін.) характеризуються хаотичним розташуванням атомів і молекул, а в кристалічних атоми розміщуються в певному порядку. Усі метали та їхні сплави є кристалічними речовинами.

Для захісних споруд використовують переважно метали і металеві вироби, а також цементи, бетони, кераміку тощо. Найбільш поширеними в промисловості є сплави на основі чорних металів – сталі і чавуну, використання яких складає приблизно 95% виробництва всіх металів

Як замітники металів, а також як самотійні конструкційні матеріали з цінними фізико-механічними властивостями широко використовуються сучасні полімерні матеріали на металевій і неметалевій основах, порошкові, спечені матеріали.

Процесі виготовлення й експлуатації.

Матеріалознавство - це прикладна наука, що вивчає будову (структуру) і властивості матеріалів, встановлює зв'язок між їх складом, будовою і властивостями, залежність будови і властивостей від методів виробництва та обробки металів, а також зміна їх під впливом зовнішніх факторів - силових, теплових (термічних), радіаційних та інших. Конструкційними називають матеріали, з яких виготовляють деталі машин, пристосування, елементи різних конструкцій, інструменти, а також матеріали, здатні витримувати значні механічні навантаження.

За природою матеріали поділяють на металеві, неметалеві і композиційні. До металів належить більшість (понад 80) елементів періодичної системи Д.І. Менделєєва. Їх умовно поділяють на чорні і кольорові. Чорні метали – це залізо і сплави на його основі (чавун, сталь, феросплави). Найбільш уживаними серед кольорових металів є легкі (Al, Mg, Ti), легкоплавкі (Zn, Sn, Pb), тугоплавкі (W, Mo, V), благородні (Au, Ag, Pt). Інші кольорові метали мають обмежене застосування, хоча з розвитком техніки їх роль зростатиме. Металам притаманні особливий блиск, непрозорість, а також фізичні, хімічні, механічні та інші технологічні властивості (тепло- і електропровідність, ковкість та ін.). Цим вони відрізняються як від елементарних неметалів таких, як вуглець, сірка, фосфор, так і від складних – скла, паперу, гуми, кераміки, пластмас.

Композиційні матеріали (композити) виготовляють об'ємним поєднанням хімічно різнорідних компонентів. Вони складаються переважно з пластичної металевої або неметалевої сполучної основи і армуючих добавок у вигляді порошків, волокон або шарів. Монолітне з'єднання основи і зміцнювачів забезпечує композитам кращі властивості, ніж їх мають складові компоненти. Зміна кількісного співвідношення між складовими композитів дозволяє більше змінювати їх властивості. Так, алюміній можна зробити значно міцнішим, гуму – електропровідною чи магнітною, пластмасу – вогнестійкою. Типовим и представниками композитів є металокераміка, склопластики, вуглеметалопластики.

Галузь застосування кожного матеріалу з урахуванням економічних вимог визначається його експлуатаційними характеристиками, які в свою чергу залежать від фізико-хімічних властивостей. За умовами експлуатації матеріали можуть бути надтверді, зносостійкі, фрикційні, антифрикційні, корозійностійкі, жаростійкі і жароміцні.

Захист від іонізуючих випромінювань може здійснюватись шляхом використання наступних принципів: використання джерел з мінімальним випромінюванням шляхом переходу на менш активні джерела, зменшення кількості ізотопу; скорочення часу роботи з джерелом іонізуючого випромінювання; віддалення робочого місця від джерела іонізуючого випромінювання; екранування джерела іонізуючого випромінювання.

Екрани можуть бути пересувні або стаціонарні, призначені для поглинання або послаблення іонізуючого випромінювання. Екранами можуть бути стінки контейнерів для перевезення радіоактивних ізотопів, стінки сейфів для їх зберігання

Альфа-частинки екрануються шаром повітря товщиною декілька сантиметрів, шаром скла товщиною декілька міліметрів. Однак, працюючи з альфа-активними ізотопами, необхідно також захищатись і від бета- або гамма-випромінювання.

З метою захисту від бета-випромінювання використовуються матеріали з малою атомною масою. Для цього використовують

комбіновані екрани, у котрих з боку джерела розташовується матеріал з малою атомною масою товщиною, що дорівнює довжині пробігу бета-частинок, а за ним – з великою масою.

З метою захисту від рентгенівського та гамма-випромінювання застосовуються матеріали з великою атомною масою та з високою щільністю (свинець, вольфрам).

Для захисту від нейтронного випромінювання використовують матеріали, котрі містять водень (вода, парафін), а також бор, берилій, кадмій, графіт. Враховуючи те, що нейтронні потоки супроводжуються гамма-випромінюванням, слід використовувати комбінований захист у вигляді шаруватих екранів з важких та легких матеріалів (свинець-поліетилен).

Дієвим чинником забезпечення радіаційної безпеки є дозиметричний контроль за рівнями опромінення персоналу та за рівнем радіації в навколишньому середовищі.

ЛЕКЦІЯ 3. КЛАСИФІКАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

План:

- 3.1 Класифікація матеріалів для захисту
 - 3.1.1 Легкі матеріали
 - 3.1.2. Важкі матеріали.
- 3.2 Заходи по захисту від іонізуючого випромінювання
 - 3.2.1 Захист від зовнішніх потоків випромінювання.
 - 3.2.2 Засоби індивідуального захисту

3.1 Класифікація матеріалів для захисту

За ядерним складом і, отже, за спільністю процесів взаємодії випромінювань із матеріалом, і навіть його основному призначенню матеріали захисту поділяють три групи: 1) легкі; 2) що складаються в основному з елементів із середнім значенням атомного номера; 3) тяжкі. У перших двох групах виділяють дві підгрупи матеріалів: що містять і містять водень.

Основне призначення матеріалів *першої групи* - ослаблення щільності потоку нейтронів, головним чином проміжних енергій. Нейтрони уповільнюються в таких матеріалах в результаті пружних розсіювання на ядрах водню (перша підгрупа) та на ядрах інших легких елементів (друга підгрупа).

Матеріали *третьої групи* призначені для захисту від γ -випромінювання та швидких нейтронів. Останні уповільнюються внаслідок непружних розсіянь.

Матеріали *другої групи* призначені захисту від обох видів випромінювання; нейтрони уповільнюються як у результаті пружних (особливо якщо матеріал містить водень), так і непружних розсіянь. Захисні властивості цих матеріалів покращуються в результаті введення в них важкого компонента (заліза, барію та ін).

3.1.1 Легкі матеріали

Вода — матеріал, що найчастіше використовується в захисті водородсодержащих. Має високу ядерну щільність водню (при $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ пн — $6,66 \cdot 10^{22} \text{ яд./см}^3$), доступна і недорога. Застосовують дистильовану або демінералізовану воду. Під дією випромінювання дисоціює з утворенням водню, перекису водню та іонів ОН. Реакції дисоціації оборотні. Вода як матеріал захисту має незаперечну перевагу: заповнює весь відведений їй простір без утворення порожнеч і зазорів.

Конструктивно захист із води виконується у вигляді баків із сталі або інших матеріалів; якщо об'єм води великий, то баки роблять секцій-

ними, щоб догляд води із захисту при втраті герметичності баком не приводив до різкого ослаблення захисту.

Захисні властивості води досліджені докладно. Відомо, що вони залежить від товщини шару вода і змінюється від 8 до 10,5 см (тут і далі наводяться відомості про захисні властивості матеріалів стосовно випромінювання реактора).

Поліетилен – термопластичний полімер, при $\rho = 0,93 \text{ г/см}^3$ та хімічній формулі C_nH_{2n} ядерна щільність водню $\rho_p - 7,92 \cdot 10^{22} \text{ яд./см}^3$. Можна застосовувати в захисті у вигляді блоків або плит при температурі до 60°C (самонесучі конструкції) і до 80°C - в кожухах, що обмежують. Поліетилен горить, при згорянні утворює воду та CO_2 . Має великий лінійний та об'ємний коефіцієнт розширення при нагріванні. Легко піддається механічній обробці.

Має більш високі захисні властивості по відношенню до швидких нейтронів, ніж вода: Яб - 8 см в області рівноваги і змінюється від 6,2 до 8,2 см при товщині захисту 1 м, ВГ = $1,9 \pm 0,2$. Захисні властивості по відношенню до γ -випромінювання приблизно такі ж, як і у води.

У захисті на АЕС поліетилен застосовують рідко через невисоку робочу температуру та порівняно високу вартість.

З інших *легких водородсодержащих матеріалів* можна відзначити ряд пластмас (поліпропілен, полістирол, метилметакрилат та ін.) та гідриди металів (LiH, CaH, TiH, ZrHn та ін.). Пластмаси не мають особливих переваг перед поліетиленом, а гідриди металів, особливо гідрид титану, хоч і мають високі захисні властивості, досить дорогі.

Графіт - матеріал, що часто застосовується (на АЕС з каналними реакторами виконує роль відбивача і перших шарів захисту), що володіє досить високими захисними властивостями. Використовують у захисті у вигляді блоків, які легко обробляються та не надто дорогі. Щільність блоків $1,67 \text{ г/см}^3$. Графіт у захисті можна експлуатувати при $t = 400^\circ \text{C}$ (на повітрі) і при $t = 1000^\circ \text{C}$ - в інертному середовищі.

Довжина релаксації щільності потоку швидких нейтронів у графіті при $d - 125 \text{ см}$ становить - 13,2 см, у графіті зростає, з товщиною, через швидке накопичення теплових нейтронів (при товщині близько 40 см потужність дози на 90% визначається тепловими нейтронами), тому поняття стосовно до графіту не показово. Додавання до графіту бору (2—3%) змінює картину: внесок теплових нейтронів у потужність дози стає зневажливим, у захисті встановлюється рівноважний стан — 4,8.

Карбід бору. У захисті застосовують у вигляді засипки з питомою об'ємною масою $1,1-1,5 \text{ г/см}^3$, іноді дещо вище. Робоча температура на повітрі — до 400°C , в інертній атмосфері — до 1500°C . При $\rho = 1,3 \text{ г/см}^3$ $\text{Нб} = 15,7 \text{ см}$, при еквівалентній з графітом щільності його захисні властивості по відношенню до нейтронів вищі: $\text{кб} = 10,2 \text{ см}; = 4,5$.

3.1.2 Важкі матеріали

Залізо застосовують у захисті у вигляді сталі та чавуну (прокат, поковки, дріб). Вибір марки сталі або чавуну визначається умовами експлуатації захисту (температура, контакт із водою та ін.). Щільність листів, поковок 78-76 г/см³ щільність дробу після ущільнення 45-47 г/см³. Для листів та поковок $H_b = 7,1$ см; захист зростає із товщиною по-різному для вуглецевих сталей і сталей з легуючими добавками. В останніх за рахунок хрому, нікелю та інших відбувається часткове перекриття інтерференційного мінімуму в перерізі взаємодії нейтронів із залізом при $E_p = 25$ кеВ і це призводить до деякого зменшення накопичення нейтронів, що уповільнюються.

Свинець - застосовують у захисті у вигляді листів, виливків або дробу. Листовий та рольний свинець має щільність 11,3 г/см³, виливки - 10-10,5 г/см³, а дріб у ущільненій засипці - до 6,5 г/см³. Свинець - м'який метал і тому в захисті застосовується зачохлованою сталлю. Одним із способів виготовлення зачохлованих конструкцій є заливка коробів розплавленим свинцем. Захисні властивості свинцю досліджені докладно: $H_c = 10$ см, коефіцієнт зростання дозового фактора накопичення нейтронів $\beta = 0,072$ см⁻¹. З доступних матеріалів свинець володіє найбільш високими захисними властивостями по відношенню до γ -випромінювання.

Титан, вольфрам, молібден та інші метали рідко використовують у захисті, головним чином, через високу вартість. Титан та молібден, крім того, як матеріали захисту не мають переваги перед залізом (для титану $= 9,5$ см при $\rho = 4,5$ г/см³); вольфрам при щільності 19,3 г/см³. Має $H_b = 3,6$ см, має відмінні захисні властивості по відношенню до γ -випромінювання, але дорогий і малодоступний.

Метало-водневий захист.

Захист, однаковою мірою ефективний по відношенню до нейтронів та γ -випромінювання, повинен містити у своєму складі важкі та легкі матеріали. Це досягають шляхом розміщення, наприклад, у воді листів (пластин) сталі чи свинцю. Захист зі сталі та води називають залізоводним (ЖВЗ). Такий захист зазвичай застосовують у реакторах ВВЕР, розташовують між активною зоною реактора та його корпусом; основне її призначення - знизити щільність потоку нейтронів і γ -випромінювання на корпус реактора.

Захисні властивості металоводневої композиції залежать від відносної концентрації її компонентів за обсягом. Можна знайти такі об'ємні концентрації важкого C_v і C_l легкого компонентів, наприклад заліза і води, при яких H_b - це фізично оптимальний за складом захист. C_v в оптимальній за складом ЖВЗ становить 65-80%, при цьому середня щільність захисту 5,5 г/см³, $\% \gamma = H_b = 7,5$ см.

Свинцево-водний захист (СВЗ) оптимального складу містить 20% свинцю за обсягом, має середню щільність 2,5 г/см³ $H_b = 10$ см.

Значення показників захисних властивостей ЖВЗ та СВЗ, як і інших метало-водневих захистів, можна розрахувати за формулами. Там, де неможливо застосувати ЖВЗ або СВЗ, наприклад, через високу температуру та неможливість організувати тепловідведення, застосовують захист із графіту та заліза (чавуну). Саме такий захист встановлений у верхньому перекритті реактора АЕС. Її захисні властивості також залежать від об'ємних часток заліза та графіту, при оптимальному складі компонентів (об'ємна концентрація заліза 40—50%) $X_v - X_b = - 10,2$ см. Більш високі захисні властивості має захист з таких матеріалів як сталі та карбід бору.

3.2 Заходи по захисту від іонізуючого випромінювання

3.2.1 Захист від зовнішніх потоків випромінювання

При роботі із закритими джерелами, тобто радіоактивними джерелами випромінювання, устрій яких виключає попадання радіоактивних речовин в оточуюче середовище, персонал може бути опромінений тільки зовнішніми потоками випромінювання.

В залежності від умов випромінювання, характеру та місцезнаходження джерела застосовуються різні заходи та методи захисту від опромінення:

- а) захист за часом ;
- б) захист відстанню;
- в) екранування джерел випромінювання;
- г) індивідуальні засоби захисту;
- д) радіопротектори.

Віддалення персоналу від джерела випромінювання особливо корисно, оскільки доза та її потужність обернено пропорційні квадрату відстані. Відстань на якій можна працювати з джерелами іонізуючого випромінювання на протязі певного часу, визначається по формулам з урахуванням допустимої потужності дози або дози опромінення, або по довжині пробігу випромінювання в повітрі. Для збільшення відстані між працюючим і джерелом випромінювання в лабораторній практиці широко застосовується дистанційне управління операціями з радіоактивними речовинами.

Безпеку робіт з іонізуючим випромінюванням забезпечують також *захисні екрани*, товщина яких розраховується на основі законів послаблення випромінювання у речовині екрану. Товщину захисного екрану можна визначити по довільним таблицям та номограмам.

При екрануванні α - джерел опромінення товщина матеріалу повинна бути не менша за довжину пробігу α - частинок в даному середовищі. Оскільки довжина пробігу навіть високоенергетичних α - частинок не перевищує 55 мкм, поглинати α - випромінювання можна склом, плексиглазом, фольгою товщиною в соті долі мм.

Товщину екрану для поглинання - випромінювання визначають виходячи з величини максимального пробігу β - частинок в речовині екрану і густини речовини екрану.

Для захисту від рентгенівського і γ - випромінювання застосовують екрани з матеріалів з великим атомним номером і великою густиною: свинець, вольфрам, залізо. Можуть бути використані і метали середньої густини: нержавіюча сталь, чавун, мідні сплави.

До стаціонарних захисних огорожень відносяться: захисні стіни, перекриття підлоги та стелі, двері тощо. До пересувних захисних пристроїв відносяться: різного типу ширми і екрани; діафрагми установок та приладів, які обмежують потік променів; контейнери для транспортування радіоактивних речовин. Широко застосовуються в лабораторній практиці розбірні пристрої із свинцевих блоків.

Надійність захисних екранів контролюється відповідними дозиметричними приладами. Екрануванням можна зменшити інтенсивність опромінення на робочому місці до будь-якого заданого рівня.

Захист від нейтронів полягає в уповільненні швидких нейтронів із послідовним їхнім поглинанням. Добрим захисним матеріалом від швидких нейтронів є вода : матеріали, які містять воду, парафін, а також графіт, берилій та інші. Нейтрони малої енергії добре поглинаються бором, тому бор вводиться в бетон, свинець, гуму та інші матеріали.

Хімічні речовини, які підвищують стійкість організму до дії випромінювання, називають *радіопротекторами*. На даний час наука володіє ефективними радіопротекторами, такими як ціанід натрію, азиди, речовини, які містять сульфідні групи та інші. Розроблені хімічні засоби, які ефективно очищують шкіру від радіоактивного забруднення.

Захист від внутрішнього опромінення. Під внутрішнім опроміненням розуміють вплив на організм іонізуючого випромінювання від джерела, що знаходиться всередині тіла. Найбільшу небезпеку при цьому представляють відкриті джерела радіоактивного випромінювання.

Відкритим джерелом називається радіоактивне джерело випромінювання, при користуванні яким можливе попадання радіоактивних речовин, що містяться в ньому, в оточуюче середовище.

Захист від внутрішнього опромінення вимагає виключення контакту із радіоактивними речовинами у відкритому вигляді, попередження попадання їх в середину організму, в повітря робочої зони, а також попередження радіоактивного забруднення рук, одягу, поверхонь, приміщень і обладнання.

3.2.2 Засоби індивідуального захисту

Засоби індивідуального захисту є додатковими до основних засобів захисту. Вони запобігають попаданню радіоактивного забруднення на шкіру і всередину організму. Засоби індивідуального захисту при роботі

з іонізуючим випромінюванням умовно можна поділити на засоби повсякденного призначення та засоби короткочасного використання. До засобів повсякденного призначення належать халати, комбінезони, спецвзуття та деякі типи протипилових респіраторів. До засобів короткочасного використання належать ізолюючі костюми.

По конструктивним і експлуатаційним особливостям засоби індивідуального захисту поділяються на:

- а) ізолюючі костюми;
- б) засоби захисту органів дихання - респіратори, протигази;
- в) спецодяг - халати, шапки, гумові рукавиці;
- г) спецвзуття - тапочки, черевики;
- д) додаткові пристрої - окуляри, захисні щитки із органічного скла.

ЛЕКЦІЯ 4. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ КОНСТРУКЦІЙ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ

План:

4.1 Загальні вимоги до матеріалів конструкцій радіаційного захисту

4.1.1 Основні вимоги до матеріалів захисту

4.1.2 Показники захисних властивостей матеріалу

4.2 Причини їх пред'явлення та шляхи забезпечення.

Основні джерела випромінювань на АЕС створюють радіаційні поля, потужність дози випромінювання у яких у багато разів перевищує допустиме значення для персоналу. Так, потужність дози γ -випромінювання і нейтронів активної зони реактора в 10^{10} раз більше допустимого значення. Тому реактор та обладнання основного технологічного контуру АЕС оточують захистом. Основне завдання захисту – знизити потужність дози до допустимого значення. Це забезпечується завдяки взаємодії нейтронів та γ -квантів із речовиною захисту. Захист на сучасній АЕС серйозна та дорога споруда. Тому правильний розрахунок та проект захисту не лише забезпечує нормальні умови праці персоналу, а також скорочує вартість та строки будівництва АЕС.

4.1 Загальні вимоги до матеріалів конструкцій радіаційного захисту

Першою і основною вимогою до матеріалу, що призначається для захисту від джерел випромінювання на АЕС, є вимога мати високі захисні властивості як до нейтронів, так і до γ -випромінювання. Для цього матеріал повинен мати певний хімічний склад: містити ядра легких та важких елементів, в окремих випадках містити бор. Не завжди вдається знайти такий матеріал, тому часто доводиться застосовувати окремо легкі матеріали, які зазвичай містять водень, і важкі.

Незалежно від того, в якому вигляді використовується той чи інший матеріал, до нього *пред'являється ряд вимог*, що дозволяють здійснити та тривалий час експлуатувати захист:

– *конструкційна міцність матеріалу*, особливо міцність на стиск, що дозволяє зробити конструкцію захисту самонесучою, а іноді, і конструкцією, що несе додаткове навантаження;

– *висока радіаційна та термічна стійкість матеріалу*, тобто незмінність властивостей матеріалу під дією радіації та тепла або така зміна властивостей, яку можна вважати допустимою;

– *хімічна інертність матеріалу*, особливо по відношенню до теплоносія та конструкційних матеріалів реакторної установки;

– *жаростійкість і вогнестійкість*, тобто матеріал повинен допускати короткочасний перегрів захисту, а температура його експлуатації

(робоча температура) повинна бути досить високою, матеріал не повинен легко спалахувати і горіти;

– *здатність не виділяти газів*, особливо отруйних, вибухонебезпечних або з різким запахом, під дією нагріву та при опроміненні;

– *висока теплопровідність*, малий коефіцієнт лінійного розширення, мінімальна усадка (як при монтажі, так і при експлуатації), вібро- та ударостійкість, водо- та газонепроникність - всі ці властивості дозволяють створити найпростішу конструкцію захисту та експлуатувати її у сприятливих для матеріалу умовах;

– *технологічність*, тобто простота монтажу та демонтажу захисту, можливість механічної обробки матеріалу; невисока вартість та доступність.

Багато з цих вимог суперечливі, і в природі немає матеріалів, які одночасно задовольняють усім вимогам, хоча можна знайти матеріали або їх комбінації, які значною мірою відповідають цим вимогам. В даний час знайдено, розроблено та досліджено достатню кількість захисних матеріалів, тому вони не обмежують конструктора чи проектувальника АЕС у виборі того чи іншого конструктивного чи компонувального рішення.

4.1.1 Основні вимоги до матеріалів захисту

Тому було сформульовані основні **вимоги до матеріалів захисту**:

1. *Захист від випромінювання*. Для інших рівних умов перевага надається більш щільним матеріалам.

2. *Для захисту від нейтронів*, матеріал захисту повинен містити якусь мінімальну кількість легких ядер для ефективного перетворення нейтронів проміжної енергії на теплові. Теплові нейтрони ефективно поглинаються всіма елементами, але в тих випадках, коли на виході із захисту радіаційне тло значною мірою визначається тепловими нейтронами, використовують спеціальні елементи з високим перерізом поглинання теплових нейтронів (з'єднання бору, карбід бору)

3. *Доступність, технологічність*, щодо невисока вартість, наскільки можна низький переріз активації (в потоках нейтронів), тобто. слабка активність при поглинанні нейтронів. У деяких випадках – стійкість до впливу підвищених температур, радіаційна стійкість, тобто. здатність зберігати у заданих межах фізико-хімічні характеристики за умов тривалого впливу потоків нейтронів великої ефективності.

Матеріали найбільше широко застосовуються при спорудженні захисту як реактора, так і обладнання на АЕС складаються в основному з елементів із середнім значенням атомної маси A . Бетони, руди, породи, мінерали, цементні камені — матеріали цієї групи. Пов'язано це не тільки з тим, що ці матеріали доступні та дешеві, але й з тим, що вони зручні в технологічному відношенні, а шляхом підбору складу бетону або засипки з породи можна отримати матеріал, що має досить високі захисні властивості.

Так, бетони кращих складів при об'ємній масі 2,2 - 2,3 т/м³ мають довжину релаксації щільності потоку швидких нейтронів, рівну приблизно 10 см, а $V_n^{доз}(0) = 2,2 - 2,5$. Безперечною перевагою матеріалів цієї групи є їх здатність зберігати свої захисні властивості при досить високих температурах (до 450-500 °С). Бетони, порода та інші матеріали цієї групи не горять, при нагріванні та під дією радіації не виділяють якихось токсичних газів, опромінення мало змінює їх властивості.

Для ефективного ослаблення густини потоку проміжних нейтронів у складі матеріалів аналізованої групи доцільно мати водень, т. е. воду, оскільки інших носіїв водню тут, зазвичай, немає.

Пошкодження, викликані в живих організмах опроміненням, є тим більшими, чим більше енергії передано їхнім тканинам. Кількість такої енергії називається **дозою**. Дозу іонізуючого випромінювання людина може зазнати від будь-якого радіонукліда або їхньої суміші незалежно від того, містяться вони поза організмом або всередині його. Кількісний вираз енергії випромінювання, отриманої одиницею маси опроміненого тіла (складової екосистеми, тканини організму тощо), називають **поглиненою дозою**, яка в системі СІ вимірюється в *греях* (1 Гр = 1 Дж енергії, поглиненому масою в 1 кг). До 50-х років ХХ ст. для вимірювання обсягу радіації широко використовували інші позасистемні одиниці поглиненої дози – **рентген (Р)** і **рад**. Один рентген відповідає ефекту дії граму радію протягом години на відстані одного метра, що визначається за ступенем почервоніння шкіри. Один рад дорівнює 0,01 Гр.

Якщо кількість поглиненої енергії гамма- або рентгенівського випромінювання розглядати не для речовини, а для повітря, то слід ввести поняття його **іонізації**. Причому, для атмосфери існує спеціальна одиниця, яка співвідносить заряд іонів кожного знаку в 1 см³ сухого повітря, що виникло у процесі його іонізації з дозою цього випромінювання. Загальний обсяг випромінювання, що викликає іонізацію називають **експозиційною дозою**, яка в системі СІ вимірюється в кулонах на кілограм (Кл/кг). Поряд існує позасистемна одиниця вимірювання – рентген (1Р = 2,58 × 10⁻⁴ Кл/кг).

Велику роль в опроміненні всього живого в екосистемі відіграє не лише кількість іонізуючого випромінювання, поглиненого тілом, а й якість цього випромінювання. Якісна характеристика випромінювання визначається показником лінійної щільності іонізуючого потоку. Вважається, що щільність бета-, гамма- і рентгенівського випромінювання є однаковою, умовно вона приймається за одиницю. Тоді показник щільності повільних нейтронів дорівнює 5, звичайних нейтронів – 10, а α -частинок та надшвидких нейтронів – 20. Перераховану в такий спосіб дозу опромінення називають **еквівалентною дозою**. Її у системі СІ вимірюють у **зівертах (Зв)**. Відома й позасистемна одиниця еквівалентної дози – **бер** (1 бер = 0,01 Зв).

Водночас важливо врахувати й те, що не всі частини тіла людини (органи, тканини) чи інших організмів екосистем мають однакову чутливість. Наприклад, при однаковій еквівалентній дозі опромінення виникнення раку в легенях людини більш вірогідне, ніж у її щитовидній залозі. Саме тому дози опромінення для різних органів і тканин необхідно перераховувати за різними коефіцієнтами. Підсумувавши ці коефіцієнти по всіх тканинах людини, отримують **ефективну еквівалентну дозу**. Найменш чутливою до опромінення є шкіра і поверхня кісток людини, а найбільш – яєчники і сім'яники.

Усе це характеризує лише індивідуальні дози іонізуючого випромінювання. Підсумувавши індивідуальні ефективні еквівалентні дози, здобуті певною групою людей, ми виявляємо **колективну ефективну еквівалентну дозу**, вимірювану в **людино-зівертах (люд-Зв)**. Більшість відомих радіонуклідів розпадаються надзвичайно повільно, відтак вони залишаються радіоактивними й у далекому майбутньому. Колективну ефективну еквівалентну дозу, яка припадає на кілька поколінь від певного джерела іонізуючого випромінювання за весь час його існування, називають **повною (очікуваною) колективною ефективною еквівалентною дозою**.

З метою прогнозування інтенсивності радіоактивного впливу на довкілля і людину введено поняття **потужності дози**. Відповідні потужності поглиненої, експозиційної чи еквівалентної доз дорівнюють кількості енергії, що отримана будь-якою речовиною за одиницю часу від джерела радіації. Наприклад, дозиметр показує потужність еквівалентної дози гранітних сходів – 0,8 мкЗв/год. За умов, якщо людина просидить на цих сходах 5 годин, вона отримає таку дозу радіаційного опромінення: $0,8 \text{ мкЗв/год} \times 5 \text{ год} = 4 \text{ мкЗв}$ (400 мкбер), що в 25-50 разів вище дози отриманої нею від сонячної радіації за аналогічний період часу.

Розглянуті величини доз іонізуючого випромінювання використовують не лише для нормування дозових навантажень людини, але й для всієї екосистеми чи будь-якого її компонента.

4.1.2 Показники захисних властивостей матеріалу

Основним показником захисних властивостей матеріалу по відношенню до γ -випромінювання служить **лінійний коефіцієнт ослаблення щільності потоку** (потужності дози) γ -випромінювання. Чим вище густина матеріалу, тим більше fA , тим вищими захисними властивостями володіє матеріал. Важко знайти такий матеріал, густина якого відома, а захисні властивості (порівняно з іншими матеріалами) неочевидні.

Захисні властивості матеріалу по відношенню до нейтронів необхідно характеризувати двома показниками, оскільки матеріал, що має високі захисні властивості для будь-якої однієї енергетичної групи нейтронів, може мати низькі захисні властивості для іншої групи. Такими по-

казниками є **довжина релаксації щільності потоку швидких нейтронів і дозовий фактор накопичення нейтронів**, тобто N_b і V_{0a-0} визначають експериментально або обчислюють за формулами. ВГ можна також визначити експериментально або розрахувати за формулами.

Трьох названих характеристик достатньо, щоб оцінити місце матеріалу серед інших за його захисними властивостями і вибрати той чи інший матеріал для використання в захисті.

Основними захисними матеріалами на сучасних АЕС є звичайний важкий бетон ($\rho = 2200 - 2500 \text{ кг/м}^3$), найчастіше з великим заповнювачем з граніту або вапняку та дрібним – з річкового піску на портландцементі та шлакопортландцементі. Зміст хімічно зв'язаної води в такому бетоні 25% від маси цементу або 2-3% від маси бетону достатньо для ефективного захисту від нейтронів та γ -випромінювання.

Радіоактивні матеріали знаходять застосування в різних галузях людської діяльності: у промисловості, медицині, науці, енергетики і навіть у сільському господарстві. В Україні близько 8000 підприємств та установ використовують радіоактивні матеріали та приблизно 5500 продовжують генерувати радіоактивні відходи. Збільшення попиту на використання радіоактивних матеріалів у різних технологіях, а також вироблення небезпечних відходів породжує посилення вимог до радіаційної безпеки, що призводить до необхідності створення та впровадження нових методів захисту людини від впливу шкідливих радіаційних випромінювань. Одним із таких методів є розробка нових високоефективних радіаційно-захисних композиційних матеріалів (КМ).

ЛЕКЦІЯ 5. ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ В МАТЕРІАЛАХ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ

План:

5.1 Основні процеси, що відбуваються в матеріалах під дією іонізуючого випромінювання

5.1.1 Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною

5.2 Заповнювачі спеціальних бетонів

5.3 Основні властивості та вимоги щодо експлуатаційної надійності радіаційностійких матеріалів

5.1 Основні процеси, що відбуваються в матеріалах під дією іонізуючого випромінювання

Зміна структури та властивостей матеріалів під впливом іонізуючих випромінювань залежить як від вихідної речовини, так і умов опромінення. До останніх слід віднести компонентний і енергетичний склад іонізуючих випромінювань, що впливають на речовину, щільність потоку, інтенсивність, величину поглинання доз та ін. Наприклад, за весь термін експлуатації енергетичного реактора Чорнобильської АЕС (30 років) інтегральні дози опромінення конструкцій, вузлів та елементів, розташованих безпосередньо за корпусом реактора, становлять близько $10^{13} - 10^{14}$ рад.

Радіаційна стійкість бетону досліджена, переважно, при нейтронному опроміненні. Зазначається, що наповнювачі бетону під впливом опромінення зазнають збільшення обсягу, що призводить до появи в матеріалі складно-напруженого стану. Після перевищення цими радіаційно-стимульованими напруженнями межі міцності матеріалу, у ньому виникають мікротріщини. Подальший розвиток процесу може призвести до повного руйнування матеріалу без будь-якого застосування зовнішніх сил.

5.1.1 Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною

Як відомо, ядро атома складається з певного набору протонів, тобто заряджених частинок, кожна з масою $1,672 \cdot 10^{-24}$ г і електричним зарядом $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, і нейтронів. Нейтрон є нейтральною частинкою з масою $1,674 \cdot 10^{-24}$ г. Загальна назва цих частинок – *нуклони*.

Кількість нуклонів у ядрі може бути різною і мати назву – *масове число*

A . Кількість протонів позначається літерою Z , яка визначає заряд ядра або кількість електронів в електронній оболонці атома. Кількість нейтронів позначається літерою N . Тому формулу ядра атома можливо записати так:

$$A = Z + N \quad (5.1)$$

Кількість нейтронів у ядрах може бути різною. Найменша кількість нейтронів може дорівнювати нулю (ядро водню). Ядра різних хімічних елементів позначають X , угорі ліворуч якого ставиться масове число A , а ліворуч унизу атомний номер Z . Наприклад, у загальному випадку A_ZX .

Ізотопи (грец. «ті, що займають однакові місця») – речовини, ядра атомів котрих мають однакову кількість протонів, але різну кількість нейтронів. Між протонами в ядрі діють сили відштовхування, що залежать від їхнього однойменного заряду. Але одночасно між протоном і нейтроном діють сили притягання, що не залежать від заряду частинок.

Ці сили називаються ядерними, діють у межах $1,4 \cdot 10^{-13}$ см і на декілька порядків перевищують сили електричного відштовхування між частинками, утримуючи ці частинки у ядрі. Ядра, які мають співвідношення $N/Z=1-1,6$ є стійкими, а ядра із залишком або нестачею нейтронів – нестійкими. Зі збільшенням кількості протонів у ядрі сили відштовхування значно збільшуються, а це, як правило, призводить до ослаблення сил притягання настільки, що ядро розпадеться на частини, тобто такі ядра стають нестійкими. Нестійкі ядра або розпадаються на частини, перетворюючись у ядра нових елементів, або випускають елементарні частинки, перетворюючись у ядра нових елементів без усякого впливу ззовні. Такі ядра називаються радіоактивними, а випускання радіоактивним ядром елементарних частинок називається *радіоактивністю*.

Радіоактивність – це здатність ядер атомів хімічних елементів самочинно перетворюватися на ядра атомів інших хімічних елементів з виділенням енергії у вигляді іонізуючих випромінювань. Розпад радіоактивних ядер не залежить від зовнішніх впливів, носить імовірнісний характер і визначається законом радіоактивного розпаду, що виражає зменшення кількості ядер атомів радіоактивної речовини в часі. Математичний вираз цього закону має вигляд:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (5.2)$$

де N_0 – вихідна або первісна кількість нестійких ядер у речовині;

N – кількість ядер, що залишилися у речовині, і не зазнали розпаду за час

t ; λ – імовірність розпаду кожного ядра або стала радіоактивного розпаду

(для кожного елемента своя).

Такий характер радіоактивного розпаду, за якого час, протягом якого розпадається половина спочатку наявних ядер радіоактивної речовини, є постійним і називається періодом піврозпаду $T_{1/2}$. Залежність величини $T_{1/2}$ від величини λ має вигляд:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (5.3)$$

Стала розпаду та відповідний їй період піврозпаду залежить тільки від стійкості ядер і відрізняються для ядер різних радіоактивних елементів. Для 104 елементів періодичної системи Менделєєва відомо більше 1500 ізотопів. Частина з них є в природі, інші отримані штучним шляхом. З них більше ніж 10 % ізотопів придатні до альфа-розпаду. Це елементи періодичної системи Менделєєва з $Z > 82$ і 16 природних і штучних ізотопів – лантаноїдів. Близько 48 % ізотопів характеризується бета-розпадом, 11 % – позитронним бета-розпадом і 25 % – електронним орбітальним захопленням (головним чином, елементи другої половини періодичної системи Менделєєва з більшим Z).

Спонтанне ділення ядер має місце у 26 ізотопах, у тому числі в 7 природних ізотопах:

Th-230; Th-232; U-234; U-235; U-237; U-238; Pu-239.

Із усієї кількості ізотопів лише близько 300 стабільні й приблизно 90 є природними радіоактивними речовинами. Перетворення ядер може відбуватися різними шляхами.

Альфа-випромінювання – це корпускулярне випромінювання, що складається з альфа-частинок, яке випускається при ядерних перетвореннях. Альфа-частинка позначається символом – α . Цей вид розпаду характерний для атомів важких елементів з атомним номером $A \geq 200$. Альфа-частинка являє собою ядро атома гелію ${}^4\text{He}$ внутрішньоядерного походження, що позбавлене електронної оболонки, і має значну енергію. Іноді альфа-частинки, що випромінюються ядрами одного виду, мають різну енергію. Це пов'язане з тим, що під час розпаду виникають збуджені ядра, які, переходячи в основний стан, випускають гамма-кванти, і енергія альфа-частинок зменшується на величину енергії цих гамма-квантів. Під час проходження в речовині енергія альфа-частинки витрачається на іонізацію й збудження атомів поглинача. Втрати енергії обумовлені, в основному, електричною взаємодією полів альфа-частинки й зв'язаних орбітальних електронів атомів. Траєкторія альфа-частинок у речовині прямолінійна, що обумовлено їхньою великою масою, яка приблизно в 7300 разів перевищує масу електрона. Втрачаючи свою енергію за кожного акту взаємодії з атомами речовини, альфа-частинка загальмовується і зі зниженням швидкості руху протягом тривалого часу знаходиться поблизу того чи іншого атома. Її взаємодія з цим атомом стає більш тривалою, і зростає вірогідність іонізації атома.

Пробіг альфа-частинки в біологічній тканині незначний, тому поверхневий шар шкіри людини цілком забезпечує захист від зовнішніх

потоків альфа-частинок. Однак потрапляння альфа-активних речовин усередину організму в кількостях, що перевищують припустимі значення, надзвичайно небезпечно, тому що поверхня внутрішніх органів не має захисного шару шкіри й зазнає більш сильного руйнування, ніж зовнішні покриви шкіри.

Бета-випромінювання є корпускулярним випромінюванням, що являє собою потік бета-частинок, який випускається ядрами радіоактивних ізотопів. Прикладом такого бета-розпаду може бути розпад стронцію-90. *Бета-частинки* – це електрони, що мають негативний електричний заряд і позначаються символом β^- , а також позитивний заряд з позначенням β^+ . Такі частинки називаються позитронами. Як електрони, так і позитрони відносно один одного є античастинками, тому що мають однакову масу, що дорівнює $9,1 \cdot 10^{-28}$ г або 0,0005 атомної одиниці маси і рівні між собою, але протилежні за знаком заряди $\pm q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Таким чином, за рівної енергії бета-частинки в речовині проходять значно більшу відстань, ніж альфа-частинки, тобто бета-частинки мають більшу проникну здатність, ніж альфа-частинки (приблизно в 100 разів).

Нейтронне випромінювання і взаємодія нейтронів із речовиною. Нейтрон є однією з основних частинок, що входять до складу атомних ядер. Електричний заряд нейтрона дорівнює нулю, а масове число дорівнює одиниці. Позначення нейтрона має вигляд: 0_1n . Як зазначалося раніше, деякі нестійкі ядра спонтанно, тобто мимовільно, можуть розпадатися на дві частини, кожна з частин має певний набір протонів і нейтронів. Як правило, такі частини вихідного ядра перевантажені нейтронами, що призводить до порушення балансу взаємодії ядерних і кулонівських сил у нових ядрах (частинах вихідного ядра). У результаті цього частина нейтронів вилітає з вихідного ядра, що ділиться, – це так звані миттєві нейтрони, або з утворившихся після розподілу частин вихідного ядра – це так звані запізнілі нейтрони. Нейтрони, що з'явилися, мають різну кінетичну енергію (швидкість руху) і, рухаючись у речовині, взаємодіють з ядрами елементів цієї речовини утворені нейтрони створюють потік нейтронів, що, у свою чергу, визначається як нейтронне випромінювання, яке взаємодіє з навколишнім середовищем.

Під час взаємодії нейтронів з речовиною середовища вони або розсіюються, або захоплюються ядрами атомів цієї речовини. Через те, що нейтрон електрично нейтральний, він не реагує з електричним полем атома й легко проходить через електронну оболонку атома, досягаючи без труднощів ядра такого атома. При цьому можливі декілька варіантів взаємодій нейтрона з ядром атома.

Гамма-випромінювання – це фотонне випромінювання (високочастотне електромагнітне випромінювання $\nu = 10^{18} - 10^{21}$ Гц), що виникає під час зміни енергетичного стану атомних ядер або під час анігіляції

частинок. Це випромінювання часто супроводжує альфа- або бета-розпад радіонуклідів. Позначення *гамма*-кванта має вигляд γ . Джерелом гамма-випромінювання є збуджені ядра, які протягом 10-12 с переходять у основний стан, випускаючи надлишок енергії у вигляді гамма-квантів. Іноді ядро послідовно випромінює ряд гамма-квантів, переходячи кожний раз у менш збуджений стан, поки не стане стабільним. Це явище отримало назву каскадного випромінювання. Гамма-кванти не мають ні заряду, ні маси спокою. Їх випромінювання не призводить до утворення ядер нових елементів. Збуджене та стабільне ядро одного елемента відрізняється тільки енергією. Якщо значком * позначити збуджений стан ядра, то процес випромінювання гамма-квантів може бути записаний таким чином:



Таким чином, під час проходження гамма-кванту в речовині його ослаблення відбувається за рахунок 3-х ефектів: фотоефекту, комптон-ефекту й ефекту утворення пари. Імовірність кожного з цих процесів залежить від енергії гамма-квантів, атомного номера речовини. У цілому лінійний коефіцієнт ослаблення гамма-випромінювання μ_l в речовині з урахуванням всіх ефектів взаємодії. У дозиметрії крім лінійного коефіцієнта ослаблення часто використовують поняття масового, атомного й електронного коефіцієнтів ослаблення випромінювання. Всі ці коефіцієнти мають між собою такі співвідношення:

$$\mu_l = \mu_m \rho = \mu_a \frac{N_A \cdot \rho}{A} = \mu_e \frac{N_A \cdot Z \cdot \rho}{A} \quad (5.5)$$

де μ_m – масовий коефіцієнт ослаблення, $\text{см}^2/\text{г}$;
 μ_a – атомний коефіцієнт ослаблення, $\text{см}^2/\text{атом}$;
 μ_e – електронний коефіцієнт ослаблення, $\text{см}^2/\text{електрон}$;
 ρ – питома густина речовини;
 N_A – число Авагадро;
 A – атомна маса речовини;
 Z – заряд речовини.

Розглядаючи три основних процеси взаємодії гамма-випромінювання з речовинами необхідно зазначити, що в первинних актах взаємодії частина енергії первинного гамма-кванта перетвориться в кінетичну енергію електронів, а інша частина – в енергію вторинного фотонного випромінювання. Відповідно до цього лінійний коефіцієнт ослаблення можна записати у вигляді двох коефіцієнтів, тобто:

$$\mu_l = \mu_n + \mu_p, \quad (5.6)$$

де μ_n – складова, що характеризує частинку енергії гамма-кванта, перетворену в кінетичну енергію електрона;

μ_p – складова, що характеризує частинку енергії гамма-кванта в енергію вторинного фотонного випромінювання.

5.2 Заповнювачі спеціальних бетонів

Радіаційна стійкість бетону досліджена, переважно, при нейтронно-му опроміненні. Ступінь прояву радіаційної формозміни бетону істотно залежить від типу заповнювача, його об'ємного вмісту та гранулометричного розміру зерна. Дуже ефективно використання як заповнювача – хроміту, який практично не зазнає об'ємних змін. У цементному камені під впливом нейтронного опромінення, навпаки, спостерігається радіаційна усадка.

Ступінь зміни властивостей бетону під дією опромінення суттєво залежить від флюенсу швидких нейтронів. При флюенсі до $2 \cdot 10^{19}$ н/см², переважно, відбувається зневоднення цементного каменю з допомогою радіолізу води, що міститься у ньому. Подальше зростання флюенсу нейтронів призводить до позитивної формозміни заповнювачів, що, у свою чергу, викликає рівномірне ущільнення цементного каменю. При великих флюенсах нейтронів ($3 \cdot 10^{21}$ н/см²) спостерігається радіаційне усадження цементного каменю та радіаційне розширення заповнювачів. Внаслідок появи таких конкуруючих процесів в обсязі бетону виникають напруження, релаксація яких супроводжується утворенням мікротріщин. Міцність бетону різко знижується.

Виявлено ряд факторів, що впливають на зміни властивостей опромінених бетонів. Характер зміни властивостей будь-якого неоднорідного матеріалу зі складною будовою, зокрема, бетонів слід розглядати у взаємному зв'язку зі зміною складових його компонентів.

Як заповнювачів бетонів було досліджено радіаційний вплив на кварц, пісок, піщаник, серпентиніт, хроміт і металургійну руду. Є дані що у інтервалі доз опромінення $2 \cdot 10^{19}$ – $7 \cdot 10^{20}$ н/см² властивості цих матеріалів (крім хроміту) у тому мірою змінюються. Причина цих змін полягає в радіаційних дефектах кристалічної фази наповнювачів, накопичення яких у ряді випадків завершується повною аморфізацією кристалів. Внаслідок цих змін у мікроструктурі заповнювачів виникають позитивні радіаційні лінійні чи об'ємні деформації, тобто матеріал хіба що «розпухає». Анізотропія форми і, отже, деформація заповнювача визначає анізотропію передачі цих деформацій на цементний скелет бетону та концентрацію напруг. У початковій стадії процесу, коли деформації заповнювача помірні, що виникають у бетоні напруги ущільнюють структуру матеріалу взагалі, і цементного каменю, зокрема. Збільшення дози опромінення, радіаційних опромінь, радіаційних деформацій заповнювача і

напруги відбувається доти, поки напруги в зонах концентрації не перевищать межу міцності. Подальший розвиток процесу може призвести до повного розтріскування матеріалу та його мимовільного руйнування, без будь-якого впливу зовнішніх сил.

За даними досліджень впливу опромінення на властивості цементного каменю, в інтервалі доз опромінення $2 \cdot 10^{19}$ - $7 \cdot 10^{20}$ н/см² єдиним наслідком опромінення є значне зменшення його розмірів (до 3%), негативні радіаційні деформації, радіаційна усадка.

5.3 Основні властивості та вимоги щодо експлуатаційної надійності радіаційностійких матеріалів

Негативні радіаційні деформації цементного каменю пояснюються радіолізом води, що міститься в ньому, внаслідок чого відбувається усадка цементного каменю, що знаходиться у вільному стані. У бетоні цементний камінь не вільний, він знаходиться під навантаженням у напруженому стані, тому в доповненні до його пластичних деформацій від обтиснення заповнювачів та радіаційно-садочних деформацій повинні додаватися деформації повзучості. Усі деформації цементного каменю в бетоні відбуваються внаслідок структурних змін у заповнювачі та цементному камені, що є наслідком опромінення. Первинні пластичні деформації за своїм характером можуть бути віднесені до деформацій повзучості.

Усі деформації цементного каменю в бетоні відбуваються внаслідок структурних змін у заповнювачі та цементному камені, що є наслідком опромінення. Первинні пластичні деформації за своїм характером можуть бути віднесені до деформацій повзучості, вторинні – до радіаційної усадки, а до деформацій третього роду відносяться ті, які розвиваються не тільки в результаті внутрішнього напруженого стану, що створюється заповнювачем, що деформується, але і одночасно відбувається радіолізу всіх видів цементного каменю. Прийнята класифікація трьох видів деформацій цементного каменю дає можливість побудувати модель структурних змін, що відбуваються в ньому.

1. При дозах опромінення до $2 \cdot 10^{19}$ н/см² відбувається зневоднення цементного каменю внаслідок радіолізу води. У цей період втрачається механічно та фізично пов'язана вода. Жодної істотної зміни властивостей цементного каменю, крім газовиділення, не спостерігається.

2. За великих інтегральних потоків починають проявлятися позитивні радіаційні деформації більшості заповнювачів. Збільшені зерна заповнювачів тиснуть на цементний камінь, знижують і ущільнюють його структуру. За певних умов, коли має місце ізотропне обтиснення, спостерігається рівномірне однорідне ущільнення цементного каменю, що призводить до збільшення міцності.

3. Подальше збільшення дози опромінення викликає власні негативні деформації цементного каменю (радіаційне усадження). Оскільки

цементний камінь перебуває у напруженому стані, одночасно з деформаціями радіаційної усадки виявляються деформації радіаційної повзучості. Останні можуть призвести до різних структурних змін. Одні фрагменти об'єму цементного каменю можуть ущільнюватися та зміцнюватися, отже, інші – розтягуватися та розпушуватися.

4. У місцях концентрації напруг зерна заповнювача, що розширюється, анізотропно передають зусилля на цементний камінь, коли ж напруги перевищують можливу межу міцності, в цементному камені виникають мікротріщини. Подальше опромінення призводить до більшого розкриття тріщин, а також утворенню нових.

Таким чином, в результаті опромінення бетону в його складових відбуваються такі структурні зміни:

- деформується кристалічна решітка мінералів, складових заповнювач, часом аж до повної аморфізації, тобто. має місце фазовий перехід;
- перехід кристалів у скло супроводжується збільшенням об'єму тіла; розширення мінералів є причиною розширення агрегатів або зерен заповнювача та подальшого утворення в них спочатку мікро-, а потім і макротріщини аж до повного руйнування;
- взаємні радіаційні деформації зерен заповнювача та цементного каменю обумовлюють зміни у структурі цементного каменю, що найбільш несприятливо впливають на міцність бетонів структурні дефекти типу тріщин.

Бетони, що застосовуються для захисту від іонізуючих випромінювань, повинні відповідати заданим фізичним, хімічним і механічним властивостям, і насамперед мати високу щільність і однорідність, мати відповідний хімічний склад, у тому числі необхідний вміст таких компонентів, як залізо, барій, бор, а також хімічно зв'язаної води, задану радіаційну та термічну стійкість, конструкційну міцність, температурне розширення, мінімальне усадження як у процесі монтажу, так і в процесі експлуатації, високу теплопровідність та малий коефіцієнт лінійного розширення, активацію (кількість довгоживучих радіоактивних ізотопів, що утворюються в матеріалі захисту під впливом випромінювання), мінімальний вихід вторинного гамма-випромінювання, достатню жаростійкість і вогнестійкість, вібростійкість і ударостійкість, хімічну інертність до теплоносія та корозійно з основними конструкційними матеріалами реакторної установки.

Багато з цих вимог не сумісні та суперечливі, а в природі не зустрічаються матеріали, що мають комплекс зазначених властивостей. У зв'язку з тим, що матеріал, що використовується як захист в ядерних установках, в процесі експлуатації може розігріватися до 500 °С, він повинен бути жаростійким

Ці бетони не повинні виділяти гази, що містять шкідливі хімічні сполуки; бетонна суміш повинна легко укладатися та ущільнюватися в елементах з великим насиченням стрижнями арматури та іншими заставними деталями.

Не менш гострою залишається проблема створення надійних контейнерів для захоронення, транспортування та зберігання радіоактивних відходів. Останнім часом таким спорудам відводять одну з ключових ролей у багатобар'єрній системі захисту навколишнього середовища від впливу залишкового та вторинного іонізуючого випромінювання. Особливо це стосується низько- і середньоактивних відходів, поховання яких здійснюється або планується здійснювати в неглибокі підземні або спеціальні наземні сховища.

Використання композиційних матеріалів на основі бетону для виготовлення контейнерів, призначених для тривалого зберігання та транспортування радіоактивних відходів, дозволяє вирішити такі завдання:

- домогтися надійності контейнерів, тобто забезпечити достатню тривалість безпечного часу зберігання радіоактивних відходів з можливістю подальшого поховання;
- забезпечити гарантії безпеки за рахунок заводського виготовлення основного елемента сховища (контейнера);
- знизити вартість та спростити конструкцію тимчасових сховищ;
- забезпечити механічну міцність;
- підвищити корозійну та радіаційну стійкість;
- забезпечити технологічність та низьку вартість виготовлення та експлуатації контейнерів.

Проте, з іншого боку до матеріалів виготовлення контейнерів пред'являють досить жорсткі вимоги щодо міцності, водо- і газонепроникності, довговічності. Як правило, у кожному конкретному випадку потрібно дотримання лише певних вимог. Так, робочим комітетом з будівельних матеріалів Американського товариства інженерів-будівельників встановлено, що бетони для біологічного захисту ядерних реакторів можуть застосовуватися:

- при нормальних та високих температурах (якщо він відповідає будівельним вимогам, пов'язаним з високими температурами та їх циклічними змінами);
- у захисті від випромінювань на ядерно-енергетичних установках у дослідницьких реакторах та гарячих лабораторіях.

Варіюванням складу та щільності можна отримати бетон із широким діапазоном захисних властивостей.

При підборі бетону з метою ослаблення нейтронного випромінювання необхідно враховувати такі фактори:

- у реакції непружного розсіювання найбільший переріз мають елементи з великою атомною масою;
- для ослаблення нейтронів низьких енергій у бетоні потрібна наявність певної кількості водню. Встановлено, що бетон добре послаблює нейтрони у разі, якщо кількість водню у ньому становить щонайменше 0,5 мас. %. Щоб важкий бетон добре послаблював нейтрони, до бетонної суміші слід додавати "гідратний" заповнювач, тобто. заповнювач, що містить хімічно зв'язану воду;

- щоб забезпечити інтенсивне поглинання нейтронів, бетон повинен містити хороший поглинач нейтронів (бор, рідкісні або інші елементи, що мають великий переріз поглинання теплових нейтронів).

При підборі бетонів для захисту від гамма-випромінювання необхідно враховувати такі *практичні критерії*:

- при енергіях фотонів менше 0,5 МеВ найбільш ефективно послаблюють випромінювання бетони, що складаються з якомога більшої кількості компонентів з великим атомним номером;

- при енергії фотонів не більше 0,5 – 5,0 МеВ відмінності ефективності ослаблення пропорційні різниці значень щільності матеріалів. Для зменшення товщини захисту слід використовувати бетон з більшою щільністю, однак, це не зменшує загальної маси захисту;

- при енергії фотонів понад 5 МеВ гамма-випромінювання найбільше ефективно послаблюють бетони, що складаються з елементів з великим атомним номером.

Таким чином, в результаті вивчення залежності коефіцієнта ослаблення гамма-випромінювання та нейтронних потоків від атомної маси елементів захисту встановлено, що для ослаблення потоків швидких нейтронів ефективніші матеріали з малою атомною масою, а гамма-променів – з великою. Захисні властивості матеріалу від впливу гамма-випромінювання значно підвищуються зі збільшенням їх густини. В результаті опромінення мінералів спостерігаються фазові переходи кристалічної будови в аморфну, що супроводжується зміною всіх властивостей, появою радіаційних дефектів, що призводять до глибокої зміни кристалічної, молекулярної та надмолекулярної структури матеріалів. Однак, при дії вищих температур, рекомбінація радіаційних дефектів прискорюється, внаслідок цього при досить високих температурах повністю відновлюються властивості матеріалів, що змінилися після опромінення.

ЛЕКЦІЯ 6. ЗАХИСНІ ЕКРАНИ – ОСНОВНИЙ СПОСІБ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ

План:

- 6.1 Захисні екрани – основний спосіб радіаційного захисту.
 - 6.1.1 Екранування від проникаючої радіації.
- 6.2 Захист від електромагнітних випромінювань
 - 6.2.1 Характеристика матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання.
 - 6.2.2 Технічні вимоги, що висуваються до матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання.

6.1 Захисні екрани – основний спосіб радіаційного захисту

Екранування. Товщина шару заданого матеріалу, що зменшує рівень радіації вдвічі, називається **шаром половинного ослаблення**. Співвідношення рівня радіації до та після захисту називається **коефіцієнтом захисту**.

Зі збільшенням товщини шару протирадіаційного захисту кількість пропущеної радіації знижується експоненційно. Так, якщо шар половинного ослаблення ґрунту, що злежався, становить для гамма-випромінювання осколків поділу 9,1 см, то насип товщиною 91 см (типовий насип над протирадіаційним притулком) зменшить кількість радіації в 2^{10} , або 1024 рази.

Показник поглинання (який стоїть в експоненті) залежить від енергії. Наприклад, шар половинного ослаблення для випромінювання цезію-137 661.7 кеВ у багато разів менше, ніж для випромінювання кобальту-60 про енергію 1,1732 і 1,3325 МеВ.

Приклади характеристик шару половинного ослаблення гамма-випромінювання (про невизначену енергію) уламків поділу деяких матеріалів вказані у таблиці 4.1

Таблиця 6.1 – Характеристики шару половинного ослаблення гамма-випромінювання (про невизначену енергію) уламків поділу деяких матеріалів.

Матеріал захисту	Шар половинного ослаблення, см	Щільність, г/см ³	Маса 1 см ² шару половинного ослаблення, г
Сталь	2,5	7,86	20
Ґрунт, що злежався	9,1	1,99	18
Свинець	2,28	11,3	20
Збіднений уран	0,2	19,1	3,9
Деревина	29	0,56	16
Повітря	15000	0,0012	18
Вода	18	1,00	18
Бетон	6,1	3,33	20

6.1.1 Екранування від проникаючої радіації

Для захисту (екранування) від рентгенівського та гамма-випромінювань служать найбільш щільні та важкі речовини (свинець, бетон, цегла тощо). Екранування від нейтронів здійснюється речовинами, багатими ядрами атомів водню або вуглецю (вода, графіт, бетон і т. д.), багаторазові зіткнення з якими різко уповільнюють їх швидкість, або з ядрами атомів, що жадібно поглинають нейтрони, наприклад бору, кадмію, берилію та ін.

Екран може бути і багатошаровим, складеним з речовин, що спочатку уповільнюють, а потім поглинають нейтрони. Ефективне екранування альфа- і бета-частинок не становить особливих труднощів через їх порівняно малу проникаючу здатність

6.2 Захист від електромагнітних випромінювань

Захист людини від небезпечного впливу електромагнітного випромінювання здійснюється наступними способами:

- зменшення випромінювання від джерела;
- екранування джерела випромінювання до робочого місця;
- встановлення санітарно-захисної зони;
- поглинання чи зменшення утворення зарядів статичної електрики;
- усунення зарядів статичної електрики;
- застосування коштів індивідуального захисту.

Зменшення потужності випромінювання від джерела реалізується застосуванням поглинання електромагнітної енергії; блокуванням випромінювання або зниженням його потужності для обертових антен в секторі, в якому знаходиться об'єкт, що захищається.

Поглинання електромагнітних випромінювань здійснюється поглинальним матеріалом шляхом перетворення енергії електромагнітного поля в теплову. В якості такого матеріалу застосовують каучук, поролон, пінополістирол, феромагнітний порошок зі зв'язуючою діелектриком, волосяні мати, просочені графітом.

Екранування джерела випромінювання до робочого місця здійснюється спеціальними екранами за ГОСТ 12.4.154-85 "ССБТ. Екрануючі пристрої для захисту від електричних полів промислової частоти".

Розрізняють відображають і поглинаючі екрани. Перші виготовляють з матеріалу з низьким електроопором - метали та їх сплави (мідь, латунь, алюміній, сталь). Вони можуть бути суцільні і сітчасті. Більш ефективними є екрани, виготовлені з дротяної сітки або з тонкої (товщиною 0,01-0,05 мм) алюмінієвої, латунною або цинковою фольги.

Екрани з металевої сітки і металевих прутків у вигляді навісів, козирків застосовують для захисту від випромінювань промислової часто-

ти. Вони повинні бути заземлені. Допустима величина опору захисного заземлення екрануючих пристроїв не повинна бути більше 10 Ом.

Захисні властивості відбиваючих екранів полягають у тому, що під дією електромагнітного поля в матеріалі екрану виникають вихрові струми (струми Фуко), які наводять у ньому вторинне поле. Амплітуда наведеного поля приблизно дорівнює амплітуді екрануемого поля, а фази полів протилежні. Результируюче поле, що виникає в результаті складання двох розглянутих полів, швидко згасає в матеріалі екрану, проникаючи в нього на малу глибину.

Хорошою екрануючою здатність мають струмопровідні фарби на основі колоїдного срібла, порошкового графіту, сажі, оксиду заліза, міді, алюмінію. Цими фарбами фарбують екрани з металізованою поверхнею з боку падаючої електромагнітної хвилі. В якості екранів можуть застосовуватися різні плівки і тканини з металізованим покриттям. Для екранування оглядових вікон, вікон приміщення, стельових ліхтарів застосовується металізоване скло. Така властивість скла надає тонка прозора плівка або з оксидів металів, найчастіше олова, або з металів - міді, нікелю, срібла і їх поєднань. Радіоекрануючими властивостями володіють практично всі будівельні матеріали.

Екрани повинні бути заземлені для забезпечення стікання на землю утворюються на них зарядів.

Ефективність екранів оцінюють в децибелах за формулами 6.1-6.3:

$$\Delta L = 20 \lg(E_0/E); \quad (6.1)$$

$$\Delta L = 20 \lg(H_0/H); \quad (6.2)$$

$$\Delta L = 20 \lg(\text{ППЕ}_0/\text{ППЕ}), \quad (6.3)$$

Де E_0 , H_0 , ППЕ_0 - відповідно напруженість електричного і магнітного полів і щільність потоку енергії перед екраном; E , H , ППЕ - ті ж параметри після екрана.

Поглинаючі екрани виконують з радіопоглинаючих матеріалів, а саме: еластичних і жорстких пінопластів, гумових килимків, листів поролону або волокнистої деревини, обробленої спеціальним складом, а також з феромагнітних пластин. Відображена потужність випромінювання від цих екранів не перевищує 4%. Як поглинаючий екран можна розглядати ліс і лісозахисні смуги.

Захист від статичної електрики здійснюється шляхом підбору пар матеріалів елементів машин, які взаємодіють між собою тертям, однакових або максимально близько розташованих в електростатичному ряду. Іншим способом виключення утворення зарядів є змішання матеріалів, які при взаємодії з елементами обладнання заряджаються різнойменно.

Для усунення зарядів статичної електрики використовують заземлення частин обладнання. Електричне опір заземлювача може бути підвищена до 100 Ом.

Для збільшення інтенсивності стікання статичних зарядів з поверхонь у повітря приміщень останні зволожують.

Для нейтралізації зарядів статичної електрики на поверхнях обладнання, матеріалів застосовуються іонізатори-нейтралізатори, які створюють поблизу наелектризованих поверхонь позитивні і негативні іони. Іони, що несуть протилежний заряд поверхні, притягаються до неї і нейтралізують її заряд. За принципом дії нейтралізатори бувають:

- на коронного розряду (індукційні та високовольтні);
- радіоізотопні та аеродинамічні.

Принцип дії індукційних іонізаторів полягає в тому, що близько розрядних електродів у вигляді заземлених голок в електростатичному полі наелектризованого матеріалу виникає ударна іонізація повітря. Голки індукційних іонізаторів необхідно розташовувати на відстані не більше 20 мм від наелектризованої поверхні. У високовольтних нейтралізаторах коронний розряд утворюється під дією високої напруги, що створюється спеціальним джерелом. Дальність дії таких нейтралізаторів від 35 до 600 мм.

У вибухонебезпечних приміщеннях застосовують радіоізотопні нейтралізатори, дія яких заснована на іонізації повітря альфа-випромінюванням плутонію-239 і бета-випромінюванням прометія-147.

В аеродинамічних нейтралізаторах для генерації іонів використовується або іонізуюче випромінювання, або коронний розряд, а подача іонів до місця утворення зарядів статичної електрики здійснюється повітряним потоком.

До засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) від статичної електрики і електричних полів промислової частоти відносять захисні халати, комбінезони, окуляри, спецвзуття, заземлювальні браслети.

Матеріалом для захисних халатів, комбінезонів, фартухів служить спеціальна тканина, в структурі якої використовуються тонкі металеві нитки, скручені з бавовняними. Шолом і бахіли костюма робляться з такої ж тканини, але в шолом спереду вшиті окуляри і спеціальна дротяна сітка для дихання. ЗІЗ повинні бути заземлені.

Окуляри виготовляються з стекол спеціальних марок металізованих діоксиду олова.

Захист від дії інфрачервоного випромінювання передбачає дистанційне керування процесом; теплоізоляцію поверхні обладнання; влаштування захисних екранів, покритих теплоізоляційними матеріалами; водяні і повітряні завіси; застосування теплозахисних костюмів.

Існують різні способи захисту від дії ультрафіолетового опромінення: захист відстанню, екранування джерел випромінювання і робочих

місць, використання засобів індивідуального захисту, спеціальне забарвлення приміщень, раціональне розміщення робочих місць.

Найбільш раціональним є екранування джерела випромінювання. Для екрану застосовують матеріали і світлофільтри, які не пропускають або знижують інтенсивність випромінювань.

Стіни в приміщеннях фарбують у світлі тони з додаванням у фарбу оксиду цинку.

Для захисту від ультрафіолетового випромінювання обов'язково застосування індивідуальних засобів захисту (куртка, штани, рукавиці, фартух із спеціальної тканини і щиток зі світлофільтром, окуляри зі склом, що містять оксид цинку та ін).

Для захисту шкіри від УФІ застосовують мазі, що містять речовини, службовці світлофільтрами для випромінювань (салол, саліцилової-метиловий ефір, бензофенол та ін.).

6.2.1 Характеристика матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання

В даний час широке використання електроенергії призвело до підвищеного електромагнітного фону. Вважається, що цей фон налічує три складові: іонізуючі електромагнітне випромінювання (радіація), неіонізуюче електромагнітне випромінювання (на частотах 3000 ГГц) і біоенергоінформаційне електромагнітне випромінювання (випромінювання живих організмів) [1м].

Електромагнітна хвиля являє собою періодичну зміну в просторі і в часі електричного і магнітного полів, що поширюється від джерела електромагнітних коливань. Поширення електромагнітних хвиль відбувається в певній послідовності відповідно до законів симетрії, що може викликати накладення сил і, тим самим, посилення їх впливу [2-5м].

До основних електромагнітним параметрам речовини можна віднести: питомий опір (провідність), діелектрична проникність, тангенс кута діелектричних втрат, магнітна проникність, які є визначальними при проходженні електромагнітної хвилі через речовину. Від цих параметрів залежить коефіцієнт загасання електромагнітної хвилі [1м].

До недоліків існуючих стандартів [6-9м] можна віднести те, що вони розроблялися для промисловості, але не враховують норми опромінення людини в домашніх умовах, істотно збільшені, в зв'язку з використанням великої кількості побутових приладів.

Всі матеріали, з точки зору їх електричних свойст, поділяються на провідники, напівпровідники і діелектрики, і характеризуються такими діапазонами значень питомої електричного опору: провідники – 10^{-8} - 10^{-5} Ом·м, напівпровідники – 10^{-5} - 10^8 Ом·м, діелектрики – 10^8 - 10^{16} Ом·м.

Матеріали щодо магнітних характеристик діляться на:

– діамагнетик - речовини з відносною магнітною проникністю менше одиниці і не залежать від напруженості зовнішнього магнітного поля (мідь, цинк, золото та ін.);

– парамагнетики - речовини з відносною магнітною проникністю більше одиниці, що не залежить від напруженості зовнішнього магнітного поля (кисень, алюміній, платина, і ін.)

– ферромагнетики - речовини, у яких відносна магнітна проникність значно більше одиниці і залежить від напруженості зовнішнього магнітного поля (залізо, нікель, кобальт і їхні сплави та ін.). У свою чергу вони поділяються на: магнітотверді матеріали, магнітомягкі матеріали для низьких частот і магнітомягкі високочастотні ферромагнетики (магнітодіелектрики і ферити) [1-10м].

За типом фізичних механізмів, що забезпечують захисні властивості від дії електромагнітного випромінювання, всі матеріали можна умовно розділити на три групи: що відображають, поглинають і комбіновані. Найбільш перспективними матеріалами для створення покриттів, що захищають від дії електромагнітного випромінювання, є ферити, внаслідок того, що вони мають невелике значення магнітної проникності при низьких частотах [11м].

В даний час відомі будівельні матеріали для захисту від електромагнітного випромінювання - керамічні облицювальні плитки, спеціальні цементи і бетони, коіпозитні матеріали, мають ряд недоліків (є дорогими, складними у виготовленні або не володіють всім комплексом необхідних фізико-хімічних і захисних свойств.

6.2.2 Технічні вимоги, що висуваються до матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання

Останнім часом потужність фону електромагнітного випромінювання в окремих сферах життєдіяльності людини значно переважає гранично допустимі норми. Відомо, що енергія електромагнітного поля, що поглинається тканинами живого організму, перетворюється на теплову енергію, що збільшує загальне тепловиділення тіла і викликає різні морфологічні зміни серцево-судинної, центральної нервової та ендокринної систем організму людини. Виявлено функціональні порушення в роботі організму, які з часом під впливом електромагнітних полів посилюються, проте, їх наслідки можливо зменшити або усунути в разі припинення впливу електромагнітних випромінювань. Саме чутливість біологічних об'єктів до електромагнітних випромінювань визначає не тільки специфічність проблеми розробки ефективних засобів, методів і матеріалів для захисту, але і її наукову і практичну значимість [2-4].

В окремих промислових містах України рівень ЕМВ в сантиметровому діапазоні (надвисоких частот — НВЧ) перевищує гранично допустимий в 10 — 70 разів. Створення нових сучасних ефективних, екраную-

чих і радіопоглинаючих композиційних будівельних матеріалів з поліфункціональними властивостями є актуальною проблемою сьогодення.

Отримання радіоекрануючих та радіопоглинаючих матеріалів для захисту від ЕМВ в діапазоні надвисоких і вкрайвисоких частот є досить важливим питанням. Такі випромінювання чинять шкідливий вплив на рослинний світ і організми людей та тварин, створюють перешкоди при роботі різних радіоелектронних приладів і т.п. На думку фахівців Міністерства охорони здоров'я України екологічний аспект проблеми забезпечення захисту від електромагнітних випромінювань є досить актуальний та таким, який складно вирішується.

Рівень ЕМВ в промислових містах і центрах з кожним роком зростає, безперервний ріст електромагнітного фону обумовлений різким збільшенням числа 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.

В результаті проведеного аналізу джерел ЕМВ, і особливостей розповсюдження електромагнітного випромінювання встановлено, що істотний внесок в стан електромагнітної ситуації промислових міст вносить передавальна телевізійна апаратура, потужність якої складає десятки кіловат. Рівень ЕМВ в районі розміщення радіостанцій в діапазоні високих частот складає 2 — 60 В/м при гранично допустимому рівні (ГДР) 10 В/м, в діапазоні дуже високих частот — до 12 В/м при ГДР 3 В/м, в діапазоні надвисоких і вкрайвисоких частот — до 700 мкВт/см² при ГДР 10 мкВт/см². Разом з антенними полями високий рівень електромагнітного випромінювання створюють ненавмисні випромінювачі. За рахунок рельєфу місцевості та існуючих будівель, побудованих із традиційних матеріалів рівень ЕМВ може збільшитись у декілька сотень раз.

Приведення рівня електромагнітних випромінювань до встановлених норм досягається за допомогою організаційних і технічних методів захисту. Технічні методи направлені на пряме зниження інтенсивності ЕМВ і тому вважаються основними. В основу більшості технічних методів захисту покладено принцип відбиття (метод екранування) та поглинання радіохвиль. При цьому на ділянці надвисоких частот (НВЧ) переважно використовують поглинаючі матеріали, а на високих частотах (ВЧ) — відбиваючі (екрануючі) матеріали.

В зарубіжних країнах (Японії, Німеччині, Великобританії, Росії і інш.) розроблені радіозахисні матеріали (РЗМ), створені на основі мінерального або органічного в'язучого наповненого дисперсними вуглецевими і феритовими добавками. Для створення найбільш ефективних РЗМ, використовують феритові наповнювачі, але вартість таких конс-

трукції надзвичайно велика (до 1000\$ за 1 м² покриття) за рахунок високої вартості електромагнітного наповнювача (феритів). Вартість РЗМ з використанням електропровідних наповнювачів (порошку метала, вуглецю) значно нижча, але разом і з тим загальна ефективність екранування — недостатньо висока.

Вплив електромагнітних випромінювань викликає ряд гальмівних процесів центральної нервової системи (головний біль, млявість, сонливість, швидке стомлення), зміни у функціонуванні серцево-судинної системи (почастішання пульсу, підвищення температури, зміна складу крові в бік збільшення числа лейкоцитів і зменшення еритроцитів). Захист від електромагнітних випромінювань забезпечується зниженням напруги і щільності потоку енергії, екрануванням обладнання і робочих місць; дистанційним керуванням; раціональним розміщенням устаткування в робочому зоні; раціональними режимами роботи обладнання, раціональними режимами праці і відпочинку; засобами індивідуального захисту. Залежно від технологічного процесу надчастотних установки можуть розміщуватися в окремих або загальних приміщеннях. Електромагнітна енергія, яку випромінює окремими установками, при відсутності екранів поширюється в приміщенні, відбивається від стін і перекриттів, частково проходить крізь них і в незначною мірою розсіюється.

Матеріали стін і перекриттів приміщень, в тому числі і фарбувальні матеріали, по-різному поглинають і відображають електромагнітні хвилі. Масляна фарба створює гладку поверхню, яка відобразить до 30% електромагнітної хвилі. Вапняні покриття мають малу відбивну здатність. Тому для зменшення відображення електромагнітної енергії стіни і стеля, та створення захисних екранів доцільно використовувати спеціальні цементи, що мають підвищені захисні властивості від електромагнітних випромінювань.

ЛЕКЦІЯ 7. СПЕЦІАЛЬНІ БЕТОНИ – ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. СКЛАД ТА ВЛАСТИВОСТІ СПЕЦІАЛЬНИХ БЕТОНІВ

План:

- 7.1 Спеціальні захисні бетони.
- 7.2 Склад та властивості захисних матеріалів.

7.1 Спеціальні захисні бетони

Основні характеристики бетону

Міцність на стиск. Це одне з головних властивостей бетонного розчину, який вимірюється в мегапаскалях, визначаючи тим самим максимальну витримку тяжкості, на яку здатний цей будівельний матеріал. У міру взаємодії речовин, що становлять воду і цемент, міцність в бетоні здатна зростати. Даний процес називається гідратацією.

Кожному бетону характерні коефіцієнти міцності, які вказуються в декларації при купівлі. Але проявляється ця властивість тільки після закінчення чотирьох тижнів. Період набору міцності бетоном залежить від декількох моментів. В першу чергу на даний процес впливає пора року і температура повітря.

У зимовий період бетон замерзає, зростання міцності зупиняється. Щоб відновити даний процес, бетон прогрівають. Деякі будівельники вважають за краще відразу використовувати суміші, які, завдяки спеціальним добавкам, стійкі до морозів.

Лабораторне випробування бетону на міцність. Буває так, що залитті взимку бетони по приходу весни відтає, і починають набирати міцність з новою силою. Хоча в інших експлуатаційних властивостях будівельні суміші здають позиції.

При нормальних умовах міцність в бетонах активно зростає на першому тижні після закладки. На сьомий день рівень міцності досягає до 70% від виробничих норм. Навантажувати при цьому бетонну суміш ще рано, але опалубки вона вже не потребує. Максимальний коефіцієнт міцності досягається тільки до кінця місяця.

При підвищенні температури повітря твердіння бетонних сумішей прискорюється. Головне при цьому – спостерігати за відсотком вологи в матеріалі. Якщо розчин занадто швидко сохне, то підвищення міцності зупиняється. У зв'язку з цим недавно зведені бетонні будови обдають гарячою парою або накривають вологою мішковиною, ПВХ-плівкою. Деякі майстри практикують метод поливання розчину водою.

Деформативні властивості. Під дією тяжкості бетонна будівельна суміш поводить себе зовсім по-іншому, ніж інші матеріали. Ущільнена консистенція бетонного розчину обумовлює його дію під час зростаючого тиску.

Якщо бетон піддавати слабким, короткостроковим навантаженням, йому властиво легке деформування подібно пружині. Пружність будівельної суміші збільшується спільно з її міцності. Також на пружинистість впливає кількість пір в розчині. Чим їх більше, тим менше стає рівень пружності.

Мінімальною властивістю пружності мають пористі бетони. Трохи вище показники у легких пористих бетонів. Найвищий рівень пружинистість у важкого будівельного матеріалу. Пружинисті властивості бетону з легкістю піддаються маніпуляціям по регулюванню структури розчину.

Текучість. Під розтіканням, або повзучістю мається на увазі збільшення руйнувань бетонної конструкції протягом деякого часу під безперервним впливом статичних навантажень.

На текучість будівельного розчину впливають багато факторів: перелік складових його компонентів, вид цементу та інших добавок, вік бетонної суміші, рівень вологості, а також умови застигання.

Менше розтікаються бетонні розчини зі щебенем, або іншими щільними заповнювачами. Легкі суміші з підвищеною пористістю пливуть набагато більше. Негативно впливає на бетонні будівельні суміші занадто швидке висихання, збільшуючи їх текучість, змінюючи структуру в гіршу сторону.

Усадка і набухання. До властивостей бетонної суміші відносяться усадка і набухання. Осідання бетонної конструкції відбувається під час застигання на відкритому повітрі. Це призводить до усадочної напруги в будівлях з бетону, і як наслідок, до тріщин. Тому масивні конструкції поділяють усадочними швами.

Щоб скоротити усадочну напругу і вберегти побудовану будівлю від тріщин, майстри намагаються не допустити усадку будівельного матеріалу. Цього домагаються за допомогою додавання в розчин спеціальних наповнювачів, а також точним розрахунком коефіцієнта усадки ще до початку будівництва.

Цементно-бетонні дороги, а також споруди гідротехнічного напрямку внаслідок вимушеного періодичного контакту з водою постійно піддаються до усадки та набухання. Результатом цих почергових процесів є мікротріщини і деструкція бетону.

Морозостійкість. Дана властивість бетону встановлюється шляхом почергової заморозки у морозильнику при температурі від 15 до 20 градусів і відтавання у воді тих же температур, тільки зі знаком «плюс». Випробування здійснюється через тиждень після теплової сушки або через чотири тижні застигання бетонної зразка в звичайних умовах.

На морозостійкість бетонних конструкцій впливають якісні характеристики використовуваних при виготовленні розчину компонентів, а також рівень пористості. Якщо він нижче 7%, стійкість до мінусових температур підвищується.

Довговічність і стійкість до хімічних впливів. Довговічність і стійкість до хімічних реакцій будівельної суміші залежить від багатьох факторів. Важливу роль тут відіграють висока щільність і низький рівень пористості матеріалу.

Щільність бетонних будівельних матеріалів. На щільність бетонної конструкції впливає структура використовуваного розчину. У цементів різного маркування зустрічається різна питома маса. Те ж саме стосується і щебеню, у якого щільність залежить від розміру зерен, а також типу матеріалу. Щільність бетону надає прямий вплив на його міцність. Чим вище властивість щільності, тим міцніше виходить підсумкова робота.

Щільність розчину зростає, якщо при його виготовленні рівномірно розмістити відповідні рамки. Збільшити цю властивість також здатні вібраційні маніпуляції з розчином під час його заливки.

Бетонні матеріали з високими показниками пористості не володіють нормальною щільністю, у зв'язку з чим страждає їх стійкість до хімічних реакцій, перепадів температури, а також зменшується стійкість до вологи і вогкості, і як наслідок, скорочується довговічність. Але у таких бетонів відмінні теплоізоляційні характеристики, чого не скажеш про будівельні суміші з підвищеною щільністю.

Вогнестійкість. Під вогнестійкістю бетону розуміється його стійкість до пожеж. Дана властивість досить висока у цементно-будівельних сумішей. Адже під час нагріву бетонної конструкції відбувається розпад кристалогідратів цементного каменю і виділяється шляхом адсорбції хімічно пов'язана рідина, яка при випаровуванні забирає практично все тепло. Завдяки цьому процесу вплив високих температур на бетон скорочується.

Разом з тим під час інтенсивного нагріву бетонних будівель розширюються частинки цементної суміші і доданого в неї заповнювача. Це призводить до сильної напруги всередині будівельного матеріалу, в результаті чого скорочується зчіпка між його компонентами, і знижуються його характеристики міцності.

Тепловиділення при твердінні. Взаємна діяльність води з мінералами клінкерної обробки обумовлює подальше джерело тепла, завдяки якому під час застигання розчину відбувається його нагрів. На підвищення температури будівельного розчину впливає вид використовуваного цементу, а також його витрачання на 1 м³ бетону. При певних умовах твердіє бетон здатний нагрітися до 50 градусів, що призводить до його розширення, що зупиняє усадку конструкції.

Зростання температури всередині будівельного матеріалу великих бетонних споруд призводить до розширюють теплових навантажень, рівень яких може бути вище міцності бетону при розтяжці. Внаслідок цього бетонні конструкції тріскаються і втрачають свою довговічність.

Теплова напруга є результатом нерівномірного нагрівання бетонного матеріалу. При цьому поверхневі шари занадто швидко остигають, тоді як внутрішні рівні бетонних блоків ще довго залишаються гарячими. Щоб вирівняти температуру по всій площі великого бетонного будови, знадобиться не один місяць. Обсяг тепла, що виділяється під час ущільнення бетонної суміші, обумовлюється розмірами кристалів подрібненого цементу, його витратою на 1 м³ бетонної будови, а також іншими факторами.

Максимальним тепловиділенням під час застигання володіють глиноземисті цементно-бетонні розчини. Найменше виділяється тепла у бетонів, що містять шлакопортландцемент зі значною кількістю шлаку всередині. Додавання в бетонну суміш тонко подрібнених матеріалів сприяє скороченню тепловиділення при застиганні розчину.

Водонепроникність. Водонепроникність будівельних сумішей залежить від кількості пір всередині розчину. Чим менше його пористість, тим сильніше він стійкий до вологи. Якщо потрібно посилити цю властивість будівельної суміші під час приготування в розчин додають ущільнювач алюмінат натрію, а також гидрофобизующие добавки.

У продуктів нафтового походження поверхневий натяг менше, ніж у води, що дозволяє їм з легкістю просочуватися через звичайний бетон. Щоб зменшити цей процес, в розчин додають хлорне залізо та інші подібні речовини.

Швидко підвищити водонепроникність будівельної суміші, а також скоротити проникність нафтопродуктів у бетон можливо за допомогою заміни стандартного портландцементу на розширюється.

Легкоукладальність бетонної суміші. Обсяг води, необхідної для отримання розчину потрібної консистенції, впливає на його легкоукладальність. Дана рідина розділяється між цементним тестом і заповнювачем. Її обсяги в цементному тесті залежать від в'язкості суміші, її пливучості, жорсткості, а також максимальної напруги зсуву. Кількість води, необхідне заповнювачу, збільшується разом із зростанням загальної поверхні його зерен. Тому дрібні сорти пісків зажадають багато рідини.

Щоб бетон був досить міцним, пропорції взаємодіючих цементу і води в розчині ніколи не повинні змінюватися. У зв'язку з цим при збільшенні потреби води відбувається перевитрата цементного піску. При використанні дрібних сортів цементу перевитрата становить від 15 до 25 % матеріалу. Тому дрібні піски використовуються як доповнення до основного сортаменту суміші, що складається з великого або дробленого піску і пластифікаторів, скорочують потребу рідини.

Однорідність й в'язкість. На величину даних властивостей бетонної суміші впливає вміст дрібних осередків заповнювача, і конституція максимально в'язучого взаємодії крупно коміркового заповнювача в розчині, а також належне перемішування.

Особливо важкі бетони застосовують для захисту від радіоактивних випромінювань, при цьому в якості заповнювача вводять металевий скрап, дріб чавунну, сталеву стружку, залізні руди (магнетит, гематит, лимоніт), що містять до 70 % і більше оксиду заліза.

Особливо важкі бетони об'ємною вагою понад 2500 кг/м³ виготовляються на портландцементних, шлакопортландцементних і глиноземистих цементах. В якості заповнювачів застосовуються важкі матеріали - барит, магнетит, чавунний скрап (відходи чавуну), обрізки сталі. Особливо важкі бетони застосовуються в спорудах, службовців для захисту від ядерних випромінювань.

Особливо важкі бетони отримують на основі заповнювача з залізної руди, бариту, чавунного скрапу, свинцевого дробу; важкі - на основі заповнювача із щільних гірських порід: гранітів, діабазу, пісковика та ін. В легких бетонах використовують природний або штучний пористі заповнювачі, в тому числі пемзу, керамзит, аглопорит та ін. Особливо легкі бетони (теплоізоляційні) відрізняються тим, що своєрідним заповнювачем в них є повітряні чи газові пори-осередки.

Особливо важкі бетони виготовляють з цементу і спеціальних заповнювачів з великою об'ємною масою. До особливо легких бетонів відносяться пінобетон і газобетон.

З особливо важких бетонів виготовляють вироби, що застосовуються для поглинання рентгенівських променів, а також випромінювань, що супроводжують радіоактивний розпад.

Для одержання особливо важких бетонів щільністю 5000 - 7000 кг/м³ застосовують чавун (щільність близько 7500 кг/м³) у вигляді дробу, крихти і скрапу (великого брухту), а також сталь (щільність близько 7800 кг/м³) у вигляді обрізків, відходів від штампування, подрібненої стружки.

При приготуванні особливо важких бетонів для захисту від радіоактивного впливу в якості в'язучих речовин застосовують портландцементи, шлакопортландцементи і глиноземисті цементи.

Об'ємна маса захисних особливо важких бетонів залежить від виду заповнювача і його об'ємної маси.

За об'ємної щільності поділяють на особливо важкий бетон, важкий бетон, легкий бетон, особливо легкий бетон.

Для поліпшення захисних властивостей в особливо важкий бетон зазвичай вводять карбід бору або ін добавки, що містять водень, літій, кадмій.

В якості в'язучих речовин в особливо важких бетонах використовують портландцемент, пуцолановий портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистий цемент, гипсоглиноземистий (розширюється) цемент, в гідратних бетонах - глиноземистий, що розширюється, швидкотверднучий, самонапрягаемый та ін. Всі вони в тій чи іншій мірі спри-

яють максимальному хімічному і адсорбційному утриманню води в цементному камені і бетоні.

Для захисту від гамма-випромінювання застосовують матеріали підвищеної щільності - особливо важкі бетони, свинець, грунт, від нейтронного випромінювання - вода і матеріали, що містять зв'язану воду, лимонитова руда, бетони з добавками бору, кадмію, літію.

По щільності застосовуваних бетонів виробництва діляться на виробництва з особливо важких бетонів, з важких бетонів, з легких бетонів і особливо легких.

Баритобетон, одержуваний в результаті твердіння мінерального в'язучого матеріалу, заповнювача і води; різновид особливо важкого бетону. Бетон в техніці захисту від випромінювань.

По виду бетонів і застосовуються в бетоні в'язучих розрізняють виробництва з: цементних бетонів - важких на звичайних щільних заповнювачах, особливо важких бетонів і легких бетонів на простих заповнювачах; силікатних бетонів автоклавного твердіння - щільних (важких) або на легких пористих заповнювачах на основі вапна або змішаному в'язучому; ніздрюватих бетонів - на цементі, вапна або змішаному в'язучому; спеціальних бетонів - жаростійких, хімічно стійких, декоративних, гідратних.

Бетон для захисту від радіації. Для захисту від γ -випромінювання використовують особливо важкий бетон на чавунному, свинцевому і іншому надважкій заповнювачі. Такі бетони вимагають ретельного підбору складу, дотримання технологічних режимів виготовлення і твердіння. Нейтронне випромінювання найбільш ефективно поглинається гідратними бетонами, що мають підвищений вміст хімічно зв'язаної води. Для їх приготування найчастіше використовують глиноземистий цемент, а в якості заповнювачів - лимоніт і серпентин. У бетон вводять добавки, що містять легкі елементи: літій, фтор і ін. Особливі вимоги, перш за все по довговічності і міцності, пред'являються до бетонів для підземних сховищ радіоактивних відходів та інших поховань. При їх виготовленні обов'язково вводять дисперсні наповнювачі (мікрокремнезем і ін) в композиції з суперпластифікатором.

У першому випадку розшарування рухомих сумішей відбувається під впливом відмінності в щільності великого заповнювача і розчину. Якщо великий заповнювач важче (в звичайних важких і особливо важких бетонах), він осідає вниз, якщо легше (в легких бетонах), спливає вгору.

Особливо важкі бетони об'ємною вагою понад 2500 кг/м^3 виготовляються на портландцементних, шлакопортландцементних і глиноземистих цементних. В якості заповнювачів застосовуються важкі матеріали - барит, магнетит, чавунний скрап (відходи чавуну), обрізки сталі. Особливо важкі бетони застосовуються в спорудах, службовців для захисту від ядерних випромінювань.

Для виготовлення вантажів застосовують шлакопортландцемент марки 300 - 400, гравій або щебінь вивержених порід. Менша об'ємна маса бетону в порівнянні з чавуном викликає збільшення розмірів залізобетонних вантажів або більш часте їх розташування, ускладнює роботи з навішування вантажів і протягання трубопроводу. З метою зменшення розмірів залізобетонних вантажів для їх виготовлення доцільно застосувати важкі і особливо важкі бетони з рудовмісними заповнювачами.

ЛЕКЦІЯ 8. КЛАСИФІКАЦІЯ СПЕЦІАЛЬНИХ БЕТОНІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

План:

8.1 Спеціальні захисні бетони

8.1.1 Класифікація спеціальних бетонів

8.2 По в'язучій речовині бетони класифікують.

До спеціального бетону прийнято вдаватися для створення дамб, дорожніх покриттів, автомобільних стоянок, аеропортів. Такі види бетонів випускаються в різних складах і мають різні властивості. Цим бетоном користуються для теплоізоляції приміщень. Він володіє хорошими теплоізоляційними характеристиками, але в той же час не відрізняється високою міцністю. На ринку представлений широкий вибір оздоблювальних розчинів. В якості наповнювача для будматеріалів використовуються різні породи і камені. Крім того, фахівці розробили склади, що володіють особливими характеристиками (стійкість до впливу шкідливих хімічних речовин, звукоізоляція, вогнетривкість, рентгеностійкість, захист від опроміненень та ін.).

8.1 Спеціальні захисні бетони

На атомних електростанціях, як і на інших ядерних установках, як матеріал для радіаційного захисту застосовується головним чином бетон, який є одночасно і несучою конструкцією. Бетон - економний і досить ефективний захисний матеріал, гідністю якого можна вважати також можливість зміни його властивостей як технічних, так і фізичних (у тому числі захисних). В основному на АЕС використовують бетони класу В40-В45, для будівництва фундаментної частини будівлі допускається використовувати бетони класу В30.

Для радіаційного захисту АЕС використовуються важкі та особливо важкі бетони, які з метою відмінності їх по області застосування від інших типів бетонів називаються «бетони для радіаційного захисту». За об'ємною масою бетони діляться на важкі з об'ємною масою від 1,8 до 2,5 т/м³ і особливо важкі з об'ємною масою понад 2,5 т/м³ (3,2-3,3 т/м³).

Для поділу бетонів на вигляд використовуваних заповнювачів і в'язучого в назву бетону включається відповідно найменування заповнювачів і в'язучого, наприклад «бетон на магнетитових заповнювачах» або «магнетитовий бетон», «бетон на портландцементі» і т.д.

Тяжкі бетони радіаційного захисту, що працюють при температурах до 50 °С, називаються «звичайними важкими бетонами» або «важкими бетонами».

Бетони, що працюють при температурах від 51 до 350 ° С включно, називаються «бетонами для підвищених температур»; бетони, призначені для роботи при температурі вище 350 °С, - «жаростійкими бетонами».

Бетони, що містять підвищену кількість хімічно зв'язаної води в порівнянні зі звичайними важкими бетонами, називаються гідратними.

У назву бетону включають всі відмітні ознаки, як, наприклад, «особливо важкий магнетитовий бетон на портландцементі».

У зв'язку з тим, що для аналізованих енергій захисні характеристики бетону від гамма-випромінювання мало залежать від хімічного складу, особливих вимог до хімічного складу бетонів для радіаційного захисту технологічних приміщень АЕС не пред'являється. Однак хімічний склад бетону має бути точно відомий під час проектування захисних конструкцій АЕС. Необхідно знати тип бетону та його об'ємну масу.

Для радіаційного захисту АЕС знайшли найбільше застосування два типи бетонів: звичайний важкий з об'ємною масою 2,15-2,35 т/м³ ($\pm 3\%$) і особливо важкий з об'ємною масою 3,2 т/м³ (+3 %) і більше.

При виборі типу бетону для радіаційного захисту конкретної АЕС слід віддавати перевагу бетону, для приготування якого використовуються місцеві матеріали: заповнювач, в'язуче, добавки і т.п.

8.1.1 Класифікація спеціальних бетонів

Спеціальні бетони, крім основних видів, бувають:

Електроізоляційний. Даний вид спецбетонів володіє підвищеними і стабільними властивостями матеріалу протистояти електричному струму протягом тривалого часу високовольтної експлуатації. При необхідності армувати електроізоляційні спецбетони вибирають неметалеву арматуру зі склопластикового стрижня.

Легкі бетони. Мають високу пористість і невелику щільність. Їх застосовують для зведення несучих конструкцій, огорож і споруд із залізобетону. Легкі спецбетони використовують замість цегли, що підвищує теплоізоляційні властивості огорож, зменшує масу стін споруд і скорочує витрати на транспортування.

Хімічно стійкі поділяються на кислототривкі, солестійкі і лугостійкі. Використовують їх в якості захисту споруд із залізобетону, які піддаються впливу агресивних факторів навколишнього середовища. Виготовлення хімічно стійких спецбетонів здійснюється з рідкого скла, натрію і силікату калію з додаванням спеціального затверджувача.

Антирадіаційні. Містять в собі добавки, які створюють унікальні властивості для бетонних виробів. Антирадіаційні спецбетони повинні володіти мінімальною усадкою і максимальною міцністю на розтягнення. До їх складу входять портландцемент, наповнювачі, спеціальний метал для погашення вибухової хвилі і шлакопортландцемент.

Особливо важкі. Таким видом бетонного розчину користуються для будівництва спеціальних конструкцій, що захищають від впливу радіації. До цього типу відносяться суміші, щільність яких становить більше 2500 кілограмів на кубічний метр. Для бетонів використовують різні склади цементу (наприклад, портландцемент). Суміші заповнюють матеріалами, що володіють високою міцністю (наприклад, барит). Заповнювачі в цьому виді повинні володіти особливими технічними характеристиками.

Важкий бетон. Для будівельних робіт широко застосовують матеріал, щільність якого становить 1600-2500 кілограмів на кубічний метр. В якості заповнювачів в бетон додають граніт, щебінь та ін.

Існують такі різновиди будматеріалу: для споруд із залізобетону; міцний; швидко тверднучий; для гідротехнічних конструкцій; для доріг й взлітних смуг.

8.2 По в'язучій речовині бетони класифікують

Маса бетону залежить, як правило, від використаного наповнювача. Цей критерій дозволяє визначити безпосереднє співвідношення між в'язучою речовиною і заповнювачем. Існують норми, згідно з якими будівельники виготовляють бетонні розчини, однак при необхідності можна замовити суміш за власним рецептом. За своєю концентрацією матеріал ділиться на наступні типи: худий; товарний; жирний.

Зокрема, *худий тип бетону* містить меншу кількість в'язучого речовини. З цієї причини може знизитися щільність. За рахунок даного фактора марка суміші знижується. Сама речовина володіє деякими характеристиками пластифікації, що говорити про легкоукладальність таких розчинів завдяки невеликій концентрації речовини.

Жирні типи цементної суміші містять непропорційне співвідношення наповнювача і в'язучого (більше в'язучої речовини). Однак необхідно брати до уваги, що надлишок такої речовини негативно позначається на якості складу: можлива усадка, внаслідок якої з'являються тріщини. Збільшення концентрації в'язучої речовини утримує рідину в суміші, що впливає на обсяг бетону. Коли матеріал починає тверднути, відбувається деформування цементу, внаслідок чого утворюються тріщини.

У свою чергу, *товарний тип розчину* виготовляється за рецептурою, має необхідні сертифікати, що підтверджують їх якість. Документи гарантують, що суміш не буде деформуватися. Щільність і інші властивості відповідають прийнятим нормам.

Спеціальні бетони. Використовуючи спеціальні види цементних сумішей, будівельники можуть працювати в особливих умовах, оскільки ці будматеріали мають характеристики, які нехарактерні для інших бетонних складів. Але разом з тим при їх виготовленні задіяні звичайні технології та інгредієнти. Такі бетони, зокрема, необхідні для зведення конс-

трукцій, які покликані захистити від шкідливого випромінювання. З цією метою до складу розчину додають наповнювачі з вмістом заліза та інших елементів, які поглинають шкідливе випромінювання. Часто в ролі заповнювачів виступають руди (наприклад, магнетит), оброблений метал, барит тощо. Щільність бетонів становить 5000 кілограмів на кубічний метр.

Цементний бетон. Цементні бетони виготовляються на основі в'язучих компонентів. Такі типи розчинів роблять за допомогою цементних інгредієнтів. Найбільш поширеним компонентом є портландцемент. Крім того, широко застосовуються цементні суміші з додаванням шлакопортландцементу, а також пуццоланового розчину.

Полімерцементний бетон. Штучний кам'яний матеріал, сполучниками якого є полімер і цемент, заповнювачами — пісок та щебінь.

Полімерцементні бетони являють собою цементні розчини з додаванням різних полімерних сполук (наприклад, стирол, колоїди), полівінілового спирту, поліамідних і розчинних смол. Спеціальні органічні добавки вводять до складу суміші під час приготування. Полімери застосовують у якості добавок, вони надають в'язучу дію, ними просочують затверділі залізобетонні конструкції армують вироби, додають в склади у вигляді наповнювачів. В результаті полімерцементний розчин набуває унікальні властивості: він стає набагато морозостійкіше і міцніше звичайного будматеріалу. Крім цього будматеріал набуває адгезійні характеристики, зносостійкість, щільність. Найпоширенішими інгредієнтами вважаються ПВА та смоли.

Як відомо, жодне будівництво не обходиться без бетонної будівельної суміші. Залежно від складових компонентів бетони бувають різних видів. Також різні і їх якості. Але для більшості бетонів характерні одні і ті ж властивості.

ЛЕКЦІЯ 9. ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ВІД ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ

План:

- 9.1 Характеристики бетону
- 9.2 Класи та марки бетонів
- 9.3 Застосування різних типів бетону

На сьогодні бетон – матеріал без якого не обійдеться жодне будівництво. Призначення бетонної суміші розрізняють за ступенями і видами міцності бетону, і кожна володіє певними особливостями. Ці фактори обумовлюють застосування будівельного розчину для вирішення конкретних завдань. Слід звернути увагу на такі характеристики як марка бетону, міцність, морозостійкість, водонепроникність, щільність та інші важливі параметри.

9.1 Характеристики бетону

Бетон характеризується такими властивостями:

Міцність. Ця властивість багато в чому залежить від кількості в'язучої речовини, що входить до складу суміші. Марка і клас майбутнього бетону залежить від вмісту заповнювача, наприклад, цементу. Чим більше його в суміші, тим вищою є якість. Вона визначає стійкість до руйнування під впливом зовнішніх сил. Так, в числі характеристик бетону В25 значиться можливість витримувати тиск 25 МПа.

Міцність бетону повністю відповідає аналогічній характеристиці заповнювача, що входить в його структуру. Це можуть бути як природні, так і штучні кам'яні матеріали – щебінь, гравій, крупний пісок, руда і т. д. Наповнювачі виконують функцію каркасу, а міцність виражається за допомогою класу – латинської літери «В» і цифри, яка вказує на тиск.

Бетон В20-В25 – найбільш популярний. Його використовують для спорудження фундаментів в малоповерховому будівництві, зведення монолітних стін, виготовлення залізобетонних виробів, заливки підлог і стяжок.

Бетон В30 і більше. Матеріали, практично не застосовуються в малоповерховому будівництві. Використовуються при зведенні багатопверхових будівель, в мостобудуванні, для заливки смуг аеродромів. Здатні витримувати значні вертикальні динамічні навантаження;

- **Щільність** бетону розраховують відношенням маси бетону до його об'єму і визначають за допомогою кг/м³, а іноді – у відсотках. Чим більший цей показник, тим міцніший бетон. У різних видів матеріалу різна щільність, з цієї причини була розроблена спеціальна класифікація: особливо легкі, легкі, важкі і надважкі бетони.

Важкі (від 1800 до 2500 кг / м³). Такі суміші на заповнювачах з гірських порід, таких як вапняк, діабаз, граніт. Мають максимальну стійкість до радіації.

Особливо важкі (понад 2500 кг / м³). В їх основі – сталева тирса або стружка, барит або залізна руда.

Легкі (від 500 до 1800 кг / м³). Ця група включає в себе бетони з пористими заповнювачами або суміші без наповнювачів з великою кількістю пор в бетоні. В основі такого складу – керамзит, пемза, туф та інші пористі заповнювачі.

Бетон незамінний для виготовлення гідроспоруд – дамб, опор, мостів, і особливе значення має його **водонепроникність** (W2-W20).

Морозостійкість має позначення F із зазначенням кількості циклів заморожування і розморожування – F50-F1000. До споруд в місцевостях з суворими кліматичними умовами висуваються особливі вимоги. Бетонні конструкції, що витримують значні перепади температури, підходять в цьому випадку найкраще.

9.2 Класи та марки бетонів.

Марки бетону мають визначений склад. Всі компоненти в матеріалах взяті в певному співвідношенні. Розглянемо склад популярних марок бетону і їх призначення в таблиці 9.1. за умови, що використовується цемент М500.

При промисловому виробництві бетону підбирають марку цементу, відповідну класу бетону. Враховують і інші характеристики, що впливають на пропорції матеріалів.

Таблиці 9.1 - Склад популярних марок бетону і їх призначення

Марка бетону	Співвідношення цементу (в кг)	Піску (в кг)	Щебню (в кг)	Застосування
100	1,0:	5,8:	8,1	Заливка фундаментів, монолітів, дорожнє будівництво
150	1,0:	4,5:	6,6	Заливка бетонної подушки, підлог, стяжок, бетонування доріжок
200	1,0:	3,5:	5,6	Стяжка підлог, бетоновані доріжки, вимощення
250	1,0:	2,6:	4,5	Монолітні перекриття, фундаменти в заболочених місцевостях, балки, міцні плити перекриття
300	1,0:	2,4:	4,3	Сходові майданчики, тротуар, дороги, колодязі
400	1,0:	1,6:	3,2	Мости, банківські сховища, технічні споруди, колони, балки

9.3 Застосування різних типів бетону

Залежно від умов експлуатації майбутніх залізобетонних конструкцій виробники будівельних матеріалів випускають різні бетонні суміші. За призначенням бетон поділяють залежно від специфіки застосування в будівництві та основних функцій, які вони виконують з урахуванням технологічних прийомів їх виготовлення, транспортування, укладання, ущільнення і умов тверднення. Отже, типи бетону:

- *звичайні бетони*, використовуються для виробництва бетонних і залізобетонних конструкцій. Основними показниками є міцність на стиск і, в разі їх застосування в зовнішніх елементах будівельних конструкцій, морозостійкість;

- *спеціальні бетони*. При виробництві цих матеріалів використовують добавки, що забезпечують можливість зберігати робочі характеристики в екстремальних умовах;

- *гідротехнічні*. Технічні характеристики такого бетону дозволяють використовувати його для будівельних конструкцій, що працюють в прісній або морській воді;

- *легкі бетони* для огорожувальних конструкцій. Такі бетони повинні мати низьку теплопровідність, і в той же час бути досить міцними і морозостійкими;

- *дорожні бетони*, до яких також можна віднести бетони для підлог і аеродромних покриттів. Вони повинні мати високу зносостійкість і морозостійкість, забезпечувати хороше зчеплення шин з поверхнею бетону;

- *конструкційно-теплоізоляційні*. Такі суміші забезпечують відмінний теплозахист. Вони використовуються для створення зовнішніх конструкцій, наприклад, фасадів і огорож;

- *жаростійкі бетони*. Використовуються при зведенні труб ТЕЦ, спорудженні металургійних цехів, промислових печей. Ці бетони не повинні руйнуватися при тривалому впливі високих температур. Вони не утворюють тріщин при нагріванні і добре чинять опір дії агресивного газового середовища і не плавляться;

- *кислотостійкі бетони* призначені для будівельних споруд хімічної промисловості і підприємств спеціального призначення з підвищеним вмістом пари кислот. Кислотостійкі бетони повинні витримувати тривалий вплив кислот без видимих ознак корозії їх поверхні;

- *бетони для біологічного захисту від радіоактивних випромінювань* поділяються на: *особливо важкі і гідратні*. Перші призначені для захисту від гамма-випромінювань, гідратні ефективно поглинають енергію нейтронів;

- *товарні бетони і розчини*, виготовлені в даний час на високопродуктивних автоматизованих заводах, звідки вони перевозяться спожи-

вачеві на відстань до 20 км і більше. В зв'язку з цим бетонні суміші і розчини повинні мати підвищену життєздатність, щоб їх можна було використовувати на будівельному майданчику;

- *бетони електропровідні*, досить добре пропускають електричний струм і використовуються для нагрівання внутрішніх приміщень (у вигляді стінових панелей) і інших цілей;

- *бетони для зимового бетонування*, що застосовуються при зведенні будівельних конструкцій в умовах понижених температур. Ці бетони відрізняються підвищеною екзотермією (виділенням теплоти), в результаті використання активних в'яжучих речовин і спеціальних добавок, перешкоджають замерзанню бетонів до мінус 25 °С;

- *ущільнені*. Структура такого бетону максимально щільна, позбавлена порожнин і вільних зон. Бетонні суміші даного виду є найбільш міцними і твердими після схоплювання. Застосовуються для створення несучих конструкцій;

- *декоративні*. Бетон цього виду володіє особливою фактурою і стійкістю до атмосферних явищ. Використовується при обробці фасадів будівель і створенні декоративних елементів конструкцій.

ЛЕКЦІЯ 10. УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВАЖКИХ РАДІАЦІЙНОСТІЙКИХ БЕТОНІВ У ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ

План:

- 10.1 Матеріали для спеціальних бетонів
 - 10.1.1 Заповнювачі для спеціальних бетонів
 - 10.1.2 Рухливість бетонної суміші
- 10.2 Умови застосування для захисту від випромінювання
- 10.3 Засипний захист

10.1 Матеріали для спеціальних бетонів

Матеріали для бетонів. Матеріали, що використовуються для приготування бетонів, повинні задовольняти вимогам, що пред'являються до бетону як захисного та конструктивного матеріалу.

Як основний в'язкий для захисних бетонів рекомендується застосовувати портландцемент, марка якого вибирається з умови забезпечення заданої міцності бетону. Застосування інших типів в'язучих допускається при належному техніко-економічному обґрунтуванні та забезпеченні заданих якостей бетону.

Бетон є затверділою масою, приготувану з води, цементу, великого та дрібного заповнювачів. Зазвичай використовують портландський цемент марок 300-500. Він складається з оксидів Ca, Si, Al та інших елементів, вміст кисню в цементі – близько 40%.

Для замішування бетонної суміші застосовують воду, придатну для пиття; в окремих випадках воду демінералізують і навіть дистиллюють.

Заповнювачами для бетонів є пісок і щебінь; при виборі заповнювачів прагнуть, щоб їх масовий вміст у бетоні було 75-85% (при $\rho = 2,0 - 2,5 \text{ т/м}^3$), тоді заповнювачі утворюють у бетоні жорсткий каркас, зменшують усадку та забезпечують необхідну міцність. Орієнтовно для приготування 1 м^3 бетонної суміші витрачають 250-300 кг води, 350-400 кг цементу, 1000-1200 кг щебеню та 550-700 кг піску.

Для бетонів, що використовуються для захисту на АЕС, застосовують різні заповнювачі: звичайні — граніт, вапняк; з підвищеним вмістом зв'язаної води-лимоніт, серпентиніт, брусить; важкі-барит, гематит, магнетит та ін. Якщо треба приготувати особливо важкий бетон ($\rho = 4,5 - 6 \text{ т/м}^3$), то як заповнювачі застосовують сталевий або чавунний дріб, січку, металевий скрап, арматурні обрізки. Для зниження виходу захватного γ -випромінювання з бетону і прилеглих до нього металоконструкцій іноді бетон вводять бор до 3% у вигляді B_4C замість дрібного заповнювача.

Бетонні суміші, що використовуються в захисті, зазвичай готують у бетонозмішувачах примусової дії, складові бетонної суміші дозують за масою (введення) пісок з точністю $\pm 2\%$, заповнювачі $\pm 5\%$). Бетон у конструкції захисту укладають горизонтальними шарами, товщина шару

залежить від розміру та форми конструкції, але зазвичай не перевищує 15-20 см. Кожен шар ущільнюють вібратором. Захисні блоки невеликих розмірів краще готувати на вібромайданчику.

У процесі твердіння бетонної суміші, покладеної у відкриті конструкції, підтримують вологий стан бетону: відкриті поверхні зволожують водою. Для приготування монолітних конструкцій застосовують дерев'яну або металеву опалубку, блоки невеликих розмірів готують у металевих розбірних формах. Важкі та особливо важкі бетони часто укладають у конструкції захисту так званим роздільним способом: спочатку бетонований обсяг укладають і ущільнюють сухі заповнювачі, а потім знизу під тиском подають цементний розчин.

У процесі бетонування контролюють об'ємну масу свіжоприготовленої суміші. Для цього відбирають проби суміші, ущільнюють прийнятим при бетонуванні способом в мірних ємностях і зважують. Якщо до бетону висувають вимоги мати певну механічну міцність, то одночасно з укладанням бетонної суміші готують стандартні зразки для випробувань.

Дотримання технології приготування та укладання бетону, як правило, забезпечує отримання заданих властивостей бетону, і яких-небудь додаткових методів контролю якості бетонного захисту не застосовують. Ті бетонні конструкції, які в умовах експлуатації нагріваються до 100 ° С і більше, попередньо сушать. Температура та тривалість сушіння призначаються проектом захисту та залежать від температури експлуатації (температура сушіння трохи вище температури експлуатації) та розмірів захисту. Блоки зручно сушити в печах, а монолітні конструкції – зовнішніми нагрівачами, гарячим повітрям або електронагрівачами, загорнутими в бетон. Підйом температури бетону при сушінні не повинен перевищувати 20-25 ° С на годину, а тривалість сушіння при 100 ° С - не менше 7 діб і не менше 3-4 діб при 250-300 ° С. До сушіння бетону приступають не раніше ніж через 7 діб після укладання.

Залежно від типу застосованих заповнювачів властивості бетону та умови його експлуатації у захисті різні.

10.1.1 Заповнювачі для спеціальних бетонів

Для приготування захисних бетонів застосовують різні типи великого і дрібного заповнювача (см. вище). Вибір заповнювача визначається вимогами, що пред'являються до бетону місцевими умовами та техніко-економічними показниками.

Для звичайного важкого бетону великий заповнювач (5-40 мм) може бути отриманий з різних гірських порід: ефузивних та інтрузивних магматичних, силікатних та карбонатних осадових, а також метаморфічних. Дрібний заповнювач (0,15-5,0 мм) можна отримувати дробленням гірських порід або використовувати природні відкладення річкових або гірських пісків. Модуль крупності піску має бути 2,0-3,3.

Для особливо важких бетонів використовуються рудні та металеві заповнювачі: магнетитові, гематитові, баритові та інші руди, металевий скрап та інші відходи металів, а також чавунний та сталевий дріб. Гранулометричний склад великого і дрібного заповнювача повинен відповідати вимогам, що пред'являються до заповнювачів конструкційних бетонів. У разі потреби у проекті можуть обумовлюватися додаткові вимоги.

Об'ємна маса бетонної суміші повинна бути більшою за задану об'ємну масу бетону на величину різниці між масою води замішування і масою води, хімічно пов'язаної в цементному камені.

10.1.2 Рухливість бетонної суміші

Рухливість бетонної суміші визначається залежно від методу її транспортування та укладання, розмірів та конфігурації конструкції, густоти армування і т.п. Для виготовлення захисних конструкцій з особливо важких бетонів рекомендується застосовувати бетонні суміші з рухливістю, що характеризується осіданням конуса від 0 до 3 см і показником жорсткості від 60 до 15 см, у тому числі: для суміші на неметалевих заповнювачах - 2-3 см ; для суміші з металевим скрапом - 0-1 см.

Приготування бетонних сумішей важких і особливо важких бетонів, їх перевезення, укладання, догляд у період твердіння, контроль якості і т. п. слід проводити відповідно до чинних нормативів.

При вмісті в бетоні ($\rho = 2,3 \text{ т/м}^3$) 1% води і менше $B_n^{доз}(0) = 13 - 14 \text{ г}$ і рівноважний стан у спектрі нейтронів встановлюється в шарі бетону, товщина якого близька до реальної товщини захисту реактора. Вважає, що бетон або інший матеріал аналізованої групи при $\rho = 2,4 - 2,5 \text{ т/м}^3$ повинен містити 7-12% води, тоді він матиме високі захисні свободи; $N_b = 10 \text{ см}$, $B_G = 2,2 - 2,5$. Залежність дозового фактора накопичення нейтронів у матеріалах захисту на основі бетону від вмісту води (суцільна лінія проведена за експериментальними точками, отриманими для бетонів різних складів, у тому числі важких, що містять до 40% заліза за обсягом) приведена на рис. 10.1.

Вода потрапляє в бетон або у вигляді води замішування, яка частково (по 20—40%) зв'язується цементом, або із заповнювачем, до складу якого вона входить хімічно пов'язаною. Оскільки вода замішування, у тому числі і пов'язана цементом, видаляється з бетону при досить низьких температурах (100-150 ° С), доцільно як заповнювачів бетонів застосовувати речовини, що містять пов'язану воду, що зберігається при високих температурах. Такі ж речовини доцільно використовувати і як засипок. Зазвичай це водомісткі породи чи мінерали.

Звичайний будівельний бетон готують на часто заповнюваних у будівельній практиці заповнювачах — граніті, вапняку та ін. Його об'ємна маса 2,2—2,3 т/м³; вода в бетоні міститься лише у вигляді води замішування. Тому звичайний будівельний бетон застосовують для спорудження захистів, що працюють за відносно низьких температур або об-

ладнаних системою охолодження. Міцність цього бетону на стиск визначається маркою цементу. У нормальних умовах експлуатації $U = 12,2$ см, $B_n^{доз}(0) = 3 - 3,2$, $X_v = 14,5$ 4-15 см.

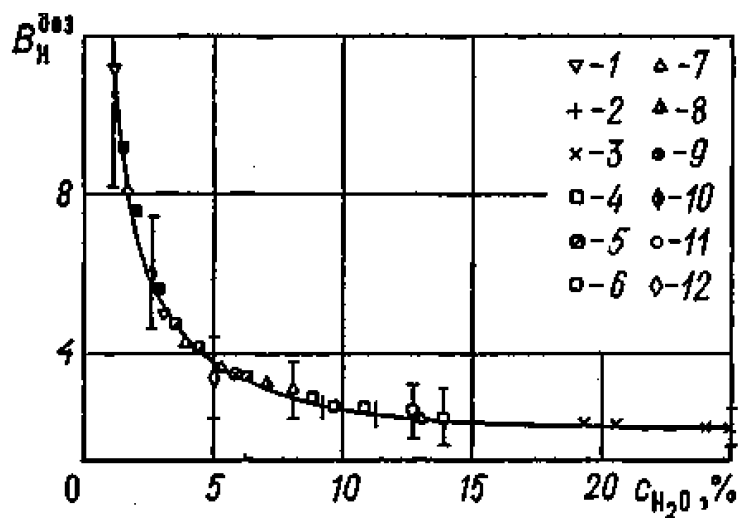


Рис. 10.1 - Залежність дозового фактора накопичення нейтронів у матеріалах захисту на основі бетону від вмісту води

1 - звичайний бетон; 2 - лимонітовий бетон; 3 - бруситовий бетон; 4 - серпентинітовий бетон; 5 - залізосерпентинітовий бетон (<25% заліза за обсягом); 6-залізосерпентинітовий бетон (<50% заліза за обсягом); 7 - барійсерпентинітовий цементний камінь; 8 - залізобарій-серпентинітовий цементний камінь (склад № I); 9 - суміш річкового піску з серпентинітовою галею; 10 - суміш серпентинітової гали зі сталевим дробом (<40% заліза за обсягом); 11 - дуніт; 12 - суміш серпентинітної гали зі сталевим дробом (<20% заліза за обсягом)

Магнетитові та гематитові бетони готують на магнетитових (Fe_3O_4) та гематитових (Fe_2O_3) заповнювачах, що містять окиси заліза в кількостях, не менших 70 - 80%. Залежно від якості та родовища наповнювачів отримують бетони з об'ємною масою до 4 - 4,5 т/м³. Вода міститься лише у вигляді води замішування, та умови експлуатації цих бетонів не відрізняються від умов експлуатації звичайного будівельного бетону. Якщо вміст води в бетоні не обов'язковий, то гематитовий бетон, як жаротривкий, можна використовувати при 500 °С.

Захисні властивості гематитового бетону ($\rho = 3,0$ т/м³) у нормальних умовах: $H_b = 10$ см, $B_n^{доз}(0) = 3,5$, $X_u = 15,2$ см.

Баритові бетони готують на заповнювачах, що містять до 80-85% $BaSO_4$; об'ємна маса баритового бетону 30-36 т/м³. Вода міститься у вигляді води замішування, і бетон використовується в тих же умовах, що і звичайний будівельний. При $\rho = 3,3$ т/м³, $B_n^{доз}(0) = 11,9$ см, $X_u = 12$ см, $BГ$ змінюється із товщиною захисту від 5,5 до 7,5 (г > 60 см).

Хромітові бетони відносяться до групи жаростійких бетонів. Їх готують на хромітових заповнювачах, наприклад, на хромітовій руді

FeCrO_4 . Об'ємна маса бетону 3,2-3,3 т/м³. Після висушування може бути застосований при 800°.

Лимонітові бетони відносяться до групи гідратних бетонів, готуються на лимонітових ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) або гідрогетитових ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) заповнювачах, що містять не менше 60-70% оксидів заліза і до 12% води. Об'ємна маса бетону 2,4-3,2 т/м³, при 85°С містить до 300-320 кг/м³ зв'язаної води, при температурі 200° С втрачає близько 1/4 зв'язаної води. При $p = 2,6$ т/м³ $H_b = 10,2$ см, $B_n^{\text{доз}}(0) = 3,0$, $X_u = 13,9$ см.

Серпентинітовий бетон відноситься до групи гідратних, найбільш широко використовується в захисті реакторів. Готується на серпентинітових заповнювачах, що складаються з мінералу серпентину $(\text{Mg,Fe,Ni})_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ з домішками Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 . У щільному тілі серпентиніт має об'ємну масу 25-27 т/м³ і втрачає зв'язану воду при температурах, що перевищують 480 ° С.

Об'ємна маса бетону 2,2 т/м³ та міцність на стиск 100-140 кг/см². Робоча температура 450°, при ній зберігається вся пов'язана заповнювачами вода.

Для поліпшення захисних властивостей бетону до його складу вводять залізо як дробу чи металевий пісок, замінюючи їм частину дрібного заповнювача з серпентиніту. Об'ємна маса такого бетону 3,7 т/м³, робоча температура 450°, вміст вода при цій температурі 3,5%. Захисні властивості серпентинітового та залізосерпентинітового бетонів характеризуються такими показниками: при $p = 2,3$ т/м³, $H_b = 10,0$ см, $B_n^{\text{доз}}(0) = 3,2$, $X_u = 15,2$ див; при $p = 3,55$ т/м³, $H_b = 9,4$ см, $B_n^{\text{доз}}(0) = 4,0$, $X_u = 9,3$ см. Ці бетони застосовані в конструкціях захисту багатьох дослідницьких реакторів на атомних криголамах, на АЕС з ВВЕР-440 і ВВЕР-1000.

Бруситовий бетон - новий тип гідратного бетону, приготованого на бруситових $\text{Mg}(\text{OH})_2$ з домішками CaO , SiO_2 та інших заповнювачів, що містять до 30% пов'язаної води. Вода втрачається при температурах, що перевищують 300-350 ° С. Робоча температура бруситового бетону 300 ° С, об'ємна маса 2,1-2,2 т/м³, $H_b = 1$ см, $B_n^{\text{доз}}(0) = 2,5$.

10.3 Засипний захист

Засипку зазвичай застосовують у захисті тоді, коли конструкція, що заповнюється, має складну форму, пронизана трубопроводами, деталями, а в процесі експлуатації для ревізії або ремонту цих деталей захист доводиться демонтувати. Іноді шар засипки розташовують між корпусом реактора і бетонним монолітним захистом, що покращує умови експлуатації останньої.

Засипний захист роблять із сумішей певного гранулометричного складу та в процесі монтажу пошарово ущільнюють. Якщо цього робити, то зазвичай щільність засипки становить приблизно 0,5 ρ , де ρ — питома

маса матеріалу засипки. Суміш певного гранулометричного складу дозволяє збільшувати об'ємну масу засипки приблизно 0,7р. Так, засипка із серпентинітового піску, галі та щебеню, взятих у співвідношенні 2:2:3, після ущільнення має об'ємну масу близько 2 т/м³

При монтажі засипного захисту необхідно вжити заходів, що унеможливають втрату дрібної фракції, заставні деталі по можливості слід розташовувати так, щоб можна було перевірити, чи підійшла засипана суміш під деталь. При укладанні суміші слід спостерігати за її об'ємною масою шляхом відбору проб у мірні ємності, а контроль об'ємної маси в конструкції перевіряти за масою засипки, що пішла на заповнення, і обсягом конструкції.

Як засипані матеріали використовують річковий пісок, граніт, гематит, серпентиніт, брусить. Оскільки довжина релаксації щільності потоку швидких нейтронів, що зазвичай вимірюється в сантиметрах, залежить від об'ємної маси матеріалу в засипці, то для засипок її зручно вимірювати в г/см², тоді значення N_s буде справедливим для засипання будь-якої об'ємної маси. Для названих матеріалів дорівнює (г/см²): 31,2; 30,0; 35,4; 25,0; 27,5. Дозовий фактор накопичення у водневмісних засипках (серпентиніт, брусить) не залежить від товщини шару засипки і дорівнює 2,3. В інших згаданих матеріалах, а вони не містять водню, $B_n^{доz}(0)$ (г), показник зростання $B_n^{доz}(0)$ дорівнює (10² см⁻¹): для річкового піску – 3,1, граніту – 6, гематиту – 4.

Найчастіше в захисті застосовують засипки із серпентиніту. Так, на АЕС з РБМК верхня та нижня металоконструкції реактора засипані серпентинітом.

Пояснюється це тим, що серпентиніт доступний, здатний зберігати свої захисні властивості при тривалій експлуатації при 450° С, містить воду, що виключає накопичення захисту від серпентиніту нейтронів, що уповільнюються. Засипка, виконана тільки з серпентинітової галі, має об'ємну масу 1,6 т/м³, а з піску або галю та щебеню — 1,9 т/м³ (в ущільненому стані), з усіх трьох компонентів, як згадувалося, — 2,0 т/м³.

Захисні властивості засипки з серпентиніту щодо швидких нейтронів і особливо γ -випромінювання покращують в результаті додавання до серпентиніту сталевого або чавунного дробу. Об'ємна маса засипки зростає і за заліза 55% становить 2,17 т/м³, а при 75% — близько 3 т/м³. $B_n^{доz}(0)$ при додаванні заліза, звісно, зростає, і навіть за його змісті 80%, коли $B_n^{доz}(0) = 6$, у засипці встановлюється рівноважний спектр нейтронів. Перспективним для засипних захистів матеріалом є брусит. Засипку з бруситу можна експлуатувати за нормальної температури 300° С.

Залізобарійсерпентинітовий цементний камінь. Матеріал утворюється в результаті гідратації суміші спеціального цементу з меленою чавунною стружкою. Цемент готується з баритової руди, серпентиніту та антрациту. Готовий цемент містить ВаО близько 75%, SiO₂-10%,

MgO-10% та інші оксиди. Відмінна риса цементу - здатність утримувати пов'язану воду за високих температур. Чавунний пісок додають у цемент для покращення фізико-механічних та теплофізичних властивостей цементного каменю. Зокрема, після гідратації суміші виходить матеріал, здатний витримувати одностороннє нагрівання (довго, без утворення тріщин) до 300 °С на 0,5 м. (Для порівняння зазначимо, що для звичайного бетону допустимо перепад температур 25—30 °С на 1 м). Якщо готовий матеріал працюватиме в умовах підвищеної температури, чавунний пісок прожарюють, при цьому на його поверхні утворюється окисна плівка, що перешкоджає реакції відновлення води до водню на фракції дрібнодисперсної чавуну.

У практиці споруди захисту на АЕС застосовують суміші трьох складів (цемент: чавун): 1: 1, 1: 1,5 і 1: 2. Ці суміші після твердіння мають об'ємну масу 3,9-4,2 т/м³ і міцність на стиск (у віці 28 діб) 450-350 кг/см². Як і всі бетони, що працюють у захисті при підвищених температурах, залізобарійсерпентинітовий цементний камінь рекомендується застосовувати у відкритих конструкціях, що забезпечують вільний догляд води, що виділяється при нагріванні. Закриті конструкції (вони повинні мати отвори для виходу води) та великі монолітні конструкції захисту рекомендується попередньо сушити.

Залізобарійсерпентинітовий цементний камінь має дуже високі захисні властивості по відношенню як до нейтронів, так і до γ -випромінювання навіть при його робочій температурі 450° С. Довжина релаксації потужності дози γ -випромінювання реактора в ньому 10,7; 9,0 та 9,2 см (відповідно для сумішей). Оскільки навіть при 450° С у залізобарійсерпентинітовому цементному камені міститься 1,75; 1,4 або 1,15% води, в матеріалі встановлюється рівноважний спектр нейтронів, що дорівнює $B_n^{доз}(0) = 4$; $H_6 = 109$ см.

Наведені відомості характеризують залізобарій-серпентинітовий цементний камінь як хороший матеріал захисту. Він успішно працює у захисті верхнього перекриття реакторів РБМК-1000 на всіх АЕС

ЛЕКЦІЯ 11. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ

План:

- 11.1 Заходи запобігання шкідливого впливу іонізуючих випромінювань
 - 11.1.2 Класифікація захистів.
 - 11.1.3 Групи джерел потенційного опромінення
- 11.2 Застосування матеріалів радіаційного захисту
 - 11.2.1 Матеріали для захист від α -випромінювання
 - 11.2.2 Матеріали для захист від β -розпаду
 - 11.2.3 Матеріали для захисту від γ -випромінювання
- 11.3 Застосування матеріалів радіаційного захисту в захистних спорудах

11.1 Заходи запобігання шкідливого впливу іонізуючих випромінювань

Радіаційний захист – це комплекс організаційних та технічних заходів щодо запобігання шкідливого впливу іонізуючих випромінювань на організм людини. Вказані заходи містять:

- 1) Методи послаблення впливу іонізуючих випромінювань до допустимого рівня.
- 2) Комплекс споруд, що знижують інтенсивність опромінення джерела.

Основною задачею радіаційного захисту є забезпечення безпеки як персоналу, що працює у полях іонізуючих випромінювань, так і людей, що не мають контакту із джерелами опромінення, за рахунок зниження індивідуальних еквівалентних доз нижче гранично допустимих рівнів.

Проблема радіаційного захисту виникла із відкриттям рентгенівського випромінювання та радіоактивності та, до кінця 30-х років ХХ століття, розвивалась у зв'язку із задачами забезпечення радіаційної безпеки персоналу медичних закладів, які використовують герметичні точкові джерела випромінювань у терапевтичних цілях. Надалі при роботах, пов'язаних із створенням ядерної зброї, були вирішені задачі радіаційного захисту робітників уранових шахт, газодифузійних збагачувальних заводів та інших підприємств по виготовленню ядерного палива, а також конструювання багат шарового захисту від випромінювань потужних ядерних реакторів (γ -випромінювання, нейтрони). В подальшому сформувалась нова ланка радіаційного захисту – захист біосфери від впливу ядерної енергетики, в тому числі при захороненні відходів високої питомої активності (наприклад, відпрацьованих твелів).

Розрізняють радіаційний захист при зовнішньому опроміненні (обумовлений герметичними джерелами зовні організму людини) та при

внутрішньому опроміненні (обумовлений радіонуклідами, що потрапляють у тіло людини із забрудненим повітрям, водою, їжею або через шкіру). Крім того, розрізняють впливи, при яких важкість ураження залежить від індивідуальної дози опромінення, що отримується окремим органом або всім тілом людини (променева хвороба, променеві опіки, катаракта тощо) та вплив, що обумовлений колективною дозою (сумою індивідуальних доз відповідного контингенту людей) і які визначають небезпеку генетичних порушень у популяції. Перші мають назву нестохастичні ефекти, другі – стохастичні ефекти опромінення.

Відповідно і радіаційний захист повинен забезпечувати безпечні умови для окремих осіб, їх найближчого та віддаленого покоління та людства в цілому.

За джерелами походження іонізуюча радіація поділяється на природну (фонову) - тобто не пов'язану із діяльністю людини, та штучну - що виникає у результаті її діяльності. До першої категорії відносяться випромінювання, які проникають до організму людини через космос і умовляють склад радіоактивних елементів у надрах, ґрунтах, предметах та організмах навколишнього середовища, та включають саму людину.

Кожна людина піддається впливу у середньому 100 тис. космічних радіоактивних частинок за годину. В атмосфері під впливом цих частинок утворюється вторинна радіація. Людина піддається не тільки природній радіації, а й впливу випромінювань від створених нею джерел. Сьогодні виникла багаторазова загроза опромінення внаслідок випробування ядерної зброї, медичного обстеження, лікування, роботи АЕС, використання будівельних матеріалів, приладів тощо.

Дія випромінювання на клітину може викликати зміни в організмі: мутації, зміни процесу ділення клітин та їх загибель, виникнення ракових клітин та аномалій розвитку. Встановлено, що при опроміненні у білку виникають «неправильні» амінокислоти, які спричиняють порушення процесу обміну речовин в організмі. Найбільш небезпечні наслідки опромінення – зміни у генах та виникнення мутацій (розвиток ракових утворень). Природне випромінювання викликає 1...6% спонтанних мутацій, і така генетична змінність забезпечує позитивні процеси еволюції.

11.1.2 Класифікація захистів

Захист – сукупність матеріалів, які розміщують між ДІВ та зоною, яка захищається, для послаблення потоку ІВ. Захист класифікують за наступними ознаками:

- призначенням;
- типом;
- компоновкою;
- формою;
- геометрією.

Задача захисту – забезпечення допустимого рівня:

1. опромінення робочого персоналу;
2. радіаційних пошкоджень конструкційних та захисних матеріалів;
3. енерговиділення та температурного розподілу в конструкційних та захисних матеріалах. В залежності від задачі, яку виконує захист, поділяють на біологічний, радіаційний та тепловий. Останніх два типи захисту практично використовують тільки на ядерно-енергетичних установках.

Типи захисту:

- Суцільний – повністю оточує ДІВ.
- Роздільний – найбільш потужні джерела оточує первинний захист, а між первинним та вторинним знаходяться також додаткові менш потужні ДІВ.
- Тіньовий – встановлюється між джерелом та зоною, яка захищається, таким чином, щоб зона знаходилася у “тіні”, яку утворює захист.

11.1.3 Групи джерел потенційного опромінення

Перша група - Джерела потенційного опромінення, що можуть призвести до опромінення окремого індивіда або невеликої групи людей.

Друга група - Джерела потенційного опромінення, пов'язані з радіаційною аварією, наслідками якої можуть стати опромінення значних контингентів населення та/або радіоактивне забруднення об'єктів довкілля.

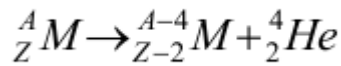
Третя група - Джерела потенційного опромінення, реалізація яких пов'язана з подіями, які можуть відбутися у майбутньому (в тому числі віддаленому) на звільнених від санітарного нагляду об'єктах в результаті природних аномальних процесів та катастроф, а також ненавмисного втручання людини, через що під опромінення може підпасти населення, що проживає в момент цієї події.

Четверта група - Джерела потенційного опромінення пацієнтів, яким проводять радіотерапевтичні та радіо-діагностичні процедури.

Джерело іонізуючого випромінювання (джерело випромінювання) - об'єкт, який містить радіоактивну речовину або технічний пристрій, що створює або в певних умовах здатний створювати іонізуюче випромінювання. На стадії проектування будь-якої практичної діяльності джерело іонізуючого випромінювання розглядається як джерело як поточного, так і потенційного опромінення.

11.2 Матеріали для захисту від α -випромінювання

Явище *α -розпаду* полягає в тому, що ядро доволно випускає α -частинку (ядро атома гелію) і перетворюється в інше ядро з масовим числом на 4 одиниці меншим і з атомним номером меншим на 2 одиниці:



Захист від α -випромінювання не є проблемою, тому що пробіг навіть найбільш високоенергетичних α -частинок невеликий (в повітрі не перевищує 10 см), а в біологічній тканині – 100 мкм.

Розрахунок показує, що достатньо знаходитися на відстані 9...10 см від α -випромінюючої речовини, щоб, навіть якщо ведуться роботи з відкритими радіоактивними речовинами, жодна α -частинка не потрапила на тіло працюючого. Більш того, роговий шар шкіри людини (100 мкм), який не чутливий до вражаючої дії α -частинок, повністю їх поглинає. Засоби індивідуального захисту (одяг, рукавиці, халат) повністю захищають організм людини від α -частинок.

В прискорювачах α -частинки мають велику енергію, пробіг у повітрі доходить до 50 см. Від таких частинок вимагається спеціальний захист. На практиці в цих випадках захист розраховується від нейтронів, що вибиваються з мішені, і він достатній для поглинання α -частинок. Реально небезпечними вони стають тоді, коли потрапляють всередину організму.

11.2.2 Матеріали для захисту від β -розпаду

Процес перетворення нестабільного ядра в ізобару-ядро із зарядом, який відрізняється від початкового на ± 1 , називається **β -розпадом**. Він супроводжується випусканням електрона або позитрона, або захопленням електрона з оболонки атома. При цьому швидкість вильоту β -частинок дорівнює швидкості світла.

Для захисту персоналу від зовнішнього β -випромінювання всі операції з β -радіонуклідами ведуться за екраном або в захисних шафах. Розрахунок товщини захисного екрану нескладний, але необхідно пам'ятати, що проходження β -частинок через речовину викликає гальмівне випромінювання, яке може суттєво збільшити дозу випромінювання. Інтенсивність гальмівного випромінювання залежить від матеріалу захисту і від енергії β -частинок. Теоретичні розрахунки і практичні дослідження показали, що чим більший атомний номер речовини екрану, тим більша інтенсивність гальмівного випромінювання (табл. 11.1).

Отже, для вибору екрану необхідно брати речовину з малим атомним номером Z . Найбільш придатними є оргскло, різні пластичні маси, алюміній, а при малій енергії β -частинок використовуються залізо і мідь.

11.2.3 Матеріали для захисту від γ -випромінювання

Короткохвильове електромагнітне випромінювання, довжина хвилі якого коливається в межах 10⁻⁸...10⁻¹² см, називається γ -випромінюванням. У багатьох процесах γ -промені виявляють себе як ча-

стинки – фотони, маса спокою яких дорівнює нулю. Гамма-випромінювання, призводячи до порівняно слабкої іонізації, володіє великою проникаючою здатністю, тому від нього дуже важко захиститись.

Для захисту від γ -випромінювання найбільш розповсюдженими матеріалами є свинець, залізо, бетон, залізобетон, вода, свинцеве скло; рідше використовують вісмут, тантал та інші важкі речовини. Шляхом збільшення відстані враховують, що промені від джерела розповсюджуються рівномірно і прямолінійно, їх інтенсивність зменшується обернено пропорційно квадрату відстані:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$$

Звідси можна знайти R_2 , при якому інтенсивність випромінювань I_2 безпечною. Цю формулу можна використовувати тільки тоді, коли джерело випромінювань має малі розміри (пробірка, невеликий контейнер тощо). іншому випадку (контейнер великих розмірів, яма) для дослідження місцевості потрібно звернутись до дозиметричного контролю.

Порівняння проникаючої здатності α , β , γ і рентгенівського X випромінювання приведена на рисунку 11.1.

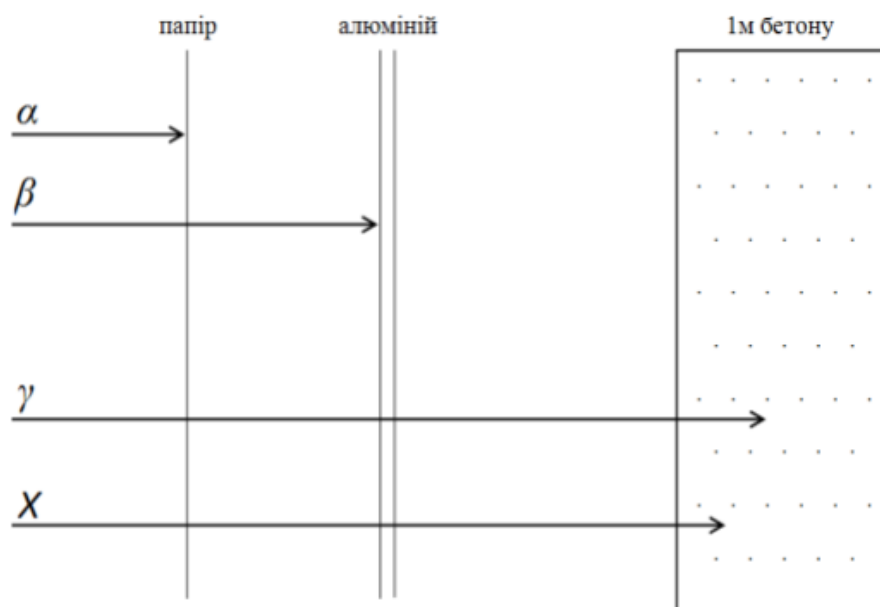


Рис. 11.1- Порівняння проникаючої здатності α , β , γ і рентгенівського X випромінювання

Таблиця 11.1 – Максимальна проникаюча здатність β -частинок в залежності від їх енергії

E_{α} , MeV	R_{β} , см		
	повітря	алюміній	жива тканина
0,1	1	0,005	0,02
0,5	12	0,06	0,19
1,0	30	0,15	0,48
2,0	71	0,35	1,1
4,0	150	0,75	2,4
6,0	230	1,1	3,6
10,0	390	1,9	6,1
20,0	780	3,9	12,3

11.3 Застосування матеріалів радіаційного захисту в захистних спорудах

Захоронення глибинне (у стабільних геологічних формаціях) - вид захоронення РАВ, що використовує систему інженерних та природних бар'єрів, що розміщується на глибині сотень метрів від поверхні землі (і глибше), з метою тривалої (на період часу, порівняний з часом життя сотень майбутніх людських генерацій) ізоляції РАВ від попадання їх у біосферу.

Захоронення поверхневе (приповерхневе) - вид захоронення РАВ у спорудах, які розташовані на поверхні або у поверхневих шарах землі, коли товща захисного покриття складає декілька метрів, або захоронення у печерах на глибині декількох десятків метрів від поверхні землі.

Захоронення радіоактивних відходів - розміщення РАВ у об'єкті, призначеному для поводження з радіоактивними відходами без намірів їхнього використання. В рамках прийнятої в даному документі підрозділу видів збереження РАВ, наведеному загальному визначенню захоронення, РАВ відповідає: захоронення РАВ - це такий вид постійного збереження РАВ, при якому використання їх у будь-яких сучасних або майбутніх технологічних процесах неможливе.

Збереження радіоактивних відходів - частина проектного технологічного процесу поводження з РАВ. Воно передбачає, розміщення РАВ в межах інженерної споруди, що відвертає проникнення радіоактивних хрещовин у довкілля в кількостях, що перевищують встановлені для даного об'єкту значення допустимих газо-аерозольних викидів та водних скидів. Збереження РАВ поділяється на - зберігання та захоронення.

Зберігання - вид тимчасового збереження РАВ. При цьому тимчасовий характер зумовлено тим, що або технологією за проектом передбачене попереднє зберігання РАВ протягом певного терміну, або необхід-

ність тимчасового збереження РАВ виникла при ліквідації (мінімізації) наслідків аварії.

Звільнення - звільнення (обмежене або повне) практичної діяльності або джерела іонізуючого випромінювання у рамках практичної діяльності від санітарного нагляду з боку органу Державного регулювання - Державної санітарно-епідеміологічної служби Міністерства охорони здоров'я України.

Радіоактивні відходи (РАВ) - матеріальні об'єкти і субстанції, активність радіонуклідів або радіоактивне забруднення яких перевищує рівні, встановлені діючими нормативами, за умови, що використання цих об'єктів і субстанцій не передбачається.

Відповідно до цього загального визначення РАВ розглядаються як особливий вид радіоактивних матеріалів (у будь-якому агрегатному стані), відносно яких:

- встановлено, що ні зараз, і ніколи в майбутньому вони не можуть бути використані, або

- ще нема остаточного рішення відносно того, яким чином ці матеріали можуть бути використані в рамках сучасних або створених у майбутньому технологічних процесів, а також

- вміст (питома активність) радіонуклідів у цих відходах перевищує встановлені "Основними Санітарними правилами забезпечення протирадіаційного захисту України" (ОСПУ) рівні вилучення цих радіонуклідів із сфери санітарного нагляду.

- * довгоіснуючі - радіоактивні відходи, рівень звільнення яких від контролю органу державного регулювання досягається через триста років та більше після їхнього захоронення;

- * короткоіснуючі - радіоактивні відходи, рівень звільнення яких від контролю з боку органу державного регулювання досягається раніше, ніж через триста років після їхнього захоронення.

Сховище радіоактивних відходів - в рамках даного документа - споруда для зберігання (тимчасове збереження) або захоронення (постійне збереження) РАВ з обов'язковим забезпеченням інженерних, геологічних, фізичних та інших бар'єрів, які перешкоджають міграції радіонуклідів у навколишнє середовище у кількостях, що перевищують встановлені для даного сховища допустимі значення скидів і викидів радіоактивних речовин.

- * *глибинне* - сховище РАВ, призначене для їх захоронення в глибоких стабільних геологічних формаціях, здатних забезпечити надійну та тривалу (порівняну з часом зміни сотень майбутніх людських генерацій) ізоляцію РАВ від попадання їх у біосферу;

- * *поверхневе* (приповерхневе) - сховище РАВ, призначене для їх захоронення та таке, яке є спорудою, розташованою на поверхні або в приповерхневому шарі землі, спеціально обладнане й конструкційно оформ-

лене таким чином, щоб гарантувати тривалу ізоляцію РАВ від попадання їх у біосферу, а також забезпечувати дотримання вимог і регламентів, встановлених Санітарним Законодавством для подібного типу сховищ.

Захоронення РАВ та джерела потенційного опромінення третьої групи. Основною метою протирадіаційного захисту відносно джерел потенційного опромінення третьої групи є:

- зведення до прийняттого рівня потенційних збитків, пов'язаних зі шкідливими ефектами іонізуючого опромінення, для окремих індивідів, сучасного суспільства в цілому, а також довкілля;

- мінімізація усіх видів збитків, що можуть бути нанесені майбутнім поколінням та середовищу їхнього існування у випадку реалізації критичних подій;

- забезпечення захисту майбутніх поколінь від потенційного опромінення на рівні не нижчому прийняттого у сучасному суспільстві, до того ж, без будь-яких припущень щодо можливості використання більш низької ефективності цього захисту у зв'язку з очікуваним прогресом (вдосконаленням) майбутніх протирадіаційних засобів і технологій, а також фармакологічних засобів підвищення радіорезистентності.

Встановлюються дві форми збереження РАВ:

- зберігання: вид тимчасового збереження РАВ, коли тимчасовий характер зумовлений тим, що або проектною технологією передбачене попереднє зберігання РАВ протягом певного терміну, або необхідність тимчасового збереження РАВ виникла при ліквідації (мінімізації) наслідків аварії;

- захоронення: такий вид постійного збереження РАВ, при якому використання цих РАВ в будь-яких сучасних або майбутніх технологічних процесах виключається.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Види опромінення людей іонізуючими випромінюваннями.
2. Особливості будівель та споруд атомної галузі.
3. Способи забезпечення радіаційного захисту людей та обладнання при експлуатації будівель та споруд.
4. Класифікація радіаційного захисту за призначенням.
5. Пристрій захисних екранів – основний, спосіб радіаційного захисту.
6. Перелік основних процесів, що відбуваються в матеріалах та конструкціях радіаційного захисту.
7. Процеси взаємодії іонізуючих випромінювань з речовиною, що призводять до послаблення інтенсивності падаючих іонізуючих випромінювань та утворенню вторинних випромінювань.
8. Процес радіаційного розігріву,
9. Процеси утворення наведеної радіоактивності.
10. Процеси, викликають термічні деформації та зміни властивостей, радіаційні деформації та зміни властивостей матеріалів.
11. Перелік загальних вимог до матеріалів конструкцій радіаційного захисту.
12. Класифікація матеріалів радіаційного захисту за різними ознаками.
13. Бетони – основні матеріали конструкцій радіаційного захисту. Класифікація бетонів радіаційного захисту.
14. Умови застосування звичайних важких бетонів у радіаційній захисту.
15. Жаростійкі бетони та матеріали, що використовуються для їх приготування.
16. Радіаційностійкі бетони та матеріали, що використовуються для їх приготування. Прогнозування радіаційних змін бетонів радіаційної захисту.
17. Переваги та недоліки різних радіаційного захисту екранів.
18. Захисні стіни, перекриття, оболонки та корпуси реакторів із попередньо напруженого залізобетону, як основні несучі екрани радіаційної захисту.
19. Класифікація екранів радіаційного захисту.
20. Особливостей конструктивного виконання та технології виготовлення, переваги та недоліки різних варіантів конструктивне рішення захисних екранів.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Радіаційний захист. Методичні вказівки для самостійної підготовки студентів та до виконання практичних завдань / Шевеля В. В., Калда Г. С., Соколан Ю. С. – Хмельницький: ХНУ, 2016. – 64 с.
2. Методичні рекомендації до курсу “Основи захисту від іонізуючого випромінювання” / Упорядник: Ю.М.Оніщук – К.: 2016. – 69 с.
3. НОРМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ; доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000).
4. Шабанова Г.М. В'яжучі матеріали. Практикум / Г.М. Шабанова, А.М. Корогодська, О.В. Христинич. – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – 220 с.
5. Барийсодержащие тугоплавкие материалы специального назначения: монографія. / Г.Н. Шабанова, С.М. Логвинков, А.Н. Корогодская, Е.В. Христинич, М.Ю. Иващенко, О.В. Костыркин. – Х.: ФЛП Бровин А.В, 2018. – 292 с.
6. Шабанова Г.Н. Огнупорные цементы на основе композиций многокомпонентных цирконийсодержащих систем: монография / [Г.Н. Шабанова, Я.Н. Питак, В.В. Тараненкова и др.] - Харьков, 2016. – 247 с.
7. Андрианова І.С. Радіаційна безпека : конспект лекцій з дисципліни для студентів 1-го курсу магістратури “Технології захисту навколишнього середовища”. – Одеса: ОДЕКУ, 2017. - 51с.
8. Мурашко В. О. Костенецький М. І., Рушак Л. В. Промислові радіаційні аварії з джерелами іонізуючого випромінювання, запобігання та порядок їх розслідування: – К: 2013. – 82 с.
9. Батлук В.А. Радіаційна екологія: Навч.посіб. –К.: Знання, 2009. – 309с.
10. Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» № 15/98-ВР (зі змінами).
11. «Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности . МАГАТЕ, Вена. 2011. 329 с.
12. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ) ДГН 6.6.1 – 6.5.001-98. Київ: МОЗ України, 1998.-135с.
13. Павленко В.И. Радиационно-защитный бетон для биологической защиты ядерных реакторов / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, И.С. Епифановский // Перспективные материалы. – 2006. – №3. – С. 22-24.
14. Денисов А.В. Радиационная стойкость минеральных и полимерных строительных материалов / А.В. Денисов, В.Б. Дубровский, В.Н. Соловьев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 383 с.
15. Шабанова Г.Н. Барийсодержащие оксидные системы и вяжущие материалы на их основе / Шабанова Г.Н // Монография. - Харьков: НТУ «ХПІ», 2006. – 280 с.

Навчальне видання

**МАТЕРІАЛИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ
ВІД ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Конспект лекцій

Підписано до друку 26.07.2023. Формат 60x84 1/16.
Умовн.-друк. арк. 4,3.
Вид. № 29/23.

Сектор редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023 м. Харків, вул. Чернишевська, 94.
www.nuczu.edu.ua