

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
ІНСТИТУТ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ
КАФЕДРА ОХОРОНИ ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВОЇ ТА ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ

Третьякова Л. Д.

НОВІТНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ПРАЦІВНИКІВ АТОМНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Монографія

Затверджено на засіданні кафедри охорони праці,
промислової та цивільної безпеки протокол № 8 від 28.04.15 р.

Київ
«Основа»
2016

Рецензенти:

Колісниченко М. В. — Київський національний університет технологій та дизайну, декан факультету дизайну; доктор технічних наук, професор;
Кружжико О. Є. — Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки і охорони праці Державної служби гірничого нагляду та промислової безпеки, Національної академії наук України (м. Київ), завідувач науково-дослідного відділу інформаційних технологій; доктор технічних наук, старший науковий співробітник.

*Затверджено на засіданні кафедри охорони праці,
промислової та цивільної безпеки протокол № 8 від 28.04.15 р.*

Третякова Л. Д.

T00

Новітні рішення проблеми індивідуального захисту працівників атомних електричних станцій: Монографія / Л. Д. Третякова. — К.: Основа, 2016. — 000 с.

ISBN 978-966-699-000-0

Монографія присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми — створення теорії та аналітичних методів розробки засобів індивідуального захисту на підставі комплексного аналізу небезпечних і шкідливих виробничих чинників, релевантних характеристик матеріалів та елементів конструкцій, додаткових ризиків від теплових та електростатичних полів і спрямована на підвищення захисної ефективності, надійності й економічності системи індивідуального захисту працівників атомних електричних станцій.

Монографія складається з п'яти розділів. **Перший розділ** містить інформацію щодо загальної характеристики умов праці на Українських атомних електричних станціях. Визначено перелік основних небезпечних і шкідливих виробничих чинників, які фіксують на окремих ділянках у робочих зонах. Розглянуто сучасний стан охорони праці та радіаційної безпеки з аналізом ризиків виникнення професійних захворювань, які зумовлено впливом зовнішніх полів іонізуючих випромінювань. Обґрунтовано методи аналізу, математичного моделювання та оптимізації у ході конструкторсько-технологічної розробки засобів індивідуального захисту.

У другому розділі запропоновано концепцію конструкторсько-технологічної розробки комплектів засобів індивідуального захисту, яка базується на сучасних підходах до формування систем індивідуального захисту. Окрему увагу приділено вимогам до захисного одягу, особливостям сучасних конструктивно-технологічних рішень та технологіям виготовлення. Розроблено зонально-модульну модель комплектів засобів індивідуального захисту, яка дає можливість узгодити формальні математичні моделі з особливостями проектування захисного одягу, засобів індивідуального захисту рук, ніг, голови, органів дихання і забезпечити загальні вимоги до формалізації вихідних даних в оптимізаційних розрахунках. На основі наявної статистичної інформації про антропологічні особливості працівників і розмірні ознаки визначено числові характеристики імовірних величин площ окремих зон.

Розробку засобів індивідуального захисту неможливо відокремити від правильного добору матеріалів та їх пакетів. **У третьому розділі** наведено інформацію щодо розробки складу і технологій виготовлення нових полімерних, нетканих, композиційних текстильних матеріалів, які мають прогнозовані захисні властивості широкого спектру. Надано результати лабораторних випробувань фізико-механічних, гігієнічних, температурних та електричних характеристик нових матеріалів, які використано у ході конструкторсько-технологічної розробки захисних комплектів.

Четвертий розділ містить постановку багатокритеріальних завдань оптимізації параметрів комплектів засобів індивідуального захисту та способи їх вирішення. Розглянуто питання, пов'язані з формалізацією процедури надання вихідної інформації з використанням логіко-імовірнісного методу. Висвітлено методи структурної оптимізації конструкції ізолювального, радіаційнозахисного та фільтрувального комплектів, з урахуванням градації ділянок, які підлягають максимальним навантаженням у використанні, впливу шкідливих речовин та інших показників виробничого середовища, за умов дотримання нормативних вимог щодо окремих видів засобів індивідуального захисту.

У п'ятому розділі надано результати практичних методів створення багатофункціональних комплектів, до складу яких входять нові види захисного одягу та засоби індивідуального захисту голови, рук, ніг та органів дихання. Окрему увагу приділено особливостям сучасних конструктивних рішень моделей захисного одягу, які мають прогнозовані захисні властивості та призначені для виконання визначених видів шодених, регламентних і післяварійних робіт. Наведено результати досліджень в області технологій формування деталей, вузлів і виробів безпосередньо з полімерних матеріалів методом зварювання струмами високої частоти з часткою ниткового з'єднання. Наведено інформацію щодо устаткування, яке забезпечує новітні технології виготовлення. Висвітлено результати досліджень фізико-механічних характеристик швів з'єднання деталей виробів. Надано рекомендації щодо ефективніших методів з'єднання залежно від призначення, технологічних особливостей виробничого процесу, характеристик матеріалів та їх пакетів.

Ключові слова: засоби індивідуального захисту, атомна електрична станція, коефіцієнт захисту від зовнішнього іонізуючого випромінювання, зонально-модульна модель, конструкторсько-технологічна розробка, структурна оптимізація, ізолювальний, фільтрувальний, радіаційнозахисний комплекти.

УДК 687.157.004
ББК 00

Передрукування заборонено

© Л. Д. Третякова, 2016

© «Основа», оригінал-макет видавництва, 2016

ISBN 978-966-699-000-0

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
--	----------

ВСТУП	8
--------------------	----------

Розділ 1

СУЧАСНИЙ СТАН НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ПРОБЛЕМИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ПРАЦІВНИКІВ АТОМНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ. МЕТОДИ АНАЛІЗУ, РОЗРАХУНКУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ.....	14
---	-----------

1.1. Характеристика завдань створення, регламентації та експлуатації засобів індивідуального захисту.....	14
--	----

1.2. Сучасний стан питання щодо безпеки експлуатації атомних електричних станцій	17
---	----

1.3. Небезпечні і шкідливі виробничі чинники на атомних електричних станціях	30
---	----

1.4. Поточний рівень травматизму і профзахворювань	33
--	----

1.5. Принципи побудови детермінованих математичних моделей засобів індивідуального захисту	39
---	----

1.6. Огляд методів математичного моделювання, розрахунку та оптимізації	44
--	----

Висновки до розділу 1	46
------------------------------------	-----------

Розділ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКТІВ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ	49
---	-----------

2.1. Характеристика наявних засобів індивідуального захисту	00
---	----

2.2. Сучасний підхід у формуванні системи індивідуального захисту	00
--	----

2.3. Концепція конструктивно-технологічної розробки комплектів засобів індивідуального захисту	00
2.4. Зонально-модульна модель побудови конструкцій засобів індивідуального захисту	00
Висновки до розділу 2	00

Розділ 3

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ ТА ВИБОРУ МАТЕРІАЛІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ	00
3.1. Матеріали для ізолювального комплекту від радіоактивних забруднень.....	00
3.1.1. Вибір і дослідження показників матеріалів для комплектів разового використання	00
3.1.2. Розробка матеріалів для комплектів багаторазового використання	00
3.1.3. Показники захисних та експлуатаційних властивостей матеріалів	00
3.2. Розробка матеріалів для радіаційнозахисного комплекту	00
3.3. Розробка матеріалів для ізолювального комплекту від хімічноактивних речовин	00
3.4. Розробка і вибір матеріалів для фільтрувального комплекту	00
3.5. Експериментально-розрахункова оцінка захисних властивостей матеріалів від зовнішніх альфа і бетта випромінювань.....	00
3.6. Експериментально-розрахункова оцінка показників захисту матеріалів від зовнішнього гамма-випромінювання	00
3.7. Оцінка впливу виробничих умов на електричні характеристики матеріалів	00
Висновки до розділу 3	00

Розділ 4

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПЛЕКТІВ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ	00
4.1 Постановка завдань оптимізації.....	00
4.2. Формалізація процедури надання вихідної інформації	00
4.3. Структурна оптимізація пакетів радіаційнозахисного комплекту	00
4.3.1. Рекомендації щодо створення пакетів матеріалів	00
4.3.2. Вибір оптимального розподілу багат шарового пакету.....	00
4.4 Структурна оптимізація ізолювальних комплектів	00
4.4.1. Рекомендації щодо створення пакетів матеріалів та комплектності	00
4.3.2. Вибір оптимального складу та конструкції.....	00
4.5 Структурна оптимізація фільтрувального комплекту.....	00
Висновки до розділу 4	00

Розділ 5

ПРАКТИЧНА РОЗРОБКА БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПЛЕКТІВ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ	00
5.1. Розробка конструктивно-технологічних рішень ізолювальних комплектів для захисту від радіоактивних забруднень	00
5.1.1. Вибір різновидів та конструктивних рішень для захисного одягу	00
5.1.2. Розробка конструктивно-технологічних рішень для респіраторів	00
5.1.3. Особливості технології виготовлення.....	00
5.2. Розробка конструктивно-технологічних рішень для ізолювальних комплектів від хімічноактивних речовин.....	00
5.2.1. Вибір різновидів та конструктивних рішень для захисного одягу.....	00

5.2.2. Розробка конструктивно-технологічних рішень для фільтрувального каптура	00
5.2.3. Особливості технології виготовлення.....	00
5.3. Розробка конструктивно-технологічних рішень радіаційнозахисних комплектів	00
5.3.1. Вибір різновидів та конструктивних рішень для захисного одягу	00
5.3.2. Особливості технології виготовлення.....	00
5.4. Розробка конструктивно-технологічного рішення фільтрувальних комплектів.....	00
5.4.1. Вибір різновидів і конструктивних рішень для захисного одягу	6
5.4.2 Розробка конструктивно-технологічних рішень протигазів	00
5.4.3. Особливості технології виготовлення.....	00
Висновки до розділу 5	00
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	00
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	00

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЗІЗ	— Засоби індивідуального захисту
НШВЧ	— Небезпечні і шкідливі виробничі чинники
АЕС	— Атомна електрична станція
ЗО	— Захисний одяг
РАВ	— Радіоактивні відходи
ІАЕА	— International Atomic Energy Agency (Міжнародна комісія з атомної енергетики)
ТУ	— Технічні умови;
СРЗ	— Система радіаційного захисту
ЗІЗОД	— Засоби індивідуального захисту органів дихання
ГДК	— Граничнодопустима концентрація шкідливих речовин
ФМХ	— Фізико-механічні характеристики
НВП	— Науково-виробниче підприємство
МД	— Розривальне навантаження за довжиною матеріалу
СД	— Розривальне навантаження за шириною матеріалу
ПВХ	— Полівінілхлорид
СВ	— Модифікатор силіконовий вольфрамовий
ОРЕ	— Модифікатор зі суміші оксидів рідкоземельних елементів
СВЧ	— Струм високої частоти
КТМ	— Композиційні текстильні матеріали

ВСТУП

За роки незалежності Україна досягла суттєвих змін у галузі охорони праці. Нині на підприємствах України способи поліпшення умов праці орієнтовано на досягнення ефекту через використання технічних та організаційних заходів, а також засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Такий підхід в умовах перехідної економіки і технічного стану основної маси виробничих фондів в Україні найефективніший.

ЗІЗ — це такі засоби, які призначено до виключення або суттєвої мінімізації комплексного впливу на працівника усіх наявних на робочому місці небезпечних і шкідливих виробничих чинників (НШВЧ).

Залежно від призначення ЗІЗ згідно з [1] поділяють на 12 класів, кожен з яких складається з кількох десятків видів і типів. За відсутності універсальної єдиної класифікації кожний вид ЗІЗ класифікують за низкою ознак: за захисними властивостями; за призначенням; за конструкторським виконанням; за модельним рядом та ін. [2].

До ЗІЗ висувають високі вимоги щодо їхньої ефективності, надійності, якості й економічності.

Ефективність — властивість виробу, яка визначається його можливостями забезпечити необхідний ступінь захисту працівника від шкідливих речовин та агресивного середовища. Ефективність виробу зумовлено властивостями матеріалу, конструкції та технологією виготовлення.

Якість — сукупність властивостей виробу, які забезпечують користувачу максимально можливий рівень комфорту у поєднанні з достатнім захистом без створювання додаткових ризиків у використанні. У роботі під додатковим ризиком розуміємо можливість небажаної події, яку спричинено використанням ЗІЗ, і пов'язаної з появою небезпеки з погіршенням самопочуття і здоров'я працівника [3]. Додаткові ризики у використанні пов'язано з ускладненнями фізичного, гігієнічного, психологічного стану працівників, які виконують певні виробничі операції у визначених шкідливих або небезпечних умовах. Якість виробу визначається кількома факторами, серед яких основними є: захисні властивості виробу, які забезпечують ізоляцію працівника у ЗІЗ від впливу агресивного середовища; ергономічні показники, які реалізують можливість комфортної праці впродовж усього терміну застосування ЗІЗ; гігієнічні властивості, які забезпечують достатній рівень тепломасообміну працівника з навколишнім середовищем.

Надійність у загальному плані — це якість, розподілена на часовому інтервалі, інтегральний показник співвіднесеності показників робочих процесів і вихідних характеристик виробів з їхнім функціональним призначенням [4]. Надійність ЗІЗ — властивість виробу зберігати захисні властивості впродовж визначеного терміну експлуатації у заданих температурних умовах і відповідних поточних ремонтах. Кожен виріб поступово зношується під час впливу різноманітних чинників: механічного навантаження, ультрафіолетового випромінювання, теплових, механічних та електромагнітних впливів, багатократного очищення.

Для ЗІЗ якість і надійність релевантні характеристики, тому що ушкодження виробів може призвести до втрати захисних властивостей і зумовити виникнення професійних захворювань або травм

Економічність — властивість виробу бути конкурентоспроможним на ринку за умови відповідності вимогам державних стандартів. У загальному плані економічність визначається показниками вартості, які перебувають у певному співвідношенні до основної продукції підприємства та ціни інших виробників та величиною збитків, які утворюються у разі невідповідної якості виробів [5].

Під час визначення збитків від ЗІЗ низької якості необхідно враховувати технологічний, експлуатаційний і людський чинники. Технологічний чинник пов'язано зі змінням розмірів і форми виробу, виникненням ефекту «гармошки», скручуванням під час руху, зменшенням площі огляду та ін. Експлуатаційний — зниженням терміну використання, складнощами під час очищення, ремонту та утилізації. Людський чинник — погіршенням самопочуття, втрати працездатності, виникнення травм і профзахворювань, а в деяких випадках зі смертельним результатом.

Аби ЗІЗ виконували свої функції, вони повинні за призначенням і ступенем захисту чітко відповідати характеру та рівню ШНВЧ і водночас бути прийнятними з фізіологічного та ергономічного поглядів, тобто забезпечувати фізико-технологічну сумісність окремих ЗІЗ у комплекті, а також з об'єктом захисту, а саме — працівником. Потрібно розглядати комплект ЗІЗ для захисту від радіаційного впливу як єдине ціле, оскільки забруднення або опромінювання будь-якої ділянки тіла призводить до ураження людини [6].

Такий підхід можна реалізувати за рахунок вибору відповідних матеріалів, науково обгрунтованої конструкції ЗІЗ та їх комплектації.

Комплекти ЗІЗ потрібно розглядати як заключну ланку ланцюга: умови праці — НШВЧ — першочерговість ураження органів і тканин людини — перелік виробничих захворювань працівників — ЗІЗ.

Нині виробники пробують об'єднати у процесі створення захисних виробів усі стадії: розробка матеріалу — проектування — виготовлення і реалізація. Однак наявні підходи загалом не забезпечують комплексного вирішення завдань розробки надійних комплектів ЗІЗ з оптимальними параметрами на етапі проектування і серійного виготовлення. Нині практично відсутні переконлива концепція і методичні основи такого процес та узагальнюючі дослідження в царині комплексного вирішення завдань розробки надійних комплектів ЗІЗ з оптимальними параметрами. У даній роботі вперше робиться спроба сформулювати концепцію конструкторсько-технологічної розробки захисних комплектів, які, забезпечуючи відповідний рівень захисту, мають оптимальні параметри за ергономічними, гігієнічними та економічними показниками.

Повноцінна реалізація такої концепції пов'язана з потребою подолання аспектів методологічного характеру, зумовлених безпосереднім включенням працівника — користувача ЗІЗ у систему розгляду, невизначеністю нормативів і способів їх оцінки, а також недосконалістю підходів до оцінки змінюваних умов праці та режимів виконання робіт. Так, безпосередня орієнтація на теорію і методи проектування, які розроблено стосовно до традиційних виробів [7], неможлива через відмінність характеру завдань, що вирішуються. Особливістю розробки ЗІЗ є необхідність дотримання жорстких нормативів, які суттєво відрізняються від вимог для аналогічних виробів незахисного характеру, забезпечення стійкості до впливу якомога більшої кількості шкідливих чинників у тривалих термінах робіт, мінімізація додаткових ризиків травматизму, які виникають у процесі використання захисних виробів.

Наявні підходи у загальному випадку не забезпечують безпосереднього урахування в межах наявних моделей імовірної природи характеристик матеріалів, показників умов праці, параметрів НШВЧ та їх обмежень. Відсутні методи оптимізації, які адаптовано до особливостей проектування захисних комплектів, з урахуванням невизначеності характерних до різних завдань оптимізації змінних функцій керування, проявах їх дискретності та багатовимірності.

Сучасна світова тенденція передбачає, що розробленню ЗІЗ передує вибір матеріалу з відповідними характеристиками. Залежно

від цільового призначення до ЗІЗ висувають різноманітні вимоги, зокрема до матеріалу, з якого планують виготовити захисні засоби, до конструкції та технології їх виробництва. З огляду на це вибір, розробку і практичну реалізацію запропоновано здійснювати на засадах системного і комплексного аналізу властивостей матеріалу, структури захисного комплексу залежно від показників умов праці та особливостей технологічного процесу виготовлення.

Мета монографії — розвиток новітніх рішень у створенні комплектів ЗІЗ працівників АЕС для підвищення їх ефективності за показниками захисту, надійності, економічності та безпеки використання.

Підходи до вирішення поставленої мети базуються на наукових здобутках і досягненнях таких українських вчених, як Колосніченко М. В., Славінська А. Л., Супрун Н. П., Воробьев В. Д., Литвиненко Г. Є. та науковців з інших країн Брінклі Дж., Латгес Г, Вілсон Н.

Для досягнення мети поставлено та вирішено такі завдання:

- розроблено на основі системного підходу методологічні принципи вирішення задач математичного моделювання та оптимізації параметрів, конструкцій і режимів використання захисних комплектів;

- розроблено рецептури полімерних матеріалів з прогнозованими властивостями, призначені для створення ЗІЗ визначеної функціональної спрямованості;

- встановлено закономірності впливу характеристик якості нових полімерних матеріалів на показники захисту, надійності і безпеки використання захисного одягу в умовах виробничого середовища АЕС;

- розроблено математичну модель і метод структурної оптимізації для обґрунтування способів підвищення ефективності захисних комплектів;

- сформовано структуру різновидів ізолювального, радіаційно-захисного, фільтрувального захисних комплектів.

- розроблено конструктивно-технологічні рішення та впроваджено у виробництво ізолювальні, радіаційнозахисні, фільтрувальні комплекти для працівників АЕС.

В основу досліджень покладено елементи системного аналізу і математичного моделювання як засоби вирішення поставлених завдань. Під час формування моделей використано основні положення методів типового проектування захисних виробів. Розрахунки та оцінки здійснено з використанням аналітичних, числових, графо-

аналітичних, статистичних методів і техніко-економічного аналізу. Натурні експерименти використано як засіб перевірки адекватності запропонованих математичних моделей і здійснено з використанням сучасних вимірювальних приладів згідно з методиками, наведеними у стандартах для відповідних ЗІЗ. Для прийняття рішень під час вибору параметрів конструкцій ЗІЗ використано метод дискретної багатокритеріальної оптимізації.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що теоретичні узагальнення і результати розрахунків використано як методологічну основу для розробки підходів до проектування нових високоефективних видів ЗІЗ, застосування яких уможливило підвищення безпеки і продуктивності діяльності працівників АЕС та зниження травматизму і професійних захворювань. Практична реалізація запропонованих методів і розроблених моделей здійснена для ЗІЗ, призначених до використання в агресивному середовищі АЕС.

Виходячи з цього, структура монографії складається з п'яти розділів. **У першому розділі** наведено інформацію щодо загальної характеристики умов праці і навколишнього середовища на Українських АЕС. Описано фактори, які визначають умови праці у робочій зоні. Розглянуто сучасний стан з охорони праці та радіаційної безпеки. Міститься перелік основних техніко-організаційних заходів щодо охорони праці в умовах діяльності. Проаналізовано ризики виникнення перелік професійних захворювань під час роботи під впливом полів іонізуючих випромінювань. Обґрунтовано методи аналізу, математичного моделювання та оптимізації у ході конструкторсько-технологічної розробки ЗІЗ.

Другий розділ містить концепцію конструкторсько-технологічної розробки комплектів ЗІЗ, яка базується на сучасних підходах до формування системи індивідуального захисту. Окрему увагу приділено вимогам до захисного одягу та особливостям сучасних конструктивних рішень моделей, які враховують умови праці, стан виробничого середовища та новітні методи проектування. Запропоновано будову зонально-модульної моделі комплектів ЗІЗ і обчислено площі окремих зон за імовірно-визначеною інформацією.

У третьому розділі наведено інформацію щодо нових полімерних, нетканих, композиційних текстильних матеріалів, які мають покращені захисні властивості широкого спектру. Наведено перелік і чисельні значення фізико-механічних, гігієнічних, температурних

та електричних характеристик матеріалів, які використовують у ході конструкторсько-технологічної розробки захисного одягу.

Четвертий розділ містить постановку багатокритеріальних завдань оптимізації параметрів комплектів ЗІЗ та способів їх вирішення. Розглянуто питання, пов'язані з формалізацією процедури надання вихідної інформації. Висвітлено методи структурної оптимізації конструкції ізолювального, радіаційнозахисного та фільтрованого комплектів, з урахуванням градації ділянок, що підлягають максимальним навантаженням, впливу шкідливих речовин та інших показників виробничого середовища АЕС, за умов дотримання нормативних вимог до окремих видів ЗІЗ.

П'ятий розділ містить інформацію про розроблені новітні види та конструкції ЗІЗ захисту органів дихання, голови, рук, взуття. Окрему увагу приділено особливостям сучасних конструктивних рішень моделей захисного одягу, які враховують умови праці та стан виробничого середовища. Наведено інформацію щодо устаткування, яке забезпечує новітні технології виготовлення. Висвітлено результати досліджень фізико-механічних характеристик швів з'єднання з рекомендаціями найефективніших методів з'єднання залежно від призначення, технологічних особливостей виробничого процесу, властивостей матеріалу. Наведено вимоги щодо контролювання параметрів ЗІЗ відповідно до чинних Державних стандартів.

Основні теоретичні положення і практичні приклади, наведені у монографії, становлять інтерес для фахівців, які працюють в галузі охорони праці, та конструкторам і технологам, котрі проектують і реалізують технологічність конструкції ЗІЗ. Запропоновані методи дають змогу творчо підійти до вибору або самостійної розробки моделей ЗІЗ, які використовують у різних виробничих галузях.

Розділ 1

СУЧАСНИЙ СТАН НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ПРОБЛЕМИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ПРАЦІВНИКІВ АТОМНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ. МЕТОДИ АНАЛІЗУ, РОЗРАХУНКУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ

1.1. Характеристика завдань створення, регламентації та експлуатації засобів індивідуального захисту

Щороку в Україні зростає випуск ЗІЗ, використання яких дає змогу знизити рівень травматизму і професійних захворювань. Ефективність застосування ЗІЗ залежить від правильності їх вибору й надійності під час експлуатації та зберігання. За умов ринкових відносин з урахуванням інфляційних процесів, невизначеності інформації та цілей необхідно знаходити нові методологічні підходи, які забезпечать ефективні способи під час розроблення, виготовлення та експлуатації ЗІЗ.

Перелік ЗІЗ встановлюється відповідними нормами або відомчими документами, які сформовано на апіорних уявленнях, застарілому досвіді та документації, яка не передбачає використання математичного обґрунтування.

Відомі розробки зі створення захисних засобів [8—10] скеровано на удосконалення методів проектування і конструювання, подолання виявлених вад і підвищення комфортності у використанні. Однак відсутність єдиного методологічного підходу, заснованого на чітко визначених математичних моделях і методах, створює суттєві труднощі розробнику ЗІЗ та зумовлює тривалий процес сертифікації та впровадження у виробництво.

До параметрів ЗІЗ висувають велику кількість показників, які важко досягнути в повному обсязі: сфера застосування; захисні властивості; асортиментний ряд; показники якості, надійності, економічності, комфортності, ергономічності. Показники якості ЗІЗ загального призначення регламентуються великою кількістю нормативних документів, спеціальних стандартів та внутрішніх документів. Наприклад, відповідно до діючих стандартів встановлено 26 показників якості для виробничого захисного одягу (ЗО), 28 — для захисного взуття, 18 — для герметичного одягу, 16 — для респіраторів і 20 — для дихальних апаратів [11—16]. На думку авторки така кількість окремих формальних показників суттєво утруднює процес проектування і не сприяє підвищенню ефективності під час вибору ЗІЗ.

ЗІЗ — це структурні вироби, елементи яких розрізняються за фізико-механічними, температурними, гігієнічними, електричними показниками, що безпосередньо впливає на рівень їхньої ефективності, якості, надійності та економічності. Під час проектування, розроблення і виготовлення ЗІЗ зазвичай необхідно забезпечити вимоги, які мають суперечливий характер. Процес їх забезпечення ускладнюється тим, що для показників встановлено граничні детерміновані значення. Методи оцінки за граничними значеннями мають низку недоліків, тому що строго придатні для однотипних виробів, які експлуатують в однакових виробничих умовах близьких до лабораторних, за певних механічних та теплових навантажень. Вони не дають змоги врахувати тривалість у часі тих або інших коливань навантажень, випадковий характер виробничих умов (зміни радіаційної обстановки, мікрокліматичних умов, інтенсивності праці) на робочому місці. Суттєвою вадою існуючих норм і граничних показників для характеристик і процесів, які за своєю природою є імовірними, є відсутність рівня імовірності, за якої їх необхідно забезпечити. У зв'язки з цим становить інтерес подальше удосконалення норм та розробка аналітичних методів оцінки параметрів ЗІЗ за граничними значеннями, які є обов'язковими і придатними для окремих видів ЗІЗ.

Існуюча практика визначення кількісних параметрів матеріалів і виробів передбачає проведення експериментальних випробувань. У лабораторних умовах більшість параметрів характеристик матеріалів і граничних показників (термін використання, інтервали праці і відпочинку), а також рівень шкідливості, параметри мікроклімату визначають як детерміновані величини та інтерполюють в

припущені лінійності та незмінності початкових умов, що не відповідає реальним умовам використання.

Під час випробувань у промислових умовах за існуючих проблем забезпечення вимірювальними приладами, визначення цілої низки показників відбувається на основі трудомістких натурних експериментів. Використання застарілих приладів і методів випробувань в умовах впливу іонізуючого випромінювання, змінюваних виробничих умов і параметрів мікроклімату на робочих місцях, може призвести до суттєвих похибок під час контролю захисних властивостей, параметрів електромагнітних і теплових полів та їхнього впливу на працівника та устаткування.

Властивості і параметри ЗІЗ суттєво залежать від зовнішніх виробничих умов, тривалості використання, інтенсивності впливу НШВЧ, тому основою кількісного аналізу в роботі автора є експеримент і математичне моделювання.

Для вдосконалення методів вибору параметрів і режимів використання ЗІЗ найкраще мати інтегральні критерії, які об'єднують низку параметрів матеріалів і виробів, характеризуються аналітичними залежностями, формалізуються у математичних моделях, що дає змогу здійснити моделювання та оптимізаційні розрахунки на комп'ютері. Вперше звернено увагу на доцільність інтегральних оцінок якості ЗІЗ з урахуванням імовірного характеру зміни режимів навантаження у праці [17], в якій як інтегральний запропоновано показник, що відображає зміни функціонального стану людини. Подальший розвиток досліджень у цьому напрямку отримало відображення у працях [18–20]. У праці [17], запропоновано показник тривалості захисної дії, який дає змогу оцінити параметри ЗО залежно від параметрів зовнішнього середовища.

Розвитком інтегральних критеріїв можна вважати праці, в яких поряд з технічними проблемами виготовлення ЗІЗ розглядаються і економічні показники [21]. Для ЗІЗ, де збитки від низької якості продукції великою мірою мають соціальний характер і можуть призвести до виникнення профзахворювань через деякий час, можливості використання показників у вартісних виразах обмежені. З іншого боку, ЗІЗ — масова продукція і вартість продукції за ринкових умов має вплив на її використання. Враховуючи це, авторка запропонувала розглядати вирішення питань створення комплектів ЗІЗ як оптимізаційне завдання — вибір параметрів ЗІЗ за характеристиками матеріалів і вимогами стандартів здійснити таким чином,

щоб за мінімальних значень обмежувальних чинників забезпечити необхідний рівень захисту з урахуванням впливу умов праці на АЕС.

Автор вважає за доцільне дотримуватися практики, яку впровадили провідні фірми з виготовлення ЗІЗ (Du Pont (США), Karcher (Німеччина), Makspol (Польща), який передбачає розробку науково обґрунтованої конструкції ЗІЗ за вимогами захисту і надійності з мінімізацією додаткових ризиків, з відповідних матеріалів та їх комплектації, виходячи з умов експлуатації (рис. 1.1).

Виходячи з цього, існує нагальна проблема створення нових комплектів ЗІЗ, які вирішують такі основні завдання:

- відповідність вихідним вимогам на основі аналізу умов праці;
- забезпечення базового рівня показників захисту і надійності;
- не створення додаткових загроз для здоров'я і ризиків травматизму працівників.

Такий підхід передбачає можливість врахування низки домінантних критеріїв, відповідних до умов праці на АЕС, а можливі негативні чинники усунути за рахунок вибору й оптимізації параметрів конструкції та відповідної технології виготовлення.

1.2. Сучасний стан питання щодо безпеки експлуатації атомних електричних станцій

В Україні побудовано чотири атомні електричні станції (АЕС), на яких впроваджено в експлуатацію п'ятнадцять ядерних блоків, що забезпечують виробництво до 52 % загального обсягу електроенергії. Працівники АЕС виконують важливі функції щодо безпечного та безаварійного функціонування енергооб'єкта. Виробничий персонал на АЕС налічує більш як 35 тисяч працівників, серед яких жінки становлять 34 %.

На діючих АЕС залежно від розташування основного енергетичного устаткування і величини радіаційного впливу, приміщення поділяють на А, Б, В групи [22]. Основні шкідливі фактори в приміщеннях категорії А — постійний вплив β -активних аерозольних забруднень високої концентрації (до 10^{-8} Ки/дм³), зовнішнє іонізуюче випромінювання, рідкі радіоактивні речовини. У приміщеннях категорії Б забруднення містять β -активні аерозолі і місцеві розливи рідких радіоактивних речовин. У приміщеннях категорії В можливий вплив β -активних аерозолів малої концентрації.

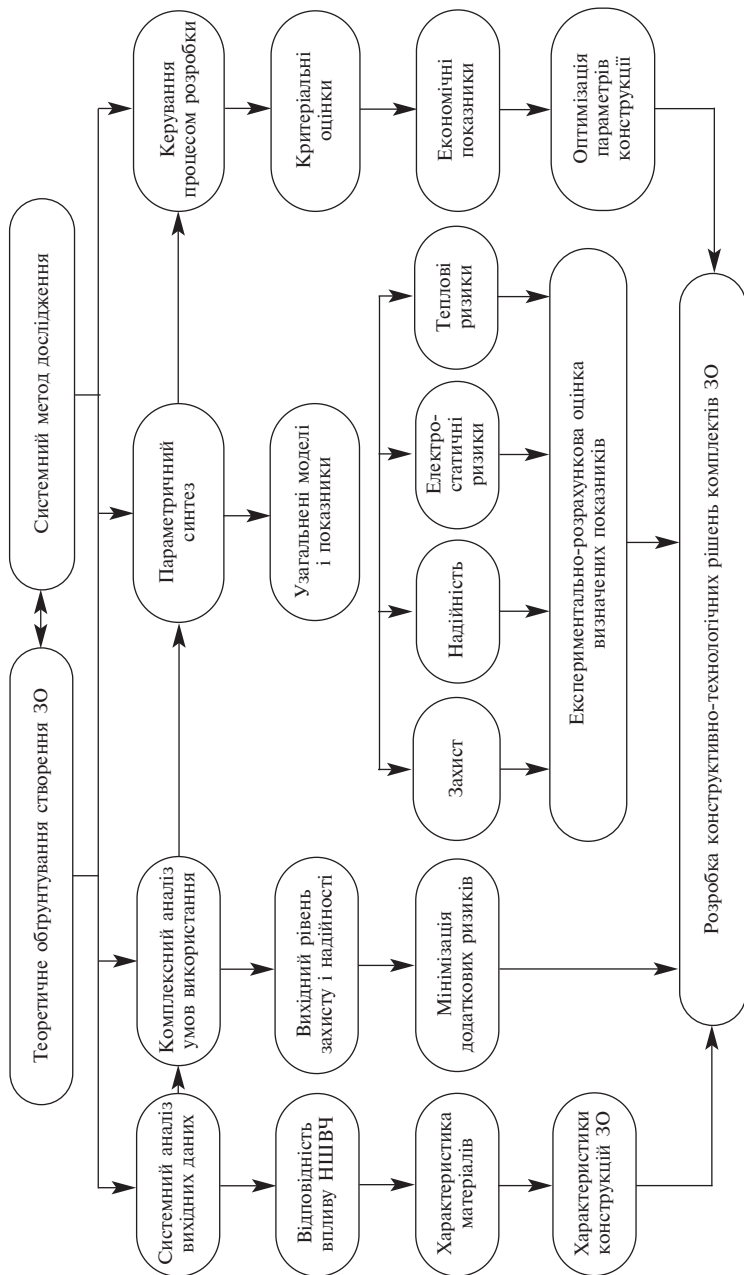


Рис. 1.1. Комплексні показники ЗІЗ

Найбільшу небезпеку становлять ремонтні роботи, які здійснюються під час розкриття закритих зон (гермозони) та всередині реактора. Ці ділянки характеризуються підвищеним γ -фоном та осколковим забрудненням з β -частинками. В аварійних ситуаціях фіксують додатково вплив α -випромінювань. Так, з аналізу умов праці на Південноукраїнській АЕС випливає, що постійно опроміненню піддаються 43 % працівників (серед них жінки — 18 %), а підвищений рівень опромінення має 1,51 % працівників. На Запорізькій АЕС відповідно 20 % і 0,05 % працівників.

Під час планування заходів з розвитку ядерної енергетики першорядної ваги набули питання безпеки експлуатації діючих ядерних блоків та їхньої інфраструктури, передусім Чорнобильської зони. АЕС віднесено до радіаційнонебезпечних промислових об'єктів, що зумовлено можливістю виникнення ризиків опромінювання працівників і забрудненням радіонуклідами прилеглих територій. Такі ризики у практичній діяльності зумовлено недосконалістю устаткування на АЕС України, в аварійних ситуаціях — через помилкові дії персоналу чи відмови в устаткуванні через вичерпання ним гарантованого терміну експлуатації [23]. Ядерні реактори, встановлені на АЕС України, не відповідають міжнародним вимогам якості й надійності та створюють потенційну небезпеку екологічного забруднення 45 % території України [24]. Радіаційно-небезпечні об'єкти на АЕС — це активна зона реактора та системи його захисту, трубопроводи, устаткування першого технологічного контуру, басейни витримки, ділянки дезактивації, системи утилізації рідких радіоактивних відходів (РАВ). Устаткування першого технологічного контуру створює β -випромінювання зі щільністю потоку β -частинок від 10 000 до 20 000 частинок/(м² · с). Головний циркуляційний трубопровід, парогенератори зумовлюють виникнення γ -випромінювання з енергіями від 0,4 до 10 MeV і потужністю експозиційної дози від $1 \cdot 10^{-3}$ до 10 Р/год. У сховищах РАВ зафіксовано α -випромінювання, спричинені дочірніми продуктами торону, радону ²²²Rn, кюрію ²⁴²Cm, плутонію (²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu) [25, 26]. На діючих АЕС серед продуктів розпаду ядерного палива небезпеку становить радіонуклід йоду та його ізотопи з масовим числами від ¹²⁸I до ¹³⁹I, які накопичуються у великій кількості під час роботи реактора [27]. Багаторічний досвід експлуатації ядерних блоків показав неможливість уникнення робіт з джерелами випромінювання і радіоактивними речовинами під час: пуску та зупинки ядерних блоків [28, 29];

утилізації поглинальних стержнів системи керування захистом та інших високоактивних матеріалів; очищення та дезактивації басейнів витримки.

Основні джерела появи техногенних радіонуклідів у навколишньому середовищі — діючі АЕС та об'єкт «Укриття». Головним небезпечним виробничим фактором впливу на персонал є поля іонізуючого випромінювання від зовнішніх джерел. Виробництво електроенергії на АЕС, експлуатація дослідницьких реакторів, аварія на Чорнобильській АЕС, військова діяльність призвели до накопичення великої кількості РАВ, які необхідно ізолювати [30]. На майданчиках АЕС зберігають близько 31 тис. м³ низькоактивних, 1 786 м³ середньоактивних і 166 м³ високоактивних твердих РАВ і 12,3 тис. м³ рідких РАВ. У сховищах міжобласних спецкомбінатів зберігається 650 тис. м³ РАВ. У результаті роботи АЕС до 2017 року буде ще накопичено більш як 165 тис. м³. Унаслідок аварії на Чорнобильській АЕС у зонах відчуження утворилось 2 800 тис. м³ РАВ різних типів, у сховищах об'єкта «Укриття» міститься майже 1 700 тис. м³ РАВ. У зв'язку із цим існують суттєві ризики отримання підвищених доз опромінювання працівниками АЕС і населенням України.

Роботи з підвищення безпеки ядерних блоків і контролю за поводженням з природними радіонуклідами та РАВ виконують згідно з рекомендаціями, розробленими International Atomic Energy Agency (IAEA). Охорону праці на АЕС реалізують за такими напрямками: промислова та пожежна безпека, гігієна праці, радіаційний захист. Особливістю формування нешкідливих параметрів виробничого середовища для працівників АЕС є необхідність дотримання вимог декількох санітарних норм і правил: загальних, які стосуються обмеження низки хімічних (кислоти, луги, розчинники, зварювальні аерозолі, пил), фізичних (механічні навантаження, шум, вібрації, статична електрика, інфрачервоне, електромагнітне, теплове випромінювання) і біологічних НШВЧ; спеціальних, щодо обмеження радіаційного впливу.

У документах [31—33] вказано, що головний напрям підвищення промислової безпеки АЕС є планові системні дії, спрямовані на зниження рівня опромінювання персоналу. Радіаційний захист — це один із складників комплексу заходів, спрямованих на збереження здоров'я та життя персоналу АЕС. Радіаційна безпека вважається забезпеченою, якщо реалізовано основні принципи радіаційного захисту — виправданість, не перевищення, оптимізація [34, 35].

Для встановлення принципів радіаційного захисту визначено два типи функціонування АЕС: практична діяльність і ситуація втручання (або надзвичайні ситуація) [36].

Практична діяльність — це контрольована щоденна діяльність, яка додатково збільшує опромінення, зазвичай отримуване працівниками від наявних радіаційних джерел, або підвищує вірогідність його отримання. Рівень опромінювання, який передбачають з деякою неточністю, називають «нормальне опромінення». Водночас на АЕС під час роботи на багатьох ділянках існує імовірна можливість піддатися опромінюванню і такий вид визначають як «потенційне опромінення». Термін «професійне опромінення» охоплює і нормальне, і потенційне опромінення [37].

У процесі визначення обґрунтованості практичної діяльності встановлюють низку критеріїв (індивідуальна та колективна дози, потужність дози, рівень забруднення робочого місця), на підставі яких приймають рішення. Заходи радіаційного захисту для практичної діяльності планують і приймають до початку її проведення, виходячи з попередніх комплексних інженерних обстежень устаткування та приміщень АЕС. Під час аналізу умов праці отримують інформацію з кількісного та якісного складу потенційних радіоактивних забруднень і природних радіонуклідів, джерел забруднень, їхнього стану та концентрації. За мінімальний рівень природного опромінення прийнято потужність дози гамма-випромінювання радону в 0,5 мкЗв/год за робочий рік (2 000 год), яка призводить до річної ефективної дози близько 1 мЗв. Якщо потужність дози перевищує природний рівень, розробляють програму радіаційного захисту і безпеки під час практичної діяльності. На базі отриманої інформації розраховують величину можливої дози опромінювання.

Рівень індивідуального опромінення визначають за величинами сумарної ефективної E та еквівалентної доз H_T у тканинах або органах. Вважають, що ці величини є адекватним показником шкоди, яку завдано здоров'ю людини. Основні способи потрапляння радіонуклідів в організм — інгаляційний, пероральний та резорбційний [38]. Діючі в Україні нормативні документи з радіаційної безпеки обмежують рівень ефективної дози професійного опромінення працівника на рівні 20 мЗв за рік, усередненої за п'ять послідовних років.

Окремо встановлено межу еквівалентної дози для шкіри і кришталика ока задля уникнення детермінованих ефектів у цих ткани-

нах. Базовою величиною, використовуюваною під час індивідуального моніторингу, є еквівалент індивідуальної дози $H_p(d)$, яку контролюють на глибині $d = (0,07...10)$ мм в м'якій тканині тіла людини. Використовуючи значення $H_p(10)$, можна оцінити величину ефективної дози, набутої інгаляційним або пероральним способом, значення $H_p(0,07)$ — під час резорбційного потрапляння. Аналогічним чином $H_p(3)$ можна використовувати для оцінки еквівалентної дози на кришталик ока.

Сумарну ефективну дозу E_τ , отриману від впливу окремих радіонуклідів упродовж часу τ визначають за формулою [12]:

$$E_\tau = H_p(10) + \sum(e_{jI} \cdot I_{jI}) + \sum(e_{jJ} \cdot I_{jJ}), \quad (1.1)$$

де $H_p(10)$ — еквівалент індивідуальної дози на глибині 10 мм в м'якій тканині за період часу $\tau = 50$ років;

e_{jI} і e_{jJ} — коефіцієнти дози під час потрапляння j -го радіонукліда відповідно пероральним або інгаляційним способом (Дж · год)/м³;

I_{jI} , I_{jJ} — прихована енергія випромінювання j -го радіонукліда за період часу τ під час потрапляння відповідно пероральним або інгаляційним шляхом, Дж.

У ф. (1.1) враховують усі радіонукліди (наявні та очікувані) від існуючих зовнішніх джерел, а також їхні дочірні радіонукліди, що утворюються в процесі розпаду. Професійне опромінення кожного працівника обмежують на такому рівні, щоб сумарні ефективна та еквівалентна дози у відповідних органах (тканинах) у результаті можливого опромінення під час практичної діяльності не перевищували встановленої межі. Рівень ефективної дози професійного опромінення працівника не може перевищувати:

1. 20 мЗв за рік, усереднена за п'ять послідовних років;
2. 50 мЗв за будь-який окремий рік;
3. 150 мЗв за рік на кришталик ока;
4. 500 мЗв за рік на кінцівці (кісті рук і стопи ніг) або на шкіру.

Зазвичай застосовують однакові дозові межі до чоловіків і жінок. Однак для вагітних працівниць впроваджено додаткові обмеження та контроль через те, що плід чутливіший до опромінення. На АЕС України працівниці з терміном вагітності більш як шість тижнів не працюють під впливом радіаційно-небезпечних факторів.

У разі виникнення вірогідності перевищення рівня встановленого критерію необхідно впроваджувати систему радіаційного захи-

сту (СРЗ). На АЕС під час практичної діяльності СРЗ складається з прийняття низки заходів, які спрямовано на зниження вірогідності опромінення, кількості людей, які піддаються опромінюванню, зменшення рівня індивідуальних доз. Реалізація заходів захисту передбачає досягнення найменш можливого рівня індивідуальних і колективних доз опромінювання з урахуванням соціальних та економічних факторів.

Розроблення СРЗ розпочинають на етапі планування, створення технічної документації, будівництва та коректують у процесі експлуатації з урахуванням зворотного зв'язку між рівнями опромінювання та виконанням певної практичної діяльності. Попередня експертна оцінка дає змогу визначати, які заходи необхідно передбачити на етапі проектування за рахунок впровадження інженерно-технічних рішень.

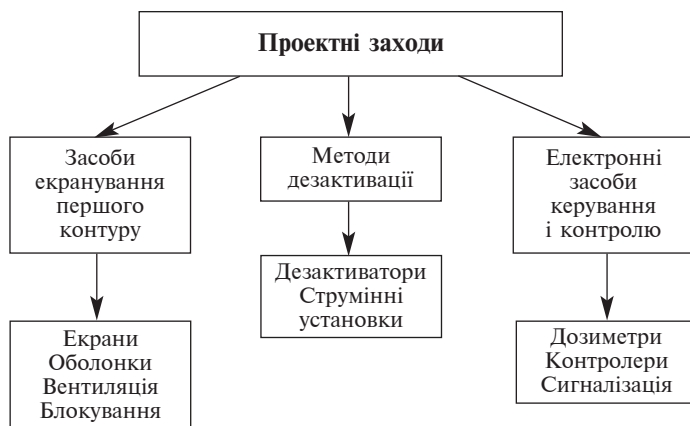


Рис. 1.2. Проектні інженерно-технічні рішення

Під час вибору конкурентоспроможних систем захисту необхідно:

- врахувати наявні та потенційно можливі рівні опромінення;
- визначити варіанти, які практично реалізуються, забезпечуючи зниження рівнів професійного опромінення;

- встановити всі релевантні взаємозв'язки між економічними, соціальними, екологічними і радіологічними чинниками, які розрізняються у порівнювальних варіантах. Наприклад, початкові та експлуатаційні витрати, зниження колективної дози, розподіл індивідуальної дози, можливість опромінення населення, вплив на майбутні покоління, рівень радіоактивних забруднень довкілля;

— розрахувати кількісні значення параметрів для кожного з варіантів;

— вибрати цільову функцію, методи, критерії оптимізації та обмеження і визначити оптимальний варіант;

— оцінити стійкість отриманих рішень.

Устаткування та засоби захисту на АЕС необхідно проектувати з урахуванням вимог СРЗ. На стадії проектування та конструкторського розроблення під час визначення варіанта захисту потрібно ретельно вивчити можливості інженерно-технічних засобів, способи їхнього керування та контролю. Такий підхід дає змогу звести до мінімуму потребу у використанні адміністративних заходів і ЗІЗ у практичній діяльності [37].

Під час визначення оптимальних заходів СРЗ і безпеки використовують різні методи — від апріорного якісного аналізу до кількісного аналізу з використанням багатофакторної оптимізації. Якісний аналіз, заснований на професійному досвіді, може виявитися достатнім для ухвалення рішення з найефективнішого рівня захисту під час використання наявних засобів. У складніших ситуаціях, які передусім пов'язані з великими витратами (наприклад, на етапі проектування установок), необхідно кількісно оцінити доцільність проведення тих або інших заходів. Обсяги фінансування визначають за результатами техніко-економічних розрахунків з урахуванням усього комплексу запланованих робіт.

Як критерій прийняття рішень щодо радіаційної безпеки вибирають мінімум функції загальних витрат Z [39] за весь передбачений термін $T_{\text{сп}}$ експлуатації

$$Z = C_k + (C_\phi + C_n) \cdot K_c; \quad (1.2)$$

$$K_c = \frac{(1 + E)^{T_{\text{сп}}} - 1}{E \cdot (1 + E)^{T_{\text{сп}}}}, \quad (1.3)$$

де C_k — капітальні вкладення (інвестиції), C_ϕ і C_n — щорічні фіксовані та змінні (непостійні) витрати відповідно; E — банківська ставка.

Капіталовкладення включають усі витрати, пов'язані з початковою вартістю на створення систем безпеки: вартість обладнання, проектування, транспортування, будівельно-монтажні роботи, приймальні випробування. Щорічні фіксовані витрати складаються з витрат на експлуатацію, технічне обслуговування, дезактивацію та

збитків від навмисних відключень. Щорічні непостійні витрати зумовлені збитками від незапланований відключень, витратами на аварійні та ремонтні роботи, закупівлю засобів захисту та ін. Усі варіанти, які передбачено розглянути, повинні бути сумірні за основними критеріями: якістю і надійністю, умовами праці та екологічними показниками. Не завжди є можливим кількісне визначення всіх показників у відповідних одиницях. Наприклад, досить складно встановити співвідношення між колективними та індивідуальними дозами, між дозами професійного опромінення та можливими дозами опромінення населення, врахувати відповідні соціальні та екологічні чинники. За таких умов доцільно використовувати методи багатокритеріальної оптимізації та математичного моделювання, які дають змогу отримати більш обґрунтовані та однозначні рішення. Під час ухвалення рішень необхідно розуміти, що вибрані математичні методи не завжди дають єдине можливе рішення. Ці методи потрібно розглядати як засіб, що допомагає побудувати структурно-логічні математичні моделі, встановити взаємозв'язок усіх чинників і поліпшити логічне обґрунтування прийнятих рішень.

Розробка СРЗ на етапі проектування зазвичай не виключає потреби у впровадженні організаційних заходів захисту на стадії експлуатації. Багаторічний досвід експлуатації ядерних блоків показав неможливість виключення робіт з джерелами випромінювання і радіоактивними речовинами під час експлуатаційних і ремонтних робіт: пуску та зупинки ядерних блоків; утилізації паливних елементів та інших високоактивних матеріалів; очищення та дезактивації басейнів витримки. Під час управління виробництвом СРЗ впроваджують задля контролювання рівнів опромінювання і забезпечення їхніх значень настільки низькими, наскільки це розумно досягне програму організаційних заходів (рис. 1.3), яка має загальноприйняту назву As Low Reasonable Achievable (ALARA) [41, 42]. На цьому етапі заходи та їхні обсяги залежатимуть від наявних рівнів опромінення.

Створення програми СРЗ, адаптованої до радіаційно-небезпечних робіт, є важливим елементом в управлінні виробництвом. Така програма охоплює всі види практичної діяльності і складається з таких заходів:

— розгляду кількох варіантів радіаційного захисту з використанням наявних експлуатаційних, регламентних та адміністративних заходів з подальшим обґрунтуванням прийнятих рішень;

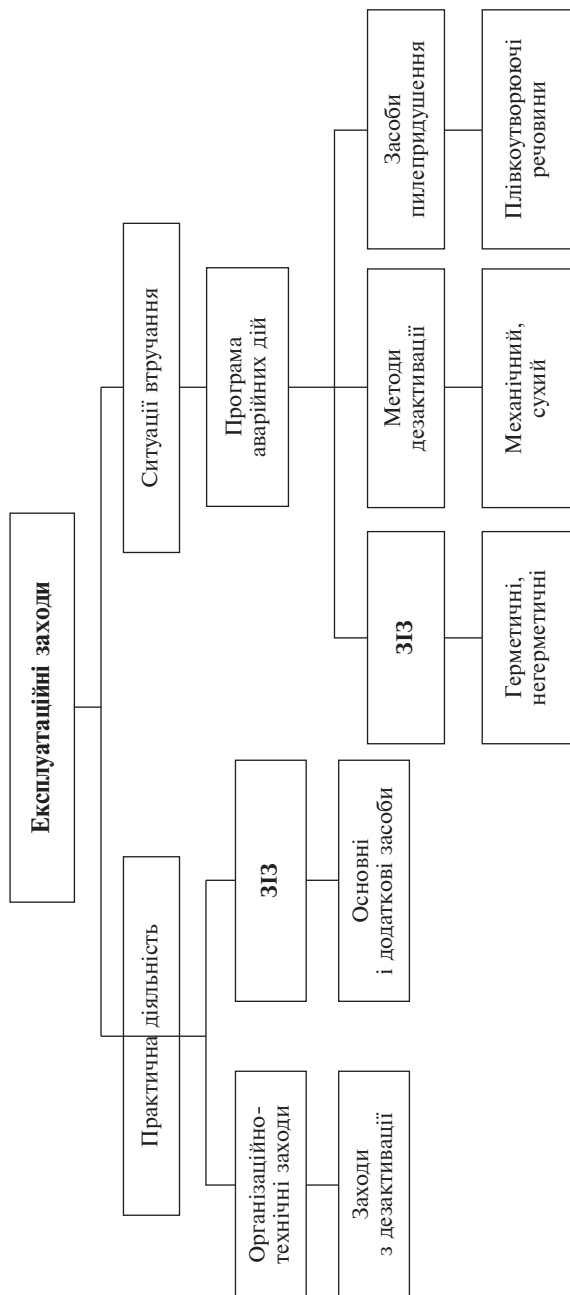


Рис. 1.3. Структура експлуатаційних заходів з безпеки (ALARA)

— здійснення періодичного контролю, аналіз тенденцій до змінення доз професійного опромінення для різних груп працівників, визначення взаємозв'язків з іншими показниками: трудомісткість робіт (чол./год), час виконання робіт, кількість персоналу, періодичність робіт упродовж року;

— коригування ухвалених рішень з урахуванням рекомендацій внутрішньовідомчих і незалежних експертів.

Діяльність із впровадження заходів програми оптимізації на АЕС необхідно забезпечувати відповідними матеріальними, кадровими і фінансовими ресурсами. Матеріальне забезпечення залежить від прийнятої структури СРЗ та контролю за внутрішнім і зовнішнім опроміненням, до складу якої входять:

1. Засоби екранування: спорудження захисних екранів, оболонок, вентиляції і блокування.

2. Методи дезактивації: механічний, струминний, сухий з нанесенням полімерних покриттів.

3. Спеціальне устаткування: засоби дистанційного управління і контролю.

4. Засоби колективного захисту та ЗІЗ: переносні екрани та мати, ізолювальний і герметичний захисний одяг; фільтрувальні та ізолювальні ЗІЗ органів дихання; ЗІЗ рук, ніг, голови, очей і обличчя.

5. Вимірювальна техніка: електронні дозиметри, прилади для оцінки внутрішнього випромінювання, прилади для вимірювання біологічних проб після виконання робіт.

6. Допоміжне устаткування та інструменти.

Під час реалізації програми СРЗ першочергово розглядають додаткові експлуатаційні заходи та обмеження, які можливо здійснювати для зниження рівня опромінювання працівників. Якщо ці заходи недостатні для адекватного обмеження дози, переходять до розгляду необхідності використання спеціального устаткування, ЗІЗ і здійснення спеціальної підготовки персоналу для виконання певних завдань з підвищеним рівнем небезпеки.

Програму СРЗ не можна успішно реалізувати, якщо її положення не підтримують персонал і керівництво середньої ланки. Ефективність процесу створення належних умов праці великою мірою залежить від того, як персонал сприймає і практично реалізує положення СРЗ. Діяльність із залучення персоналу включає такі аспекти:

— підготовка спеціалістів підрозділу радіаційного захисту;

— запровадженням систем регламентації та керування, спрямованих на посилення контролю за рівнем опромінювання працівників;

— проведення спеціальної підготовки персоналу для виконання певних завдань із застосування комплектів ЗІЗ.

Ситуації втручання — це діяльність виробничого персоналу або рятувальників, спрямована на зниження наявного радіаційного опромінення або вірогідності піддатися опроміненню за умови виникнення надзвичайних ситуацій на радіаційнонебезпечних об'єктах і яка не є складником контрольованої практичної діяльності. Накопичений досвід експлуатації АЕС у світовій практиці свідчить, що навіть найвищі вимоги до якості устаткування не в змозі запобігти виникненню аварійних ситуацій. За таких обставин зменшення негативного впливу можна досягти лише за рахунок аварійно-рятувальних дій, спрямованих на відновлення нормальних режимів експлуатації. Зношеність і низький рівень оновлення основних виробничих фондів АЕС України зумовлюють високу аварійність, а застаріла технологічна база призводить до утворення великої кількості відходів, які підлягають утилізації. Критичний рівень зношеності фондів спостерігається зокрема на першому і другому блоках Рівненської АЕС і першому блоці Південноукраїнської АЕС.

На АЕС України та їхніх інфраструктурах упродовж останніх 15 років ситуації втручання виникали під час:

- аварій та аварійних ситуацій, за яких впроваджують план аварійних заходів або аварійних процедур;
- проведення післяаварійних робіт на територіях, забруднених радіоактивними відходами [43];
- проведення заходів для зниження постійного природного опромінення, наприклад, від радону всередині будівель і на робочих місцях [44];
- проведення заходів з перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну зону та подальшого використання зони відчуження;
- порушення герметичності устаткування в транспортних коридорах, що призводило до протікання радіоактивних речовин;
- поширення радіоактивних аерозолів під час падіння та розгерметизації відпрацьованих тепловидільних збірок у процесі їх завантаження в контейнер для подальшого транспортування у сховище [45]. У більшості аварій їхні наслідки проявляються головним чином на робочому майданчику АЕС.

Інженерно-технічні та організаційні заходи з охорони праці на АЕС, можуть бути неефективними під час робіт на об'єкті «Укриття», з використанням його структури для подальшого вирішення проблем безпечного виймання паливних матеріалів з третього і чет-

вертого блоків; будівництва пунктів збереження РАВ; будівництва безпечного конфайнменту; очищення сильно забруднених ділянок території зони відчуження [46—48]. Головною особливістю таких проектів є наявність великої кількості відкритих радіоактивних джерел з невідомим розташуванням та інтенсивними змінюваними характеристиками. У таких умовах замість вибору технічних систем захисту від джерела випромінювання з відомими параметрами виникає необхідність постійного контролю за радіаційними параметрами у зоні робіт та оперативного впровадження радіаційного захисту на підставі аналізу поточної інформації. Якщо технічні заходи та організаційні обмеження, які можливо здійснювати, недостатні для забезпечення потрібного рівня захисту та адекватного обмеження дози опромінення, виникає необхідність використання спеціальних ЗІЗ.

Нині ЗІЗ використовують під час усіх видів робіт на АЕС. Місце ЗІЗ у загальній структурі систем захисту АЕС наведено на рис. 1.3.

Досвід ліквідації наслідків радіаційних аварій свідчить про те, що роботи з дезактивації здійснюють багаторазово впродовж тривалого періоду із залученням великої кількості працівників [49, 50]. За необхідності робіт з підвищеним рівнем небезпеки, в умовах невизначеності і неточності попередньої радіаційної оцінки, особливо на об'єкті «Укриття» та прилеглий зоні відчуження усі роботи здійснюють з використанням ЗІЗ. Досвід ліквідації наслідків Чорнобильської аварії засвідчив, що засоби захисту, які використовувалися і прийняті в атомній енергетиці для здійснення практичної діяльності, призвели до ураження ліквідаторів, виникнення серйозних захворювань, інвалідності і навіть смерті [51].

Таким чином, в умовах експлуатації недосконалого і застарілого устаткування АЕС розроблення і впровадження нових типів ЗІЗ і матеріалів для їх виготовлення є актуальним завданням. Якщо над створенням інженерно-технічних та організаційних заходів працюють великі науково-дослідні, проектні установи (НАН України, Інститут проблем безпеки атомних електростанцій, Інститут радіаційних досліджень, НАК України та ін.), то розробкою ЗІЗ займаються набагато менше організацій.

Усе це свідчить про важливість і необхідність інтенсифікації робіт у галузі створення нових видів і типів ЗІЗ з оптимальними параметрами за математично і економічно обґрунтованими принципами, моделями, методами та інформаційно-розрахунковими програмами. Роботи, які здійснює у цьому напрямі авторка, починаючи з середини 90-х років, спрямовані на розробку і випуск різних

видів ЗІЗ з оптимальними параметрами за критеріями захисту, надійності та економічності, які призначено для захисту персоналу АЕС в умовах комплексного впливу різноманітних НШВЧ. У монографії досліджено передусім завдання, які досі не вирішено або вирішено неповно з великою кількістю допущень.

1.3. небезпечні і шкідливі виробничі чинники на атомних електричних станціях

На чотирьох АЕС України щорічно реєструють велику кількість працівників, на робочих місцях яких граничнодопустимі рівні або концентрації НШВЧ перевищують встановлені норми. Аналіз статистичної інформації за 2007—2014 роки для кожної АЕС, яку наведено за формами № 1-ПВ (Звіт про стан умов праці, пільги та компенсації за роботу із шкідливими умовами праці) і № 1-УБ (Звіт про стан, умови та безпеку праці), затверджених наказом Держкомстату України від 17.07.2007 р. № 223, показав, що нині більш як 20 % персоналу АЕС працює в шкідливих умовах, 40 % — в особливо шкідливих умовах, для 69 % умови праці на робочому місці не відповідають санітарно-гігієнічним нормативам. Такий рівень показників шкідливих умов праці має постійну тенденцію впродовж останніх років (рис. 1.4).

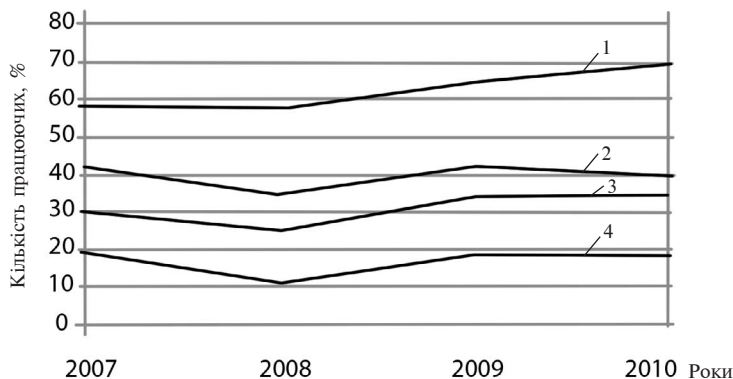


Рис. 1.4. Зміна кількості працюючих

(у процентах загальної кількості) у шкідливих умовах:

1 — робота в умовах, що не відповідають санітарно-гігієнічним нормативам; 2 — робота в особливо шкідливих умовах; 3 — робота у незадовільних мікрокліматичних умовах; 4 — робота у умовах перевищення граничнодопустимого рівня хімічних речовин більш як у два рази

Суттєвий рівень дозового навантаження персонал отримує під час планових ремонтних робіт у системі першого контуру, робіт з дезактивації, робіт із завантаження та вивантаження паливних елементів, контрольних випробувань, у ситуаціях втручання [52].

Кількість працівників, які перебувають під впливом іонізуючого випромінювання, щорічно практично не змінюється (рис. 1.5).

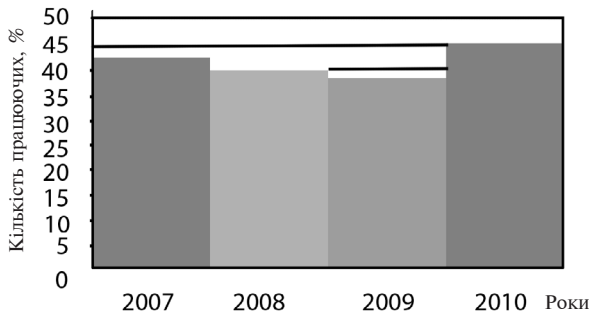


Рис. 1.5. Зміна кількості працюючих

(у процентах загальної кількості) під впливом іонізуючого випромінювання: 1 — підвищений рівень іонізуючого випромінювання; 2 — іонізуюче випромінювання

Аналіз умов праці на кожній з чотирьох АЕС виявив певні особливості, про що свідчить аналіз статистичної інформації за 2009 рік (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Інформація про вплив НШВЧ на персонал АЕС

Вид НШВЧ	Кількість працюючих в умовах з підвищеним рівнем НШВЧ, % загальної кількості			
	Хмельницька АЕС	Запорізька АЕС	Рівненська АЕС	Південно-українська АЕС
1	2	3	4	5
Шкідливі хімічні речовини	9,7	9,5	3,2	11,2
Пил і аерозолі фіброгенної дії	23	8,7	27	18
Пил і аерозолі з радіонуклідами	15	18	12	20
Вібрація	1,9	9,1	0,05	
Шум, інфразвук, ультразвук	22,2	42,1	40,8	23,3

Закінчення таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Іонізуючі випромінювання	38,5	34,4	40,7	33,1
Неіонізуючі випромінювання	1,1	0,6	1,1	0,35
Рідкі радіоактивні відходи	16,3	33,9	33,5	58,8
Біологічні чинники	2,5	—	—	—

Робота на АЕС характеризується високим рівнем навантаження і напруженості (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Інформація про умови праці персоналу АЕС

Вид робіт	Кількість працюючих в умовах з підвищеним рівнем важкості і напруженості, % загальної кількості			
	Хмельницька АЕС	Запорізька АЕС	Рівненська АЕС	Південно-українська АЕС
Підвищена важкість праці	9,7	9,5	3,2	11,2
Незручні робочі пози	23	8,7	27	18
Підвищена напруженість праці	30	31	28	35

Окрім впливу НШВЧ працівники АЕС зазнають електростатичні ризики через наявність індукційних зовнішніх електростатичних полів і теплові ризики, зумовлені роботою з високим рівнем напруженості за підвищених температур виробничого середовища (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Інформація про мікрокліматичні умови праці персоналу АЕС

Характеристика показників	Кількість працюючих в умовах з підвищеним рівнем НШВЧ, % загальної кількості			
	Хмельницька АЕС	Запорізька АЕС	Рівненська АЕС	Південно-українська АЕС
Незадовільні умови мікроклімату	9,7	9,5	3,2	11,2
Підвищена температура назовні	23,1	8,7	27,2	18,1
Наявність статичної електрики на робочому місці	68,1	64,3	72,0	76,0

Умови праці на діючих АЕС та об'єкті «Укриття» мають цілу низку особливостей, які не дають змоги без суттєвих змін у системі індивідуального захисту працівників забезпечити вимоги міжнародних організацій з охорони праці і виконати завдання поставлені державними відомствами з подальшого розвитку ядерної енергетики. Аналіз умов праці на Європейських АЕС показує, що вони суттєво відрізняються за рівнями шкідливості від Українських АЕС. Так, 10 % персоналу АЕС України, чия діяльність пов'язана з ремонтними, демонтажними та аварійно-відновлювальними роботами, а також утилізацією РАВ, мають дози від 20 до 40 мЗв за рік. Водночас рівень опромінення працівників європейських АЕС становить 0,2...0,4 мЗв [53]. У зв'язку з цим і виникла потреба у створенні багатofункціональних комплектів ЗІЗ, які суттєво зменшують вплив зовнішніх полів іонізуючого випромінювання і водночас забезпечують захист від інших НШВЧ (рідких розчинів радіоактивних речовин, пилу з радіонуклідами, хімічно і біологічно активних речовин тощо). Розроблені і впроваджені ЗІЗ призначено до виготовлення на вітчизняних підприємствах із застосуванням сучасних технологій і матеріалів.

1.4. Поточний рівень травматизму і профзахворювань

Під час роботи в агресивному середовищі шкідливі речовини у вигляді пилу, аерозолу, рідких розчинів знижують працездатність і можуть спричинити розвиток професійних захворювань у працівників. Умови роботи з РАВ та в полях іонізуючих випромінювань супроводжуються здебільшого впливом на виробничий персонал випромінювання від радіонуклідних ізотопів, серед яких йод, цезій, стронцій тощо. Радіоактивні ізотопи надходять до організму з пилом, повітрям, їжею, водою і по-різному розподіляються в органах і тканинах людини (табл. 1.4).

Біологічну дію іонізуючого випромінювання та радіонуклідів умовно можна поділити на:

- первинні фізико-хімічні процеси, які виникають у молекулах живих клітин і субстрату, який їх оточує;
- порушення функцій цілого організму — як наслідок первинних процесів.

Таблиця 1.4

Розподіл радіоактивних ізотопів

Ізотопи	Характеристика розподілу
Тритій, вуглець, залізо, полоній	Розподіляються рівномірно в організмі людини
Радій, стронцій, фосфор	Накопичуються в кістках
Калій, рубідій, цезій	Залишаються у м'язах
Йод	Накопичуються у щитоподібній залозі
Рутеній, полоній, ніобій	Накопичуються у печінці, нирках, селезінці, тощо

Особливості біологічної дії випромінювань такі:

1. Біологічний ефект залежить від поглиненої дози випромінювань. Ця залежність прямо пропорційна — з наростанням дози посилюється ефект впливу випромінювання на організм людини.

2. Ефект опромінення пов'язаний з розподілом дози за часом, тобто зі швидкістю поглинання енергії. Розподіл сумарної дози на окремі фази у часі призводить до зменшення ступеня променевого ураження через здатність організму до поступових процесів відновлення.

3. Біологічна дія залежить від виду випромінювання. α -, β -, γ -випромінювання по-різному впливають на організм людини. α -, β -випромінювання середніх і низьких (менш як 1 MeV) енергій несуттєво впливають на людину. Такі види випромінювання не можуть проникати крізь одяг і шкіру людини. Через це можливими джерелами зовнішнього опромінювання залишаються тільки β -випромінювання високих енергій і γ -випромінювання.

4. Наявність прихованого періоду (проміжок часу, який охоплює період від моменту опромінення до появи змін, які реєструють клінічно) виникнення реакції організму. Тривалість прихованого періоду змінюється зворотно пропорційно поглиненій дозі — що вища доза, то коротший прихований період.

5. Генетичний вплив на нащадків людини, котра зазнавала загального опромінення. Повне виявлення всіх наслідкових дефектів відбувається впродовж багатьох поколінь.

6. Кумулятивність — здатність до накопичення радіонуклідів упродовж тривалого терміну.

7. Ступінь і форма променевого ураження залежить від розподілу енергії випромінювання в організмі. Найбільший ефект зумовлює

опромінення всього організму — загальне опромінення. Менші зміни спричиняє дія такої самої дози на окремі частини організму — локальне опромінення, за якого має значення, які частини організму опромінюється.

Нерівномірний характер поглинання енергії пояснюється особливістю впливу іонізуючого випромінювання на організм [54]. Загальна кількість поглиненої тканинами людського організму енергії випромінювання може бути невеликою, але через нерівномірний її розподіл реєструють суттєві ушкодження окремих органів. Цей процес прийнято характеризувати ваговим множником w_t (табл. 1.5). Коефіцієнт w_t для всього тіла людини дорівнює 1,00.

Таблиця 1.5

Середні значення вагових множників w_t для різних органів

Тканина чи орган	w_t	Тканина чи орган	w_t
Статеві залози	0,20	Печінка	0,05
Червоний кістковий мозок	0,12	Стравохід	0,05
Товстий кишечник	0,12	Щитовидна залоза	0,05
Легені	0,12	Шкіра	0,01
Шлунок	0,12	Поверхня кісток	0,01
Сечовий міхур	0,05	Суглоби	0,15
Молочні залози	0,05	Інші органи	0,05

Ступень ураження організму великою мірою залежить від розміру поверхні, що опромінюється — що менша поверхня, то менший біологічний ефект. Так, у разі опромінення фотонами ділянки тіла площею 6 см² за поглиненої дози 3 Гр помітного ураження організму не спостерігається, а в разі опромінення такою самою дозою всього тіла настає близько 50 % смертельних випадків [55].

Нерівномірність поглинання пояснює причини виникнення професійних захворювань і велику імовірність ушкодження окремих органів. Найчутливішими до радіаційного випромінювання є клітини тканин та органів, які постійно відновлюються (кістковий мозок, статеві та щитоподібна залози, селезінка та ін.). Зміни на клітинному рівні або загибель клітин призводить до порушень функції окремих органів і взаємопов'язаних процесів в організмі, що спричиняє негативні функціональні наслідки для організму або його загибель.

Соматичні (тілесні) ефекти — це наслідки дії опромінення безпосередньо на людину, які умовно поділяють на визначені та стохастичні (імовірні).

До визначених соматичних ефектів належать хвороби, важкість яких детерміновано залежить від дози опромінення. Прикладами таких ефектів, на які розповсюджуються порогові значення, є ураження шкіри непухлинної природи, катаракта, зниження проліферативної активності клітин кісткового мозку, що приводить до порушення здатності продовження роду. Такі захворювання виникають у разі перевищення певних граничних значень дози ураження (дозовий поріг).

Граничне значення дози ураження змінюється залежно від індивідуальних особливостей організму людини та умов опромінювання. Нині є надійні дані, які отримано впродовж тривалих спостережень за персоналом АЕС і населенням, котрі піддалися дії високих доз опромінення (у медичних цілях, під час ремонтних робіт ядерних установок, населення на забруднених радіоактивними відходами територіями та ін.). З них випливає, що тривале професійне опромінення дозами до $2 \cdot 10^{-2}$ Гр на рік для дорослої майже здорової людини не викликає жодних соматичних ефектів. Визначені ефекти повністю вилучаються, якщо доза опромінювання не перевищує $5 \cdot 10^{-3}$ Гр на рік для всіх органів за винятком кришталика ока, для якого межа річної дози $3 \cdot 10^{-3}$ Гр. У разі, якщо дози опромінювання перевищують граничні значення, тяжкість захворювання залежить від її величини: чим більша величина дози, то серйозніше ефект. Визначені ефекти зазвичай виявляються досить швидко. Так, гостра променева хвороба (нозологічна форма) розвивається в разі зовнішнього опромінення за дози, яка перевищує 1 Гр, отриманої одночасно або впродовж короткого проміжку часу (від 3 до 10 діб), а також у разі надходження радіонуклідів у внутрішні органи й утворення адекватної дози засвоєння.

До стохастичних ефектів відносять онкологічні і спадкові захворювання. У разі опромінювання стохастичні ефекти зазвичай виникали лише у деяких осіб. Частота їх виникнення суттєво залежить від місця проживання людини, спадкових ознак і низки інших чинників. Медичні дослідження осіб, котрі піддалися опромінюванню, показують, що частота виникнення онкологічних захворювань збільшується із зростанням поглинутої дози, що справедливо

для великих доз, а для малих доз ця залежність є достатньо статистично невизначеною. Так, смертні випадки від лейкозу під час опромінювання в малих дозах $(1,0 \dots 1,5) \cdot 10^{-2}$ Зв за кількістю сумірні зі смертністю від лейкозу за дозах опромінювання в десятки разів більших (до 55,0 Зв.) [56]. У стохастичних ефектів відсутнє поняття порогу опромінення, тому навіть дуже малі дози пов'язані з певним підвищенням вірогідності таких ефектів.

Усі стохастичні ефекти завжди віддалені в часі. Генетичні ефекти виявляються в подальших поколіннях, а у разі онкологічних захворювань між опромінюванням і виникненням захворювання може пройти від декількох років до декількох десятків років. Наразі не існує медичних методів зниження вірогідності виникнення стохастичних ефектів від вже отриманих доз.

Порівняльний аналіз захворюваності персоналу Чорнобильської АЕС 1995 року та 1988 року показує, що зафіксовано постійне зростання за такими видами хвороб: ендокринної системи; злоякісні новоутворення; хвороби крові і кровоносних органів; доброякісні новоутворення; хвороби кістково-м'язової системи. Щорічний показник захворюваності за усіма видами хвороб для працівників Чорнобильської АЕС був вищий на 58 % порівняно з рівнем захворювань на інших АЕС України [55]. Смертність серед працівників Чорнобильської АЕС у чотири рази перевищувала смертність працівників на інших станціях. Упродовж 1988—1994 років у структурі причин смерті персоналу Чорнобильської АЕС і мешканців Славутича домінуючими були хвороби систем кровообігу — вони становили 40,6 % у відношенні до загальної кількості всіх випадків, другими за частотою — травми та отруєння (28,4 %), що спричинено порушеннями психологічного характеру та далі — новоутворення (рак легенів і шлунку) (13,3 %).

Рак — найнебезпечніший з усіх наслідків опромінення людини за малих доз, особливо для працівників і населення, які піддавалися тривалому опроміненню (табл. 1.6). Ризик виникнення загибелі людей R_i можна визначити як

$$R_i = P_i \cdot H, \quad (1.4)$$

де P_i — імовірність виникнення i -го захворювання на 10 тис. людей;
 H_i — ступень тяжкості наслідків захворювання.

Таблиця 1.6

Ризик смертей від злоякісних пухлин у разі опромінення

Критичні органи	Захворювання	Ступень тяжкості захворювання, H_i	Імовірність захворювання, $P_i, 10^{-2}$	Ризик, $R_i, 10^{-2}$
Усе тіло, червоний кістковий мозок	Лейкемія	0,92	0,2	0,184
Щитовидна залоза	Рак щитовидної залози	0,425	0,05	0,0213
Молочна залоза	Рак молочної залози	0,135	0,25	0,0338
Скелет	Пухлини кісткової тканини	0,785	0,05	0,0393
Легені	Пухлини легенів	0,30	0,2	0,006
Інші органи та тканини	Пухлини органів	0,540	0,5	0,027
Статеві залози	Наслідкові дефекти	0,837	0,4	0,0335

Аналіз особливостей біологічних ефектів опромінювання дав змогу зробити висновок, що абсолютний захист з урахуванням і визначених, і стохастичних ефектів можна досягти через унеможливлення піддавати опромінюванню будь-яких органи і тканин тіла людини у будь-яких дозах. Виключення професійних захворювань можна досягти у разі не перевищення працівниками встановлених меж доз індивідуального опромінювання. На разі щорічно через хвороби пропускають 1 600...1 750 днів на 100 працівників, відповідно кількість втрачених робочих днів щорічно на всіх АЕС становить до 45 тис. днів. Через високу імовірність виникнення професійних захворювань під час робіт у таких умовах праці щорічно 64 % працівників АЕС отримують різні види компенсацій загальною вартістю понад 30 млн. гривень.

На підставі викладеного мета радіаційного захисту полягає в:

- запобіганні виникненню шкідливих визначених ефектів;
- зниженні частоти виникнення стохастичних ефектів до значень настільки низьких, наскільки це розумно досяжне;
- підвищенні захисту найбільш чутливих органів і тканин працівника;
- зменшенні площі ділянок тіла працівника, які можуть залишатися незахищеними.

1.5. Принципи побудови детермінованих математичних моделей засобів індивідуального захисту

Необхідність прийняття рішень на основі багатокритеріального аналізу базується на системному підході під час вирішення поставлених завдань, на що звернено увагу у [57]. Це зумовлює необхідність аналізу багатофакторної моделі «виробниче середовище — комплект ЗІЗ — процес і результат діяльності — самопочуття та здоров'я працівника». Проаналізувати і встановити аналітичні залежності між окремими параметрами і процесами з урахуванням взаємозв'язків у такій моделі реально досягається тільки методами математичного моделювання.

Процес математичного моделювання починається з постановки завдання, рішення якого отримуємо під час досліджень за математичною моделлю. Через велику складність процесів, які досліджуються, не уявляється можливим створити єдину універсальну модель. Відомо [58], що тип і структура математичної моделі визначаються характером завдань, які вирішуються, особливостями інформаційного забезпечення, використанням розрахункових методів. Кожна модель є абстрактним описом реального об'єкта і відображає ступінь пізнання досліджуваної системи обмежено, відповідно до рівня інформації, отриманої за апріорними або апостеріорними міркуваннями. Особливо це стосується систем, в яких задіяна людина та процеси в її організмі.

Залежно від проблем і напрямку досліджень використано різні моделі і методи. Вибір моделі починається зі встановлення, систематизації та аналізу вихідної інформації і внутрішніх функціональних взаємозв'язків процесів, які є метою розрахунку. Велику бібліографію з вибору математичних моделей і методів оптимізації наведено у [59]. Відповідно до задач, які необхідно вирішити, сформульовано основні вимоги до математичних моделей:

1. Модель відображає основні властивості об'єкта відповідно до цілей вивчення.
2. Моделі призначено для аналізу потенційно небезпечних або ненадійних елементів, що зумовлює їхню структуру з погляду прийняття рішень.
3. Моделі адаптовано до наявної вихідної інформації.
4. Моделі модифікують та адаптують до появи нових видів вихідної інформації.

5. Моделі пристосовано до всіх етапів розробки та експлуатації виробу.

6. Розмірність моделей дає змогу здійснювати розрахунки в розумні терміни з використанням наявної обчислювальної техніки і програм моделювання.

Важливим під час розробки моделей є виокремлення структурних одиниць за рівнями складності. Загальну математичну модель процесу функціонування виробу можна подати у вигляді системи, яка складається зі структурних одиниць різного рівня складності.

Рівень складності моделі визначають взаємозв'язки між окремими елементами та системою. Однак складніша модель потребує детальнішої вихідної інформації і досконаліших математичних методів. Досвід розрахунків з використанням методів математичного моделювання виявив, що надмірне уточнення моделі не завжди доцільне [60]. Початкова інформація для ЗІЗ, отримана на основі статистичного аналізу, має високий рівень невизначеності, а математичні методи обчислювання (чисельні методи, регресійний аналіз, асимптотичні методи) та оптимізації (метод найшвидшого по координатного спуску, динамічне програмування, метод нормованих функцій) за рахунок похибки і дискретних значень більшості параметрів зводять до мінімуму ті переваги, які досягнені за рахунок ускладнення моделі.

На цьому етапі розвитку систем автоматизованого проектування і керування виробництвом розробка математичних моделей зазвичай повинна орієнтуватися на комп'ютерні технології. Орієнтація на скерування процесу проектування з використанням комп'ютерних технологій потребує принципово нового підходу до представлення вихідної інформації та способів розробки виробів. За таких умов використання комп'ютерних технологій передбачає не просто перекладання традиційних способів ручного розрахунку, а пошук математичних моделей і відповідних методів, які як найкраще відповідали б можливостям розрахункової техніки. Найбільший ефект математичні моделі дають у ситуаціях, якщо їх розроблено для вирішення окремих задач і передбачено можливість їх використання у взаємопов'язаному комплексі для послідовного вирішення задач на етапі проектування, виготовлення та експлуатації.

Створення адекватної моделі починається лише за ретельним вивченням об'єкта моделювання та його поведінки під час експлу-

атації з подальшою верифікацією її за інформацією, отриманою в процесі натурних випробувань. На першому етапі для конкретно вибраного завдання наводиться змістовний опис, який містить: місце і значення завдання у загальній проблемі, відомості з фізичної природи явища, фізичні моделі та взаємозв'язки між їхніми параметрами, кількісні характеристики окремих елементів і параметрів досліджуваних процесів [61—63]. На етапі постановки завдання формулюють мету дослідження процесу і його вплив на кінцевий результат роботи, визначають необхідний обсяг вихідної інформації, практичну можливість її отримання, часовий характер її зміни та точність. Встановлюють чинники, які необхідно враховувати під час побудови математичної моделі і складають перелік залежностей, які підлягають оцінці за результатами моделювання. Після постановки завдання і фізичного або змістовного опису об'єкта дослідження переходять до розробки математичної моделі. На цьому етапі об'єкт або процес розглядають не в усьому його різноманітті, а в конкретно визначеному його прояві. Математична модель є системою співвідношень між характеристиками процесу з його параметрами і початковими умовами та з одного боку, повинна бути адекватна реальному об'єкту, а з іншого — відрізнятися від оригіналу так, щоб це було практично реалізовано. Перехід від описової формалізованої схеми до математичної моделі здійснюється за допомогою співвідношень, записаних у аналітичній або стохастичній формі.

Залежно від завдань, які необхідно вирішити, автор пропонує різні моделі, кожна з яких відображає лише такі параметри реального явища, які є визначальними для вирішення поставлених завдань без урахування менш суттєвих. Відповідно до природи явищ і процесів, що визначаються, використано детерміновані та імовірні, безперервні і дискретні, лінійні та нелінійні математичні моделі зі стаціонарними або нестаціонарними процесами.

Детерміновані моделі і методи приваблюють своєю наочністю та відносною простотою і водночас дають задовільну точність. За детермінованої постановки задачі параметри станів системи, що вивчається, однозначно визначаються через вихідну інформацію та початкові умови. Вивчення параметрів, властивостей і режимів використання ЗІЗ традиційно здійснюють на основі детермінованих методів [64]. До них належить інформація, яка задається єдиним значенням відповідного показника, зокрема деякі дискретні показники

і ті, що цілочисельно змінюються, — кількість шкідливих і небезпечних чинників на АЕС, товщина та ширина матеріалу, кількість шарів матеріалу або одягу, кількість окремих видів ЗІЗ у комплекті та ін. Детермінований підхід привабливий для дослідника своєю визначеністю і досконалістю розроблених математичних методів. Такі моделі можна правомірно і коректно використовувати для певних видів завдань, незважаючи на те, що вихідні умови і параметри за своєю природою мають імовірний характер [65]. Для таких моделей випадкові величини замінюються їхніми математичними очікуваннями і рішення визначають за середніх значень параметрів.

У монографії детерміновані моделі використано для вирішення низки задач. Перше з них пов'язано з визначенням кількісних значень характеристик матеріалів у різних умовах. У загальному випадку такі показники матеріалів відрізняються від дійсних значень. Причиною невизначеності вихідної інформації може бути: імовірний характер значень, зумовлений розкидом параметрів однотипного устаткування, технологій і систем вимірювальної апаратури, похибкою вимірювань та ін. [66]. Відповідно до наявної практики [67] оцінку фізико-механічних, гігієнічних, електричних характеристик матеріалів, здійснено за середніми значеннями. Аналогічно визначено коефіцієнти захисту від α -, β -, γ -випромінювань під час робіт на АЕС.

У разі визначення абсолютних значень показників за детермінованим моделями можна отримати певну похибку, межі якої необхідно перевірити порівнянням з результатами експериментів. За такої процедури результати натурних випробувань використано як допоміжний елемент, необхідний для параметричної або структурної ідентифікації моделі. У процесі натурних випробувань досліджуваного об'єкта отримуємо вихідну інформацію та відповідні експериментальні залежності. Властивості вихідної інформації великою мірою визначають умови постановки задачі, її математичну модель і метод вирішення. За математичною моделлю, яка відображає фізичні процеси, які є домінантними на цьому етапі дослідження, отримуємо аналогічні залежності, визначені у розрахунковий спосіб. Своєю чергою такі характеристики залежать від низки змінних функцій керування, які у загальному випадку є випадковими величинами. У розглянутих моделях змінні керування пов'язані з параметрами виробничого середовища, структурними елементами

виробів і певними особливостями технологічного процесу, які відбуваються з участю людини [68].

Водночас умови праці і пов'язані з ними зміни показників мають випадковий характер і їх вивчення здійснюють з використанням імовірними моделей і методів теорії імовірних та математичної статистики. За стохастичної (імовірної) постановки для вихідних даних, параметрів моделі та початкових умов визначаємо закони розподілу ймовірностей та їхні числові характеристики. Під час рішення таких задач заміна розподілу ймовірностей величинами математичного очікування призводить до невиправданих похибок, які збільшуються за зростання дисперсії випадкової величини, нелінійності параметрів і нестационарності процесів, що відбуваються або впливають. Як показує практика, використання тільки детермінованих моделей під час створення ЗІЗ призводить до завищення габаритів, маси, вартості, що обмежує їх подальше використання. Враховуючи це, особливу увагу привертають моделі зі стохастичними параметрами та обмеженнями, в яких передбачається визначати параметри з відповідним рівнем імовірності [69].

Вибір типу математичної моделі залежить також від характеру змінних функцій керування, які можна надати і безперервними, і дискретними. До безперервних належать показники коефіцієнтів захисту, вартості нового виробу, гарантований термін використання. Однак більшість показників ЗІЗ мають дискретні значення: вартість матеріалів і комплектуючих (фурнітура, фільтри, вставки), параметри фізико-механічних, гігієнічних, електричних характеристик, термін використання тощо, що зумовило в оптимізаційних завданнях використання і безперервних, і дискретних моделей [70].

У роботі автор запропонував низку математичних моделей для отримання кількісної оцінки під час вирішення завдань:

- конструктивно-технологічної розробки за зонально-модульною моделлю комплексу ЗІЗ;

- структурної оптимізації параметрів ЗО за критеріями захисту і фізико-механічними характеристиками (ФМХ) за нелінійними детермінованими моделями з безперервними змінними керування;

- оптимізації конструкцій ЗО за критеріями захисту та економічності за лінійними моделями з дискретними змінними керування.

1.6. Огляд методів математичного моделювання, розрахунку та оптимізації

Після створення математичної моделі залежно від змісту завдання та вихідної інформації, вибираємо спосіб, у який використовуємо цю модель. Розглядаючи математичні моделі з погляду їхнього подальшого використання, можна виокремити такі способи: аналітичні, імітаційні та оптимізаційні.

Аналітичний спосіб вирішення завдання є найбільш вивчений. Відповідно такий спосіб передбачає впровадження цілої низки спрощень і допущень [71]. Аналітично можна успішно вирішити достатньо прості задачі в детермінованих моделях. Для аналітичних досліджень процеси функціонування елементів моделі записуємо у вигляді функціональних співвідношень (алгебраїчних, інтегрально-диференціальних, логічних умов). У роботі закономірності, які спостерігалися в процесі випробувань, досліджено методами регресійного аналізу. Досліджуваний показник Y_j і низка факторів X_i , що впливають, характеризуються рівняннями регресії виду:

$$Y_j = B \cdot \exp\left(\prod_{i=1}^n (B_i \cdot X_i)\right) + B_0; \quad (1.5)$$

$$Y_j = B_1 X + B_1 X^2 + B_1 X^3 + \dots + B_n X^n + B_0,$$

де B_i , B_0 — коефіцієнти і вільний член рівняння регресії.

Прагнення до комплексного вирішення завдань під час створення ЗІЗ натрапило на складнощі узгодження суперечливих вимог і кількісного визначення критеріїв оптимізації. Враховуючи, що кінцева мета роботи — створення ЗІЗ з визначеними захисними властивостями, відповідним рівнем економічності та ергономічності, завдання вибору параметрів ЗІЗ, які пов'язано з додатковими витратами коштів, розглядалися лише з погляду забезпечення тривалого і комфортного використання.

Знаходження оптимального рішення задачі залежно від структури цільової функції та обмежень передбачає використання тих або інших методів теорії оптимальних рішень. У працях [72—75] досліджено окремі задачі з усілякими спрощеннями і припущеннями.

Для завдань з безперервними змінними керування, де кількість варіантів досить велика, можна використовувати методи направле-

ного пошуку [72]. До цієї групи належать градієнтний метод, метод найшвидшого спуску, метод випадкового пошуку, метод покоординатного спуску та ін., які дають змогу відшукати локальні екстремуми. Рішення задач підвищення захисних властивостей такими методами пов'язані із суттєвими розрахунковими складнощами, громіздкими розрахунками, тому що за одного чи двох циклів перегляду всіх варіантів не вдається досягти оптимальних рішень. Проте найбільша неточність розрахунку за такими методами полягає в тому, що у загальному випадку отримане рішення може мати вигляд дробу.

Рішення оптимізаційних задач за дискретної зміни параметрів виявляється набагато складнішим, аніж у випадку параметрів, що безперервно змінюються. Для цього необхідно використовувати методи нелінійного програмування. Наявні методи рішення завдань дискретного і цілочисельного програмування можна умовно класифікувати [73] на методи відсікання, комбінаторні та наближені методи. Основою всіх методів є три алгоритми Гомори, призначені для рішення завдань цілочисельного лінійного програмування. Ці алгоритми базуються на лексиграфічній модифікації подвійного симплекс-методу. Модифікація другого алгоритму Гомори — алгоритм Дальтона і Левеліна, призначені для безпосереднього рішення дискретних задач лінійного програмування. Аналіз цих алгоритмів виявив їхні суттєві вади під час використання, а саме малу швидкість сходження і великі складнощі у розрахунках.

Серед комбінованих методів можна виокремити метод гілок і меж та низку алгоритмів (наприклад, Джеффіріона-Марстена, Балаша, Фора, Мальгранжа, які є його модифікаціями). Щодо методу гілок і меж, необхідно відзначити: його застосування до дискретних моделей з обмеженнями досить трудомістке і тривале, тому що у процесі розрахунків виникає необхідність повернення до вихідних умов у пошуках нових гілок допустимих альтернатив. До комбінованих методів, які знайшли використання у розрахунках надійності, належить метод динамічного програмування, в основу якого покладено принцип оптимальності Беллмана. Для цього методу оптимальна стратегія має таку властивість, що для будь-якого початкового рішення і стану, подальші рішення визначають оптимальну стратегію відносно стану, який отримано у результаті попереднього рішення. Це призводить до скорочення варіантів, які розгляда-

ються. Під час рішення багатовимірних задач з обмеженнями, що є неминучим для створення конструкцій ЗІЗ, ці методи зумовлюють великі обсяги розрахунків, що робить їх недостатньо ефективними.

Такі обставини свідчать про доцільність використання евристичних (наближених) методів, які під час рішення задач дискретного і цілочисельного програмування засновані на методі покровокої оптимізації [74—76]. Досвід їх використання для рішення різних задач дискретної оптимізації свідчить про те, що такі методи позбавлені характерних вад [75].

Запропонований у роботі метод дискретної оптимізації параметрів ЗО [77] розроблено на основі методу нормованих функцій, який належить до евристичних методів оптимізації і знайшов широке застосування у вирішенні нелінійних цілочислених задач. [275]. В основу розрахунків покладено метод, за якого виділяють найважливіший критерій, а інші параметри використовують як обмеження. Необхідно відзначити ще одну причину застосування модифікованого методу нормованих функцій саме для вирішення завдань структурної оптимізації комплектів ЗІЗ. Метод не передбачає обов'язкового надання цільової функції та обмеження у вигляді аналітичних залежностей. Для цього алгоритму важливо, щоб була можливість розраховувати прирощення цільової функції та обмежень. З метою скорочення кількості альтернатив, які підлягають подальшому аналізу, потрібно передбачити процедуру виокремлення варіантів, ефективних за критерієм Паретто.

Висновки до розділу 1

1. АЕС України забезпечують енергобезпеку країни, виробляючи більше половини загального обсягу електроенергії. Нині на діючих атомних блоках за рахунок впровадження наявних техніко-організаційних заходів не вдається забезпечити допустимі умови праці, уникнути впливу на працівників іонізуючих випромінювань від зовнішніх джерел, пилу та аерозолів з радіонуклідами, особливо небезпечних хімічних речовин.

2. Аналіз звітної інформації за всіма АЕС показав, що впродовж десяти останніх років умови праці практично не змінювалися. Щорічно до 10 % працівників мають дози опромінення, які перевищують встановлені норми, більш як 20 % персоналу АЕС працює в

шкідливих умовах, 40 % — в особливо шкідливих умовах, для 69 % умови праці на робочому місці не відповідають санітарно-гігієнічним нормативам. Через високу імовірність виникнення професійних захворювань під час робіт у таких умовах праці щорічно 64 % працівників отримують різні види компенсацій загальною вартістю понад 30 млн. гривень.

3. Засоби індивідуального захисту посідають важливе місце у системі індивідуального захисту працівників. На АЕС України їх застосовують у практичній діяльності та ситуаціях втручання для забезпечення рівня опромінювання в нормованих межах і суттєвого зменшення негативного впливу від інших шкідливих чинників. Щорічно на АЕС використовують до 140 тисяч різних видів ЗІЗ. У таких умовах створення нових надійних комплектів ЗІЗ, які передбачають захист усього працівника — голови, очей, органів дихання, рук, ніг, шкіри відповідними засобами, є нагальною потребою.

4. На підставі аналізу Європейського досвіду у створенні новітніх захисних засобів, показана необхідність об'єднання в процесі створення всіх стадій: розробка матеріалу, проектування, виготовлення та впровадження. Однак наявні підходи загалом не забезпечують комплексного вирішення завдань розробки надійних комплектів ЗІЗ з оптимальними параметрами на етапі проектування і серійного виготовлення. Повноцінна реалізація такої концепції пов'язана з потребою подолання аспектів методологічного характеру, зумовлених безпосереднім включенням працівника — користувача ЗІЗ у систему розгляду, невизначеністю нормативів і способів їх оцінки, а також недосконалістю підходів до оцінки змінюваних умов праці та режимів виконання робіт.

5. Нині практично відсутні системні, математично обґрунтовані ефективні методи створення технологічних комплектів ЗІЗ для працівників АЕС. Дослідження та аналіз завдань створення комплектів ЗІЗ з оптимальними параметрами з урахуванням великої кількості критеріїв і граничних показників зіткнулися з низкою проблемам. Першочергово це пов'язано з відсутністю математичних моделей та аналітичних залежностей, які встановлюють зв'язки між численними характеристиками матеріалів, параметрами виробів, їхньою конструкцією та технологіями виготовлення.

6. Базуючись на попередніх результатах оцінки і роботах інших авторів показано, що цілеспрямоване створення матеріалів і кон-

струкцій ЗІЗ з оптимальними параметрами можливе на основі системного і комплексного підходу за математичними моделями, з використанням у процесі розробки відповідних математичних методів, орієнтованих на комп'ютерні технології.

7. Успішне практичне вирішення складних завдань створення комплектів ЗІЗ, що пов'язано із захистом здоров'я, а в деяких випадках життя працівників, запропоновано здійснити в результаті синтезу формальних і неформальних процедур, з використанням методів математичного моделювання та дискретної оптимізації.

Розділ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКТІВ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Забезпечення надійного захисту працівників АЕС від впливу комплексу НШВЧ завжди позиціонувалося як пріоритетне завдання. Вирішення сучасних завдань зниження рівня травматизму і профзахворювань на АЕС, цілеспрямована діяльності з покращення умов праці, підвищення ефективності і безпеки праці неможливо без розроблення і впровадження якісно нових ЗІЗ.

Аналіз стану травматизму і профзахворювань на вітчизняних АЕС виявив, що одна з основних причин травматизму і профзахворювань — недосконалість, низька ефективність, а в низці випадків — відсутність або невикористання персоналом ЗІЗ. У ситуаціях втручання використання ЗІЗ дає змогу збільшити тривалість перебування у небезпечній зоні без додаткової шкоди здоров'ю працівника. Отже, належне забезпечення такими засобами поліпшить безпеку праці, допоможе зберегти здоров'я, а інколи і життя працівників.

2.1. Характеристика наявних засобів індивідуального захисту

У нашій країні нині накопичено великий досвід виготовлення і застосування ЗІЗ у різних галузях [78—80], зокрема на об'єктах ядерної енергетики. Особливо важливу роль відіграють ЗІЗ в умовах невизначеності рівня і видів шкідливих факторів, що характеризує обстановку на об'єкті «Укриття», і без застосування яких неможливо здійснити будь-які роботи (рис. 2.1). Аналіз стану травматизму і профзахворювань на АЕС виявив, що одна з основних їх причин — недосконалість, низька ефективність, а в низці випадків відсутність або невикористання персоналом ЗІЗ. З-поміж причин виникнення нещасних випадків невикористання відповідних ЗІЗ

становить до п'яти відсотків. ЗІЗ на Українських АЕС великою мірою визначають рівень захисту працівників.

Згідно з чинними документами на АЕС [81], ЗІЗ поділяють на основні та додаткові. Наявні види ЗІЗ частково захищають від пилу, аерозолів, рідких радіоактивних забруднень і β -випромінювання низьких енергій. Основні виробничі комплекти ЗІЗ обов'язкові для всього персоналу, котрий перебуває в контрольованих зонах, традиційно виготовляють з бавовняних матеріалів, до їхнього складу входять: костюм (або комбінезон); шапочка; натільна білизна; шкарпетки; черевики; рукавички; респіратор типу «Лепесток» і носовики разового використання. До додаткових комплектів ЗІЗ належать одяг з полімерних матеріалів (халати, куртки, костюми, фартухи), який використовують з гумовим взуттям, засобами індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) та ЗІЗ очей.

Аналіз статистичної інформації, отриманої автором упродовж останніх десяти років, показав, що на АЕС України використовують сім основних видів ЗІЗ (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Сучасний стан забезпечення персоналу АЕС ЗІЗ

Види ЗІЗ	Кількість ЗІЗ за роками, шт.		
	2005	2006	2007
Захисний одяг	33 964	30 759	29 717
Респіратори	14 838	18 967	17 096
Протигази	16 119	14 194	15 250
ЗІЗ ніг	28 364	28 171	27 317
ЗІЗ голови	28 912	24 777	25 794
ЗІЗ органів слуху	10 194	12 489	13 017
ЗІЗ рук	35 260	31 174	33 864

Основним видом ЗІЗ є ЗО, кожен вид якого класифікують за низкою ознак: за захисними властивостями; за призначенням; за конструктивним виконанням; за модельним рядом та ін. [82] (рис. 2.1).

Усі види ЗІЗ негерметичні, невідновлювальні, мають циклічне використання з можливістю очищення до 5...10 циклів дезактивації.

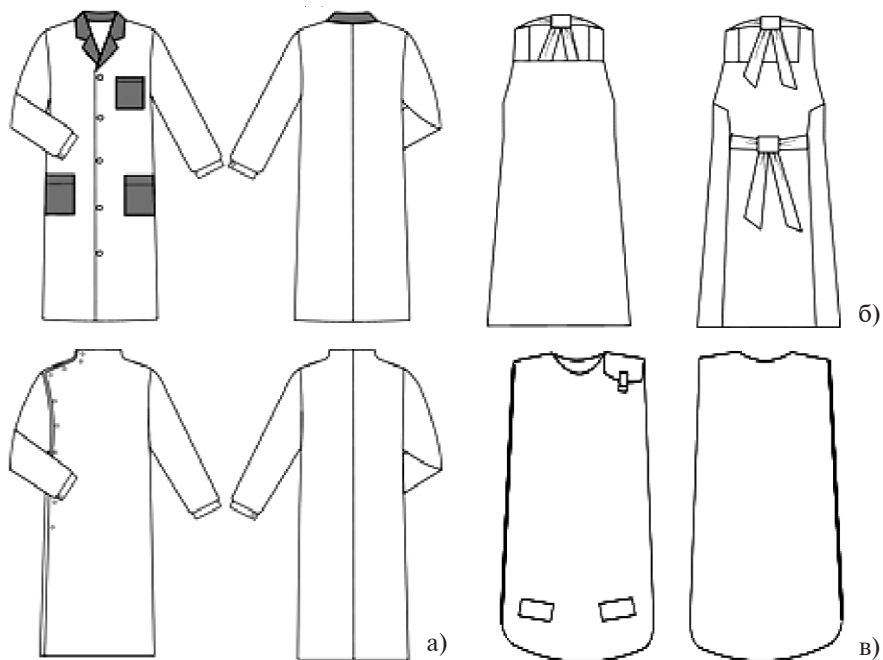


Рис. 2.1. Проектно-конструктивні рішення існуючих різновидів захисного одягу українського виробництва:

а — халати з бавовни; б — фартух з прогумованого матеріалу; в — накидка з прогумованого матеріалу зі свинцевим наповнювачем

Серед вад наявних комплектів можна виокремити: ЗО, виготовлений з бавовняних матеріалів, пропускає пил з радіоактивними речовинами і природними радіонуклідами, аерозолі, водні розчини радіоактивних і хімічних речовин. Респіратори типу «Лепесток» не захищають органи дихання від природних радіонуклідів, передусім радіоактивних ізотопів йоду (^{128}I до ^{139}I) [83]. Ізолювальний одяг недостатньо захищає від β -випромінювання і практично не захищає від γ -випромінювання [84]. Для захисту від γ -випромінювання, зокрема на об'єкті «Укриття», використовують екрани зі свинцем, на АЕС — фартухи, виготовлені з гуми зі свинцевим наповненням. Такі матеріали не рекомендовано до використання у системах захисту, що зумовлено їхнім шкідливим впливом на людину і довкілля.

Засоби багаторазового використання є додатковими джерелами забруднення чистих зон станції під час неправильного роздягання і зберігання, сприяють утворенню рідких радіоактивних відходів під час очищення та твердих радіоактивних відходів під час утилізації.

Наявний ЗО не тільки недостатньо захищають, а й створюють додаткові ризики травматизму та незручності під час руху [85]. Робота на АЕС відбувається під впливом зовнішніх джерел іонізуючого випромінювання та потужних електростатичних полів, тому матеріали електризуються, створюючи небезпеку самовільних електричних розрядів. ЗО, призначений для експлуатації впродовж робочої зміни, має підвищену масу, низький рівень повітропроникності, паропоглинання, що суттєво ускладнює процес теплообміну між зовнішнім середовищем і працівником. Утворюються додаткові незручності, що зумовлені: зниженням площі поля зору порівняно зі звичайною, погіршенням комунікативного зв'язку, ускладненням рухів, порушенням координації рухів рук [86]. Такі умови підвищують уразливість працівника до навколишніх шкідливих чинників і можуть збільшити опромінення через затримку під час робіт.

2.2. Сучасний підхід у формуванні системи індивідуального захисту

Відповідно до рекомендацій ІАЕА і державних нормативних документів для захисту персоналу АЕС необхідно створити ефективні захисні комплекти. Тут під комплектом маємо на увазі використання водночас кількох видів ЗІЗ, які передбачають захист усього працівника — голови, очей, органів дихання, рук, ніг, шкіри — відповідними засобами. Головне призначення комплекту — мінімізувати або повністю виключати вплив інтегральної дози всіх шкідливих чинників на працівника з урахуванням того, що основні способи потрапляння радіонуклідів в організм — інгаляційний, пероральний і резорбційний. Комплект ЗІЗ розглядаємо як єдине ціле, оскільки забруднення або опромінення будь-якої ділянки тіла призводить до ураження працівника. У Європейській практиці застосовують такі види ЗІЗ (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Класифікація новітніх ЗІЗ

У разі імовірного виникнення забруднень радіоактивними речовинами або природними радіонуклідами визначають та оцінюють: причини виникнення і концентрацію будь-якого забруднення; тип і характеристики радіаційного джерела; наявність певних радіонуклідів; вид потенційного забруднення; величину можливої дози опромінення. Перелік ЗІЗ та їхню комплектність визначають за даними попередньої оцінки небезпеки на робочому місці або у зоні робіт на підставі системного аналізу таких чинників [87]:

1. Виду забруднень. Під час аналізу умов праці отримують інформацію з якісного та кількісного складу ШНВЧ.

2. Захисних характеристик даного виду ЗІЗ, які надає виробник. Аналізують перелік показників та їх значення, які визначено відповідно до вимог національних стандартів і технічних регламентів, і вказано у технічних умовах (ТУ).

3. Відповідності рівню забруднень. Фахівець оцінює здатність забезпечувати адекватний захист за рівнем забруднення вибраного виду і типу ЗІЗ згідно з показниками, наданими у ТУ.

4. Індивідуальних особливостей працівника: розмір, повнота, габітус.

5. Оцінки імовірності виникнення додаткових ризиків, які можуть загрожувати працівнику під час роботи у комплекті ЗІЗ.

Створення ЗІЗ, який має потрібні захисні властивості, а також відповідає всім вимогам ергономічності, є завданням достатньо складним. через суперечливість способів їх реалізації. Так, для ЗО зазвичай використовують матеріали повітро- і паронепроникні. Такі матеріали погіршують тепловий стан працівника через ускладнення волого- газо- і теплообміну з навколишнім середовищем, знижуючи його працездатність. Окрім того деякі матеріали мають велику поверхневу густину, і костюм, виготовлений з такого матеріалу, спричиняє суттєві статичні навантаження на тіло людини. Це призводить до швидкої втомлюваності працівника і вимагає міцного здоров'я і витривалості. У такому разі незадовільні показники гігієнічних та ергономічних характеристик частково компенсують скороченням тривалості експлуатації ЗО, що призводить до зниження продуктивності і збільшення загальної тривалості робіт.

Ізольовальний ЗО у комплекті з рукавичками, каскою, респіратором, захисним взуттям, що має гумову підошву, є гарним діелектриком, і це сприяє нагромадженню на тілі людини електричних зарядів. Під час робіт у таких видах одягу і взуття, на їхніх поверхнях утворюється електростатичне поле з потенціалами від 8 до 25 кВ, а на тілі людини — 2...8 кВ [88]. Наявність у захисному або внутрішньому одязі працівника полімерних, бавовняних або вовняних волокон сприяє утворенню електричних потенціалів на рівні 1...5 кВ. Потріскування та іскріння одягу характеризує статичний заряд більш як 5 кВ. Технологічний одяг, виготовлений з бавовняної тканини, змішаної з поліестером, легко заряджається до 20 кВ [89]. Статична електризація на поверхнях працівника з подальшим розрядом на землю або заземлене устаткування, а також електричний розряд з незаземленого устаткування через тіло людини, викликає болісні та нервові відчуття, су-

проводжучись мимовільними різкими рухами, в результаті яких можуть бути падіння і травми (забиті місця). Більшість людей відчують дискомфорт за напруги 1,5...2 кВ, окремі органи і тканини в тілі людини чутливі до потенціалів у діапазоні 100...150 В [90]. На АЕС повсюдно встановлено електронні засоби керування та вимірювання, які особливо чутливі до впливу вад, створених зовнішніми електростатичними полями. Незважаючи на те, що електростатичний заряд не містить великої кількості енергії, висока різниця потенціалів сприяє утворенню струмів, достатніх і для миттєвого виходу з ладу чутливих електронних компонентів, і для внутрішнього молекулярного пошкодження їхніх кристалічних ґраток. Через розряди статичної електрики із захисного комплексу працівника може настати пошкодження або порушення функціонування електронних приладів на робочих місцях, пультах управління, в диспетчерських, про що свідчать численні дослідження [91]. Потенціал, пов'язаний з електростатичним зарядом, може стерти закодовану інформацію в блоці пам'яті комп'ютера і створити перешкоди в електронному зв'язку. Для більшої частини виробів мікроелектроніки статичний розряд у 5...10 кВ є руйнівним [92]. Дослідження, здійснені на різних об'єктах, виявили, що більш як 50 % можливих перенапружень, які призвели до пошкодження електронних пристроїв для діагностики, керування, зберігання та передачі інформації або неправильного їх спрацювання, пов'язано з електростатичними полями, які утворилися на захисних засобах — одязі, рукавичках, респіраторах [93].

ЗО є головним видом ЗІЗ, який захищає працівників під час виконання щоденних, регламентних робіт, а також у разі аварійних і післяаварійних робіт.

Відповідно до [11] ЗО — це одяг, який закриває або замінює власний одяг, призначений для захисту від однієї або декількох видів небезпеки.

ЗО для працівників АЕС потрібно розробляти і виготовляти за такими вимогами:

- матеріали і складники ЗО не можуть несприятливо впливати на користувача, потрібно забезпечити максимально можливий ступінь комфорту, сумісний з достатнім рівнем захисту та надійності;
- рівень надійності ЗО встановлюють залежно від тривалості використання;
- деталі ЗО потрібно проектувати і виготовляти без жорсткостей, гострих країв і виступаючих частин, для попередження подраз-

нень шкіри, пошкоджень, та унеможливлення захоплення устаткуванням, яке рухається або обертається;

— конструкція повинна забезпечити правильне положення одягу у носінні, його формостійкість, враховуючи робочі рухи і положення тіла.

— рекомендована маса одяг не перевищує три кілограми;

— конструкція ЗО повинна передбачати можливість використання у комплекті з іншими видами ЗІЗ.

— конструкція ЗО повинна забезпечити можливість швидкого одягання та легкого скидання з мінімізацією ризиків забруднення користувача та довкілля НШВЧ;

— конструкції окремих елементів, які призначено для герметизації одягу, повинні захищати шкіру або натільну білизну від забруднень у ході використання та знімання.

Такий підхід дає змогу врахувати низку домінантних критеріїв відповідних до умов праці на АЕС, а можливі негативні чинники усунути за рахунок вибору й оптимізації параметрів конструкції та відповідної технології виготовлення (рис. 2.3).

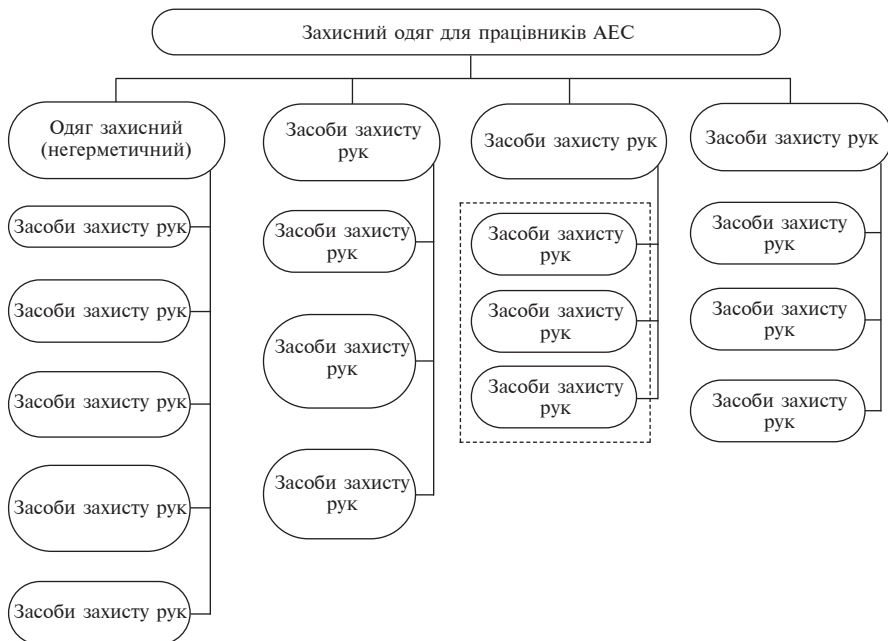


Рис. 2.3. Комплексний підхід під час проектування захисного одягу

Вироби до захисту ніг повинні забезпечувати захист від промислового бруду, сухих і рідких РАВ. Відповідно до [94] до ЗІЗ ніг належать: чоботи, бахили, гамаші, наколінники.

Вироби для захисту рук повинні мати відповідні захисні властивості, які відповідають вимогам діючих стандартів [95, 96] і захищати від основних факторів ризику та умов ушкодження або травмування. В умовах АЕС ЗІЗ рук використовують з урахуванням впливу певних НШВЧ, а саме:

- від механічних ушкоджень. Використовують під час виконання механічних робіт, захищають від порізів, проколу, удару, стирання та вібрацій;

- від хімічних речовин. Забезпечують повний захист від широкої гами хімічно активних речовин у поєднанні із захистом від механічних ушкоджень;

- з термічним захистом. Використовують в умовах високих і низьких температур;

- для біологічного захисту. Використовуються під час роботи з біологічно активними речовинами, захищають від алергічних реакцій, бруду та бактерій;

- від іонізуючих випромінювань. Використовують у умовах впливу α -, β -, γ -випромінювання, захищають від наслідків впливу іонізуючого випромінювання;

- від електромагнітного впливу. Використовують під час робіт, які здійснюють під напругою на електроустановках (проводи, двигуни, комутаційні прилади, конденсатори, випрямлячі та інше електрообладнання), захищають від струму та впливу електромагнітного поля промислової частоти.

Різновиди для захисних виробів рук такі: рукавиці, рукавички, надолоники, напальчники, напульсники, нарукавники, налокітники. Провідні фірми Ozon (ФРГ), Ansell (Австрія) випускають більш як 100 типів тільки рукавичок.

На АЕС використовують ЗІЗОД, до яких належать фільтрувальні півмаски, маски та ізолювальні дихальні апарати [97]. Протиаерозольна фільтрувальна півмаска закриває ніс, рот і підборіддя і може містити вдихальний або видихальний клапан. Протиаерозольні фільтрувальні півмаски класифікують відповідно до ефективності фільтрації і максимального загального коефіцієнта підсмоктування. Визначають три класи півмасок: PPP1, PPP2, PPP3.

На АЕС потрібно використовувати півмаски класу РРРЗ, які дають змогу працювати за концентрації до 30 граничнодопустимих концентрацій (ГДК). Такі респіратори захищають від пилу високої концентрації з твердими частками, які містять берил, алюміній, кобальт, радіонукліди, передусім радіоактивних ізотопів йоду (^{128}I до ^{139}I) [98].

ЗІЗОД з негативним тиском складається з півмаски, каптура або маски, які закривають обличчя користувача, та змінюваного фільтра, який є невід'ємною частиною всього виробу. З масками можуть використовуватися протиаерозольні, газові або комбіновані фільтри.

Протигаз призначено для захисту органів дихання та поверхні обличчя від впливу високих концентрацій у повітрі робочої зони сильнодіючих токсичних газів, аерозолів з радіонуклідами та біологічних аерозолів за рахунок очищення (фільтрації) забрудненого повітря у фільтрувально-поглинальній системі протигазу. Протигаз є пристроєм багаторазового застосування і належить до другого класу [99]. Протигазу можуть використовуватися в атмосфері, яка містить не менш як 17 % кисню.

ЗІЗІД використовують там, де наявні шкідливі й небезпечні речовини, створюють небезпеку для здоров'я і життя працівників. Оцінюючи ризик, необхідно взяти до уваги: характер небезпеки, основні джерела небезпеки, ступінь впливу шкідливих факторів, стан виробничого середовища, характер роботи й особливості працівників, які виконують роботу, ефективність вжитих або передбачуваних захисних заходів і можливі наслідки в разі невдачі цих заходів. В ієрархії ЗІЗ ЗІЗОД перебувають на нижньому рівні, тобто потребу їх застосування потрібно обґрунтувати повними і достовірними результатами оцінки ризику в кожному конкретному випадку.

Відповідно до рекомендацій ІАЕА і досвіду використання пропонується для різних умов праці п'яти видів комплектів: разового використання, ізолювальні декількох видів, фільтрувальні і радіаційнозахисні (рис. 2.4).

Вирішення сучасних завдань зниження рівня травматизму і профзахворювань, цілеспрямована діяльність з поліпшення умов праці, підвищення ефективності і безпеки праці неможливо без розробки і впровадження якісно нових ЗІЗ.

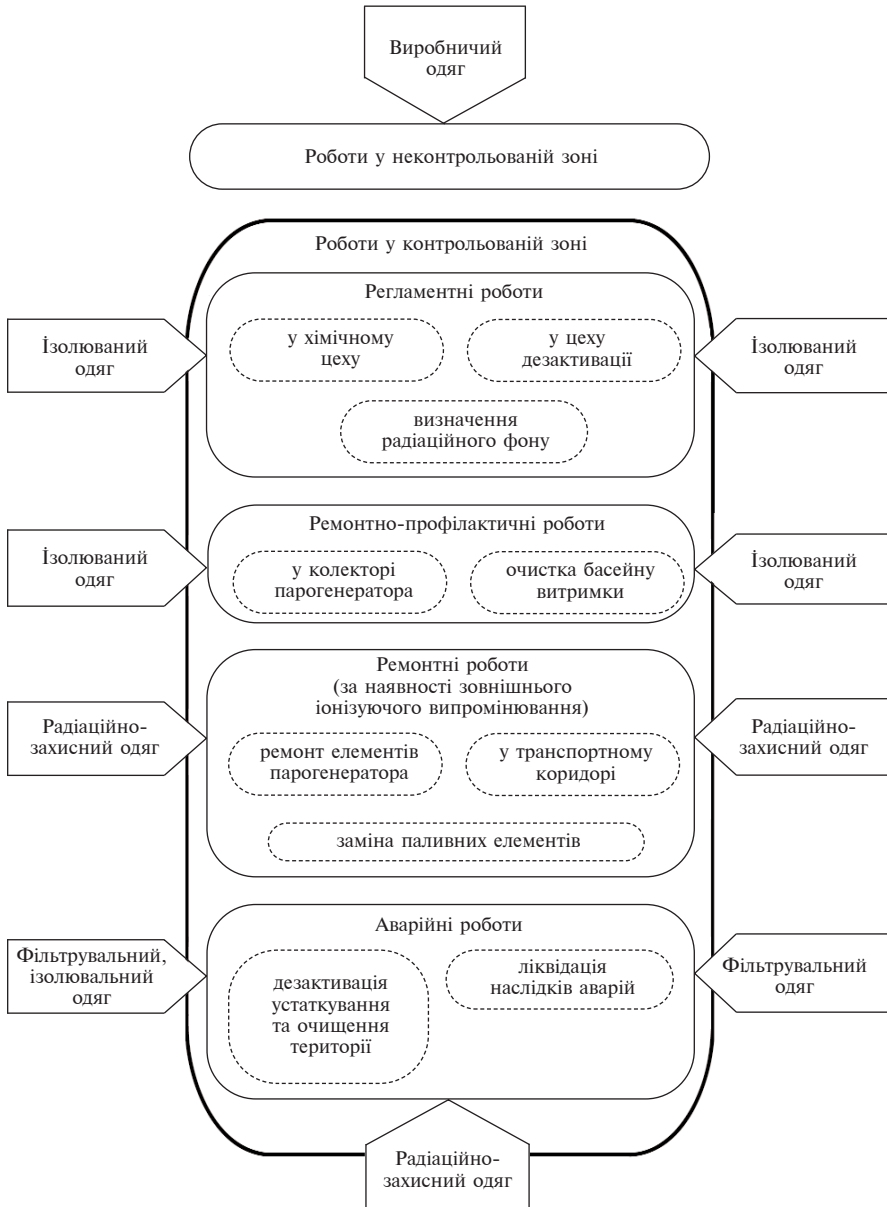


Рис. 2.4. Види робіт на території АЕС з рекомендованим переліком різновидів комплектів ЗІЗ

2.3. Концепція конструктивно-технологічної розробки комплектів засобів індивідуального захисту

Проектування і виготовлення комплектів ЗІЗ [100] здійснено на підставі сформульованої концепції, заснованої на положеннях ергатичного оптимального керування, основними положеннями якої є:

- захисний комплект — це багатoeлементна структура, до складу якої входять багатошаровий пакет ЗО, ЗІЗ для захисту рук, ніг, голови, органів дихання. Спільне використання таких виробів у комплектах дає змогу забезпечити необхідний і достатній рівень захисту;

- для виробництва захисних виробів розроблюють або вибирають нові матеріали, які мають відповідні захисні властивості та ФМХ, що дає змогу забезпечити необхідний рівень захисту і надійності;

- під час розробки комплектів ЗІЗ розглядають змінювані параметри середовища АЕС (мікроклімат, якісний і кількісний склад НШВЧ), важкість і напруженість діяльності працівників, властивості матеріалів та особливості формування пакета матеріалів одягу за визначеного впливу комплексу негативних чинників;

- розробку здійснюють з урахуванням режимів використання (тривалість, циклічність, періодичність) і впроваджують заходи з мінімізації додаткових ризиків, пов'язаних з електризацією і перегріванням працівників у захисних комплектах;

- проектна реалізація передбачає використання математичних моделей різного виду через побудову структурних поелементних схем, що забезпечує функціональну цілісність і окремих ЗІЗ, і комплекту загалом;

- багатокритеріальну оптимізацію параметрів конструкцій здійснюють на підставі використання формальних і неформальних методів оптимізації за критеріями захисту, надійності та економічності, з урахуванням вимог нормативних документів, що дає змогу подолати проблеми, які раніше не було вирішено.

У ході проектної розробки захисних комплектів вирішують такі основні завдання:

- вибір принципів побудови базової моделі виробу;
- мінімізацію кількості елементів виробу;
- визначення додаткових конструктивних елементів за захисними властивостями — фурнітура, еластичні вставки, обтюрація та ін.;
- визначення додаткових конструктивних елементів за показниками надійності — резервні елементи, багатошарові пакети матеріалу;

— визначення додаткових конструктивних елементів для зменшення додаткових ризиків — теплового, електричного, механічного навантаження;

— можливість спільного функціонування виробу у комплекті з іншими засобами захисту.

— вибір технології з'єднання деталей виробу.

Попередня реалізація визначених завдань отримала свої рішення під час проектної розробки дослідних зразків (рис. 2.5).

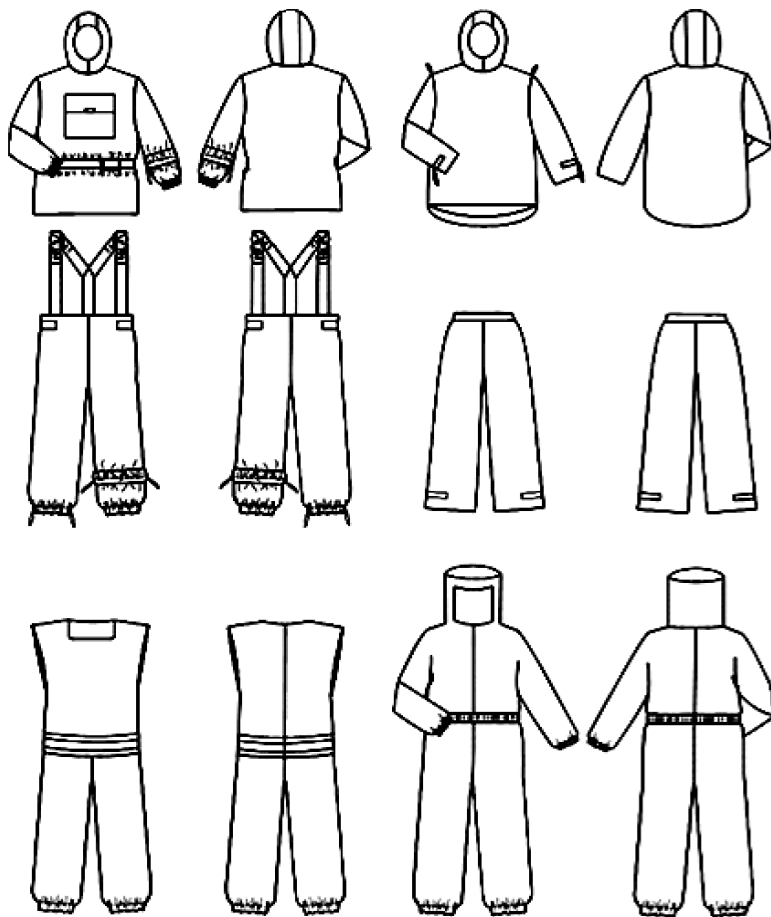


Рис. 2.5. Проектні різновиди комплектів ЗІЗ:

а — костюм ізолювальний; б — костюм фільтрувальний; в — комбінезон ізолювальний; г — радіаційнозахисний комплект

Обмеження негативного впливу на працівників зовнішніх іонізуючих випромінювань, спричинених недосконалістю наявних техніко-організаційних заходів, можна досягти завдяки використанню комплектів ЗІЗ [100]. Такий підхід реалізовано через розробку нових ЗІЗ, передусім таких, які обмежують вплив на працівника комплексу НШВЧ, не створюючи додаткових ризиків в експлуатації.

2.4. Зонально-модульна модель побудови конструкцій засобів індивідуального захисту

Запропоновано для реалізації всіх завдань і вимог, які розглядаємо, усі види захисних виробів представити як комбінацію окремих модулів. Кожен модуль має відповідне призначення за захисними функціями і характеризується певними технічними та вартісними показниками [101].

Виходячи з основних теоретичних положень роботи, будь-який конструктивний устрій можна представити у вигляді математичних моделей, які відповідають схемам функціональної цілісності захисного виробу і відтворюють процеси його функціонування та обслуговування. Такі схеми дають змогу реалізувати оптимізаційні методи розрахунку параметрів конструкції [102].

У роботі ЗІЗ представлено за трьома рівнями складності: елемент, модуль, система.

1. Проста структура — елемент. Елемент — це такий об'єкт, окрема частина якого не розглядається в межах аналізу, що здійснюється. Тут за елемент прийнято конструктивну частину виробу, параметри якого не змінюються у ході розрахунків і не залежать від характеристик його складників. Наприклад, елементами захисного одягу є матеріал, шви, фурнітура, для ЗІЗОД — лицьова маска, фільтр-поглинач, з'єднувальний шланг, елементи обтюрації та кріплення, для захисних комплектів — окремі вироби, що входять до його складу.

2. Складна структура — модуль. Модуль — це сукупність кількох елементів, які передбачено до впровадження з урахуванням топографії впливу НШВЧ на зони тіла людини. Захисні показники модулю залежать від показників елементів, які його утворюють. Як модуль прийнято деталі ЗО — каптур, пілочка, рукав, штани тощо.

3. Загальна структура — система. Система — це відповідна сукупність елементів і модулів, взаємопов'язаних функціонально або

конструктивно, що взаємодіють у процесі рішення певних завдань. Система — це захисний комплект та окремі вироби, що входять до його складу.

Запропоновано для встановлення функціональних зв'язків між групами, які утворюють у своїй сукупності структуру виробу, будувати зонально-модульну модель. Загальну математичну модель процесу функціонування виробу можна подати у вигляді системи, яка складається з окремих елементів і модулів. Кожен елемент або модуль має відповідне призначення за захисними функціями і характеризується певними технічними та вартісними показниками [103]. Запропоновано поділ комплекту на дев'ять зон, до яких висувають різні вимоги (рис. 2.6).

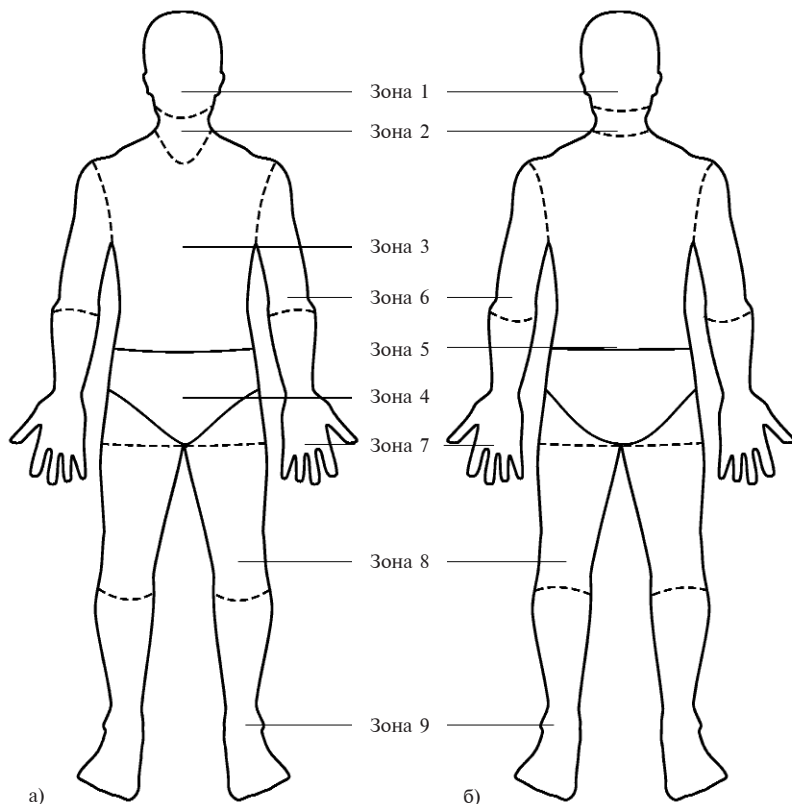


Рис. 2.6. Зовнішній вигляд тіла людини із позначенням зон:
а — вид спереду; б — вид ззаду

У першу зону (31) виокремлено голову, захист якої можна поєднати із засобом захисту обличчя, очей та органів дихання. Передню частину тулуба людини поділено на три зони: шия і щитоподібна залоза (32), грудна клітка із життєво важливими органами (33) і частина, яка охоплює статеві органи (34). Задня частина тулуба має одну зону (35). На дві зони (36, 37) поділено руки: лікоть належить до шостої зони; сьома зона охоплює нижню частину руки, долонь і пальці. На дві зони поділено ноги (38, 39): коліно віднесено до восьмої зони; дев'ята — до ступні або взуття. Поділ кінцівок на чотири зони зумовлено необхідністю підвищеного захисту суглобів (ліктьового, колінного, плечового), а також для усунення можливості захвату радіоактивних речовин нижньою частиною рукава або штанив. Характеристики зон наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Характеристика зон тіла людини

Назва зони (кодоване позначення зони) відповідно рис. 3.10	Назва частини/ділянки тіла людини відповідної зони	Назва органів тіла людини відповідної зони
Зона 1 (31)	Голова	Обличчя, органи дихання і зору
Зона 2 (32)	Шия, частина тулуба спереду	Щитоподібна залоза
Зона 3 (33)	Груди, живіт	Плечовий суглоб, стравохід, шлунок, печінка, легені
Зона 4 (34)	Нижня частина живота, пахова складка	Статеві органи, сечовий міхур, товстий кишечник
Зона 5 (35)	Плечовий пояс, спина, сідниці	Легені, червоний кістковий мозок
Зона 6 (36)	Плече, рука, лікоть	Плечовий суглоб, ліктьовий суглоб
Зона 7 (37)	Рука, кисть	—
Зона 8 (38)	Стегно ноги, коліно	Колінний суглоб
Зона 9 (39)	Гомілка, стопа	—

Запропонована зонально-модульна модель поділу комплексу дає змогу узгодити формальні математичні моделі з особливостями проектування ЗО, ЗІЗ рук, ніг, голови, органів дихання і забезпечити загальні вимоги до формалізації вихідних даних у оптимізаційних розрахунках.

У ході проектно-конструкторської розробки і подальших оптимізаційних розрахунках потрібно знати площі окремих зон, які визначають норми витрат матеріалів, масу, коефіцієнт захисту, показники надійності тощо.

Зріст та обхват грудей людини є основними параметрами у визначенні решти характеристик розмірних ознак. Величини розмірних ознак, які визначають площу зон, віднесемо до імовірно-визначеної вихідної інформації, для якої передбачається знання значень і законів розподілення випадкових величин.

Для визначення математичного очікування відповідної розмірної ознаки Z_i ($i = 1, 2, \dots$) використано інформацію, наведену у [103, 104]. Математичне очікування кожної з ознак позначаємо як $M(Z_i) = A$, де A_i — оцінка математичного очікування шуканої розмірної ознаки.

Величина A перебуватиме в межах довірчого інтервалі

$$Z_i - \varepsilon_\beta \leq A \leq Z_i + \varepsilon_\beta, \quad (2.1)$$

де ε_β — верхня межа похибки результатів розрахунку, яка визначається за відомого значення середньоквадратичного відхилення σ_{Z_i} і заданої точності K_p , яку приймаємо з імовірністю 0,9

$$\varepsilon_\beta = \sqrt{\frac{D_i}{n}} \cdot \alpha, \quad (2.2)$$

де D_i — дисперсія i -ої розмірної ознаки;

n — кількість значень;

α — коефіцієнт, який для заданої точності дорівнює 1,643.

Математичне очікування площі зон $M(S_{ij})$ та їхні довірчі інтервали $\varepsilon(S_{ij})$ визначаємо за формулами:

$$M(S_i) = M(Z_i) \cdot M(Z_j);$$

$$\varepsilon(S_{ij}) = M(Z_i) \cdot \varepsilon(Z_j) + M(Z_j) \cdot \varepsilon(Z_i) + \varepsilon(Z_j) \cdot \varepsilon(Z_i), \quad (2.3)$$

де $\varepsilon(Z_i)$, $\varepsilon(Z_j)$ — довірчий інтервал відповідно i -ї та j -ї розмірної ознаки.

З урахуванням особливостей проектування ЗО і відповідних модулів запропоновано формули для визначення площ окремих зон. У зони 1 можна використати каптур або шалом і відповідно площа першої зони визначено за формулою:

$$S_1 = O_{\text{гол}} \cdot \frac{3 \cdot B_{\text{гол}}}{4}, \quad (2.4)$$

де $O_{\text{гол}}$ — обхват голови, см; $B_{\text{гол}}$ — висота голови, см.

У зоні 2 можна розміщувати комір або накидку, площа яких визначаємо як

$$S_2 = O_{\text{ш}} \cdot \frac{B_{\text{гол}}}{4}, \quad (2.5)$$

де обхват шиї, см.

У зоні 3 проектують передні частини виробу, які можуть об'єднувати декілька одно або багат шарових модулів

$$S_3 = D_{\text{тп}} \cdot \left(\text{Ш}_\Gamma + \frac{O_{\text{г}} - \text{Ш}_\text{с} - \text{Ш}_\Gamma}{2} \right), \quad (2.6)$$

де $D_{\text{тп}}$ — відстань від точки основи шиї до лінії талії спереду, см;

Ш_Γ — ширина грудей, см;

$\text{Ш}_\text{с}$ — ширина спини, см;

$O_{\text{г}}$ — обхват грудей перший, см.

У зоні 4 розміщують об'єднані з пілочкою захисні модулі або окремі вироби з підвищеними показниками захисту і надійності

$$S_4 = (D_{\text{сп}} - D_{\text{н}}) \cdot \frac{O_{\text{с}}}{2}, \quad (2.7)$$

де $D_{\text{сп}}$ — відстань від лінії талії до підлоги спереду, см;

$D_{\text{н}}$ — довжина ноги внутрішньої поверхні, см;

$O_{\text{с}}$ — обхват стегон з врахуванням виступу живота, см.

У зоні 5 проектують спинку виробу

$$S_5 = D_{\text{тп}} \cdot \text{Ш}_\Gamma + \left(\frac{O_{\text{г}} - \text{Ш}_\text{с} - \text{Ш}_\Gamma}{2} \right) + \left((D_{\text{сп}} - D_{\text{н}}) \cdot \frac{O_{\text{с}}}{2} \right), \quad (2.8)$$

У зоні 6 і зоні 7 проектують рукави комбінезону або куртки та додаткові вироби (нарукавники, напульсники тощо)

$$S_6 = 2D_{\text{р.лік.}} \cdot O_{\text{п}};$$

$$S_7 = 2(D_{\text{р.зап.}} - D_{\text{р.лік.}}) \cdot O_{\text{п}}, \quad (2.9)$$

де $D_{\text{р.лік.}}$ — довжина руки до ліктя, см;

$D_{\text{р.зап.}}$ — довжина руки до лінії обхвату зап'ястя, см.

У зоні 8 і 9 проєктують штани і додаткові вироби (наколінники, бахіли тощо)

$$\begin{aligned} S_8 &= 2(B_{\text{п.с}} - B_{\text{к}}) \cdot O_{\text{ст}}; \\ S_9 &= 2B_{\text{к}} \cdot O_{\text{к.з}}, \end{aligned} \quad (2.10)$$

де $B_{\text{к}}$ — висота колінної точки, см;

$B_{\text{п.с}}$ — висота підсідничної складки, см;

$O_{\text{ст}}$ — обхват стегон, см;

$O_{\text{к.з}}$ — обхват коліна в зігнутому положенні ноги, см.

Зазвичай 3О одягають поверх білизни і бавовняного одягу, що передбачає збільшення припусків на вільне облягання. Через те площі окремих зон визначено за розмірними ознаками типових фігур чоловіків другої і третьої повнотних груп.

Через порівняння розмірів фізичних нормативів людських фігур знайдено, що розміри окремих частин тіла у більшості людей пропорційні їхньому зросту. Наявні антропометричні вимірювання [104, 105] розподілення випадкової величини зросту людини H представлено нормальним законом відповідно до гістограми (рис. 2.7).

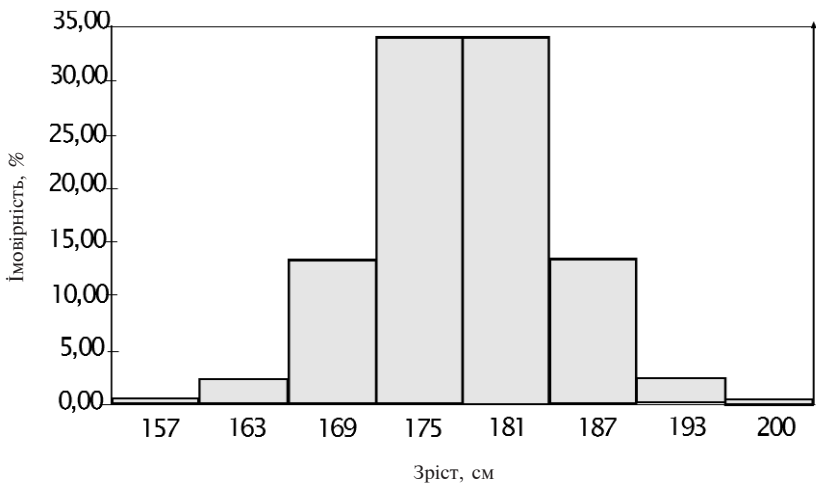


Рис. 2.7. Гістограма розподілу росту працівників в Україні

У результаті розрахунку визначено чисельні характеристики (математичне очікування, дисперсія, довірчі інтервали) дев'ятнадцяти розмірних ознак, які відповідно до наведених формул, дали змогу розрахувати площі зон зонально-модульної моделі (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Чисельні характеристики площ зон зонально-модульної моделі

Назва зони (кодоване позначення)	Математичне очікування площі зони $M(S_{ij})$, см ²	Довірчий інтервал $\varepsilon(S_{ij})$, см ²
Зона 1 (31)	1052,4	45,1
Зона 2 (32)	259,3	12,3
Зона 3 (33)	2397,1	90,9
Зона 4 (34)	1454,9	61,3
Зона 5 (35)	4201,1	155,2
Зона 6 (36)	2290,8	164,6
Зона 7 (37)	1744,3	107,6
Зона 8 (38)	3605,8	249,5
Зона 9 (39)	4029,3	226,2

Чисельні характеристики загальної поверхневої площі ізолювального ЗО такі: математичне очікування — $M[S_{\Pi}] = 2,1035 \text{ м}^2$; з урахуванням антропологічних особливостей працівників змінюється в межах від 1,9922 до 2,2148 м²; коефіцієнт варіації $K_B[S_{\Pi}] = 0,052$. Перевірка за критерієм Пірсона показала, що гіпотеза про підпорядкування випадкових величин S_{Π} рівномірному закону розподілу не суперечить результатам досліджень.

Запропонована зонально-модульна модель поділу комплекту дає змогу узгодити формальні математичні моделі з особливостями проектування ЗО, ЗІЗ рук, ніг, голови, органів дихання і забезпечити загальні вимоги до формалізації вихідних даних у оптимізаційних розрахунках.

Висновки до розділу 2

1. Проаналізовано основні положення щодо формування системи індивідуального захисту працівників АЕС. Встановлено, що наявні різновиди ЗІЗ частково захищають від пилу, аерозолів, рід-

ких радіоактивних забруднень і β -випромінювання низьких енергій. Практично відсутні засоби захисту, які обмежують вплив іонізуючих випромінювань, хімічних речовин, локальних вібрацій. Відсутні фільтрувальні комплекти, які дають змогу здійснювати довготривалі роботи в умовах радіоактивного і хімічного забруднення. Усі наявні види ЗІЗ є негерметичними, багаторазового використання, які підлягають дезактивації, що призводить до збільшення рідких РАВ. Такі різновиди ЗІЗ не дають змоги ефективно захистити працівників від комплексного одночасного впливу великої кількості НШВЧ.

2. Запропоновано концепцію конструкторсько-технологічної розробки комплектів ЗІЗ, яку сформульовано на засадах ергатичного оптимального керування, основними положеннями якої є:

- захисний комплект — це багатoeлементна структура, до складу якої входять багат шаровий пакет захисного одягу, ЗІЗ рук, ніг, голови, органів дихання. Спільне використання таких виробів у комплектах дає змогу забезпечити необхідний і достатній рівень захисту;

- виробництву певного ЗІЗ передуює вибір або розробка нових матеріалів, які мають прогнозовані захисні, фізико-механічні, гігієнічні, температурні та електричні характеристики, що дає змогу забезпечити необхідний рівень захисту, надійності та ергономічності виробів;

- під час розробки комплектів ЗІЗ враховують змінювані параметри виробничого середовища АЕС, характер діяльності працівників, властивості матеріалів та особливості формування пакета матеріалів захисного одягу за визначеного впливу комплексу негативних чинників;

- забезпечення оптимальних параметрів ЗІЗ здійснюють з урахуванням вимог нормативних документів та особливостей режимів використання за умов мінімізації додаткових ризиків, пов'язаних з електризацією і перегріванням працівників у захисних комплектах.

3. Обґрунтовано можливість і доцільність подолання різнопланових принципових складнощів, у тому числі концептуального характеру, які виникають під час формалізації та аналізу загальних математичних моделей оптимізації, на підставі використання неформального логіко-імовірного методу та адаптації до функціональної

схеми цілісності комплекту ЗІЗ через побудову математичних структурних моделей.

4. Запропоновано зонально-модульну модель комплекту ЗІЗ і визначено чисельні характеристики площ окремих зон, що дало змогу подолати різнопланові принципові труднощі, які виникають у процесі формування та адаптації загальних математичних моделей. Такий спосіб надання схеми комплекту ЗІЗ дав можливість розробити узагальнений алгоритм розрахунку побудови конструкції з оптимальними параметрами, призначений до комп'ютерної реалізації.

Розділ 3

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ ТА ВИБОРУ МАТЕРІАЛІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Здатність комплекту ЗІЗ відповідати своєму призначенню великою мірою залежить від властивостей матеріалу, з якого його виготовлено. Під час створення нових ЗІЗ потрібно передусім прагнути повністю використовувати можливості матеріалів, а за рахунок конструктивно-технологічних заходів (моделі, конструкції та способи виготовлення) забезпечити оптимальні параметри в експлуатації [87].

У Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» спільно з науково-виробничим підприємством (НВП) «Ікар» під керівництвом авторки впродовж 15 років здійснюються роботи зі створення нових полімерних матеріалів, призначених безпосередньо для виготовлення виробничих ізолювальних, радіаційнозахисних і фільтрувальних комплектів для працівників АЕС. Такі розробки захищено впроваджено у виробництво на підставі технічних умов [106, 107].

Аналіз умов праці і рівнів НШВЧ, який тривалий період здійснювала авторка спільно з персоналом Південноукраїнської, Рівненської, Запорізької, Хмельницької АЕС та об'єкта «Укриття» під час щорічного моніторингу робочих місць, дав змогу сформулювати цільову спрямованість і перелік основних вимог до захисних матеріалів. Найважливіші з них:

- достатньо широкий спектр захисних властивостей. Забезпечуючи захист від РАВ, вони також захищають від кислот, лугів, нафтопродуктів;

- придатні до виготовлення визначених моделей ЗО, ЗІЗОД, взуття, рукавичок і рукавиць та окремих елементів ЗІЗ;

- низький рівень пило- і водонепроникності, що забезпечує захист у разі ймовірного виникнення забруднень природними радіонуклідами, рідкими радіоактивними, хімічними або біологічними речовинами;

- високий рівень ФМХ (передусім міцність до розривання, проколювання, роздирання) для запобігання порушенням цілісності ЗІЗ за механічних ушкоджень і забезпечення їх надійності;

- зберігання властивостей у тривалому носінні й багаторазовому очищенні;

- невисока вартість в умовах широкого використання за обмеженості коштів.

3.1. Матеріали для ізолювального комплекту від радіоактивних забруднень

Під час знаходження у робочих зонах АЕС усі працівники повинні використовувати виробничий ЗО, основне призначення якого — захист від механічних ушкоджень, пилу з радіонуклідами, загальних забруднень. Матеріали, з яких виготовляють ЗО, повинні бути непроникні для пилу й аерозолів. Досвід експлуатації Європейських АЕС показав доцільність впровадження технологічного ЗО разового використання. Попередні дослідження виявили, що такий ЗО можна виготовляти з сучасних полімерних матеріалів [108].

3.1.1. Вибір і дослідження показників матеріалів для комплектів разового використання

У світовій практиці широко використовують для виробництва захисних виробів хімічні волокна нового покоління high tech. Такі волокна адаптовані до людини і природи, стають багатофункціональними і комфортними для людського організму, комплементарно підтримують здоров'я людини.

Матеріали, створені на основі хімічних волокон, забезпечують незначну масу виробів, комфортність у носінні, легку утилізацію, підвищений рівень захисту від негативного впливу хімічних речовин, бактерій і грибків, водних розчинів, пилу та аерозолів. ЗІЗ з полімерних матеріалів можуть захистити персонал від несприятливих зовнішніх факторів, таких як: електромагнітні та електростатичні поля, α -, β -, γ -випромінювання, хімічно та біологічно активних речовин. Особливо цінується збереження цих властивостей у

багаторазовому носінні й пранні. Використання для виготовлення 3О матеріалів з нових сировинних композицій дає змогу знизити стомлюваність людини і підвищити ефективність її праці.

Проаналізовано можливість застосування до виготовлення виробничого 3О сучасних матеріалів з волокон полієфіру, поліпропілену, поліетилену. Для дослідження і виготовлення дослідних зразків 3О відібрано зразки матеріалів, які відрізняються за сировинним складом, густиною, товщиною і мають задекларовані виробником відповідні захисні властивості (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Номенклатура полімерних матеріалів

Назва волокон нетканих матеріалів	Умовне позначення	Технологія виготовлення	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м ²
Полієфір	Н1	Термобондінг	0,84	138
Полієфір і бавовна	Н2	Голкопробивна	1,53	183
Поліетилен марки Tajvek	К	Спанбондінг	0,12	41
Поліетилен марки Tajvek	С	Спанбондінг	0,18	83
Поліетилен марки Tajvek	Ф	Ламінування	0,23	116
Поліпропілен	П1	Спанбондінг	0,28	25
Поліпропілен	П2	Спанбондінг	0,34	42
Поліпропілен	П3	Спанбондінг	0,47	60
Поліпропілен	П4	Спанбондінг	0,50	80
Поліпропілен	П5	Спанбондінг	0,45	60
Поліпропілен	П6	Спанбондінг	0,57	100
Поліпропілен	П7	Ламінування	0,60	30
Поліпропілен	П8	Ламінування	0,66	60

Для матеріалів, які плануємо використати для виготовлення ЗІЗ, здійснено в лабораторних умовах вимірювання всіх ФМХ з подальшим статистичним аналізом. Випробування зроблено у акредитованій випробувальній лабораторії АТ УкрНДІПВ (м. Київ) відповідно до діючих стандартів.

Досліджено вітчизняні неткані полієфірні і мішані (полієфір 60 %, бавовна — 40 %) матеріали, виготовлені методом термобондінгу

(Рівненський завод нетканих матеріалів). Поверхнева густина матеріалів знаходиться в межах 130...183 г/м². Визначено показники ФМХ для нетканих поліефірних матеріалів вітчизняного виробництва, виготовлених методом терморбондингу (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Характеристики матеріалів з поліефіру (кодове позначення Н1)

Найменування показників	Значення показників
Ширина, см	133,5
Поверхнева густина, г/м ²	153
Товщина, мм	1,24
Розривне навантаження, Н: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	168 9,1
Видовження під час розривання, % у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	38 90
Питома міцність під час розривання, (Н · м)/г у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	48,09 29,51
Опір роздиранню, Н: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	19,9 20,28
Повітропроникність, дм ³ /(дм ² · хв)	320

Такі неткані матеріали є повітропроникними і водопоглинаючими, мають невисоку вартість. Встановлено, що такі матеріали не можна безпосередньо застосовувати для виготовлення ЗО, через неможливість забезпечення вільних рухів працівнику. Важливе значення має співвідношення між розривальним навантаженням за довжиною (MD) та шириною (CD). Дослідження механічних навантажень, які виникають під час робіт у ЗО, засвідчили, що співвідношення MD/CD повинно бути не менш як 0,65...0,7. Такі умови не виконуються для розглянутих нетканих матеріалів, для яких це співвідношення перебуває в інтервалі 0,08...0,2. Враховуючи той фактор, що неткані полотна з поліефіру мають досить високу повітропроникність і гігроскопічність, їх використано як основу-підкладку у матеріалах з покриттям.

Матеріали з поліпропілену відрізняються від інших полімерів стабільністю до стирання і поверхневою міцністю. Найкращі ФМХ і гігієнічні характеристики мають матеріали, виготовлені швидкісним методом спандбондинг (термонагрівання). Під час виготовлення поліпропіленові волокна скріплюються під дією тепла і тиску без застосування зв'язних хімічних речовин або наповнювачів. Така технологія забезпечує екологічну чистоту матеріалу, допускає контакт зі шкірою людини та продуктами харчування.

Досліджено десять зразків матеріалів з волокон поліпропілену, виготовлених методом спандбондингу (виробники: підприємства «Хімволокно» (м. Світлогорськ, Білорусь); фірма COROVIN (Австрія) з поверхневою густиною (25, 30, 40, 42, 50, 60, 80, 100) г/м². Таки матеріали можуть мати додаткове покриття для підвищення захисних властивостей і ФМХ. Результати лабораторних тестувань кількісних показників матеріалів з поліпропілену наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Характеристики матеріалу з нетканих волокон поліпропілену підприємства «Хімволокно» (м. Світлогорськ, Білорусь)

Найменування показники	Кодове позначення матеріалу			
	Поверхнева густина, г/м ²			
	П1	П2	П3	П4
	25	42	60	80
Розривальне навантаження, Н: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	30	60	80	80
	20	40	60	60
Видовження під час розривання, %	150	150	150	180
Стійкість до УФВ, %, після 500 годин	40	40	40	40
Повітропроникність, дм ³ /(м ² · с)	250	130	32	28
Поверхневий електричний опір, Ом	1 · 10 ⁹	1 · 10 ⁹	1 · 10 ⁹	1 · 10 ⁹

Матеріали з кодовим позначенням П2, П3 мають невелику поверхневу густину, зручні в обігу, легко чистяться і витримують до 15 циклів прання без зміни основних властивостей. Прання може відбуватися за температури до 95°C, сушіння — за температури до 100°C, стерилізація — на водяній парі за температури 134°C.

Матеріал COROVIN PP-S спеціально розроблено для виготовлення ЗО, має м'яку структуру і легко драпірується. Він має гладку

поверхню, непрозорий, легко фарбується пігментними барвниками і не утворює ворсу. Не електризується і має достатню повітропроникність. COROVIN PP-SPE виготовлено з поліпропіленових волокон, вкритих шаром полімерного покриття. Такий матеріал водонепроникний, стійкий до дії хімічних речовин (кислот, лугів і органічних розчинників), токсичного пилу і має підвищені ФМХ. Безумовна перевага таких матеріалів — низька вартість, що зумовлює економічність ЗО (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

**Характеристики матеріалу
з нетканих волокон поліпропілену фірми COROVIN (Австрія)**

Найменування показників	Кодове позначення матеріалу				
	П2	П3	П6	П7	П8
	Поверхнева густина, г/м ²				
	40	60	100	30	60
Розривне навантаження, Н: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	90	130	220	25	80
	53	80	145	22	70
Подовження під час розривання, %	12	8	5	10	15
Повітропроникність, дм ³ /(м ² · с)	280	250	200	20	17

Поліпропіленове полотно з кодовими позначеннями П2, П3, П8 мають високу стійкість до згинання і стирання і ФМХ (MD = 90...130 Н, CD = 60...80 Н), екологічну чистоту, забезпечує можливість його контакту зі шкірою людини, не викликаючи алергічних реакцій. Такі матеріали забезпечують захист від хімічних речовин середньої та високої концентрації (оцтова, соляна, сірчана, азотна, фосфорна кислоти, гідроокису натрію), органічних розчинників (ацетону, толуолу, аміаку, бензолу, етилацетату), виробничого пилу з частками до 3—3,5 мк і бруду.

Нетканий матеріал під брендом Tajvek зроблено з надтонких поліетиленових волокон хаотичної структури спеціально до виготовлення ЗО (Tajvek K, Tajkem C, Tajkem F, Tajkem TK). Матеріали мають м'яку структуру, гладку зовнішню поверхню, що забезпечує стікання водних розчинів і запобігає накопиченню пилу. Результати лабораторних тестувань кількісних показників матеріалів з волокон поліетилену марки Тайвек®, наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Характеристики матеріалу з нетканих волокон поліетилену

Найменування показників	Кодове позначення матеріалу		
	Поверхнева густина, г/м ²		
	К	С	Ф
Поверхнева густина, г/м ²	41,0	83,0	116,8
Розривальне навантаження, Н: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	14,6 12,6	17,9 14,5	23,8 24,6
Видовження під час розривання, % у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	40,2 42,5	25,4 22,4	12,6 12,4
Опір роздиранню, Н у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	13,2 12,6	15,5 15,3	19,6 25,9
Стійкість до проколювання, Н	2,8	4,9	6,1
Стійкість до багаторазового згину, килоциклів	100	100	100
Поверхневий електричний опір, Ом	$1 \cdot 10^{13}$	$1 \cdot 10^{13}$	$3 \cdot 10^{13}$

Матеріал з кодовим позначенням **К** захищає від частинок дрібно-дисперсного пилу (від 2 мкм), крапель води, олії і нафти, різних кислот і лугів (кислоти і луги з концентрацією до 40 %), а також від аналогічних аерозолів. Забезпечує надійний бар'єр від крові та бактерій. Не втрачає своїх властивостей у діапазоні температур мінус 73°C до плюс 135°C. Має гладку зовнішню поверхню, що запобігає накопичуванню частинок текстильних тканин, ворсу та інших матеріалів.

Матеріал з кодовим позначенням **С** двошарову структуру — матеріал **К** використано як основу, на яку нанесено полімерне покриття. Це робить матеріал непроникним для частинок над-дрібно-го пилу, порошків, радіоактивних і хімічних аерозолів, концентрованих кислот і лугів, а також водяних сольових розчинів.

ЗО, виготовлений з матеріалів з кодовим позначенням **К** і **С** має незначну масу (до 500 г), достатню механічну міцність, не викликає алергічних реакцій на шкірі людини і легко утилізується.

Проаналізувавши показників ФМХ і гігієнічних характеристик розглянутих матеріалів, для виготовлення дослідних зразків прийнято матеріали на основі поліпропілену з кодовими позначеннями П2, П3, П8, а також на основі поліетилену К, С. Дослідні зразки ЗО випробувано у

промислових умовах АЕС. За результатами експертної оцінки користувачів найкращі ергономічні властивості мав ЗО разового використання, виготовлений з матеріалу з кодовим позначенням ПЗ (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Характеристики матеріалу ПЗ з нетканих волокон поліпропілену

Найменування показників	Значення показників
Поверхнева густина, г/м ²	66,7
Розривальне навантаження, Н: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	91,2 85,3
Видовження під час розривання, % у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	177,0 187,0
Опір роздиранню, Н: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	17,5 21,8
Стійкість до багаторазового згину, кілоциклів	100
Стійкість до проколу, Н	4,1
Пилопроникність, г/м ²	84,0
Паропроникність, мг/(см ² · год)	0,19
Питомий поверхневий електричний опір, Ом	2,8 · 10 ¹²

ЗО, виготовлені з таких матеріалів, забезпечують захист працівника від радіоактивних і промислових забруднень твердими частками, аерозолями та від потенційного ризику забруднення шкіри рідкими речовинами.

**3.1.2. Розробка матеріалів
для комплектів багаторазового використання**

На різних ділянках АЕС спостерігається вплив на працівників низки НШВЧ і тому створюють багатоступеневу систему індивідуального захисту. Основне призначення ізолювального комплексу ЗІЗ — захист від впливу α -, β -іонізуючих випромінювань від зовнішніх джерел та від сухих і рідких РАВ.

Найповніше вказаним вимогам задовольняють полімерні матеріали, виготовлені на основі полівінілхлориду (ПВХ), що підтвер-

джується результатами лабораторних досліджень і тривалим періодом експлуатації на діючих АЕС [109].

Створення матеріалів на основі ПВХ пов'язано з розробкою нових композицій з певним співвідношенням між ПВХ-гранулами та інгредієнтами, до яких належать стабілізатори, пластифікатори, наповнювачі, речовини для змазування, модифікатори [110]. Як основний компонент використано суспензійну ПВХ смолу марки С-70. Для полегшення формування виробу, підвищення еластичності, гнучкості, м'якості, пружності використано пластифікатор диетилгексилфталат. Він також поліпшив вогнетривкість, морозостійкість, знизив точку плавлення, що надало пластичність матеріалу за підвищених температур, які підтримують у ході технологічної обробки матеріалів і виробів. Стабілізатор (арстаб) запобігає процесу деструкції від впливом зовнішнього середовища, який може супроводжуватися виділенням газоподібного хлористого водню. Речовина для змазування (стеаринова кислота), запобігає прилипанню матеріалу до устаткування в процесі його перероблення у виріб. Як спеціальні добавки використано: парафін і смолу ЕД 16. Парафін забезпечує неактивність матеріалу до хімічних речовин, води з радіоактивними речовинами, нафтопродуктів, органічних розчинників, зменшує поверхневе тертя і відповідно електризацію. Смолу ЕД 16 додано для підвищення кількісних значень ФМХ. За такою рецептурою виготовляють пластикати на ВАТ «Слов'янський завод «Тореласт» (м. Слов'янськ Донецької області) (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Номенклатура матеріалів ПВХ-пластикатів

Назва матеріалу	Умовне позначення	Технологія виготовлення	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м ²
ПВХ-пластикат	В1	Вальцево-каландровий	0,15	240
ПВХ-пластикат	В2	Вальцево-каландровий	0,3	480
ПВХ-пластикат	В3	Вальцево-каландровий	0,5	800
ПВХ-пластикат	В4	Вальцево-каландровий	0,1	160

ПВХ-пластикати еластичні, прозорі або кольорові (жовті, зелені, сині) різної товщини: 0,1...0,15 мм призначені до виготовлення ЗО; 0,3 мм — для рукавиць і бахилів; 0,5 мм — для сандалів і гамашів.

3.1.3. Показники захисних та експлуатаційних властивостей матеріалів

У ході лабораторних тестувань досліджено показники якості розроблених ПВХ-пластикатів, основні характеристики яких наведено у табл. 3.8

Таблиця 3.8

Показники якості ПВХ-пластикату

Найменування показників	Кодове позначення матеріалу	
	B1	B4
	Значення показників	
Поверхнева густина, г/м ²	180,1	118,6
Товщина, мм,	0,15	0,1
Розривальне навантаження, Н, не менше: у подовжньому напрямку у поперечному напрямку	92,6 76,5	85,5 61,3
Видовження під час розривання, % у подовжньому напрямку у поперечному напрямку	180 160	344,8 426,8
Опір роздиранню, Н: у подовжньому напрямку у поперечному напрямку	12 10	2,6 4,5
Стійкість до багаторазового вигину, цикли	100	100
Стійкість до проколу, Н	4,2	3,7
Жорсткість, сН	2,6	2,0
Поверхневий електричний опір, Ом	$4,6 \cdot 10^{13}$	$2,6 \cdot 10^{12}$
Коефіцієнт дезактивації	20	8

Матеріали мають високий рівень розривального навантаження — у подовжньому напрямку від 76 Н, у поперечному — від 61 Н, жорсткість пластикату змінюється залежно від товщини: для 0,15 мм становить 2,6 сН; для 0,3 мм — 5,0 сН, 0,3 — 6,0. Матеріал є повністю водо і пилонапроникним. Матеріал є діелектриком з поверхневим опором від $1 \cdot 10^{12}$ і коефіцієнтом електричних втрат 0,1, що дає змогу з'єднувати окремі деталі методом зварювання струмом високої частоти (СВЧ). Як впливає з кількісних показників, матеріал В1 можна використовувати для виготовлення ЗО.

ПВХ-пластики можна використовувати до виготовлення ЗО, захисного взуття, рукавиць та шоломів багаторазового використання.

3.2. Розробка матеріалів для радіаційнозахисного комплексу

Під час ремонтних, демонтажних і аварійно-відновлювальних робіт, а також утилізації радіоактивних відходів на АЕС виникає необхідність перебування персоналу в зонах дії іонізуючого випромінювання з енергіями в інтервалі від 50 кеВ до 662 кеВ. Запропоновано матеріали, виготовлені на основі ПВХ, які обмежують вплив зовнішнього іонізуючого випромінювання на працівників АЕС.

Додавання до рецептури ПВХ-пластикатів модифікаторів з багатоеlementної суміші оксидів рідкоземельних елементів або солей вольфраму надає матеріалам нові захисні властивості — поглинання β -, γ -випромінювання [111]. Модифікатори силіконовий вольфрамовий (СВ) та з дрібнодисперсної суміші оксидів рідкоземельних елементів (ОРЕ) розроблено у Державному конструкторському бюро «Південне» [112].

Для дослідження відібрано зразки матеріалів з різними технічними характеристиками, які за своїм функціональним призначенням є заміниками наявних свинцевомістких матеріалів (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Характеристики матеріалів для радіаційнозахисного одягу

Назва сировини	Умове позначення матеріалу	Кількість шарів	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м ²
ПВХ з модифікатором СВ	P31	1	0,58	1 276
ПВХ з модифікатором ОРЕ	P32	1	0,58	2 200
ПВХ з модифікатором ОРЕ і алюмінієм	P33	2	0,61	1 276

Матеріали P31, P32 випускають у вигляді плівки завширшки 100...120 см у зеленій або коричневій гамі, завтовшки 0,55...0,62 мм. Свинцевий еквівалент одного шару становить 0,1 мм у діапазоні енергій γ -випромінювань 40...90 кеВ. В їхньому складі повністю відсутній свинець, а також на відміну від подібних матеріалів на основі гуми, такі матеріали добре піддаються вторинній переробці, що дає змогу практично без відходів утилізувати ЗО після закінчення терміну експлуатації. Розроблено комбінований радіаційно-захисний матеріал P33, який додатково містить шари алюмінієвої фольги 0,05 мм, що підви-

щує захисні властивості від β -випромінювання і не впливає на густину матеріалу. Запропоновані матеріали мають такі переваги:

1. Не містять свинцю.
2. Virізняються повільним проникненням у їхню структуру радіоактивних речовин. Хімічні реакції між матеріалом і агресивним середовищем відбуваються тільки на поверхні, не викликаючи суттєвих змін ФМХ.
3. Радіоактивні речовини перебувають на поверхні і добре дезактивуються.
4. Співвідношення між ФМХ дає змогу виготовляти ЗІЗ багаторазового використання.
5. Матеріали мають невелику вартість.

За такою рецептурою виготовляють матеріали на ВАТ «Слов'янський завод «Тореласт» (Слов'янськ, Донецької області).

Оцінку придатності матеріалів здійснено у ході лабораторних тестувань показників якості матеріалу і під час дослідного носіння розроблених зразків ЗО у промислових умовах (табл. 3.10).

Таблиця 3.10

Показники якості радіаційнозахисних матеріалів

Найменування показників	Кодове позначення матеріалу	
	РЗ1	РЗ2
	Значення показників	
1	2	3
Поверхнева густина, г/м ²	1276	2200
Товщина, мм,	0,54...0,58	0,58...0,6
Розривальне напруження, МПа, у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	13,9 11,4	7,1 4,6
Видовження під час розривання, % у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	336 306	234 167
Стійкість до багаторазового вигину, цикли	3000	1500
Морозостійкість, °С	мінус 40	мінус 30
Коефіцієнт лінійного ослаблення за енергії γ -випромінювання, см ⁻¹ /г до 10 кеВ до 60 кеВ до 200 кеВ до 662 кеВ	117 4,8 0,29 0,08	87 2,3 0,19 0,015

Закінчення таблиці 3.10

1	2	3
Жорсткість, сН	7,02	5,72
Поверхневий електричний опір, Ом	$5,1 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{11}$
Рівень радіоактивного забруднення після дезактивації*, β част/см ²	1000	850

Аналітичний аналіз показників ФМХ показав, що матеріали придатні до виготовлення ЗО багаторазового використання. Руйнівне напруження під час розривання становить 7,1 і 13,9 МПа у поздовжньому напрямку та 4,6 і 11,4 МПа у поперечному напрямку для матеріалів з позначенням Р32 і Р31 відповідно.

Наявність модифікаторів, які містять метали, суттєво впливає на електричні характеристики, збільшуючи їхню електропровідність. Однак їх наявність утрудняє процес електрозварювання через виникнення шляхів до протікання токів розряду.

Матеріали є морозостійкими і мають стабільні ФМХ у діапазоні температур від -30 до 30°C. За підвищення температури більш як 30°C зафіксовано зменшення рівня механічних характеристик (рис. 3.1).

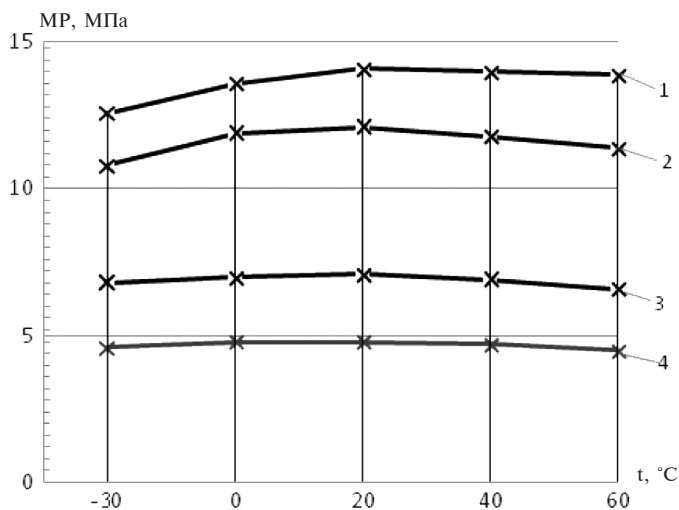


Рис. 3.1. Залежність ФМХ матеріалу Р31, Р32 від температури:

1 — розривальне напруження за довжиною Р31; 2 — те саме за шириною; 3 — розривальне напруження за довжиною Р32; 4 — те саме за шириною

У результаті апроксимації результатів експериментальних вимірювань для матеріалів Р31 і Р32 отримано лінійні регресійні залежності показника K_t від температури, які в загальному випадку мають вигляд

$$K_t = B_1 t + B_0,$$

де B_1 , B_0 — коефіцієнт і вільний член рівняння регресії (табл. 3.11).

Таблиця 3.11

Розрахункові значення коефіцієнтів B_1 , B_0

Кодове позначення матеріалу	Розривальне напруження за довжиною		Розривальне напруження за шириною		Відносне видовження за довжиною		Відносне видовження за шириною	
	B_1	B_0	B_1	B_0	B_1	B_0	B_1	B_0
Р31	$1,3 \cdot 10^{-3}$	0,94	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,96	$1,3 \cdot 10^{-3}$	0,99	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,98
Р32	$7 \cdot 10^{-4}$	0,95	$6 \cdot 10^{-4}$	0,95	$1,3 \cdot 10^{-3}$	0,97	$1,3 \cdot 10^{-3}$	0,96

Запропоновані матеріали мають такі переваги: дають можливість відмовитися від використання матеріалів зі свинцем; під час зміни температури в межах від -30°C до 60°C рівень ФМХ змінюється до 12 %; радіоактивні речовини перебувають на поверхні і добре дезактивуються.

3.3. Розробка матеріалів для ізолювального комплексу від хімічноактивних речовин

Для виготовлення ЗІЗ від низки хімічних речовин (пропан, бутан, соляна та сірчана кислоти, хлор, луги, ацетон, аміак, вода, нафтопродукти) з поліпшеними гігієнічними параметрами розроблено матеріали з ПВХ-покриттям [113]. Як основу використано неткані матеріали з поліефіру (кодове позначення Н1), що забезпечило необхідний рівень адгезії та паропроникнення.

Полімерне покриття виготовлено на основі суспензійної ПВХ смоли. До рецептури ПВХ-покриття додано наповнювач (поліуретан), що підвищило механічну міцність, хімічну стійкість, модифікатор (люмінор) — для збільшення повітропроникності, пігменти — для надання покриттю бажаного кольору. В суміш додано антистатичні речовини, що знижує об'ємний електричний опір, і пом'якшувачі, які підвищили морозостійкість. Покриття нанесено на неткане по-

лотно з одного або з обох боків, що сприяє водопоглиненню та видаленню випарювань водяних парів з поверхні шкіри працівника, запобігає конденсації парів у вигляді краплинної фази.

За такою рецептурою виготовляють матеріали на ВАТ «Слов'янський завод «Тореласт» (м. Слов'янськ, Донецької області). У [114] відзначено, що характеристики матеріалів залежать також від трьох чинників: властивостей початкових реактивів; умов змішування з інгредієнтами; умов каландрування. На підприємстві використано вальцево-каландровий спосіб, який складається з трьох операцій:

1. Полімер ПВХ з компонентами рецептури (пластифікатор, стабілізатор, пігменти, змащувальні речовини, антистатик) у змішувачі перемішують упродовж 30...40 хвилин. Порядок додавання компонентів і температурні умови змішування визначаються рецептурою і швидкістю поглинання пластифікатору полімером.

2. За температури 165...185°C відбувається обробка суміші на фрикційних вальцях, тобто каландрування (із суміші видаляється повітря).

3. На чотиривалковому Г-подібному каландрі, (фірми REPIKE (Франція), відбувається желювання ПВХ-суміші, калібрування за товщиною, дублювання з основою, ущільнення, охолодження та розбраккування продукції за температури 160...180°C.

Лабораторні випробування здійснено для відібраних зразків матеріалів з різними технічними характеристиками (табл. 3.12).

Таблиця 3.12

Характеристики матеріалів з ПВХ-покриттям

Назва матеріалу	Позначення матеріалу	Кількість шарів ПВХ	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м ²
Матеріал з ПВХ-покриттям	ІВ1	1	0,15	210
Матеріал з ПВХ-покриттям	ІВ2	1	0,2	230
Матеріал з ПВХ-покриттям	ІВ3	1	0,3	270
Матеріал з ПВХ-покриттям	ІВ4	2	0,35	420

Матеріали виготовляють у рулонах, у вигляді полотна, завширшки 135,5 см, завтовшки 0,17—0,32 мм, різних кольорів — жовтий, зелений, сірий.

Кількісну оцінку показників якості матеріалів проводила акредитована випробувальна лабораторія АТ УкрНДІПВ (м. Київ) відповідно до діючих стандартів. Отримані результати наведено у табл. 3.13.

Таблиця 3.13

Показники якості матеріалів з ПВХ-покриттям

Найменування показників	Кодове позначення матеріалу	
	Значення показників	
	ІВЗ	ІВ4
1	2	3
Поверхнева густина, г/м ²	270	416
Товщина, мм	0,356	0,57
Розривне навантаження, Н, не менше: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	93,4 78,8	513,0 311,0
Видовження під час розривання, % у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	238 164	107 205
Опір роздиранню, Н у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	8,7 6,3	77 41
Жорсткість, сН у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	5,7 2,6	6,0 2,8
Міцність зв'язку плівки з армувальним нетканним матеріалом, Н/см	Не розшаровується	Не розшаровується
Стійкість до багаторазового згинання, цикли	100	100
Паропроникність, мг/(см ² · год)	2,3	0,2
Повітропроникність, дм ³ /(м ² · с)	17	1,4
Водотривкість, мм вод.ст.	Упродовж 24 годин не промокає	Упродовж 24 годин не промокає
Стійкість до проколювання, Н	23,0	—
Питомий поверхневий електричний опір, Ом	$7,9 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{11}$
Стійкість до дії агресивних речовин під час контакту поверхні впродовж 1 години Проникність нафтопродуктів: — бензин — гас — мінеральне масло — нафта — вайт-спірит Зміна розривних характеристик і зовнішнього вигляду після контакту з: — гасом — мінеральним маслом	Не проникає Не проникає Не проникає Не проникає Не проникає Не проникає Не змінюється Не змінюється	Не проникає Не проникає Не проникає Не проникає Не проникає Не проникає Не змінюється Не змінюється

Закінчення таблиці 3.13

1	2	3
— нафтою — бензином — вайт-спіритом	Не змінюється Зміни незначні Стає жорсткішим	Не змінюється Зміни незначні Стає жорсткішим
Кислотозахисні властивості	Кислото- захисна	Кислото- захисна
Кислотопроникність	Кислото- непроникна	Кислото- непроникна
Кислотостійкість	Кислотостійка	Кислотостійка
Пилопроникність, г/м ²	Відсутня	Відсутня
Відчищуваність від виробничих забруднень, бал		
— від пил	5	5
— від нафтопродуктів	4	4

Матеріал має мале змочування, високий рівень ФМХ, морозостійкий, що підтверджено під час лабораторних випробувань. Невисокий рівень жорсткості (5,7 сН за довжиною і 2,6 сН за шириною) і еластичність дають змогу використовувати матеріал до виготовлення певного асортиментного ряду ЗО.

Поверхнева густина матеріалу змінюється від 210 до 490 г/м² залежно від товщини покриття (від 0,1 до 0,3 мм) і кількості шарів, які можна наносити з одного або двох боків основи (рис. 3.2).

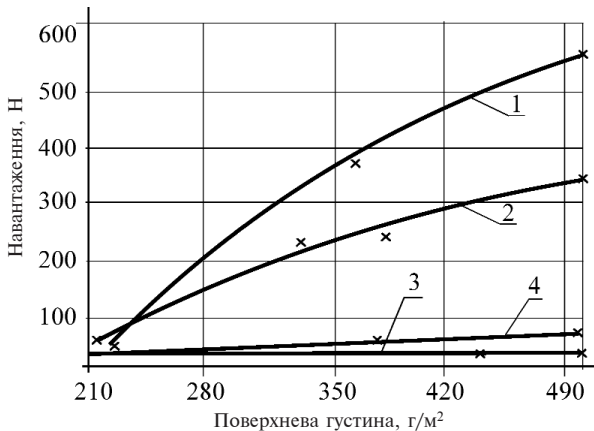


Рис. 3.2. Залежність ФМХ від поверхневої густини матеріалу:

1 — MD; 2 — CD; 3 — роздиральне навантаження у поздовжньому напрямку; 4 — те саме у поперечному напрямку

Розроблена рецептура ПВХ-покриття і структура матеріалу дає змогу забезпечити паропроникність — одну з головних гігієнічних характеристик, особливо до матеріалів з покриттям, на рівні $2,3 \text{ мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{год})$. За такого рівня паропроникності не відбувається конденсації пари на внутрішньому боці одягу. В умовах робіт за низьких температур в осінньо-зимовий період на внутрішньому боці одягу не буде утворюватися крижана кірка, яка суттєво знижує теплозахисні властивості ЗО.

За результатами контрольних випробувань для виготовлення асортиментного ряду виробів вибрано матеріал ІВЗ. Перевагою розробленого матеріалу є повітропроникність, яка сягає рівня $17 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Це дає змогу покращити тепловий режим у піддаговому просторі під час виконання робіт у приміщеннях з вентиляційними системами [115].

Розроблений матеріал з покриттям має цілу низку переваг:

1. Шкідливі речовини повільно проникають через ПВХ-покриття і тому хімічні реакції з кислотами, лугами й органічними розчинниками відбуваються на поверхні полімерного покриття без проникнення вглиб матеріалу. Матеріал повністю ізолює працівника від промислового пилу, аерозолів і води.

2. Використання як основи нетканого матеріалу поліпшує парову і повітропроникність, забезпечуючи водопоглинення внутрішнім шаром. Завдяки покращеним гігієнічним характеристикам знижуються додаткові ризики порушення теплового стану працівників у тривалому використанні в теплий і холодний періоди року.

3. Невелика поверхнева густина та жорсткість дають змогу виготовляти великий асортиментний ряд ЗО: куртку, напівкомбінезон, фартух, наруківники, бахали, каптур. Рівень жорсткості матеріалу забезпечують формостійкість одягу. Маса ізолювального комплекту знаходиться в межах $1\ 200 \dots 1\ 600 \text{ г}$, залежно від комплектації.

4. Підвищення температури плавлення до 200°C суттєво збільшує вогнестійкість ЗО.

5. Матеріал легко очищається, забруднення змиваються звичайним мильним розчином.

6. Матеріал має невелику вартість.

Для оцінку впливу коливань температури на ФМХ матеріал піддавався випробуванням за методикою, яку наведено у [116]. Діапазон температур змінювався від -30°C до 60°C (рис. 3.3).

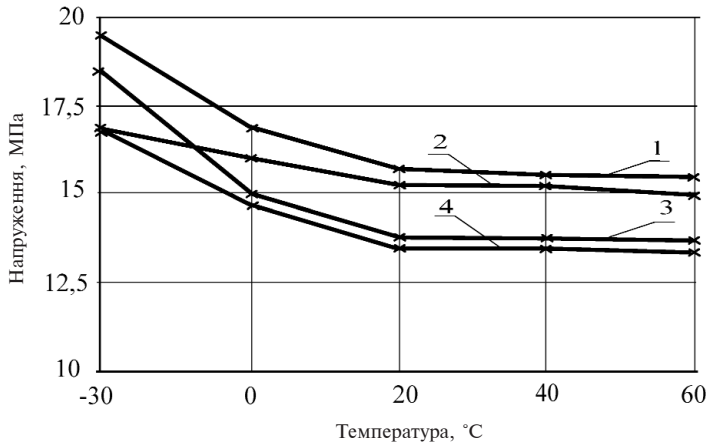


Рис. 3.3. Залежність ФМХ матеріалу ІВЗ і швів від температури:

1 — розривальне напруження матеріалу у поздовжньому напрямку; 2 — те саме у поперечному напрямку; 3 — розривальне напруження СВЧ-зварних швів у поздовжньому напрямку; 4 — те саме у поперечному напрямку

У результаті апроксимації результатів експериментальних вимірювань для матеріалу ІВЗ отримано лінійні регресійні залежності інтегрального показника K_t від температури для розривальних напружень і відносного видовження під час розривання, які мають вигляд:

$K_t = (-1,1 \cdot 10^{-2})t + 1,19$ — зміна розривального напруження у поздовжньому напрямку;

$K_t = (-1,5 \cdot 10^{-3})t + 1,21$ — зміна розривального напруження у поперечному напрямку;

$K_t = (-1,0 \cdot 10^{-3})t + 0,92$ — зміна відносного видовження під час розривання у поздовжньому напрямку;

$K_t = (-1,0 \cdot 10^{-2})t + 0,94$ — зміна відносного видовження під час розривання у поперечному напрямку.

Отже, коливання температур впливає на ФМХ матеріалів з ПВХ-покриттям, однак менш суттєво зменшуючи їх порівняно з матеріалами ПВХ-пластикат: підвищення температури призводить до зниження механічних характеристик на 10 %; за температури мінус 30°C вони не втрачають свої властивості.

Матеріали з ПВХ-покриттям відповідають вимогам, які висувають до матеріалів, призначених до виготовлення певних видів 3О від хімічно активних речовин для працівників АЕС.

3.4. Розробка і вибір матеріалів для фільтрувального комплекту

Головою вадою розглянутих матеріалів є їхні діелектричні властивості і низький рівень повітро- і паропроникності та водопоглинення. Здійснення довготривалих безперервних робіт, в яких виникає потреба у практичній діяльності, а особливо у ситуаціях втручання, неможливо без використання фільтрувальних комплектів, виготовлених зі спеціальних матеріалів з покращеними гігієнічними характеристиками.

Попередні дослідження показали, що такі характеристики мають композиційні текстильні матеріали (КТМ). Виробництво КТМ нині динамічно розвивається у світі. Відповідно до [117], багатошаровий композиційний матеріал визначають як КТМ, отриманий з двох і більше шарів різнорідних матеріалів з певною схемою розташування та чіткою межею між окремими складниками. Властивості КТМ залежать від структури і способу скріплення готових текстильних полотен у багатошарову структуру (ткацтво, в'язання, термозварювання тощо).

КТМ нового покоління є багатофункціональними та мають додаткові нові властивості, які відсутні у жодного зі складників. Нові види таких матеріалів забезпечують зменшення маси виробів, покращують їхні гігієнічні властивості, підвищують рівень захисту від негативного впливу НШВЧ, забезпечують екологічну утилізацію. Відомо [118], що одним з ефективних методів отримання КТМ, який дає можливість у широких межах регулювати структуру та властивості матеріалів, є нашарування і термоклейове скріплення окремих текстильних полотен у багатошарову структуру.

Розроблено термоклейові багатошарові КТМ [119]. У двошарових матеріалах як поверхневий шар використано поліефірний трикотаж, а внутрішній шар — в'язане трикотажне полотно, в структуру якого впроваджено клейову низькоплавку поліетиленову нитку, яка виходить на поверхню полотна. У тришарових матеріалах додатково впроваджено середній шар з нетканих голкопробивних поліефірних полотен з наявністю 20...30 % легкоплавкого бікомпонентного волокна типу «ядро — оболонка» (табл. 3.14). Середній шар використовують як фільтр твердих часток промислового пилу. Внутрішній шар для надання бактерицидних властивостей оброблено витяжкою з настою звіробоя, що попереджує розвиток стафілококових і грибкових захворювань під час контакту зі шкірою людини. Використані види трикотажних полотен у багатошаровій струк-

турі виготовлено за технологіями, розробленими у Київському національному університеті технологій та дизайну [120].

Таблиця 3.14

Характеристики композиційних матеріалів

Вид матеріалу	Умове позначення	Поверхнева густина, г/м ²	Лінійна густина нитки, текс	Товщина, мм	Число петельних рядків і стовпчиків на 100 мм
<i>Матеріали поверхневого шару</i>					
Двошарове трикотажне поліефірне полотно	ТР1	338	11,0	2,4	105/258
Двошарове трикотажне поліефірне полотно	ТР2	286	11,0	2,3	105/248
<i>Матеріали внутрішнього шару</i>					
Клейове трикотажне поліамідне полотно	ТКП	144	13,3	0,7	90/140
<i>Матеріали середнього шару</i>					
Неткане полотно	НМБ1	122		1,2	
Неткане полотно	НМБ2	128		1,4	

Методом термосклеювання одержано чотири види двошарових і тришарових КТМ (табл. 3.15). Матеріали виготовлено на пресі марки «ERBO EB-R2», без зволоження, за температури $t = 200^{\circ}\text{C}$ і тиску $P = 0,055 \text{ МПа}$. Тривалість технологічного процесу становить до 60 хвилин.

Таблиця 3.15

Структура і характеристики композиційних текстильних матеріалів

Вид матеріалу	Умове позначення складу матеріалу	Поверхнева густина, г/м ²	Товщина, мм	Повітропроникність за тиску 50 Па, дм ³ /(м ² · с)
КТМД1	ТР1+ТКП	410	2,4	210
КТМД2	ТР2+ТКП	410	2,4	156
КТМТ1	ТР1+НМБ1+ТКП	455	2,5	186
КТМТ2	ТР2+НМБ2+ТКП	455	2,5	130

У Європейському Союзі провідним виробником КТМ, призначених до виготовлення ЗІЗ, є фірми KARCHER і BLUCHER (Німеччина). Як об'єкт дослідження у роботі прийнято КТМ на основі вуглецевих волокон цих виробників. У [121] розглянуто захисні характеристики таких матеріалів, структура яких складається з дво або тришарових полотен. Двошарові матеріали складаються з нетканого поліестерового полотна (зовнішній шар) та з фільтрувальної тканини типу SARATOGA (фірми BLUCHER). У тришарових матеріалах, як внутрішній шар використано неткане поліестерове полотно, середній — поліуретан з активованим вуглецем або вуглецеві волокна, зовнішній шар — бавовняна тканина завтовшки 0,80...1,00 мм, із системою захисних просочень поліхлоропреном, що забезпечує вогнестійкість, масло- та водовідштовхувальні властивості (табл. 3.16). Неткане полотно здійснює водопоглинення і видалення випарювань водяних парів з поверхні шкіри працівника, запобігає конденсації парів у вигляді краплинної фази. Другий шар використовують як фільтр, який призначено для поглинання радіоактивних, токсичних рідин, парів і газів. Матеріал може мати струмопровідні мембрани для зниження об'ємного опору.

Таблиця 3.16

Номенклатура композиційних текстильних матеріалів

Назва матеріалу	Умовне позначення	Кількість шарів	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м ²
Фільтрувальний матеріал	Ф1	2	1,36	308
Фільтрувальний матеріал	Ф2	2	1,44	338
Фільтрозахисний матеріал	Ф3	3	1,82	547
Фільтрозахисний матеріал	Ф4	3	2,01	606

Головною перевагою таких матеріалів є покращені гігієнічні і захисні характеристики, які дають можливість забезпечити тривалий час нормальний процес тепломасообміну працівника у комплекті ЗІЗ і навколишнім середовищем та захистити його від проникнення шкідливих та отруйних речовин, з якими може контактувати шкіра людини

Доцільність використання КТМ перевірено під час лабораторних тестувань і промислових випробувань (3.17).

Таблиця 3.17

Характеристики композиційних текстильних матеріалів

Найменування показників	Кодове позначення матеріалу			
	Значення показників			
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
Поверхнева густина, г/м ²	308	338	547	606
Товщина (за 1 кПа), мм	1,36	1,44	1,82	2,01
Розривальне навантаження, Н: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	330 260	326 242	1785 884	1126 746
Видовження під час розривання, %: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	27 134	24,6 100,6	17,2 34,6	12,6 13,2
Жорсткість, сН	12	12,0	16,6	
Повітропроникність (50 Па), дм ³ /(м ² · с)	283	336,0	60,3	109
Водотривкість, мм вод.ст	136	68	51	
Паропроникність, мг/(см ² · год)	8,14	9,7	8	6,6
Стійкість до проколювання, Н	23,3	23,3	23,5	23,5
Поверхневий електричний опір, Ом	$1,6 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^9$
Роздиральне навантаження, Н у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	15 22	15 22	54 52	49 46

Зіставляючи результати випробувань, до виготовлення фільтрувального ЗО вибрано матеріали з кодovими позначення Ф2 і Ф4. Матеріал Ф2 має задовільні ФМХ (MD = 330 Н, CD = 240 Н). Максимальний рівень повітропроникності матеріалу Ф2 з лицьового боку становить 336 дм³/(м² · с), зі зворотного — 320 дм³/(м² · с). Головним фільтрувальним шаром для токсичних речовин парів і газів є вуглецеві волокна, які є внутрішніми антистатиками, що суттєво збільшує електропровідність матеріалу до рівня $1,6 \cdot 10^8$ і відповідно знижує імовірність утворення електростатичних полів у внутрішніх і у зовнішніх шарах ЗО. Зміни ФМХ під впливом температури зовнішнього середовища досліджено у лабораторних умовах (табл. 3.18).

Як впливає з табл. 3.18, матеріали змінюють свої ФМХ під впливом температури не більш як на (2...8) %.

Таблиця 3.18

**Зміни розривального навантаження
від температури зовнішнього середовища**

Умовне позначення матеріалу	Найменування показника	Температура		
		20°C	40°C	-20°C
Ф3	MD, Н	1126	1017	1013
	CD, Н	746	767	762
Ф4	MD, Н	540	521	535
	CD, Н	520	518	521

Матеріал Ф2 є водонепроникними, що обмежує його використання за наявності аерозолів в повітрі або води на поверхнях, які оброблюються. За необхідності використання фільтрувального ЗО в умовах вологого середовища і піз час робіт з великим навантаженнями використано матеріал з кодовим позначенням Ф4. Як впливає з табл. 3.17, такий матеріал має підвищений рівень ФМХ і вологостійкий поверхневий шар. Обмеження у його застосуванні пов'язано з високою вартістю матеріалу.

3.5. Експериментально-розрахункова оцінка захисних властивостей матеріалів від зовнішніх альфа і бетта випромінювань

Особливістю умов праці на АЕС є комплексний вплив НШВЧ, включно з α - і β -випромінюваннями. Оцінку захисних властивостей матеріалів від α -, β -випромінювання здійснено під час випробувань у лабораторії Південноукраїнської АЕС відповідно до вимог стандарту [122]. Для вимірювань використано установку, яка містить радіометр і камеру, до якої вкладають найпоширеніші ізотопи (плутоній ^{239}Pu , цезій ^{137}Cs , стронцій ^{90}Sr та ітрій ^{90}Y з активністю $10^5 \dots 10^7$ Бк). Радіометр, який використано, має змогу вимірювати щільність потоку частинок у діапазоні $(10 \dots 10^5)$ част./ $(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$ з похибкою не більш як 10 %.

Відомо, що ослаблення щільності частинок досягають через збільшення товщини захисного матеріалу або його шарів [123]. Тех-

нологія виготовлення матеріалів не забезпечує фіксованого значення товщини: у матеріалі з кодовим позначення В1 вона змінюється в межах 0,12...0,15 мм, у ІВ3 — 0,3...0,36 мм. Матеріали з площею активної поверхні 8...10 см² піддавали впливу частинок і рівень поглинання кожним шаром матеріалу визначався за щільністю частинок J , які фіксувалися радіометром: початкова — J_0 ; за кожним N шаром J_N матеріалу (табл. 3.19). Випробування здійснено п'ятиразово для кожного шару матеріалу і до розрахунків прийнято мінімальне значення з отриманих.

Таблиця 3.19

**Характеристика захисної здатності ПВХ-пластикату
(кодове позначення В1)**

Вид ізотопу	Початковий рівень J_0 , імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)		Пропускна здатність матеріалу, імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)					
			Один шар J_1 , імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)		Два шари J_2 , імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)		Три шари J_3 , імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)	
	α -част.	β -част.	α -част.	β -част.	α -част.	β -част.	α -част.	β -част.
²³⁹ Pu	606	1131	0,10	100	0	0,6	0	0
¹³⁷ Ce	308	14171	105	6118	52	3316	2	10
⁹⁰ Sr, ⁹⁰ Y	58	2521	14	972	8,7	520	0,8	18

Аналогічні випробування здійснено для матеріалів ІВ3 і Ф2 (табл. 3.20, 3.21).

Таблиця 3.20

**Характеристика захисної здатності матеріалу з покриттям
(кодове позначення ІВ3)**

Вид ізотопу	Початковий рівень J_0 , імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)		Пропускна здатність матеріалу, імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)					
			Один шар J_0 , імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)		Два шари J_0 , імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)		Три шари J_3 , імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)	
	α -част.	β -част.	α -част.	β -част.	α -част.	β -част.	α -част.	β -част.
²³⁹ Pu	606	1131	0,10	0,8	0	0,5	0	0
¹³⁷ Ce	308	14171	236	11181	170	9196	26	1000
⁹⁰ Sr, ⁹⁰ Y	58	2521	38	1925	28	1554	18	1320

Таблиця 3.21

**Характеристика захисної здатності
композиційного текстильного матеріалу (кодове позначення Ф2)**

Вид ізоотопу	Початковий рівень J_0 , імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)		Пропускна здатність матеріалу, імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)					
			Один шар J_1 , імп./ ($\text{с} \cdot \text{см}^2$)		Два шари J_2 , імп./ ($\text{с} \cdot \text{см}^2$)		Три шари J_3 , імп./ ($\text{с} \cdot \text{см}^2$)	
	α -част.	β -част.	α -част.	β -част.	α -част.	β -част.	α -част.	β -част.
^{239}Pu	606	1131	1,3	3,2	0,80	2,5	0	1,0
^{137}Ce	308	14171	220	10417	149	7964	82	5300
$^{90}\text{Sr}, ^{90}\text{Y}$	58	2521	31,5	1726	22,3	11280	0,8	588

У [122] запропоновано визначати захисні властивості матеріалів за величиною коефіцієнта захисту K_z і розраховувати його за формулою:

$$K_z = \frac{J_s - J_f}{J_d - J_f}, \quad (3.1)$$

де J_s, J_f, J_d — відповідно щільність потоку частинок джерела, фонова і за шаром матеріалу завтовшки d .

Треба відзначити, що (3.1) містить суттєві вади, а саме: є невизначеною у разі, якщо через шар матеріалу не проходить жоден імпульс; буде мати від'ємне значення за наявності щільності, зумовленою високим природним фоном; не враховує дискретні зміни товщини матеріалу, які спричинено технологією виготовлення; має великий діапазон значень, що збільшує зону невизначеності та ускладнює подальшу математичну обробку результатів. Тому запропоновано коефіцієнти захисту матеріалу від α - і β -випромінювань $K_{z\alpha}, K_{z\beta}$ розраховувати за формулою:

$$K_{z\beta} = K_{z\alpha} = \left(1 - \frac{J_N - J_f}{J_0 - J_f} \right), \quad (3.2)$$

де J_0, J_N — відповідно початкова щільність потоку частинок джерела і за кожним N -ним шаром матеріалу. Фонова щільність потоку частинок джерела у випробувальній установці становила: для α -частинок — $0,01$ імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$), для β -частинок — $0,201$ імп./($\text{с} \cdot \text{см}^2$).

Відповідно до (3.2) коефіцієнти захисту змінюються від 0 до 1, мають завжди позитивні значення, що дає можливість визначити

потрібну кількість шарів конструкції захисного одягу і у такий спосіб забезпечити максимально можливий рівень захисту від зовнішнього іонізуючого випромінювання.

Згідно з [122], виробам після випробувань надають відповідний клас захисту. Використання (3.2) дає змогу зменшити зону невизначеності коефіцієнтів захисту ЗІЗ (табл. 3.22).

Таблиця 3.22

Класифікація захисного одягу за захисними властивостями

Класифікація ЗІЗ	Коефіцієнт захисту за (3.1)	Коефіцієнт захисту за (3.2)
Перший клас	3...10	0,660...0,900
Другий клас	11...30	0,901...0,966
Третій клас	31...100	0,967...0,990
Четвертий клас	Більш як 100	0,991...1,0

Технічне завдання з проектної розробки ЗО завжди передбачає необхідність досягнення повного виключення впливу на працівника НШВЧ, до яких безумовно належать іонізуючі випромінювання. У конструкторсько-технологічній розробці збільшення коефіцієнту захисту досягають через збільшення шарів матеріалу на окремих ділянках або всієї конструкції ЗІЗ [124]. Враховуючи, що товщина матеріалу є змінною характеристикою, яка залежить від виду матеріалу, технології виготовлення, виду устаткування, для конструкторської розробки запропоновано аналітичні залежності коефіцієнтів захисту від кількості шарів N матеріалу. За регресійного аналізу досліджено залежності коефіцієнтів захисту $K_{3\alpha}$, $K_{3\beta}$ для визначених матеріалів та отримано такі лінійні апроксимації (з коефіцієнтом кореляції 0,94...0,96).

1. ПВХ-пластикат з кодовим позначення В1

$$K_{3\alpha} = 0,121N + 0,575; K_{3\beta} = 0,153N + 0,451. \quad (3.3)$$

2. Матеріал з покриттям з кодовим позначення ІВ3

$$K_{3\alpha} = 0,259N + 0,056; K_{3\beta} = 0,148N + 0,061. \quad (3.4)$$

3. Композиційний матеріал з кодовим позначення Ф2

$$K_{3\alpha} = 0,224N + 0,065; K_{3\beta} = 0,182N + 0,082. \quad (3.5)$$

У ході робіт працівники можуть піддаватися потоку α - і β -частинок різної щільності та енергії, тому регресійні залежності вибрано з коефіцієнтами, які забезпечують найповільніше досягнення максимального значення коефіцієнту захисту.

Проаналізувавши отримані залежності, можна констатувати, що найкращі захисні властивості від впливу α - і β -випромінювань має матеріал ПВХ-пластикат ВЗ, який забезпечує практично повний захист за тришарової конструкції ЗІЗ. КТМ за тришарової конструкції може забезпечити коефіцієнт захисту від α -випромінювань на рівні 0,74...0,83 та від β -випромінювань — 0,63...0,77, матеріал з покриттям ІВЗ відповідно від α -випромінювань — 0,86...0,92, від β -випромінювань — 0,48...0,51.

Отримані залежності дають можливість оцінити захисні властивості ЗІЗ і вибрати способи їх підвищення у ході проектної розробки.

3.6. Експериментально-розрахункова оцінка показників захисту матеріалів від зовнішнього гамма-випромінювання

Захисні властивості матеріалів Р31, Р32, Р33 під час дії γ -випромінювання досліджено експериментально на робочому майданчику Південноукраїнської АЕС і на об'єкті «Укриття» [125].

Визначення залежності лінійного коефіцієнта ослаблення від товщини захисного шару проведено з використанням калібрувального приладу СРП-68-1 з джерелом ^{60}Co та приладом ДРГ-1Т1 для контрольних вимірів за схемою (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Схема розташування зразка захисного матеріалу:

1 — прилад СРП-68-1; 2 — зразок захисного матеріалу; 3 — прилад ДРГ-1Т1

Дослідження проведено в такий спосіб (див. рис. 3.4): між приладом з джерелом випромінювання 1 і вимірювальним приладом 3, впритул, розташовувався захисний шар 2, товщина d якого коливалася. Результати натурних випробувань для матеріалів з кодовим

позначенням Р31 і Р32 за різних рівнів енергії джерела випромінювання наведено (рис. 3.5, 3.6).

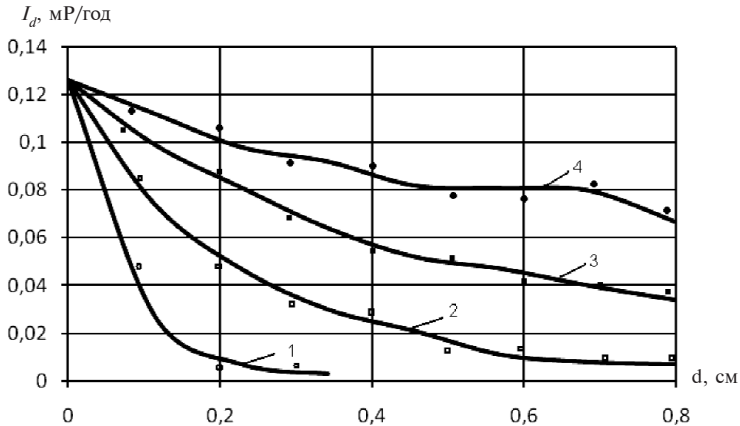


Рис. 3.5. Залежність потужності експозиційної дози γ -випромінювання від товщини матеріалу Р31 за енергії:

1 — до 10 кеВ; 2 — до 60 кеВ; 3 — до 200 кеВ; 4 — до 662 кеВ

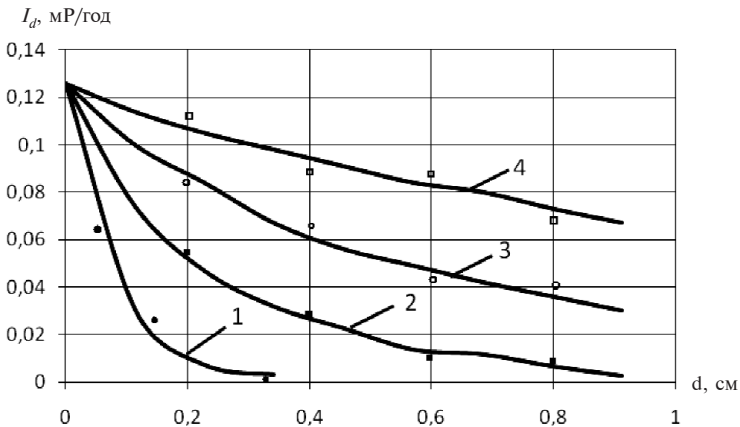


Рис. 3.6. Залежність потужності експозиційної дози γ -випромінювання від товщини матеріалу Р32 за енергії:

1 — 10 кеВ; 2 — 60 кеВ; 3 — 200 кеВ; 4 — 662 кеВ.

Очевидно, що коефіцієнт захисту матеріалів залежить також від енергії зовнішнього випромінювання, максимальне значення він досягає в діапазоні енергій 40...90 кеВ, мінімальне — 450...662 кеВ.

Аналітичні залежності зміни потужності γ -випромінювання від товщини матеріалу Р31 мають вигляд:

$$I_d = 0,11 \exp(-11,02 \cdot d) \text{ — за енергії до } 10 \text{ кеВ;}$$

$$I_d = 0,11 \exp(-3,99 \cdot d) \text{ — до } 60 \text{ кеВ;}$$

$$I_d = 0,11 \exp(-1,62 \cdot d) \text{ — до } 200 \text{ кеВ;}$$

$$I_d = 0,11 \exp(-0,71 \cdot d) \text{ — до } 662 \text{ кеВ.}$$

Аналітичні залежності зміни потужності γ -випромінювання від товщини матеріалу Р32 мають вигляд:

$$I_d = 0,11 \exp(-10,67 \cdot d) \text{ — за енергії до } 10 \text{ кеВ;}$$

$$I_d = 0,11 \exp(-3,74 \cdot d) \text{ — до } 60 \text{ кеВ;}$$

$$I_d = 0,11 \exp(-1,54 \cdot d) \text{ — до } 200 \text{ кеВ;}$$

$$I_d = 0,11 \exp(-0,67 \cdot d) \text{ — до } 662 \text{ кеВ.}$$

У роботі запропоновано ввести показник, який характеризує захисні властивості матеріалу — коефіцієнт захисту $K_{3\gamma}$

$$K_{3\gamma} = \frac{I_0}{I_d}, \quad (3.6)$$

Відомо [126], що ослаблення потужності дози γ -випромінювання однорідним захисним шаром завтовшки d у геометрії вузького пучка для плоского мононаправленого джерела визначається за формулою:

$$I_d = I_0 e^{-\mu \cdot d} \quad (3.7)$$

де I_0 — потужність експозиційної дози джерела за $d = 0$, мР/год; μ — лінійний коефіцієнт ослаблення, см^{-1} ; d — товщина захисного шару, см; I_d — потужність експозиційної дози після захисного шару, мР/год.

З урахуванням (3.6), $K_{3\gamma}$ визначаємо за формулою:

$$K_{3\gamma} = \exp(\mu \cdot d) \quad (3.8)$$

Лінійний коефіцієнт ослаблення за результатами статистичного аналізу даних, отриманих з натурних вимірів, визначено за формулами:

$$\mu = M[\mu] \pm K_p \cdot \sigma[\mu], \quad (3.9)$$

де $M[\mu]$ — математичне очікування лінійного коефіцієнта ослаблення, см^{-1} ; $\sigma[\mu]$ — середньоквадратичне відхилення; K_p — розрахунковий коефіцієнт, який з імовірністю $P = 0,95$ і нормальним розподілом похибки прийнято 1,96.

$$M[\mu] = -\frac{1}{d} \ln \frac{M[I_d - I_f]}{M[I_0 - I_f]}, \quad (3.10)$$

де I_f — потужність експозиційної дози, яка зумовлена природним фоном, мР/год.

Під час проведення експерименту потужність дози природного фону I_f становила 0,015...0,020 мР/год.

Середньоквадратичне відхилення визначено за значеннями загальної дисперсії вимірів за формулою:

$$D_{\mu} = D_0 + D_f + D_d + D_s, \quad (3.11)$$

де D_{μ} — сумарна дисперсія результатів вимірів; D_0 — дисперсія вимірів потужностей експозиційної дози джерела, D_f — дисперсія вимірів природного фону, D_d — дисперсія вимірів після захисного шару; D_s — систематична похибка, пов'язана з нерівномірністю товщини захисного шару 0,008...0,01 мм.

За результатами розрахунків визначено значення коефіцієнта захисту (табл. 3.23, 3.24).

Таблиця 3.23

Розрахункове значення коефіцієнта захисту для матеріалу РЗ1

Діапазон енергії, кеВ	Товщина матеріалу, см						
	0,114	0,228	0,342	0,456	0,570	0,684	0,798
1—10	4,6	17,9	41,7	—	—	—	—
20—60	1,7	2,7	4,2	5,9	11,4	15,6	17,9
100—200	1,3		2,1	2,4	2,7	3,1	3,7
450—662	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9

Таблиця 3.24

Розрахункове значення коефіцієнта захисту для матеріалу РЗ2

Величина енергії, кеВ	Товщина матеріалу, см						
	0,114	0,228	0,342	0,456	0,570	0,684	0,798
1—10	4,1	16,6	35,7	—	—	—	—
20—60	1,7	2,7	3,9	5,4	8,9	10,4	12,5
100—200	1,3	1,5	1,9	2,2	2,6	2,9	3,5
450—662	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7

Під час створення конструкції радіаційнозахисного комплексу (ЗО, каптур, взуття, рукавиці) необхідно визначитися з кількістю захисних шарів. Аналітична залежність для визначення кількості шарів захисного матеріалу для ослаблення γ -випромінювання в K_{γ} разів з урахуванням (3.8) має вигляд:

$$n = \frac{\ln K_{\gamma}}{\mu \cdot d_0}, \quad (3.12)$$

де d_0 — товщина матеріалу.

Графічно такі залежності для очікуваного рівня енергій γ -випромінювання і заданого K_{γ} , які безпосередньо можна використовувати на етапі конструктивно-технологічної розробки, наведено (рис. 3.7, 3.8).

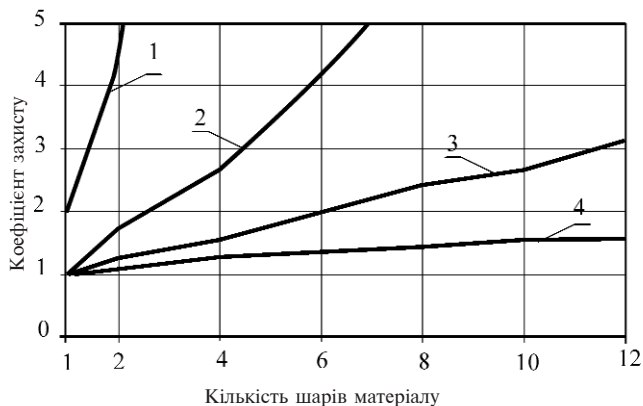


Рис. 3.7. Залежність коефіцієнта захисту K_{γ} від кількості шарів n матеріалу Р31 за енергії γ -випромінювання: 1 — до 10 кеВ; 2 — до 60 кеВ; 3 — до 200 кеВ; 4 — до 662 кеВ

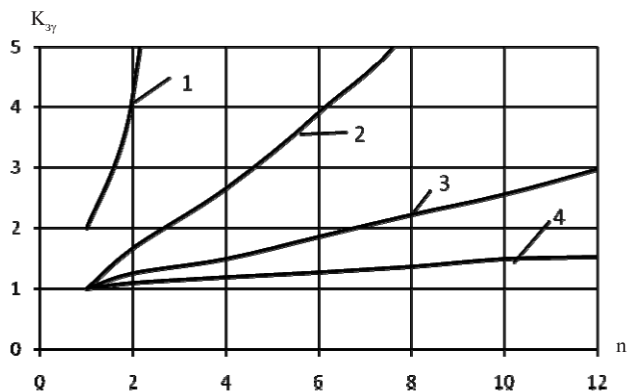


Рис. 3.8. Залежність коефіцієнта захисту K_{γ} від кількості шарів n матеріалу Р32 за енергії γ -випромінювання: 1 — до 10 кеВ; 2 — до 60 кеВ; 3 — до 200 кеВ; 4 — до 662 кеВ

У роботі передбачено розробку конструкцій здійснити за зональ-но-модульної моделі побудови конструкції, що дає змогу забезпечити посиленням захистом окремі зон тіла працівника (статеві органи, шлунок, голова). Для реалізації такого підходу коефіцієнт захисту запропоновано визначати за середнє зваженою товщиною $d_{\text{ср.зв}}$

$$d_{\text{ср.зв}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \cdot S_i}{S_{\text{п}}}, \quad (3.13)$$

де n — кількість зон одягу ($n = 9$); d_i , S_i — відповідно товщина і площа i -тої зони одягу; $S_{\text{п}}$ — площа поверхні одягу.

Тоді формула (3.8) має вигляд:

$$K_{\text{зг}} = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i \cdot d_i)}{S_{\text{п}}} \right]. \quad (3.14)$$

Для аналітичних розрахунків та оптимізації параметрів радіаційнозахисних виробів у процесі конструктивно-технологічної розробки встановлено регресійні залежності коефіцієнта захисту $K_{\text{зг}}$ від кількості шарів n матеріалів Р31, Р32 у вигляді:

$$K_{\text{зг}} = B_0 \cdot \exp(B_1 \cdot n),$$

де B_0 і B_1 — розрахункові коефіцієнти (табл. 3.25).

Таблиця 3.25

Розрахункові коефіцієнти рівнянь регресії

Діапазон енергії, кеВ	Матеріал	Розрахункові коефіцієнти	
		B_0	B_1
1—10	Р31	1,02	0,61
	Р32	1,02	0,58
20—60	Р31	1,041	0,248
	Р32	1,041	0,226
100—200	Р31	1,042	0,101
	Р32	1,042	0,095
450—662	Р31	1,041	0,038
	Р32	1,041	0,032

Один шар матеріалу Р31 практично повністю захищає від α -частинки з енергіями 4...10 МеВ і від β -випромінювання з енергіями до 3,0 МеВ. За енергії β -випромінювання 3,25...5,0 МеВ повністю захищає два шари матеріалу Р31. Однак матеріали Р31, Р32 мають велику густину та достатньо велику вартість, що обмежує його застосування для захисту тільки від α - і β -випромінювань.

Аналітична оцінка захисних властивостей матеріалів Р31 і Р32 від дії γ -випромінювання через коефіцієнт захисту дала змогу визначити домінантні фактори, які впливають на рівень захисту, а саме величина енергії випромінювачів і товщина матеріалу. Таким чином, під час проектної розробки ЗО можна через зміни товщини матеріалу збільшувати рівень захисту від небезпечного впливу γ -випромінювання.

3.7. Оцінка впливу виробничих умов на електричні характеристики матеріалів

Усі полімерні матеріали є діелектриками, утім різні композиції, технології (термобондинг, спандбондинг), методи (каландровий, формування) їх отримання суттєво впливають на їхні електричні параметри. Впродовж низки років за участю автора здійснено вимірювання об'ємних і поверхневих опорів матеріалів, розроблених і використаних для виготовлення ЗІЗ (захисного одягу, взуття, респіраторів, протигазів), і розроблялися заходи з їх поліпшення [127].

Вимірювання проведено за стандартом [128] двоточковим методом (рис. 3.9), за допомогою тераметрів Е6-13А (поверхневий опір) і МІ 3200 (об'ємний опір).

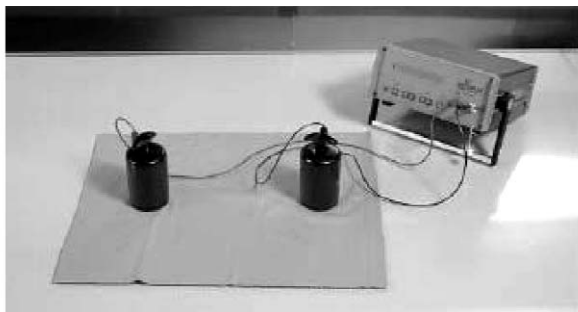


Рис. 3.9. Вимірювання поверхневого опору матеріалу

Враховуючи, що статична електрика поверхневе явище, за визначальну електричну характеристику матеріалів прийнято поверхневий опір r_s . Поверхневі струми можуть поєднуватися з об'ємними, і вимірюваний поверхневий опір виявляється залежним і від об'ємного опору зразка, і від поверхневого струму витoku. У разі проведення вимірів на чистій поверхні в лабораторних умовах поверхневий опір розглянутих вище полімерних матеріалів кілька нижчий, аніж їхній об'ємний.

У процесі дослідження в умовах АЕС виявлено основні чинники, що впливають на опір, серед яких найважливіші: температура, вологість, опромінювання, фізико-хімічні властивості матеріалу.

Для кількісної оцінки зміни електричних характеристик за зміни температури експериментально досліджували зразки матеріалів ПВХ-пластикату з кодовим позначенням (В1, В2, В3), поліетилену (К, С) і поліпропілену (ПЗ, П4), які розміщували в кліматичну камеру, де підтримувалися такі умови: температура від мінус 20°C до +60°C, відносна вологість — 60 % (рис. 3.10, 3.11).

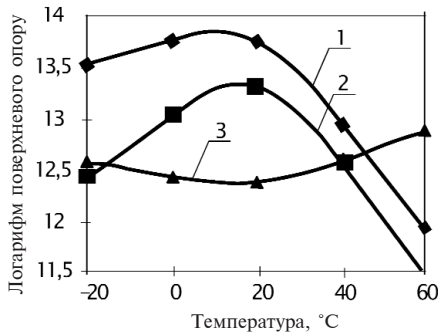


Рис. 3.10. Залежність логарифму поверхневого опору $\lg r_s$ від температури для ПВХ-пластикату:

1 — В1 (0,15 мм); 2 — В2 (0,3 мм); 3 — В3 (0,5 мм)

З підвищенням температури і невисокої вологості опір зменшується завдяки збільшенню рухливості елементарних ланок, що входять до складу макромолекул і характеризують ступінь полімеризації високомолекулярних з'єднань. За підвищення температури також можуть відбуватися хімічні перетворення макромолекул. Наприклад, у прозорих ПВХ-пластикатах, за температури більш як 50°C спостерігається деструкція кола з відщепленням хлору і за цих умов різко зростає провідність полімеру.

Під час зниження температури менш як 0°C провідність зразків 1, 2 (рис. 3.11) зростала, що можна пояснити частковим руйнуванням поверхневого шару матеріалу.

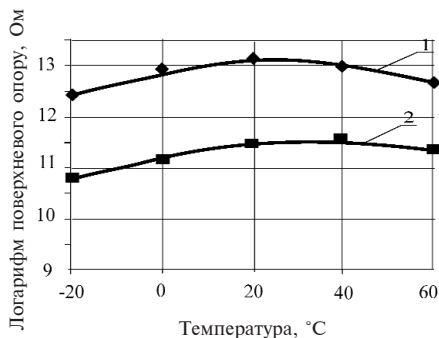


Рис. 3.11. Залежність логарифму поверхневого опору $\lg r_s$ від температури ПВХ-пластикату з модифікаторами:

1 — на основі вольфраму (Р31); 2 — на основі рідкоземельних елементів (Р32)

Додавання до композиції ПВХ-пластикату модифікаторів з оксидів вольфраму (кодове позначення Р31) знижує опір з $5,7 \cdot 10^{14}$ до $1,17 \cdot 10^{13}$ Ом, з оксидів рідкоземельних елементів (Р32) — до $3,5 \cdot 10^{11}$ Ом.

Процес старіння, який для розглянутих матеріалів знаходиться в межах двох-трьох років, призводить до змінення електричного опору. Вплив процесу старіння на опір матеріалів досліджувався в кліматичній камері (гигростад ГСМ-1) упродовж 325 годин, що відповідає натурним вимірам упродовж 12180 годин. Дослідження здійснювалися відповідно до вимог стандарту [129] за нормальних кліматичних умов: $t = 22...24^{\circ}\text{C}$, відносна вологість — 60 %. Процес старіння полімерних матеріалів призводить до зростання провідності (рис. 3.12).

Зміна вологості w суттєво впливає на опір і рівень поляризації матеріалів, які досліджувалися (табл. 3.26).

Під час зростання вологості поверхневий опір зменшується за рахунок утворення мікровключень з води, що збільшує струми витoku. Дані у табл. 3.26 ілюструють зафіксоване в експерименті різке зменшення поверхневого опору полімерних матеріалів (особливо тих, які мають волокнисту структуру) із зростанням вологості, що пов'язано з адсорбцією молекул води, які мають невеликі розміри (0,27 нм) і легко проникають у поверхню.

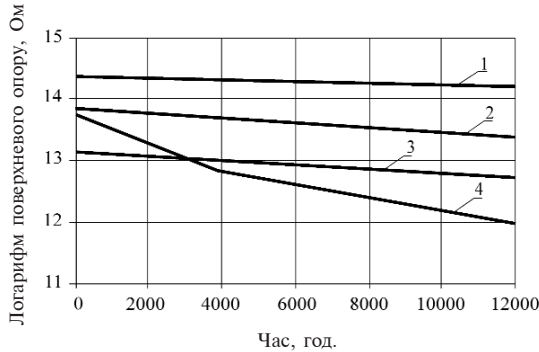


Рис. 3.12. Залежність логарифму поверхневого опору $\lg r_s$ від часу матеріалів:

1 — кодове позначення В1; 2 — ПВХ-пластикат кодове позначення Р31; 3 — кодове позначення ПЗ; 4 — кодове позначення ІВЗ

Таблиця 3.26

Поверхневий опір матеріалів

Вид матеріалу	Кодове позначення матеріалу	Поверхневий опір за $w = 60 \%$, Ом	Поверхневий опір за $w = 100 \%$, Ом
ПВХ-пластикат без антистатиків	В1	$(2,11 \dots 5,72) \cdot 10^{13}$	$5,68 \cdot 10^9$
ПВХ-пластикат з вольфрамовим модифікатором	Р31	$1,43 \cdot 10^{13}$	$2,35 \cdot 10^{11}$
ПВХ-пластикат з модифікатором з рідкоземельними елементами	Р32	$3,17 \cdot 10^{11}$	$6,51 \cdot 10^9$
Матеріал з ПВХ-покриттям	ІВЗ	$7,92 \cdot 10^{13}$	$1,62 \cdot 10^{10}$
Нетканий поліетилен	К	$5,16 \cdot 10^9$	$1,32 \cdot 10^9$
Нетканий поліпропілен	ПЗ	$4,32 \cdot 10^{11}$	$3,82 \cdot 10^9$
Фільтрувальний матеріал з вуглецевими волокнами	Ф2	$1,64 \cdot 10^8$	$2,62 \cdot 10^3$

Дослідження впливу на електропровідність зовнішнього іонізуючого β - і γ -випромінювання, яке існує на АЕС, стикається із суттєвими методологічними складнощами, зумовленими специфікою праці з радіоактивними речовинами. З даних, наведених у [130], впливає, що опромінювання матеріалів призводить до зростання їхньої електропровідності. Так, під час γ -випромінювання низьких енергій елек-

тропровідність поліетилену низького тиску збільшується в 1 000 разів, ПВХ-пластикату — у 100.

На електропровідність полімерних матеріалів впливають ультрафіолетові промені. Проведені дослідження у кліматичній камері підтвердили, що опір зразка ПВХ-пластикату під впливом ультрафіолетових променів упродовж 8 годин зменшився з $2,1 \cdot 10^{13}$ Ом до $1 \cdot 10^{11}$ Ом.

Таким чином, виміри, які здійснюються у лабораторних умовах за температури 20—22°C та вологості 40—60 %, не дають реальних значень поверхневого опору. Методики вимірювання не враховують наявність неминучих зовнішніх електричних полів, всього різноманіття змінюваних зовнішніх факторів (полів іонізуючого випромінювання, температури, вологості, терміну впливу ультрафіолетових променів та ін.), можливостей контакту працівника в ЗО з різноманітними речовинами та твердими тілами (діелектриками і провідниками), які мають різну природу полімеризації. Лабораторні зразки зазвичай ретельно очищено, що суттєво підвищує рівень поверхневого опору.

У реальних умовах механічне і теплове навантаження, яке виникає в процесі трудової діяльності, впливає на поверхні матеріалів, у деяких випадках такий вплив супроводжується руйнуванням іонних шарів і структури полімерного матеріалу.

Необхідно відзначити, що електричні характеристики матеріалів безпосередньо впливають і на вибір технологій виготовлення. Виготовлення дослідних зразків захисного одягу з полімерних матеріалів показало, що технологію СВЧ-зварювання можна застосувати тільки для матеріалів, для яких коефіцієнт електричних втрат $\text{tg}\delta$ перевищує 0,01. Такий показник мають усі матеріали, виготовлені на основі ПВХ. Для матеріалів з поліетилену ($\text{tg}\delta = 0,0003$) можна використати тепловий метод зварювання, для поліпропілену ($\text{tg}\delta = 0,00002$) — ультразвукове зварювання.

Висновки до розділу 3

Запропоновано комплексний підхід до розробки та вибору матеріалів, призначених до виготовлення ЗІЗ, який передбачає використання полімерних матеріалів з прогнозованими захисними властивостями та визначеними фізико-механічними, електричними і гігієнічними характеристиками. Такий підхід дає змогу розробити матеріали,

призначені до виготовлення комплектів ЗІЗ різного функціонального призначення, з різними термінами експлуатації, вибрати найефективніші технології виготовлення, забезпечити стійкість до впливу наявних НШВЧ з мінімізацією додаткових ризиків травматизму, які можуть виникати у ході використання.

1. Створено п'ять композицій полімерних матеріалів на основі полімеру полівінілхлориду. Матеріали розрізняються за товщиною (0,1, 0,15, 0,3; 0,5) мм і відповідно фізико-механічними характеристиками, які визначено у ході дослідних тестувань у лабораторних умовах. Розроблені матеріали призначено для захисту від зовнішніх α -, β -випромінювань, сухих і рідких радіоактивних відходів. Запропоновано формулу до розрахунку коефіцієнтів захисту від α -, β -випромінювань, яка порівняно з наявною, зменшує інтервал невизначеності, враховує дискретні зміни товщини матеріалів і дає можливість формалізувати процес конструкторсько-технологічної розробки.

2. Розроблено три види матеріалів на основі полімеру полівінілхлориду, які обмежують негативний вплив на працівників γ -випромінювання. Захисні властивості матеріалів досліджено експериментально на робочому майданчику Південноукраїнської АЕС та на об'єкті «Укриття». Запропоновано формулу для оцінки коефіцієнта захисту, який залежить від виду матеріалу, його товщини та енергії зовнішнього γ -випромінювання.

3. Аналітичне та експериментальне визначення коефіцієнтів захисту нових матеріалів від α -, β -, γ -випромінювань дає змогу розробити рекомендації щодо конструкції і параметрів ЗІЗ за захисними критеріями на етапі проектною розробки.

4. Розроблено нову структуру багатошарових матеріалів з покриттям та визначено їх характеристики у лабораторних умовах. Нові матеріали мають широкий спектр захисних властивостей і поліпшені гігієнічні характеристики. Такі матеріали призначено до виготовлення ЗІЗ для захисту від низки хімічних речовин (пропан, бутан, соляна та сірчана кислоти, хлор, луги, ацетон, аміак, вода, нафтопродукти) з обмеженням додаткових ризиків порушення теплового стану працівників під час тривалих робіт.

5. Розроблено структуру текстильних композиційних матеріалів, які мають покращені захисні і гігієнічні характеристики. Визначено характеристики таких матеріалів і порівняно їх з аналогами Європейського виробництва. Такі матеріали рекомендовано в подальшо-

му використати у розробці фільтрувальних комплектів, призначених для тривалих робіт в умовах хімічного і радіоактивного забруднення.

6. Визначено у лабораторних умовах характеристики сучасних полімерних матеріалів, розроблених на основі полімерних волокон з поліетилену, поліпропілену і полієфіру. Встановлено, що матеріали з поліпропілену з поверхневою густиною ($60\text{--}90$) г/м² можна рекомендувати до виготовлення разового ЗО для щоденних робіт в контрольних зонах АЕС, матеріали з поліпропілену з поверхневою густиною ($20\text{--}40$) г/м² можна використовувати до виготовлення фільтрувальних півмасок для захисту від пилу і аерозолів з радіонуклідами.

7. Досліджено зміни фізико-механічних характеристик нових матеріалів під впливом температури. Підвищення і зниження температур зовнішнього середовища суттєво впливає на фізико-механічні характеристики полімерних матеріалів, змінюючи їх рівень до 40 %.

8. Здійснено серію експериментальних виміри електричних характеристик нових матеріалів. Показано, що поверхневий опір таких матеріалів знаходить в межах ($10^{10}\text{--}10^{14}$) Ом, що за певних виробничих умов на АЕС може призвести до виникнення на їхніх поверхнях електростатичних полів. Встановлено, що поверхневий опір є змінним параметром, кількісні значення якого залежать від композиції і технології виготовлення та низки чинників виробничого середовища: температури, вологості, ультрафіолетового та іонізуючого випромінювань. Показано, що виміри, які здійснюють у лабораторних умовах за температури ($20\text{--}22$)°С та вологості ($40\text{--}60$) % не дають реальних значень поверхневого опору, у виробничих умовах опір матеріалів знижується на кілька порядків. Рекомендовано під час визначення електричних характеристик полімерних матеріалів здійснювати їхнє корегування з використанням додаткових відомостей про умови застосування ЗІЗ.

9. Запропоновані полімерні матеріали мають підвищений рівень захисту від негативного впливу низки шкідливих чинників, притаманних умовам праці на АЕС, легко очищаються та екологічно чисто утилізуються. Це дає можливість розширити різновиди захисних виробів, впровадити суттєві відмінності у комплектацію ЗІЗ, поліпшити їх характеристики і розробити разового та багаторазового використання ізолювальні, радіаційнозахисні, та фільтрувальні комплекти.