

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

УДК 687.157.004

ТРЕТЯКОВА Л.Д.

НОВІТНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
ПРАЦІВНИКІВ АТОМНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

КИЇВ 2016

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ІНСТИТУТ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ  
КАФЕДРА ОХОРОНИ ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВОЇ ТА ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ

МОНОГРАФІЯ  
**НОВІТНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
ПРАЦІВНИКІВ АТОМНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ**

Рекомендовано Вченою радою  
Національного університету України «Київський політехнічний інститут»  
Протокол № 9 від 02.11.15 р.  
**РЕКОМЕНДОВАНО ДО ВИДАННЯ ВЧЕНОЮ РАДОЮ НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ  
ІНСТИТУТ». ПРОТОКОЛ № 9 ВІД 2 ЛИСТОПАДА 2015 РОКУ**

КИЇВ 2016

Монографія

**Новітні рішення проблеми індивідуального захисту працівників атомних електричних станцій /**

АВТОР: Л. Д. ТРЕТЯКОВА. – К.: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2016. –216 с.

АВТОР

д.т.н. Третьякова Л.Д.,

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР

к.б.н. Гусєв А.М.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

д.т.н. Колісниченко М.В., Київський національний університет технологій та дизайну, декан факультету дизайну;

доктор технічних наук, професор.

д.т.н. Кружилко 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

УДК 687.157.004

### АНОТАЦІЯ

Третякова Л.Д. Новітні рішення проблеми індивідуального захисту працівників атомних електричних станцій. – Монографія – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут, Київ, 2015.

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 станцій. 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.

Під час розроблення засобів індивідуального захисту, котрі відповідають сучасним вимогам щодо експлуатації, провідну роль відіграє правильний добір матеріалів до складу пакета, який базується на об'єктивній та всебічній оцінці його властивостей. **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-імовірного методу. Висвітлено методи структурної оптимізації конструкції ізолювального, радіаційнозахисного та фільтрованого 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 щоденних, регламентних і післяаварійних 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. Надано рекомендації щодо ефективніших методів з'єднання залежно від призначення, технологічних особливостей виробничого процесу та властивостей матеріалу.

**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.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	8
Вступ.....	9
РОЗДІЛ 1 .....	14
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 .....	26
1.4 Поточний рівень травматизму і профзахворювань .....	29
1.5. Принципи побудови детермінованих математичних моделей засобів індивідуального захисту .....	34
1.6. Огляд методів математичного моделювання, розрахунку та оптимізації .....	38
Висновки до розділу 1 .....	40
РОЗДІЛ 2 .....	42
ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКТІВ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ .....	42
2.1 Характеристика наявних засобів індивідуального захисту .....	42
2.2 Сучасний підхід у формуванні системи індивідуального захисту .....	45
2.3 Концепція конструктивно-технологічної розробки комплектів засобів індивідуального захисту .....	52
2.4 Зонально-модульна модель побудови конструкцій засобів індивідуального захисту .....	53
Висновки до розділу 2 .....	59
РОЗДІЛ 3 .....	61
КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ ТА ВИБОРУ МАТЕРІАЛІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ .....	61
3.1 Матеріали для ізолювального комплекту від радіоактивних забруднень .....	61
3.1.1 Вибір і дослідження показників матеріалів для комплектів разового використання .....	62
3.1.2 Розробка матеріалів для комплектів багаторазового використання .....	67
3.1.3 Показники захисних та експлуатаційних властивостей матеріалів .....	68
3.2 Розробка матеріалів для радіаційнозахисного комплекту .....	69
3.3 Розробка матеріалів для ізолювального комплекту від хімічноактивних речовин .....	72
3.4 Розробка і вибір матеріалів для фільтрувального комплекту .....	77
3.5 Експериментально-розрахункова оцінка захисних властивостей матеріалів від зовнішніх альфа і бета випромінювань .....	81
3.6 Експериментально-розрахункова оцінка показників захисту матеріалів від зовнішнього гамма-випромінювання .....	84
3.7 Оцінка впливу виробничих умов на електричні характеристики матеріалів .....	90
Висновки до розділу 3 .....	94
РОЗДІЛ 4 .....	96
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПЛЕКТІВ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ .....	96
4.1 Постановка завдань оптимізації .....	96
4.2. Формалізація процедури надання вихідної інформації .....	100
4.3 Структурна оптимізація пакетів радіаційнозахисного комплекту .....	105
4.3.1. Рекомендації щодо створення пакетів матеріалів .....	105
4.3.2. Вибір оптимального розподілу багаточасового пакету .....	106
4.4 Структурна оптимізація ізолювальних комплектів .....	113
4.4.1. Рекомендації щодо створення пакетів матеріалів та комплектності .....	113

4.3.2. Вибір оптимального складу та конструкції .....	116
4.5 Структурна оптимізація фільтрувального комплекту .....	120
Висновки до розділу 4.....	122
<b>РОЗДІЛ 5 .....</b>	<b>125</b>
<b>ПРАКТИЧНА РОЗРОБКА БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПЛЕКТІВ ЗАСОБІВ</b>	
<b>ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ .....</b>	<b>125</b>
5.1. Розробка конструктивно-технологічних рішень ізолювальних комплектів для захисту від радіоактивних забруднень.....	125
5.1.1. Вибір різновидів та конструктивних рішень для захисного одягу .....	125
5.1.2. Розробка конструктивно-технологічних рішень для респіраторів.....	130
5.1.3. Особливості технології виготовлення.....	133
5.2. Розробка конструктивно-технологічних рішень для ізолювальних комплектів від хімічноактивних речовин .....	134
5.2.1. Вибір різновидів та конструктивних рішень для захисного одягу .....	134
5.2.2. Розробка конструктивно-технологічних рішень для фільтрувального каптура ....	137
5.2.3. Особливості технології виготовлення.....	138
5.3. Розробка конструктивно-технологічних рішень радіаційнозахисних комплектів .....	140
5.3.1. Вибір різновидів та конструктивних рішень для захисного одягу .....	140
5.3.2. Особливості технології виготовлення .....	145
5.4. Розробка конструктивно-технологічного рішення фільтрувальних комплектів.....	147
5.4.1. Вибір різновидів і конструктивних рішень для захисного одягу .....	147
5.4.2 Розробка конструктивно-технологічних рішень протигазів .....	149
5.4.3. Особливості технології виготовлення .....	153
<b>Висновки до розділу 5 .....</b>	<b>154</b>
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>156</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>158</b>

## 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
MD	Розривальне навантаження за довжиною матеріалу
CD	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, оскільки 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 зміненням 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 обґрунтованої 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 передуює вибір матеріалу з відповідними характеристиками. Залежно від цільового призначення до ЗІЗ висувують 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 комплекту 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, радіаційнозахисного, 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, графоаналітичних, 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 висувують 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), Kärcher (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).



Рис. 1.1 Комплексні показники ЗІЗ

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 безперебійного 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  $\beta$ -активних аерозольних забруднень високої концентрації (до  $10^{-8}$  Ки/дм<sup>3</sup>), зовнішнє іонізуюче випромінювання, рідкі радіоактивні речовини. У приміщеннях категорії Б забруднення містять  $\beta$ -активні аерозолі і місцеві розливи рідких радіоактивних речовин. У приміщеннях категорії В можливий вплив  $\beta$ -активних аерозолів малої концентрації.

Найбільшу небезпеку становлять ремонтні роботи, які здійснюють під час розкриття закритих зон (гермозони) та всередині реактора. Ці ділянки характеризуються підвищеним  $\gamma$ -фоном та осколковим забрудненням з  $\beta$ -частинками. В аварійних ситуаціях фіксують додатково вплив  $\alpha$ -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  $\beta$ -випромінювання зі щільністю потоку  $\beta$ -частинок від 10 000 до 20000 частинок/(м<sup>2</sup>·с). Головний циркуляційний трубопровід, парогенератори зумовлюють виникнення  $\gamma$ -випромінювання з енергіями від 0,4 до 10 МеВ і потужністю експозиційної дози від  $1 \cdot 10^{-3}$  до 10 Р/год. У сховищах РАВ

зафіксовано  $\alpha$ -випромінювання, спричинені дочірніми продуктами торону, радону  $^{222}\text{Rn}$ , кюрію  $^{242}\text{Cm}$ , плутонію ( $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ) [25, 26]. На діючих АЕС серед продуктів розпаду ядерного палива небезпеку становить радіонуклід йоду та його ізомери з масовими числами від  $^{128}\text{I}$  до  $^{139}\text{I}$ , 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.  $\text{м}^3$  низькоактивних, 1 786  $\text{м}^3$  середньоактивних і 166  $\text{м}^3$  високоактивних твердих РАВ і 12,3 тис.  $\text{м}^3$  рідких РАВ. У сховищах міжобласних спецкомбінатів зберігається 650 тис.  $\text{м}^3$  РАВ. У результаті роботи АЕС до 2017 року буде ще накопичено більш як 165 тис.  $\text{м}^3$ . Унаслідок аварії на Чорнобильській АЕС у зонах відчуження утворилось 2 800 тис.  $\text{м}^3$  РАВ різних типів, у сховищах об'єкта “Укриття” міститься майже 1 700 тис.  $\text{м}^3$  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 поведінкою 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 тканинах. Базовою величиною, використовуваною 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  $E_\tau$ , отриману від впливу окремих радіонуклідів упродовж часу  $\tau$  визначають за формулою [12]:

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

де  $H_p(10)$  – еквівалент індивідуальної дози на глибині 10 мм в м'якій тканині за період часу  $\tau = 50$  років;  $e_{jп}$  і  $e_{jIH}$  – коефіцієнти дози під час потрапляння  $j$ -го радіонукліда відповідно пероральним або інгаляційним способом (Дж год)/м<sup>3</sup>;  $I_{jп}$ ,  $I_{jIH}$  – прихована енергія випромінювання  $j$ -го радіонукліда за період часу  $\tau$  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 введено 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 захисту (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.

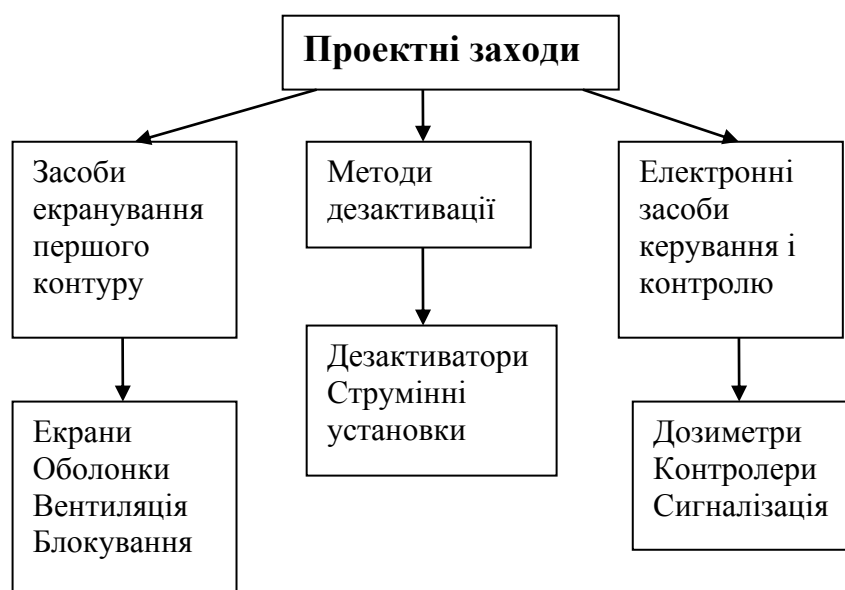


Рис. 1.2 Проектні інженерно-технічні рішення

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

$$Z = C_k + (C_{\text{ф}} + C_{\text{н}}) \cdot K_c, \quad (1.2)$$

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

де  $C_k$  – капітальні вкладення (інвестиції),  $C_{\text{ф}}$  і  $C_{\text{н}}$  – 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 незапланованих 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 As Reasonable Achievable (ALARA) [41, 42]. На цьому етапі заходи та їхні обсяги залежатимуть від наявних рівнів опромінення.



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

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;
- 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 четвертого 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 прилеглій 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. N 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). Порівняно з 2007 роком кількість працюючих у шкідливих умовах збільшилася у 1, 8 разів.

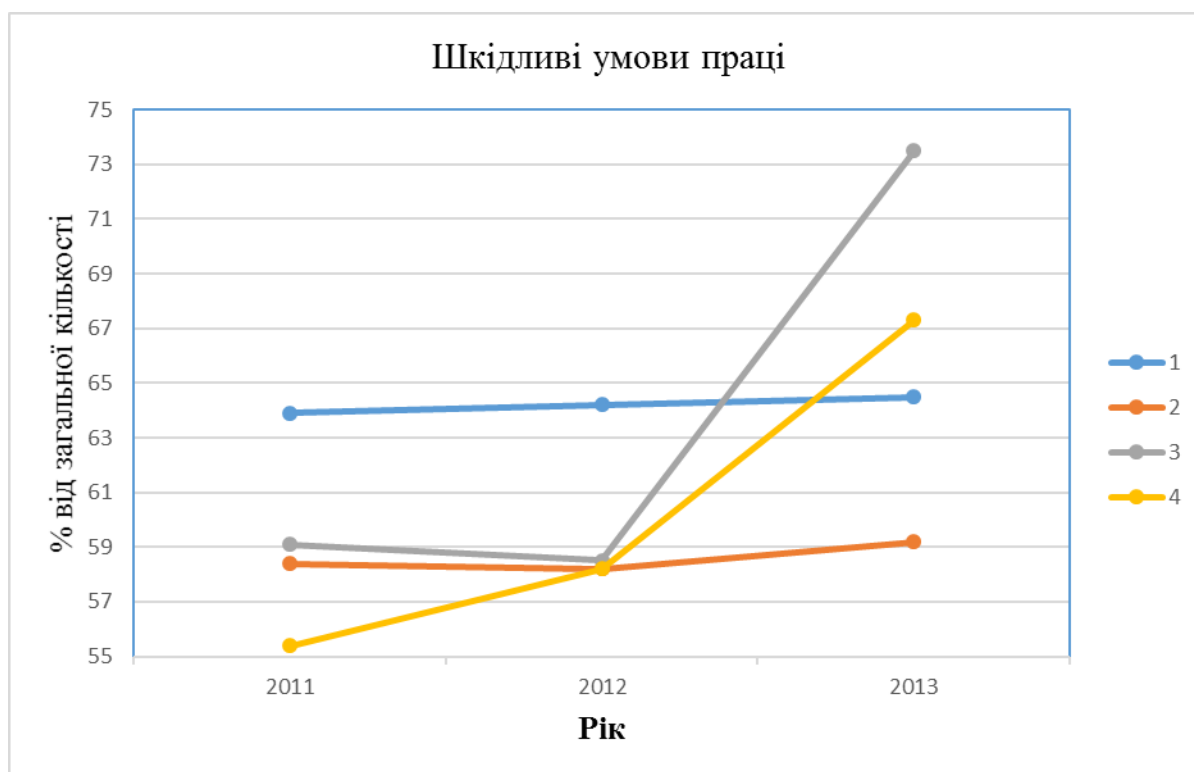


Рис. 1.4. Динаміка зміни кількості працюючих (у процентах загальної кількості) в шкідливих умовах на АЕС: 1 – Хмельницька АЕС; 2 – Рівненська; 3 – Запорізька; 4 – загалом за усіма АЕС.

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 зростає (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Динаміка зміни кількості працюючих (у процентах загальної кількості) під впливом іонізуючого випромінювання на Хмельницькій АЕС

Аналіз умов праці на кожній з чотирьох АЕС виявив певні особливості, про що свідчить аналіз статистичної інформації за 2012 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	Південноукраїнська АЕС
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
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	Південноукраїнська 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	Південноукраїнська 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 багатофункціональних 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, аерозолі, 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).

Таблиця 1.4

## Розподіл радіоактивних ізотопів

Ізотопи	Характеристика розподілу
Тритій, вуглець, залізо,	Розподіляються рівномірно в організмі людини

полоній	
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

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.

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.  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінювання по-різному впливають на організм людини.  $\alpha$ -,  $\beta$ -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 опромінення залишаються тільки  $\beta$ -випромінювання високих енергій і  $\gamma$ -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 опромінюються.

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 см<sup>2</sup> 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 напряму 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 виробів або 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 поєдинокординатного 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 експлуатації 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 формують 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  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -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:

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

$$Y_j = B_1 X + B_2 X^2 + B_3 X^3 + \dots + B_n X^n + B_0 ,$$

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 направлено 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, Джеффріона-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 процесів 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 розглядаються. 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 покрокової 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 приращення 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 убезпечення 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 конструкцій 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  $\beta$ -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.

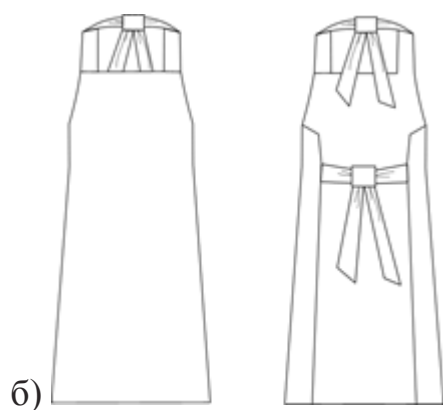
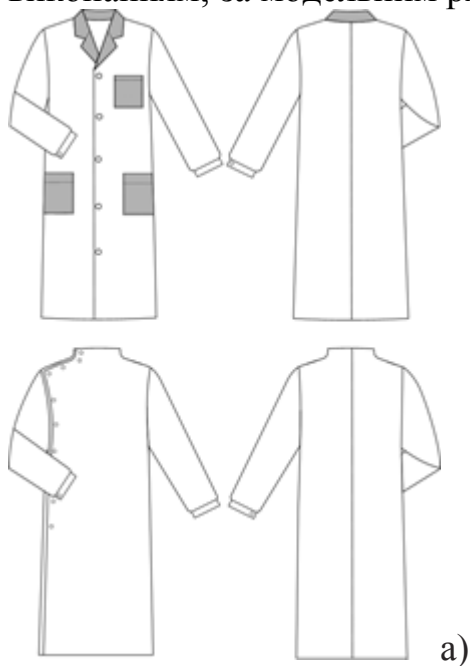
Аналіз статистичної інформації, отриманої автором упродовж останніх десяти років, показав, що на АЕС України використовують сім основних видів ЗІЗ (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

### Сучасний стан забезпечення персоналу АЕС ЗІЗ

Види ЗІЗ	Кількість ЗІЗ за роками, шт.		
	2010	2011	2012
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).



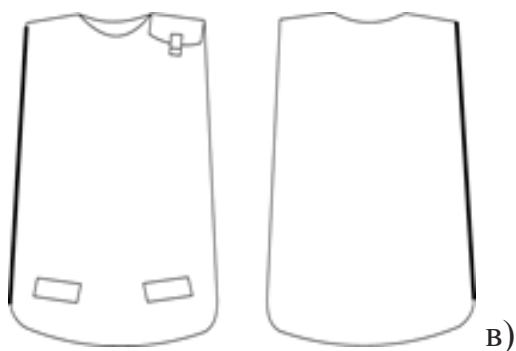


Рис. 2.1. Проектно-конструктивні рішення існуючих різновидів захисного одягу українського виробництва: а – халати з бавовни; б – фартух з прогумованого матеріалу; в – накидка з прогумованого матеріалу зі свинцевим наповнювачем

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

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 ( $^{128}\text{I}$  до  $^{139}\text{I}$ ) [83]. Ізолювальний одяг недостатньо захищає від  $\beta$ -випромінювання і практично не захищає від  $\gamma$ -випромінювання [84]. Для захисту від  $\gamma$ -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.

Ізолювальний 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, супроводжуючись мимовільними різкими рухами, в результаті яких можуть бути падіння і травми (забиті місця). Більшість людей відчувають 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 подразнень 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  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -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 PPP3, 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 ( $^{128}\text{I}$  до  $^{139}\text{I}$ ) [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).

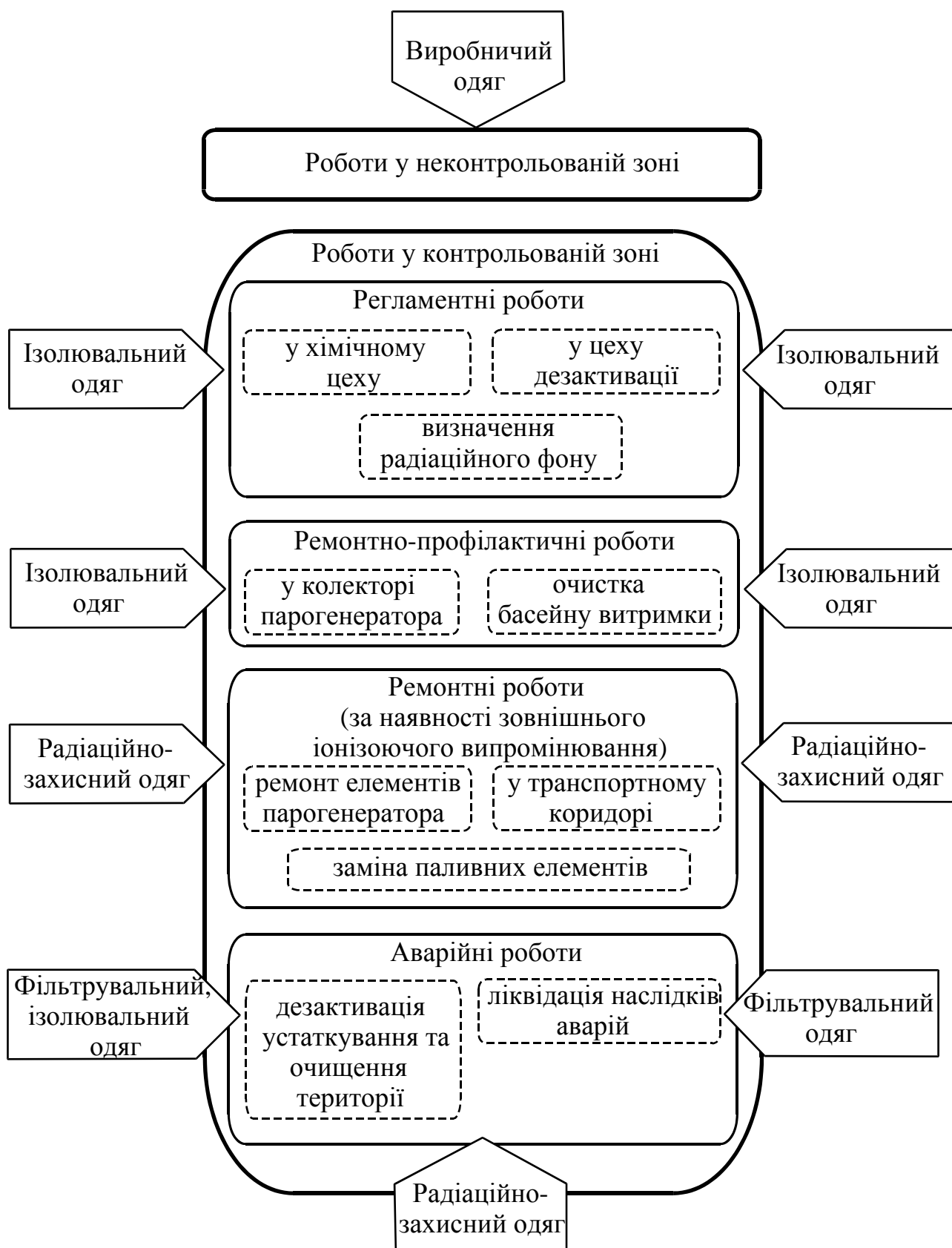


Рис. 2.4. Види робіт на території АЕС з рекомендованим переліком різновидів комплектів ЗІЗ

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.

### **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 багатoelementна 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 розробляють 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).

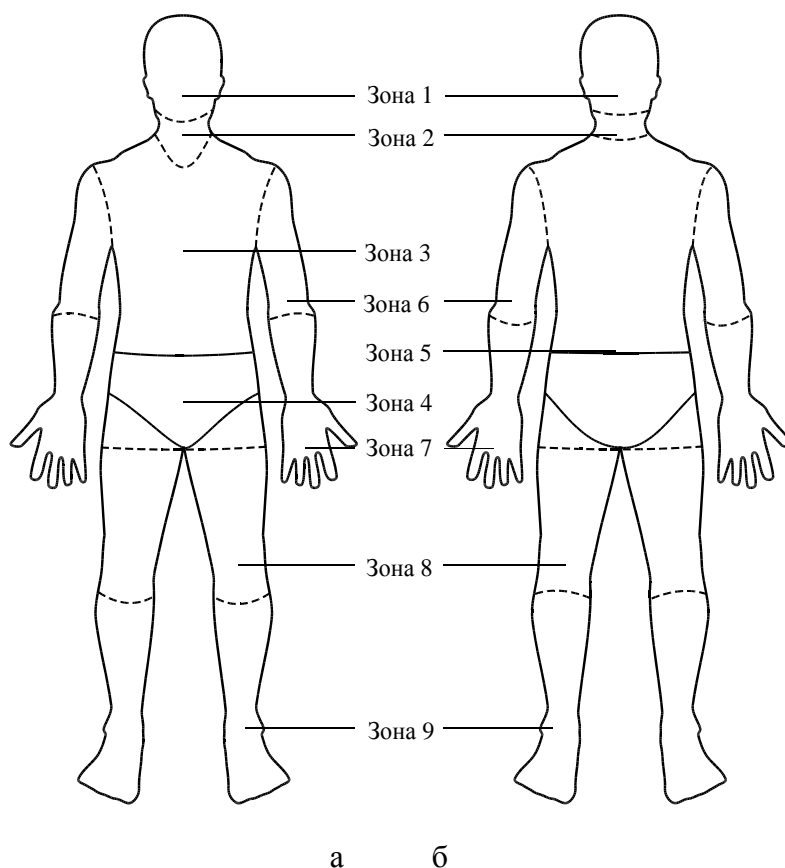


Рис. 2.6. Зовнішній вигляд тіла людини із позначенням зон: а – вид спереду; б – вид ззаду.

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 штанів. Характеристики зон наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Характеристика зон тіла людини

Назва зони (кодоване позначення 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)	Плеche, 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  $M(Z_i) = \underline{A}$ , де  $\underline{A}_i$  – оцінка математичного очікування шуканої розмірної ознаки.

Величина  $\underline{A}$  перебуватиме в межах довірчого інтервалі

$$\underline{Z}_i - \varepsilon_\beta \leq \underline{A} \leq \underline{Z}_i + \varepsilon_\beta \quad (2.1)$$

де  $\varepsilon_k$  – верхня межа похибки результатів розрахунку, яка визначається за відомого значення середньоквадратичного відхилення  $\sigma_{Z_i}$  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;  $\alpha$  – 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:



$$M(S_j) = M(Z_i) \cdot M(Z_i);$$

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

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

З урахуванням особливостей проектування 3О 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 багатошарових модулів

$$S_3 = D_{\text{тп}} \cdot \left( \text{Ш}_r + \frac{O_{r1} - \text{Ш}_c - \text{Ш}_r}{2} \right), \quad (2.6)$$

де  $D_{\text{тп}}$  – відстань від точки основи шиї до лінії талії спереду, см;  $\text{Ш}_r$  – ширина грудей, см;  $\text{Ш}_c$  – ширина спини, см;  $O_{r1}$  – обхват грудей перший, см.

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

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

де  $D_{\text{сп}}$  – відстань від лінії талії до підлоги спереду, см;  $D_{\text{н}}$  – довжина ноги внутрішньої поверхні, см;  $O_c$  – обхват стегон з врахуванням виступу живота, см.

У зоні 5 проектують спинку виробу

$$S_5 = D_{\text{тп}} \cdot \left( \text{Ш}_r + \frac{O_{r1} - \text{Ш}_c - \text{Ш}_r}{2} \right) + \left( (D_{\text{сп}} - D_{\text{н}}) \cdot \frac{O_c}{2} \right). \quad (2.8)$$

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 проектують штани і додаткові вироби (наколінники, бахіли тощо)

$$S_8 = 2(B_{\text{п.с}} - B_{\text{к}}) \cdot O_{\text{ст}};$$

$$S_9 = 2B_{\text{к}} \cdot O_{\text{к.з}}, \quad (2.10)$$

де  $B_k$  – висота колінної точки, см;  $B_{п.с}$  – висота підсідничної складки, см;  $O_{ст}$  – обхват стегон, см;  $O_{к.з}$  – 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).

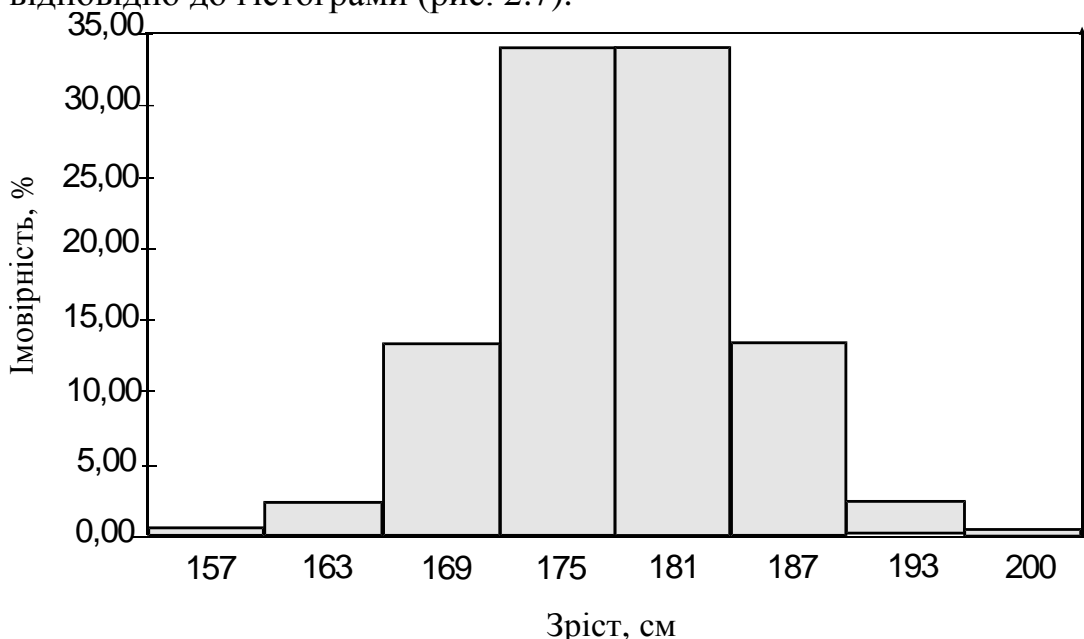


Рис. 2.7. Гістограма розподілу росту працівників в Україні

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 <sup>2</sup>	Довірчий інтервал $\varepsilon(S_{ij})$ , см <sup>2</sup>
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 –  $M[S_n] = 2,1035 \text{ м}^2$ ; з урахуванням антропологічних особливостей працівників змінюється в межах від 1,9922 до 2,2148  $\text{м}^2$ ; коефіцієнт варіації  $K_v[S_n] = 0,052$ . Перевірка за критерієм Пірсона показала, що гіпотеза про підпорядкування випадкових величин  $S_n$  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, рідких радіоактивних забруднень і  $\beta$ -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 багатoelementна 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 комплексу 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 комплексу 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,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінювання, хімічно та біологічно активних речовин. Особливо цінується збереження цих властивостей у багаторазовому носінні й пранні. Використання для виготовлення ЗО матеріалів з нових сировинних композицій дає змогу знизити стомлюваність людини і підвищити ефективність її праці.

Проаналізовано можливість застосування до виготовлення виробничого ЗО сучасних матеріалів з волокон поліефіру, поліпропілену, поліетилену. Для дослідження і виготовлення дослідних зразків ЗО 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 нетканых матеріалів	Умовне позначення	Технологія виготовлення	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup>
Поліефір	Н1	Термобондінг	0,84	138
Поліефір 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 УкрНДПВ (м. Київ) відповідно до діючих стандартів.

Досліджено вітчизняні неткані поліефірні і мішані (поліефір 60 %, бавовна – 40 %) матеріали, виготовлені методом терморбондингу (Рівненський завод нетканых матеріалів). Поверхнева густина матеріалів знаходиться в межах 130... 183 г/м<sup>2</sup>. Визначено показники ФМХ для нетканых 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 <sup>2</sup>	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, $\text{дм}^3/(\text{дм}^2 \cdot \text{хв})$	320

Такі неткані матеріали є повітропроникними і водопоглинаючими, мають невисоку вартість. Встановлено, що такі матеріали не можна безпосередньо застосовувати для виготовлення 3О, 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 3О, 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)  $\text{г/м}^2$ . 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, $\text{г/м}^2$



	П1	П2	П3	П4
	25	42	60	80
Розривальне навантаження, Н: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	30 20	60 40	80 60	80 60
Видовження під час розривання, %	150	150	150	180
Стійкість до УФВ, %, після 500 годин	40	40	40	40
Повітропроникність, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	250	130	32	28
Поверхневий електричний опір, Ом	$1 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^9$

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 °С, сушіння – за температури до 100 °С, стерилізація – на водяній парі за температури 134 °С.

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, $\text{г}/\text{м}^2$				
	40	60	100	30	60
Розривне навантаження, Н: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	90 53	130 80	220 145	25 22	80 70
Подовження під час розривання, %	12	8	5	10	15
Повітропроникність, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	280	250	200	20	17

Поліпропіленове полотно з кодovими 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 3О (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 <sup>2</sup>		
	К	С	Ф
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup>	41,0	83,0	116,8
Розривальне навантаження, Н:			
у поздовжньому напрямку	14,6	17,9	23,8
у поперечному напрямку	12,6	14,5	24,6
Видовження під час розривання, %			
у поздовжньому напрямку	40,2	25,4	12,6
у поперечному напрямку	42,5	22,4	12,4
Опір роздиранню, Н			
у поздовжньому напрямку	13,2	15,5	19,6
у поперечному напрямку	12,6	15,3	25,9
Стійкість до проколювання, Н	2,8	4,9	6,1
Стійкість до багаторазового згину, килоциклів	100	100	100
Поверхневий електричний опір, Ом	1·10 <sup>13</sup>	1·10 <sup>13</sup>	3·10 <sup>13</sup>

Матеріал з кодовим позначенням **К** захищає від частинок дрібнодисперсного 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 °С до плюс 135 °С. 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-дрібного пилу, порошоків,

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 П3 (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Характеристики матеріалу П3 з нетканих волокон поліпропілену

Найменування показників	Значення показників
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	84,0
Паропроникність, мг/(см <sup>2</sup> ·год)	0,19
Питомий поверхневий електричний опір, Ом	$2,8 \cdot 10^{12}$

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  $\alpha$ -,  $\beta$ -іонізуючих випромінювань від зовнішніх джерел та від сухих і рідких РАВ.

Найповніше вказаним вимогам задовольняють полімерні матеріали, виготовлені на основі полівінілхлориду (ПВХ), що підтверджується 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. Смола 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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>	180,1	118,6
Товщина, мм,	0,15	0,1
Розривальне навантаження, Н, не менше:		
у подовжньому напрямку	92,6	85,5
у поперечному напрямку	76,5	61,3
Видовження під час розривання, %		
у подовжньому напрямку	180	344,8
у поперечному напрямку	160	426,8
Опір роздиранню, Н:		
у подовжньому напрямку	12	2,6
у поперечному напрямку	10	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 пилонепроникним. 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- пластикати 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 багатоелементної суміші оксидів рідкоземельних елементів або солей вольфраму надає матеріалам нові захисні властивості – поглинання  $\beta$ -,  $\gamma$ -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	Умовне позначення матеріалу	Кількість шарів	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup>
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  $\gamma$ -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 підвищує захисні властивості від  $\beta$ - випромінювання і не впливає на густину матеріалу. Запропоновані матеріали мають такі переваги:

1. Не містять свинцю.
2. Вирізняються 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	
	P31	P32
	Значення показників	
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup>	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 $\gamma$ - випромінювання, $\text{см}^{-1}/\text{Г}$ 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
Жорсткість, сН	7,02	5,72
Поверхневий електричний опір, Ом	$5,1 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{11}$
Рівень радіоактивного забруднення після деактивації *, $\beta$ част/см <sup>2</sup>	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 °С. За підвищення температури більш як 30 °С зафіксовано зменшення рівня механічних характеристик (рис. 3.1).

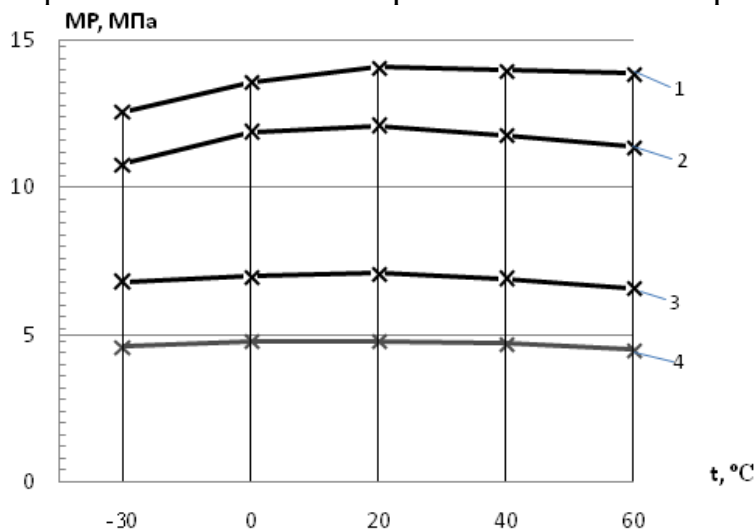


Рис. 3.1. Залежність ФМХ матеріалу Р31, Р32 від температури:

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  $B_i, B_0$

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  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  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 полотно 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 °С 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 розбракування продукції за температури 160...180 °С.

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 <sup>2</sup>
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	
	ІВ3	ІВ4
1	2	3
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup>	270	416
Товщина, мм	0,356	0,57
Розривне навантаження, Н, не менше:		
у поздовжньому напрямку	93,4	513,0
у поперечному напрямку	78,8	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 нетканим матеріалом, Н/см	Не розшаровується	Не розшаровується
Стійкість до багаторазового згинання, килоцикли	100	100
Паропроникність, мг/(см <sup>2</sup> ·год)	2,3	0,2
Повітропроникність, дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·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	7,9·10 <sup>13</sup>	1,5·10 <sup>11</sup>
Стійкість до дії агресивних речовин під чіс 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 – нафтою – бензином – вайт-спіритом	Не проникає Не проникає Не проникає Не проникає Не проникає Не проникає  Не змінюється Не змінюється Не змінюється Зміни незначні Стає жорсткішим	Не проникає Не проникає Не проникає Не проникає Не проникає  Не змінюється Не змінюється Не змінюється Зміни незначні Стає жорсткішим
Кислотозахисні властивості	Кислотозахисна	Кислотозахисна

Кислотопроникність	Кислотонепроникна,	Кислотонепроникна,
Кислотостійкість	Кислотостійка	Кислотостійка
Пилопроникність, г/м <sup>2</sup>	Відсутня	Відсутня
Відчищуваність від виробничих забруднень, бал		
– від пилу	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/м<sup>2</sup> 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 дала змогу забезпечити паропроникність – одну з головних гігієнічних характеристик, особливо до матеріалів з покриттям, на рівні 2,3 мг/(см<sup>2</sup>·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 підодяговому 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 паро- 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  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  суттєво збільшує вогнестійкість ЗО.

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

6. Матеріал має невелику вартість.

Для оцінки впливу коливань температури на ФМХ матеріал піддавався випробуванням за методикою, яку наведено у [116]. Діапазон температур змінювався від  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 3.3).

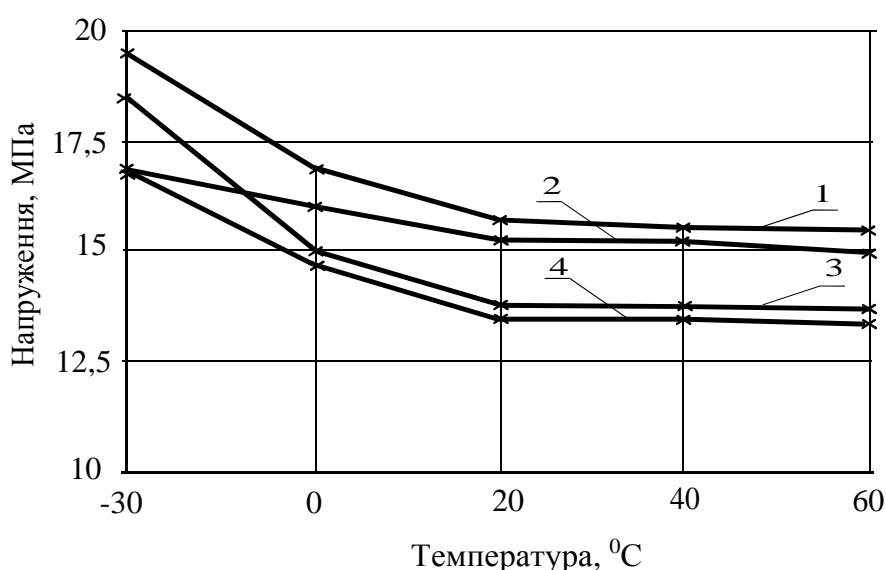


Рис. 3.3. Залежність ФМХ матеріалу ІВЗ і швів від температури:

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 °С вони не втрачають свої властивості.

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

### 3.4 Розробка і вибір матеріалів для фільтрувального комплексу

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 структурі 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 <sup>2</sup>	Лінійна густина нитки, текс	Товщина, мм	Число петельних рядків і стовпчиків на 100 мм
Матеріали поверхневого шару					
Двошарове трикотажне поліефірне полотно	ТР1	338	11,0	2,4	105/258
Двошарове трикотажне поліефірне полотно	ТР2	286	11,0	2,3	105/248
Матеріали внутрішнього шару					
Клейове трикотажне поліамідне полотно	ТКП	144	13,3	0,7	90/140
Матеріали середнього шару					
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

ЕВ-R2», без зволоження, за температури  $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  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, $\text{г/м}^2$	Товщина, мм	Повітропроникність за тиску 50 Па, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
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 KÄRCHER 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	Умове позначення	Кількість шарів	Товщина, мм	Поверхнева густина, $\text{г/м}^2$
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 <sup>2</sup>	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	326	1785	1126
	260	242	884	746
Видовження під час розривання, %: у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	27	24,6	17,2	12,6
	134	100,6	34,6	13,2
Жорсткість, сН	12	12,0	16,6	
Повітропроникність (50 Па), дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с)	283	336,0	60,3	109
Водотривкість, мм вод.ст	136	68	51	
Паропроникність, мг/(см <sup>2</sup> ·год)	8,14	9,7	8	6,6
Стійкість до проколювання, Н	23,3	23,3	23,5	23,5
Поверхневий електричний опір, Ом	1,6·10 <sup>8</sup>	1,6·10 <sup>8</sup>	2,4·10 <sup>9</sup>	2,4·10 <sup>9</sup>
Роздиральне навантаження, Н у поздовжньому напрямку у поперечному напрямку	15	15	54	49
	22	22	52	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 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с), зі зворотного – 320 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с). Головним фільтрувальним шаром для токсичних речовин парів і газів є вуглецеві волокна, які є внутрішніми антистатиками, що суттєво збільшує електропровідність матеріалу до рівня 1,6·10<sup>8</sup> 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).

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

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

Матеріал Ф2 є водонепроникним, 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 випливає 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 бета випромінювань

Особливістю умов праці на АЕС є комплексний вплив НШВЧ, включно з  $\alpha$  і  $\beta$ -випромінюваннями. Оцінку захисних властивостей матеріалів від  $\alpha$ -,  $\beta$ -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  $^{239}\text{Pu}$ , цезій  $^{137}\text{Cs}$ , стронцій  $^{90}\text{Sr}$  та ітрій  $^{90}\text{Y}$  з активністю  $10^5 \dots 10^7$  Бк). Радіометр, який використано, має змогу вимірювати щільність потоку частинок у діапазоні  $(10 \dots 10^5)$  част./ $(\text{см}^2 \text{ хв})$  з похибкою не більш як 10 %.

Відомо, що ослаблення щільності частинок досягають через збільшення товщини захисного матеріалу або його шарів [123]. Технологія виготовлення матеріалів не забезпечує фіксованого значення товщини: у матеріалі з кодовим позначенням В1 вона змінюється в межах 0,12...0,15 мм, у ІВ3 – 0,3...0,36 мм. Матеріали з площею активної поверхні  $8 \dots 10 \text{ см}^2$  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./( $\text{с}\cdot\text{см}^2$ )	
	$\alpha$ -част.	$\beta$ -част.	$\alpha$ -част.	$\beta$ -част.	$\alpha$ -част.	$\beta$ -част.	$\alpha$ -част.	$\beta$ -част.
$^{239}\text{Pu}$	606	1131	0,10	100	0	0,6	0	0
$^{137}\text{Ce}$	308	14171	105	6118	52	3316	2	10
$^{90}\text{Sr}, ^{90}\text{Y}$	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./( $\text{с}\cdot\text{см}^2$ )	
	$\alpha$ -част.	$\beta$ -част.	$\alpha$ -част.	$\beta$ -част.	$\alpha$ -част.	$\beta$ -част.	$\alpha$ -част.	$\beta$ -част.
$^{239}\text{Pu}$	606	1131	0,10	0,8	0	0,5	0	0
$^{137}\text{Ce}$	308	14171	236	11181	170	9196	26	1000
$^{90}\text{Sr}, ^{90}\text{Y}$	58	2521	38	1925	28	1554	18	1320

Таблиця 3.21.

Характеристика захисної здатності композиційного текстильного матеріалу (кодове позначення Ф2)

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./ ( $\text{с}\cdot\text{см}^2$ )	
	$\alpha$ -част.	$\beta$ -част.	$\alpha$ -част.	$\beta$ -част.	$\alpha$ -част.	$\beta$ -част.	$\alpha$ -част.	$\beta$ -част.
$^{239}\text{Pu}$	606	1131	1,3	3,2	0,80	2,5	0	1,0
$^{137}\text{Ce}$	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  $K_3$  і розраховувати його за формулою:

$$K_3 = \frac{J_s - J_f}{J_d - J_f}, \quad (3.1)$$

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  $\alpha$ - і  $\beta$ - випромінювань  $K_{3\alpha}$ ,  $K_{3\beta}$  розраховувати за формулою:

$$K_{3\beta} = K_{3\alpha} = \left( 1 - \frac{J_N - J_f}{J_0 - J_f} \right), \quad (3.2)$$

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  $\alpha$ -частинок – 0,01 імп./( $\text{с}\cdot\text{см}^2$ ), для  $\beta$ -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  $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$  для визначених матеріалів та отримано такі лінійні апроксимації (з коефіцієнтом кореляції 0,94...0,96).

1. ПВХ-пластикат з кодовим позначення В1

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

2. Матеріал з покриттям з кодовим позначення ІВ3

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

3. Композиційний матеріал з кодовим позначення Ф2

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

У ході робіт працівники можуть піддаватися потоку  $\alpha$ -і  $\beta$ -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  $\alpha$  і  $\beta$ -випромінювань має матеріал ПВХ-пластикат В3, який забезпечує практично повний захист за тришарової конструкції ЗІЗ. КТМ за тришарової конструкції може забезпечити коефіцієнт захисту від  $\alpha$ -випромінювань на рівні 0,74...0,83 та від  $\beta$ -випромінювань – 0,63...0,77, матеріал з покриттям ІВ3 відповідно від  $\alpha$ -випромінювань – 0,86...0,92, від  $\beta$ -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  $\gamma$ -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  $^{60}\text{Co}$  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).

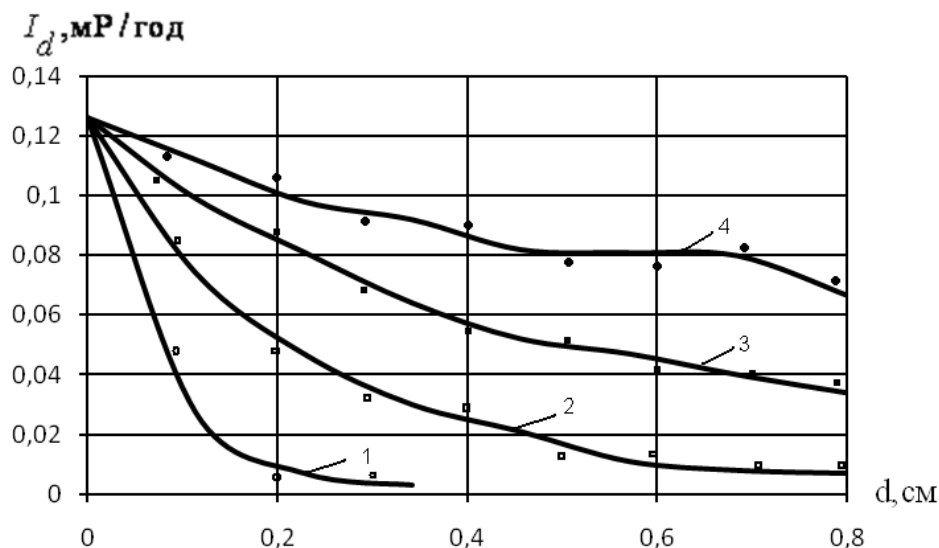


Рис. 3.5. Залежність потужності експозиційної дози  $\gamma$ -випромінювання від товщини матеріалу Р31 за енергії: 1 – до 10 кеВ; 2 – до 60 кеВ; 3 – до 200 кеВ; 4 – до 662 кеВ.

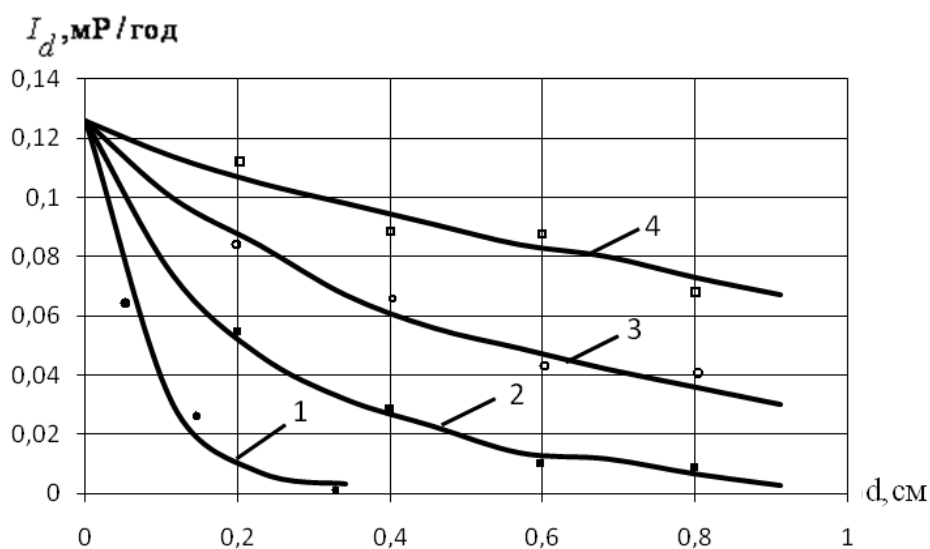


Рис. 3.6. Залежність потужності експозиційної дози  $\gamma$ -випромінювання від товщини матеріалу Р32 за енергії: 1 – 10 кеВ; 2 – 60 кеВ; 3 – 200 кеВ; 4 – 662 кеВ.

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  $\gamma$ -випромінювання від товщини

матеріалу Р31 мають вигляд:

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

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

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

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

Аналітичні залежності зміни потужності  $\gamma$ -випромінювання від товщини матеріалу Р32 мають вигляд:

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

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

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

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

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

$$K_{з\gamma} = \frac{I_0}{I_d}. \quad (3.6)$$

Відомо [126], що ослаблення потужності дози  $\gamma$ -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;  $\mu$  – лінійний коефіцієнт ослаблення,  $\text{см}^{-1}$ ;  $d$  – товщина захисного шару, см;  $I_d$  – потужність експозиційної дози після захисного шару, мР/год.

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

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

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,  $\text{см}^{-1}$ ;  $\sigma[\mu]$  – 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  $D_{\mu}$  – 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 Р31

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 Р32

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  $\gamma$ -випромінювання в  $K_{3\gamma}$  разів з урахуванням (3.8) має вигляд:

$$n = \frac{\ln K_{3\gamma}}{\mu \cdot d_0}, \quad (3.12)$$

де  $d_0$  – товщина матеріалу.

Графічно такі залежності для очікуваного рівня енергій  $\gamma$ -випромінювання і заданого  $K_{3\gamma}$ , які безпосередньо можна використовувати на етапі конструктивно-технологічної розробки, наведено (рис. 3.7, 3.8).

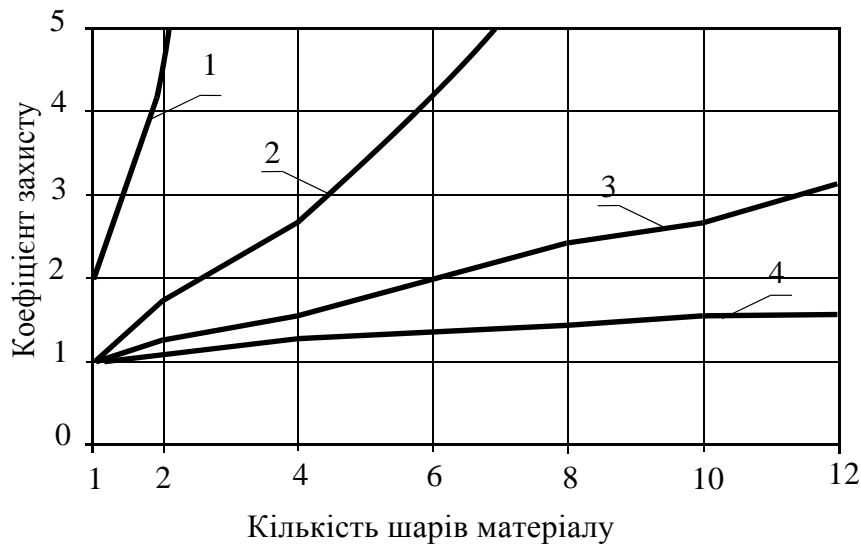


Рис. 3.7. Залежність коефіцієнта захисту  $K_{3\gamma}$  від кількості шарів  $n$  матеріалу Р31 за енергії  $\gamma$ -випромінювання: 1 – до 10 кеВ; 2 – до 60 кеВ; 3 – до 200 кеВ; 4 – до 662 кеВ.

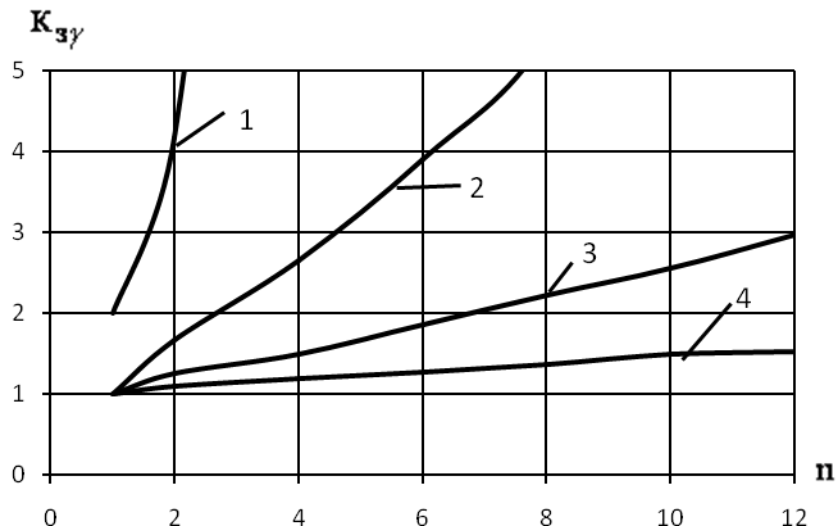


Рис. 3.8. Залежність коефіцієнта захисту  $K_{3\gamma}$  від кількості шарів  $n$  матеріалу Р32 за енергії  $\gamma$ -випромінювання: 1 – до 10 кеВ; 2 – до 60 кеВ; 3 – до 200 кеВ; 4 – до 662 кеВ.

У роботі передбачено розробку конструкцій здійснити за зонально-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:



$$K_{\gamma} = \exp \left[ \mu \cdot \frac{\sum_{i=1}^9 (S_i \cdot d_i)}{S_n} \right], \quad (3.14)$$

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

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

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  $\alpha$ -частинки з енергіями 4...10 МеВ і від  $\beta$ -випромінювання з енергіями до 3,0 МеВ. За енергії  $\beta$ -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  $\alpha$ - і  $\beta$ -випромінювань.

Аналітична оцінка захисних властивостей матеріалів Р31 і Р32 від дії  $\gamma$ -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  $\gamma$ -випромінювання.

### 3.7 Оцінка впливу виробничих умов на електричні характеристики матеріалів

Усі полімерні матеріали є діелектриками, утім різні композиції, технології (терморбондинг, 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 тераометрів Е6-13А (поверхневий опір) і МІ 3200 (об'ємний опір).

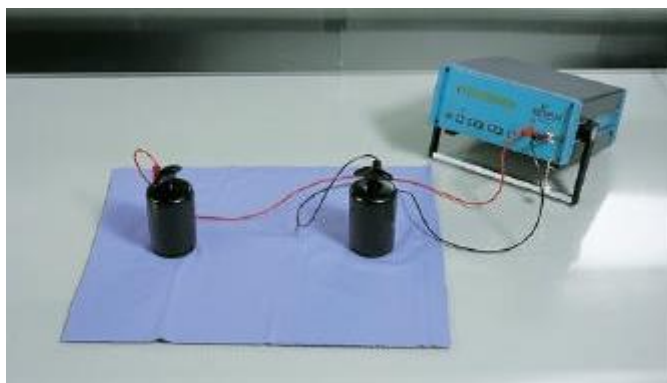


Рис. 3.9. Вимірювання поверхневого опору матеріалу.

Враховуючи, що статична електрика поверхнєве 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 витоку. 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 °С до + 60 °С, відносна вологість – 60 % (рис. 3.10, 3.11).

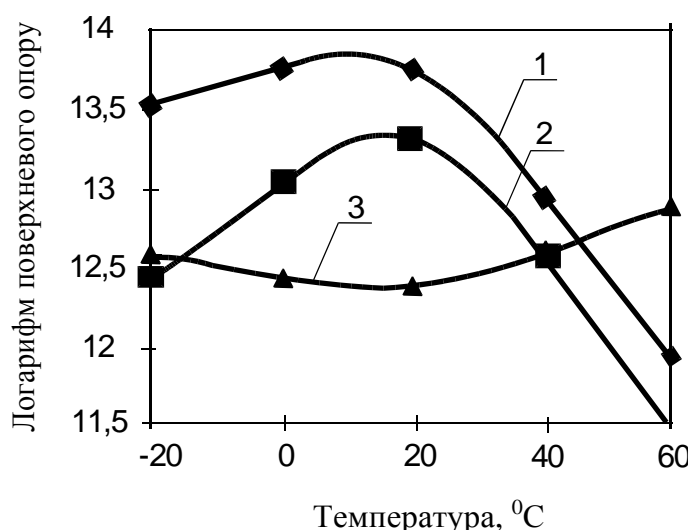


Рис. 3.10. Залежність логарифму поверхневого опору  $\lg r_s$  від температури для ПВХ-пластикату: 1 – В1 (0,15 мм); 2 – В2 (0,3 мм); 3 – В3 (0,5 мм).

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 деградація 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.

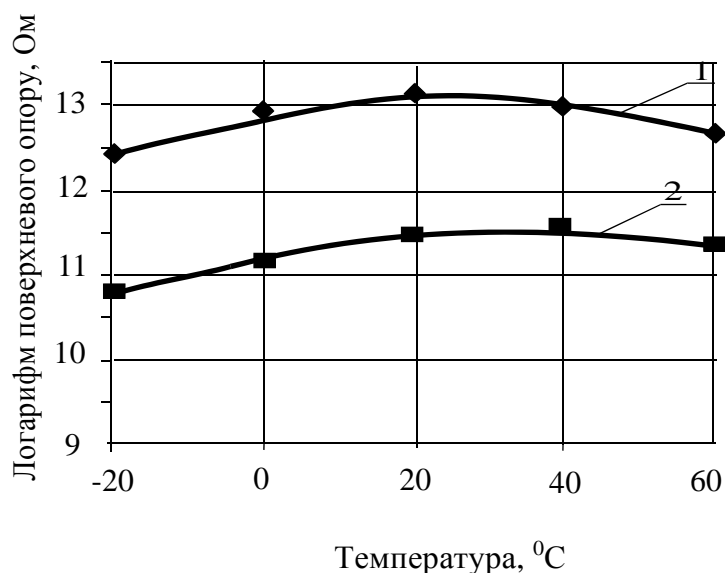


Рис. 3.11. Залежність логарифму поверхневого опору  $\lg r_s$  від температури ПВХ-пластикату з модифікаторами: 1 – на основі вольфраму (Р31); 2 – на основі рідкоземельних елементів (Р32).

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 (РЗ2) – 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:  $t = 22...24$  °С, відносна вологість – 60 %. Процес старіння полімерних матеріалів призводить до зростання провідності (рис. 3.12).

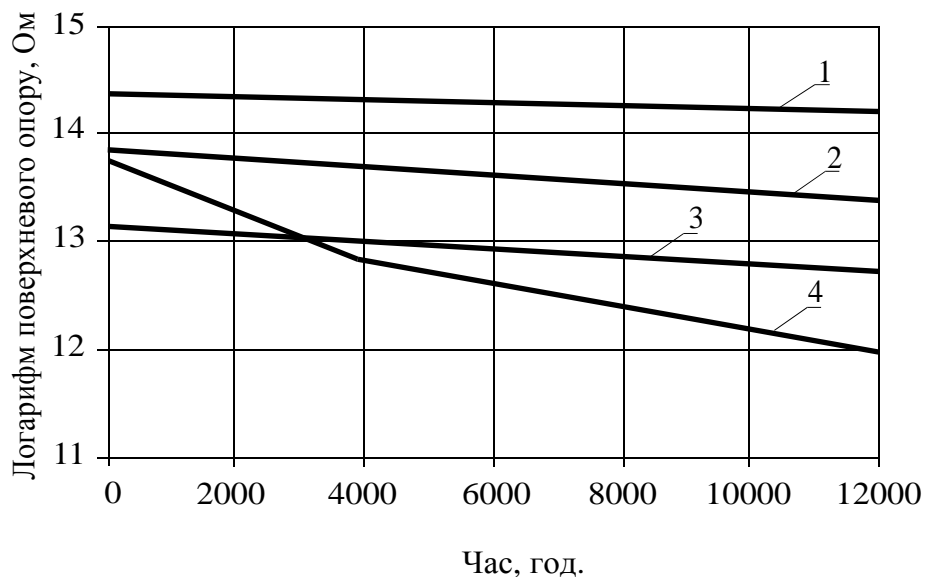


Рис. 3.12 Залежність логарифму поверхневого опору  $\lg r_s$  від часу матеріалів: 1 – кодове позначення В1; 2 – ПВХ-пластикат кодове позначення РЗ1; 3 – кодове позначення ПЗ; 4 – кодове позначення ІВЗ.

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

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	$(2,11...5,72) \cdot 10^{13}$	$5,68 \cdot 10^9$
ПВХ-пластикат з вольфрамовим модифікатором	РЗ1	$1,43 \cdot 10^{13}$	$2,35 \cdot 10^{11}$
ПВХ-пластикат з модифікатором з рідкоземельними елементами	РЗ2	$3,17 \cdot 10^{11}$	$6,51 \cdot 10^9$
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	$1,64 \cdot 10^8$	$2,62 \cdot 10^3$

Під час зростання вологості поверхневий опір зменшується за рахунок утворення мікровключень з води, що збільшує струми витоку. 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.

Дослідження впливу на електропровідність зовнішнього іонізуючого  $\beta$ - і  $\gamma$ - випромінювання, яке існує на АЕС, стикається із суттєвими методологічними складнощами, зумовленими специфікою праці з радіоактивними речовинами. З даних, наведених у [130], випливає, що опромінювання матеріалів призводить до зростання їхньої електропровідності. Так, під час  $\gamma$ -випромінювання низьких енергій електропровідність 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 здійснюють у лабораторних умовах за температури 20–22 °С та вологості 40–60 %, не дають реальних значень поверхневого опору. Методики вимірювання не враховують наявності 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 застосовувати 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  $\alpha$ -,  $\beta$ -випромінювань, сухих і рідких радіоактивних відходів. Запропоновано формулу до розрахунку коефіцієнтів захисту від  $\alpha$ -,  $\beta$ -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  $\gamma$ -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  $\gamma$ -випромінювання.

3. Аналітичне та експериментальне визначення коефіцієнтів захисту нових матеріалів від  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -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 подальшому 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 поліефіру. Встановлено, що матеріали з поліпропілену з поверхневою густиною  $(60 - 90) \text{ г/м}^2$  можна рекомендувати до виготовлення разового ЗО для щоденних робіт в контрольних зонах АЕС, матеріали з поліпропілену з поверхневою густиною  $(20 - 40) \text{ г/м}^2$  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  $(10^{10} - 10^{14}) \text{ Ом}$ , 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 здійснюються у лабораторних умовах за температури  $(20 - 22) ^\circ\text{C}$  та вологості  $(40 - 60) \%$  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.

## **РОЗДІЛ 4**

### **БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПЛЕКТІВ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

Під час створення моделей і конструкцій ЗІЗ з наперед заданими параметрами потрібно розглянути десятки варіантів. Головна мета впровадження математичних методів оптимізації полягає в тому, щоб отримані значення параметрів захисних виробів, які можна використовувати окремо або у комплектах, були оптимальними за якомога більшої кількості критеріїв.

#### **4.1 Постановка завдань оптимізації**

Більшість завдань, які потрібно вирішити під час створення ЗІЗ, можна привести до вибору найкращого у тому чи іншому сенсі варіанта. Усі передбачені до розгляду варіанти повинні бути сумірними за основними критеріями: відповідність умовам праці, вимогам безпеки використання, ергономічність та економічність продукції. У проектуванні поставлену мету необхідно досягти в умовах обмежених матеріальних, трудових і грошових ресурсів. Перелік заходів і показників, які розглядають, можна змінювати у ході оптимізаційних розрахунків на різних етапах проектування і технологічної підготовки.

Встановлено [131], що розробка нової захисної конструкції – ітераційний процес, основна мета якого забезпечення потрібних показників захисту і надійності. Загальна схема робіт у проектуванні на основі асортиментних серій включає такі етапи:

- вибір матеріалу;
- типізація конструкції виробу через аналіз моделей-аналогів;
- відпрацювання конструкції на технологічність;
- оптимізація конструкції та її параметрів.

Перелік альтернативних заходів визначено на підставі досвіду розробки різних видів захисних засобів і комплектів [87]. У проектуванні нових моделей ЗІЗ використовують данні про базові основи конструкції як певний конструктивний інваріант. Подальший процес проектування з оптимізацією параметрів здійснюють відповідно до розробленої класифікації способів поліпшення показників ЗІЗ (рис. 4.1). Їх класифікація дає наочне уявлення про різноманіття і багатоваріантність під час конструкторсько-технологічної розробки ЗІЗ.





Рис. 4.1 Комплексний підхід у проектуванні ЗІЗ.

Структурна оптимізація комплекту ЗІЗ – це процес, який визначає можливість досягнення під час виготовлення та експлуатації в межах розробленої конструкції встановлених показників захисту, якості і надійності, з оптимальним рівнем витрат ресурсів відповідно до умов виробництва та обсягів продукування. У забезпеченні технологічності конструкції слід враховувати такі показники: вид виробу, ступень його складності, наявні засоби технологічного устаткування та засоби виробництва, умови виготовлення, виробничі площі; умови праці виробничого персоналу; зв'язок показників технологічності з показниками якості виробу; рівень професійної підготовки персоналу; рівень технічного обслуговування технологічного устаткування.

Незважаючи на змістовне різноманіття таких завдань, усі вони з формального погляду [132] зводяться до однієї загальної постановки: знайти значення змінних параметрів  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , які забезпечують максимум або мінімум заданої функції

$$F = f(X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_2, \dots, Y_n),$$

за наявності обмеження

$$F_o = f(X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_2, \dots, Y_n) \leq \text{або} \geq \Pi_i,$$

де  $F = f(X, Y)$  – цільова функція (показник економічності, захисту, якості, надійності або ефективності системи);  $X$  – вектор змінних керування;  $Y$  – вектор змінних стану (некеровані змінні);  $F_o = f(X, Y)$  – функції обмежень величини  $i$ -го показника;  $\Pi_i$  – величина  $i$ -го нормованого або рекомендовано показника.

Задача структурної оптимальної конструкції і комплектності ЗІЗ є багатокритеріальною, що зумовлено потребою врахування вимог за рівнем захисту, надійності, ергономічності, безпеки використання та економічності. Тому визначення критеріїв оптимізації здійснюють попереднє за допомогою таблиці уступок та області компромісних рішень або з міркувань, встановлених безпосередньо з умов використання.

Масовий характер випуску і використання ЗІЗ зумовлює як цільову функцію під час оптимізації використовувати економічні функції.

$$F(X) = Z \rightarrow \min,$$

де  $Z$  – загальні витрати на виріб. Відповідно, під час вирішення завдань в умовах короткострокового прогнозування загальні затрати можна визначити за формулою:

$$Z = C_{\Pi} + C_{\text{в}} + C_{\text{е}} \longrightarrow \min, \quad (4.1)$$

де  $C_{\Pi}$  – витрати на проектування;  $C_{\text{в}}$  – витрати на виготовлення;  $C_{\text{е}}$  – витрати в процесі експлуатації.

Спосіб виготовлення ЗІЗ зазвичай передбачає використання уніфікованої технологічної обробки виробу. Попередньо відбувається систематизація можливих рішень з метою вибору технологічних процесів, раціональних для умов певного виробництва. Уніфікація технологічних процесів може спричиняти обмеження за кількістю модулів, які підлягають оптимізації, та за кількістю шарів в межах одного модуля. Відповідно, для оцінки економічності виробу можна використовувати комплексний показник матеріаломісткості  $\varepsilon(p, q)$  [131], який визначають за формулою

$$\varepsilon(p, q) = 0,5 \left[ \frac{1-p}{1-p_{\min}} + \frac{1-q}{1-q_{\min}} \right], \quad (4.2)$$

де  $p$  – відносний показник між лекальних відходів;  $q$  – відносний показник витрат матеріалу;

$$p = f / f_{\max},$$

де  $f$  – середні міжлікальні відходи;  $f_{\max}$  – максимальні міжлікальні відходи;

$$q = Q / Q_{\max},$$

де  $Q, Q_{\max}$  – середні і максимальні витрати матеріалу.

Економічне обґрунтування не торкається тих типів ЗІЗ, які вибирають з міркувань безпеки робіт або зі спеціальними захисними властивостями.

Враховуючи, що перед розробником ізолювального, фільтрувального або

радіаційнозахисного комплектів поставлено завдання досягнення коефіцієнта захисту не менше визначеного, постановка задачі передбачає максимізацію цільової функції

у вигляді коефіцієнтів захисту  $K_z$ ,

$$F(X) = K_z \rightarrow \max,$$

де  $K_z$  можна визначити за (3.3–3.5) і (3.14).

Аналіз можливих обмежень показав, що їх структура і кількість залежать від багатьох чинників, серед яких основними є фізико-механічні, гігієнічні, вартісні характеристики матеріалів та уніфікованих складників, технологія виготовлення, показники режимів використання (циклічність, можливість очищення, кратність дезактивації тощо). Обмеження, пов'язані з нормами, також мають дискретний характер через відсутність у чинних нормах інтервалів допустимих значень або рівнів імовірності, з якими ці норми повинні виконуватися. Наприклад, для ЗО повітропроникність матеріалу повинна бути не менш як  $30 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , поверхнева густина більш як  $250 \text{ г/м}^2$ , значення розривного навантаження матеріалу – більш як  $800 \text{ Н}$ , шва – не менш як  $250 \text{ Н}$ , роздиральне навантаження – більш як  $70 \text{ Н}$  тощо [133]. Наведений аналіз свідчить про те, що вибір елементів конструкції ЗО і комплектів необхідно розглядати як завдання оптимізації за наявності дискретних показників матеріалів і окремих виробів, які входять до складу комплекту.

За великої кількості показників, які характеризують матеріали і конструктивні елементи ЗІЗ, кількісне їх визначення або вираження через аналітичні або логічні функції унеможливлене. За таких обставин математичним апаратом досліджень проблеми вибрано методи оптимізації, які дають змогу отримати обґрунтовані та однозначні рішення. Кожна постановка завдання, розробка моделі, вибір алгоритму моделювання та оптимізації спрямувала зусилля автора на подолання складнощів, пов'язаних з імовірно-визначеним характером інформації, дискретністю параметрів, нелінійністю математичних моделей, багатокритеріальністю оптимізаційних задач [134].

За таких обставин математичним апаратом досліджень проблеми вибрано метод нормованих функцій, який належить до евристичних методів оптимізації і дає можливість отримати обґрунтовані та однозначні рішення у вирішенні низки завдань різного характеру. Автором здійснено модифікацію обчислювальних алгоритмів методу нормованих функцій (алгоритмів мінімізації та максимізації), що дає можливість реалізувати специфіку проектування ЗІЗ:

- зонально-модульну розрахункову модель;
- потребу дотримання нормативів;
- облік нерівномірності розподілу впливу НШВЧ та механічних навантажень за зонами одягу працівника;
- взаємозв'язок між окремими заходами і засобами у конструкції.

Вихідні данні задано через дискретну послідовність стандартних параметрів елементів ЗІЗ:  $X_p, a_p, b_p$  ( $p=1, 2, \dots$ ), де  $X_p$  – шукані змінні;  $a_p, b_p$  –

відповідні  $p$ -му стандартному параметру технічні характеристики, необхідні для формування цільової функції та обмежень. Доцільність використання дискретної послідовності зумовлена тим, що технічні характеристики не завжди можна достатньо точно апроксимувати аналітичними залежностями від  $X_p$ , а в дискретній послідовності ці характеристики можна прийняти точними (наприклад, масу елементів визначають відповідно до каталогів, розривне навантаження – відповідно до випробувань або технічних умов).

Через те, що цільові функції мають різні параметри і відповідно розмірності, обов'язковою є попередня операція нормування. Набуття функціями, які розглядають, безрозмірного вигляду дає можливість їх порівняння між собою. Для зменшення обсягів розрахунків критерії оптимізації записуємо у вигляді дробу, де у чисельнику збирають критерії, які підлягають мінімізації, а у знаменнику – максимізації. Задачі, в яких передбачено оптимізацію за економічними показниками, критерій оптимізації  $KR$  записуємо відповідно у вигляді:

$$KR = \min \left\{ \frac{\Delta C_j}{\Delta F_o(X_n, Y_n)_j} \right\}, \quad (4.3)$$

де  $\Delta C_j$  – прирощення цільової функції за кожним  $j$ -тим кроком оптимізації;  $\Delta F_o(X_n, Y_n)_j$  – зменшення (від'ємне прирощення) обмежень за кожним кроком оптимізації;  $j$  – кількість кроків.

Задачі, які пов'язано зі створенням ЗО з покращеними захисними властивостями, як критерій оптимізації  $KR$  вибрано співвідношення

$$KR = \max \left\{ \frac{(\Delta K_{zj})}{\Delta F_o(X_n, Y_n)_j} \right\}, \quad (4.4)$$

де  $\Delta K_z$  – приріст коефіцієнта захисту за кожним  $j$ -тим кроком оптимізації.

До нових завдань, які вирішено з використанням методів оптимізації, належать:

- створення поелементних конструкцій рідіаційнозахисного ЗО за умовами досягнення найбільшого коефіцієнту захисту і комфортності використання;
- спільна оптимізація різних конструктивних і технологічних заходів для підвищення захисних властивостей ізолювального і фільтрувального комплектів з урахуванням обмежень за вартістю, масою, кількістю резервних елементів і технологічністю виробів.

## 4.2. Формалізація процедури надання вихідної інформації

Розглядаючи ЗІЗ як неоднорідну поелементну структуру, виникає завдання вибору математичної моделі конструкції виробу з подальшим розрахунком показників окремих модулів і виробу загалом. Однак у виборі математичної моделі та елементів для кожного виду і навіть типу ЗІЗ існують певні особливості щодо ходу оптимізаційного процесу. Так, для разового ЗО до

щоденних робіт, де всі елементи мають однакові вартісні показники і кожний модуль складається з одного основного елемента, передусім зміцнюємо ті модулі, на ділянках яких фіксують максимальний вплив шкідливих чинників та (або) додаткових навантажень (33, 36, 38). В ізолювальному ЗО, у разі дотримання вимог за захисними властивостями та надійністю, спочатку треба посилити ті модулі, елементи яких мають найбільше навантаження. У складніших виробках (радіаційнозахисний, фільтрувальний одяг), коли модулі містять різну кількість елементів, а самі елементи в різних зонах розрізняються за показниками захисту, надійності та вартості, для визначення оптимальної структури виробу потрібно розглянути всі варіанти конструкції.

Досвід використання математичних методів оптимізації у конструктивно-технологічних розробках складних захисних виробів, для яких існує достатньо великий набір заходів і засобів удосконалення виробу, показує певні складності у наданні вихідної інформації. Підвищити захисні властивості і надійність ЗО можна такими способами:

- впровадженням конструктивних елементів, які мають поліпшені фізико-механічні та захисні характеристики;
- використанням додаткових шарів матеріалів на окремих ділянках або для всього виробу;
- комплектуванням ЗО додатковими резервними виробами;
- вибором удосконалених технологій з'єднання швів;
- герметизацією швів на окремих ділянках виробу або виробу загалом.

Зменшити додаткові ризики, спричинені електризацією виборів або незадовільним відводом теплоти з підодягового простору, можна такими способами:

- впровадженням конструктивних елементів, які мають відповідні гігієнічні та електричні характеристики
- проектуванням додаткових конструктивних елементів (складки, еластичні і вентиляційні вставки).

Перелік можливих технічних засобів і технологічних заходів удосконалення ЗО наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Перелік заходів до удосконалення ЗО

Найменування заходів	Можливі способи реалізації			
Додаткові накладки	<i>n</i> -шарові вставки з основного матеріалу кокетки) ( <i>n</i> = 1, 2...5)	<i>n</i> -шарові вставки з додаткового матеріалу з внутрішнього боку	<i>n</i> -шарові вставки з додаткового матеріалу зовнішнього боку	Змінні вставки, накладні кишені, пояси
Конструктивні елементи:	Фурнітура посилена	Обтюрація	Вентиляційні вставки	Мембрани
Додаткові	Подвійні	Наколінники	Подвійні	Напульсники

елементи	манжети		наколінники	
Резервні вироби	Фартух	Нарукавники	Шолом	Бахили
Технологія з'єднання швів	Нитковий шов	Зварний (термо) шов	Ультразвуковий шов	Клейовий шов
Герметизація швів	Термотасьма	Тасьма прошивна		

У зв'язку з достатньо великим обсягом заходів і можливим місцем їх розташування виникає потреба у формалізації процедури підготовки до вибору та розрахунку певних технічних заходів та показників якості. З цією метою для формалізації процедури надання вихідної інформації запропоновано використати структурно-логічні матриці, побудовані за зонально-модульною моделлю, які дають змогу сортувати інформацію за різних поєднань заходів та їхніх показників.

Задачу розглянемо на прикладі ізолювального ЗО, для якого вибрано базову модель у вигляді комбінезона. Підвищити захисні властивості можна такими способами: впровадженням конструктивних елементів (навскісних деталей, пояса, накладних кишень); використанням додаткових шарів матеріалів і резервних виробів; проектуванням додаткових конструктивних елементів (покращена фурнітура, складки, еластичні і вентиляційні вставки); (рис. 4.2).

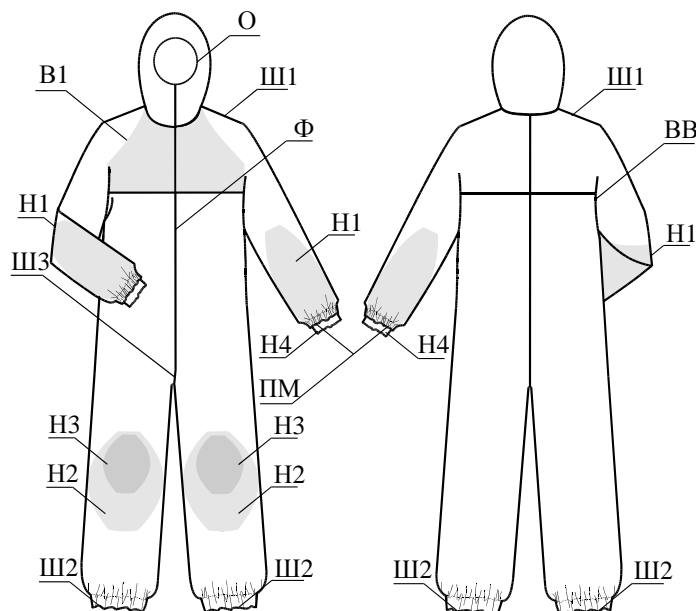


Рис. 4.2. Базова модель виробу з можливими додатковими конструктивними елементами.

На рис. 4.2 вказано можливі місця впровадження додаткових заходів та їх кодові позначення. Величини зміни базових параметрів, до яких належать витрати матеріалу, маси і вартості виробу, а також розрахункові параметри, які

змінюються у ході оптимізаційного процесу (коефіцієнт захисту, надійність, повітропроникність тощо) залежать від технологічності конструкції, яка своєю чергою залежить від впровадження того чи іншого заходу. Перелік заходів, які розглянуто з відповідними параметрами змінних елементів, наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

## Перелік заходів до оптимізації базового виробу

Конструктивні елементи:	Умовні позначення на рис. 4.2	Додаткові елементи	Умовні позначення на рис. 4.2	Технологія виготовлення швів	Умовні позначення на рис. 2
одношарова вставка з основного матеріалу	$B_1$	нарукавники	$H_1$	Шов СВЧ-зварний типу накладний	$Ш1$
двошарова вставка з основного матеріалу	$B_2$	наколінники	$H_2$	Шов СВЧ-зварний типу подвійний	$Ш2$
тришарова вставка з основного матеріалу	$B_3$	подвійні наколінники	$H_3$	Шов нитковий	$Ш3$
Вентиляційні вставки	$ВВ$	напульсники	$H_4$	Зварний типу накладний з відкритими зрізами	
Еластична вставка	$ЕВ$	бахили	$Б$	Зварний типу відгин з відкритим зрізом	
Обтюрація	$О$	рукавиці	$Р$	Зварний типу зшивний (із суміщенням зрізів)	
Посилена застібка	$\Phi$	подвійні манжети	$ПМ$	Зварний типу комбінований з настрочуванням тасьми	

Маємо дискретну послідовність окремих технічних засобів і технологічних заходів, які дають змогу підвищити коефіцієнт захисту і комфортність використання. Відповідно усі заходи з удосконалення виробів призводять до зростання вартості,  $\Delta C_i$ , де  $i = 1, 2, \dots$

Для подальшого аналізу з метою зменшення багатовимірності задачі впроваджено позначення змінних функції керування  $X_k$ , які дають можливість об'єднати заходи з покращення конструкції або за зоною їх застосування або за функціональними властивостями. Змінні керування подано як логічні функції:

позначення “ $\wedge$ ,  $\vee$ ” відповідають знакам логічних операцій відповідно “І” та “АБО”.

$$\begin{aligned} X1 &:= B_1 \vee B_2 \vee B_3; X2 := \Phi \wedge BB; \\ X3 &:= O \vee H4 \vee ПМ; X4 := B_1 \vee H2 \vee H3 \vee B; \\ X5 &:= H1 \vee B_2; X6 := O \wedge P; X7 := \Phi; \\ X8 &:= III1 \vee III2 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Структуризація заходів з використанням логічних функцій дала змогу сформулювати матрицю: в рядку вказано можливі заходи, а у стовбцях – площі зон з довірчим інтервалом. Вічко матриці на перетині певного заходу і зони виробу показує, які можливі способи перетворення ( $X_k$ ) окремих модулів моделі (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

### Структурно-логічна матриця для ізолювального захисного одягу

Перелік заходів	Номер та площа зони $S_i$ , $10^{-2}$ м <sup>2</sup> .								
	31 10,5± 0,4	32 0,26 ±0,01	33 2,4± 0,09	34 1,45 ±0,06	35 4,2± 0,16	36 2,3± 0,16	37 1,74 ±0,1	38 3,6± 0,25	39 4,0± 0,23
Шари матеріалу	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1
Фурнітура		X1v X7	X2	X7	X2				
Обтюрція							X3v X6		
Додаткові елементи							X6	X4	X4
Види швів	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8

За допомогою структурно-логічної матриці знаходимо параметри виробу, які можуть змінюватися. Для цього здійснюємо підсумовування попарного перемноження для кожного рядка. Витрати матеріалів визначаємо за площею зонально-модульної моделі, виходячи з рівномірного розподілу цих величин для різних повнотних груп.

Наприклад, під час впровадження додаткового шару вставки у зонах 1–4 додаткові витрати матеріалу  $\Delta Q$ , маса  $\Delta m$  виробу змінюється відповідно

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \sum_{i=1}^4 (S_i + \delta_i + f_i) = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4) + (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) + (f_1 + f_2 + f_3 + f_4); \\ \Delta m &= (Q_1 \rho_{S1} + Q_2 \rho_{S2} + Q_3 \rho_{S3} + Q_4 \rho_{S4}), \end{aligned} \quad (4.6)$$

де  $S_i$  – площа  $i$ -ї зони;  $\delta_i$  – припуски на вільне облягання;  $f_i$  – середні міжлекальні відходи  $\rho_S$  – поверхнева густина матеріалу вставки.

Задачу оцінки ефективності заходів з підвищення рівня захисту можна



звести до визначення величини коефіцієнтів захисту та додаткових витрат  $\Delta C$ , пов'язаних першочергово з додатковими витратами матеріалу. Вартість матеріалів у захисних виробках становить (80...85) %. Під час посилення моделі ЗО змінюються конструктивно-модельні параметри виробу, які характеризуються середніми значеннями витрат матеріалів (з довірчим інтервалом визначеним з імовірністю на рівні 0,9).

$$\Delta C = (Q_1 C_{01} + Q_2 C_{02} + Q_3 C_{03} + Q_4 C_{04}), \quad (4.7)$$

де  $C_0$  – вартість 1 м<sup>2</sup> матеріалу вставки.

Зміни показника середніх міжлекальних відходів становлять

$$p = (\sum_{i=1}^9 f_i + \sum_{i=1}^4 f_i) / f_{\max} \quad (4.8)$$

де  $p$  – відносний показник між лекальних відходів,  $f_i$  – фактичні міжлекальні відходи для кожного варіанту;  $f_{\max}$  – максимально допустимі відходи.

За допомогою структурно-логічної матриці маємо змогу формалізувати процедуру знаходження місць встановлення додаткових заходів та елементів, а також визначати зміни коефіцієнту захисту, витрати основного і допоміжних матеріалів, масу, матеріалоемність і вартість виробу за кожного способу побудови конструкції.

### 4.3 Структурна оптимізація пакетів радіаційнозахисного комплекту

#### 4.3.1. Рекомендації щодо створення пакетів матеріалів

Розглянемо основні вимоги до радіаційнозахисного комплекту, який призначено для обмеження впливу  $\gamma$ -випромінювань або підвищеного рівня  $\beta$ -випромінювань під час ремонтних робіт або у ситуаціях втручання на АЕС.

Пріоритетним під час використання радіаційнозахисних комплектів в передбачуваних умовах експлуатації є забезпечення максимально можливого рівня захисту працівника за відповідності ергономічним вимогам. Рівень та ступінь захисту регулюється кількістю шарів у пакеті ЗО, які розміщують в окремих зонах залежно до топографії впливу НШВЧ та умов експлуатації. Посиленого захисту потребують такі частини тіла як голова, шия, тулуб, а також колінні і ліктьові суглоби. Асортиментний ряд радіаційнозахисного ЗО – жилет, куртка, напівкомбінезон, штани, накидка. Радіаційнозахисний ЗО використовувати у комплекті з шоломом, ЗІЗ рук, ніг, очей і органів дихання (рис. 4.3).

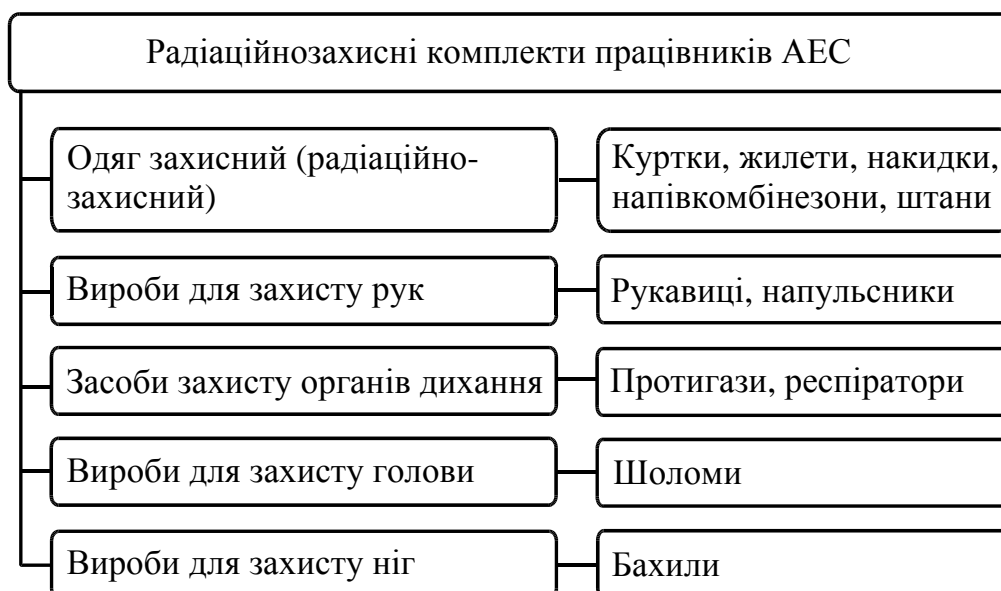


Рис. 4.3. Запропонований склад радіаційнозахисних комплектів

Конструкцію радіаційнозахисного ЗО розроблено як багатошару: зовнішній шар виготовлено з матеріалу В1; внутрішні шари суцільні або змінні – з матеріалу з кодовим позначення Р31 або Р32. Диференціювання товщини захисного шару досягнуто членуванням його на модулі, які розташовано у кишнях зовнішнього шару. Забезпечення надійності захисту реалізовано перекриттям одного захисного модуля іншим в межах (3...5) % загальної площі.

Посилений захист забезпечують захисні модулі куртки та штанів, шолом, напульсники, які розміщено на ділянці зап'ястя та щиколотки. Деталі, що фіксують положення виробів на тілі працівника, і до яких належать бретелі, штрипки, тримачі пальця, зав'язки тощо, є простими у використанні. Куртку та жилет запроектовано достатньо довгими, щоб перекривати верхню частину штанів за всіх характерних рухів працівника. Штани проектуємо широкими і довгими без відворотів, з напуском, щоб закривати верх взуття.

#### 4.3.2. Вибір оптимального розподілу багатошарового пакету

Відомо [135], що радіаційний захист забезпечують трьома способами – відстанню, часом та екрануванням. Захист «відстанню» полягає в тому, що вплив зовнішнього іонізуючого випромінювання на організм людини зменшується пропорційно збільшенню відстані від джерела випромінювання. Захист «часом» полягає в тому, що обмежують вплив зовнішнього іонізуючого випромінювання на організм через зменшення тривалості опромінення. У разі робіт на постійній відстані  $R$  від джерела  $\gamma$ -випромінювання допустиму тривалість робіт упродовж тижня  $t_{\text{доп}}$  визначають за формулою:

$$t_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{D_{\text{доп}} \cdot R^2}{A \cdot G}}, \quad (4.9)$$

де  $D_{\text{доп}}$  – гранична тижнева доза опромінювання, яка дорівнює 38 мР;  $t_{\text{доп}}$  –

допустимий час роботи впродовж тижня, год;  $R$  – відстань від джерела випромінювання до працівника, см;  $A$  – активність радіонукліда у джерелі, мКи;  $G$  – гамма-постійна радіонукліда,  $\text{см}^2/(\text{год} \cdot \text{мКи})$ ;  $K_{\gamma}$  – коефіцієнт захисту радіаційнозахисного комплексу.

Застосування радіаційнозахисного комплексу реалізує захист способом «екранування», тобто обмежує активність радіонукліда через його поглинання наповнювачем у матеріалах Р31 або Р32. З урахуванням зменшення дози опромінювання (4.9) має вигляд:

$$t_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{D_{\text{доп}} \cdot R^2}{(A \cdot G) / K_{\gamma}}},$$

де  $K_3$  – коефіцієнт захисту радіаційнозахисного комплексу

Відповідно, термін безперервного використання  $t_{\text{доп}}$  радіаційнозахисного комплексу визначається за умовами обмеження впливу іонізуючого випромінювання та не перевершенням допустимого рівня особистого опромінювання працівника

$$t_{\text{доп}} = D \cdot \sqrt{K_{\gamma}}; \quad D = R \sqrt{\frac{D_{\text{доп}}}{A \cdot G}}, \quad (4.10)$$

Виходячи з аналізу умов праці на АЕС, доцільним є такі постановки задачі оптимізації конструкції радіаційнозахисного комплексу:

1. Під час модульної побудови конструкції, яка складається з  $M$  модулів, забезпечити коефіцієнт захисту  $K_{36}$  в межах 2,25...2,28, що дасть можливість збільшити тривалість робіт в зоні впливу  $\gamma$ -випромінювання у 1,5 рази, за мінімально можливої маси комплексу  $m$  загалом:

$$\max \{K_3(x_1 \dots x_M) / m(x_1 \dots x_M)\} \geq K_{36}. \quad (4.11)$$

2. Розробити конструкцію радіаційнозахисного комплексу, який дасть можливість підвищити тривалості робіт в зоні впливу  $\gamma$ -випромінювань у два рази ( $K_{36} \geq 4$ ) за умови обмеження загальної маси  $m_{\text{доп}}$  і кількості шарів матеріалу  $n$  у захисних модулях:

$$\min \{m(x_1 \dots x_M) / n(x_1 \dots x_M) / K_{36}(x_1 \dots x_M)\} \leq m_{\text{доп}}. \quad (4.12)$$

Задачу вибору багатошарового пакету радіаційнозахисного комплексу сформульовано як оптимізаційну і вирішено через знаходження місць розташування багатошарових конструкцій модулів і додаткових виробів комплексу [136]. Основним способом підвищення коефіцієнта захисту є збільшення товщини радіаційнозахисного матеріалу Р31 або Р32, яке досягається збільшенням кількості його шарів. Водночас зі збільшенням шарів зростає вартість і маса виробу.

У разі суцільної конструкції (один модуль) костюму (куртка і півкомбінезон) кількість шарів захисного матеріалу для ослаблення  $\gamma$ -випромінювання в  $K_{\gamma}$  разів визначаємо за ф. (3.12). За такої конструкції костюму коефіцієнт захисту  $K_3 \geq 2,25$  можна забезпечити за чотирьох шарів

захисного матеріалу. Маса такого костюму становить не менш як 15,490 кг, вартість захисного матеріалу – від 3 800 грн. Відповідно коефіцієнт захисту  $K_3 \geq 4$  забезпечать шість шарів захисного матеріалу, масою – 23,400 кг і вартістю – від 5 700 грн. Такі рішення мають суттєві вади і створюють додаткові ризики у використанні: великі статичні і динамічні навантаження, обмеженість робочих рухів, зменшення площі огляду тощо.

Рішення оптимізаційних задач передбачає розробку модульної конструкції, що дає можливість забезпечити диференційований посилений захист окремих зон тіла працівника (статеві органи, шлунок, голова).

Зовнішнє іонізуюче випромінювання неоднаково впливають на органи і тканини та нерівномірно розподіляються в організмі працівника. Ступінь чутливості тканин різних органів до опромінення неоднакова. Якщо розглядати тканини органів у порядку зменшення їхньої чутливості до впливу випромінювання, то одержимо таку послідовність: зародкові клітини, червоний кістковий мозок, селезінка, легені, лімфатична тканина, щитоподібна залоза. Ступінь ураження організму також великою мірою залежить від розміру поверхні, що опромінюється, зі зменшенням поверхні зменшується і шкідливий вплив. Тому у проектуванні радіаційнозахисних ЗО використано зонально-модульну схему з визначення зон, які потребують підвищеного захисту. Нерівномірне розподілення і неоднаково вплив іонізуючого випромінювання враховано через вагові коефіцієнти. Початкові значення вагових коефіцієнтів для кожної зони вставлено відповідно до табл. 1.5 з подальшою адаптивною корекцією у ході оптимізаційного розрахунку.

Враховуючи, що перед розробником радіаційнозахисного комплексу поставлено завдання досягти максимально можливого коефіцієнта захисту від  $\gamma$ -випромінювань за обмеженням загальної маси, постановка задачі передбачає максимізацію цільової функції виду:

$$F(n) = K_{3\gamma} = \exp \left[ \frac{\mu \cdot d_0}{S_n} \cdot \sum_{i=1}^9 S_{mi} \cdot n_i \cdot w_i \right] \rightarrow \max, \quad (4.13)$$

де  $d_0$  – товщина матеріалу, см;  $\mu$  – лінійний коефіцієнт ослаблення,  $\text{см}^{-1}$ ;  $S_{mi}$  – площа модуля  $i$ -тої зони,  $\text{см}^2$ ;  $n_i$  – кількість шарів у модулі;  $w_i$  – ваговий коефіцієнт;  $i$  – кількість модулів,  $i = 1, 2, \dots, 9$ .

За наявності обмежень:

– за масою

$$F(m): m \in \left[ \sum_{i=1}^9 m_{mi} \leq m_{\text{доп}} \right], \quad (4.14)$$

де  $m_i$  – маса окремого модулю у  $i$ -тій зоні, г;  $m_{\text{доп}}$  – допустима маса виробу. Максимальна маса виробу не повинна перевищувати 20 кг;

– за кількістю шарів в окремих модулях

$$F(n): n \in [n \leq 2 \dots k] \quad (4.15)$$

де  $n$  – кількість шарів матеріалу в окремому модулі. Кількість шарів в окремих модулях може змінюватися від двох до восьми, що визначається з ергономічних і технологічних міркувань;

– за вартістю

$$F(C): C \in [C \leq C_B], \quad (4.16)$$

де  $C$  – фактична вартість виробу;  $C_B$  – припустима вартість виробу.

Як критерій оптимізації  $KR$  вибрано співвідношення

$$KR = \max \left\{ \left( \frac{K_{3j} - K_{3j-1}}{m_{\text{доп}} - m_{Bj}} \right) \right\} = \left\{ \frac{(\Delta K_{3j})}{\Delta m_j} \right\}, \quad (4.17)$$

де  $\Delta K_3$  – приріст коефіцієнта захисту;  $m_{\text{доп}}$  – допустима маса виробу;  $m_{Bj}$  – маса виробу за  $j$ -го шагу оптимізації.

Комплексний критерій оптимізації реагує на зміну рівня захисту і збільшення маси у результаті встановлення додаткових шарів захисного матеріалу.

Базова модель радіаційнозахисного комплексу складається з куртки, півкомбінезону та шолому, які виготовлені з одного шару матеріалу РЗІ з параметрами: поверхнева густина –  $0,1276 \text{ г/см}^2$ ; лінійний коефіцієнт ослаблення  $-\mu = 4,5 \text{ см}^{-1}$ ; вартість –  $200 \text{ грн/м}^2$ . У такій моделі коефіцієнт захисту становить:  $1,85$  за енергії до  $10 \text{ кеВ}$ ;  $1,29$  – до  $100 \text{ кеВ}$ ;  $1,09$  – до  $200 \text{ кеВ}$ ;  $1,004$  – до  $662 \text{ кеВ}$ .

Таблиця 4.4

Вихідні данні до розрахунку

Назва зони	Площа (математичне очікування), $\text{см}^2$	Площа (довірчий інтервал), $\text{см}^2$	Ваговий коефіцієнт	Маса (математичне очікування), $\text{г}$
31	1052,4	45,1	0,07	134,28
32	259,3	12,3	0,14	33,08
33	2397,1	90,9	0,25	305,86
34	1454,9	61,3	0,31	185,64
35	4201	155,2	0,07	536,04
36	2290,8	164,6	0,07	292,30
37	1744,3	107,6	0,01	222,57
38	3605,8	249,5	0,07	460,10
39	4029,3	226,2	0,01	514,13

Данні (табл. 4.4) використано як початкову інформацію в оптимізаційному розрахунку (нульовий крок).

На подальших кроках оптимізації розраховуємо коефіцієнт захисту кожної зони за формулою:

$$K_{3ij} = \exp \left[ \frac{\mu \cdot d_0}{S_{\Pi}} \cdot (S_{Mi} \cdot w_i \cdot n_i) \right], \quad (4.18)$$

де  $K_{3j}$  – коефіцієнт захисту  $i$ -тої зони для  $j$ -тої ітерації;  $S_{\Pi}$  – загальна площа поверхні костюму;  $S_{Mi}$ ,  $n_i$ ,  $w_i$  – відповідно площа захисного модуля, кількість шарів і ваговий коефіцієнт  $i$ -ої зони для  $j$ -тої ітерації.

За максимальним значенням критерію (4.17) визначаємо зону, в якій встановлення додаткового шару захисного матеріалу є доцільним. Визначаємо відповідний приріст маси  $\Delta m$  та вартості  $\Delta C$ .

Перед початком наступної  $j$ -тої ітерації обчислюємо для кожної зони значення показника відносної значущості  $Z^j$  за формулою:

$$Z^j = \frac{K_{зд} - K_z^{(j-1)}}{K_{зд}}, \quad (4.19)$$

де  $K_{зд}$  – коефіцієнт захисту, який потрібно досягти;  $K_z^{(j-1)}$  – коефіцієнт захисту, який отримано на попередній  $(j-1)$ -й ітерації.

Якщо отримано від'ємне значення показника відносної значущості  $Z^j < 0$  або його значення знаходиться в межах  $0 \leq Z^j \leq \varepsilon$ , де  $\varepsilon$  – задана ступень наближення до  $K_{зд}$ , то приймаємо  $Z^j = 0$  і задача вважається вирішеною та подальші обчислення припиняються. Якщо вказана умова не виконується, то визначаємо новий вагомий коефіцієнт зони

$$w_j = w_{j-1} \cdot Z^j \quad (4.20)$$

За такого підходу більшого значення набувають зони, у яких коефіцієнт захисту знаходиться далі (у нормалізованому вигляді) від величини, до якої він має наближатися у ході оптимізації, тобто відбувається процес адаптації вагових коефіцієнтів до поточного значення коефіцієнту захисту.

Процес триває доти, доки не буде забезпечено базовий коефіцієнт захисту усього виробу. Обмеження за загальною вартістю комплекту можуть спричинити передчасне закінчення розрахунку у разі досягнення граничних значень.

Запропонований метод реалізовано у вигляді комп'ютерного алгоритму, який є ітераційним і для кожної  $j$ -ої ітерації складається з таких основних етапів:

1. Вибираємо захисний матеріал та вказуємо його характеристики: поверхневу густину, товщину, лінійних коефіцієнт ослаблення.

2. Формуємо розрахункову модель, на якій визначаємо активні зони, можливість розміщення захисного модуля і певні обмеження технологічного характеру.

3. Записуємо дискретну послідовність площ кожної зони з відповідними пріоритетами (ваговими коефіцієнтами).

4. Для кожного з отриманих варіантів посилення конструкції ЗО виконуємо такі розрахунки

– за кожним кроком розраховуємо величину критерію оптимізації за (4.17);

– за умови  $KR_j = \max$  на кожному кроці вибираємо найефективніший спосіб збільшення коефіцієнту захисту у відповідному модулі та фіксуємо;

– розраховуємо підвищення маси, вартості, кількість додаткових шарів та інші показники, які вказано у обмеженнях для кожної зони і виробу загалом. Наприклад, під час впровадження додаткового шару захисного

матеріалу у зонах 2–4 приріст загальних витрати матеріал  $\Delta F$  у обчислюємо за формулою:

$$\Delta Q = \sum_{i=2}^4 (S_i + \delta S_i + f_i),$$

де  $S_i$  – площа  $i$ -тої зони,  $\delta S_i$  – додаткові витрати матеріалу через перекриття одного модуля іншим,  $\delta S = 1,07 \dots 1,12$ ;  $f$  – середні міжлекальні відходи матеріалу.

Приріст маси  $\Delta m$  і вартість  $\Delta C$  виробу визначаємо відповідно

$$\Delta m = \sum_{i=2}^4 (S_i + \delta S_i) \cdot \rho,$$

де  $\rho_s$  – поверхнева густина захисного матеріалу.

$$\Delta C = \sum_{i=2}^4 (S_i + \delta S_i + f_i) \cdot C_0,$$

де  $C_0$  – вартість 1 м<sup>2</sup> захисного матеріалу.

5. Перевіряємо умови, вказані в обмеженнях. Фіксуємо розміщення додаткового шару захисного матеріалу і здійснюємо перехід до наступної ітерації.

6. Переглядаємо всі зони, модулі та обмеження. У разі виконання всіх умов переходимо до кінця розрахунку.

У результаті оптимізаційного розрахунку отримуємо впорядковану низку заходів з підвищення коефіцієнту захисту та прирощення маси і вартості виробу за кожним кроком ітераційного процесу. Перебіг оптимізаційних розрахунків задачі, яку вирішували, наведено (табл. 4.5, 4.6).

Таблиця 4.5

Перебіг оптимізаційного розрахунку за першої постановки задачі

Номер ітерації	Номер зони	Кількість шарів модуля	Результати розрахунку		
			Коефіцієнт захисту	Приріст маси, %	Приріст вартості, %
0	31 – 39	1	1,29	0	0
1 – 4	33	4	1,42	34,2	22,0
5 – 8	34	4	1,49	54,9	40,9
9 – 12	32	4	1,51	58,6	44,2
13 – 14	31	2	1,53	63,6	48,8
15 – 17	35	3	1,70	103,6	85,1
18 – 20	36	3	1,8	125,4	104,9
21 – 23	38	3	1,97	159,6	136,0
24 – 26	37	3	2,06	176,2	151,1
27 – 29	38	3	2,27	214,5	195,0

Таблиця 4.6

Перебіг оптимізаційного розрахунку за другої постановки задачі

Номер ітерації	Номер зони	Кількість шарів модуля	Результати розрахунку		
			Коефіцієнт захисту	Приріст маси, %	Приріст вартості, %
0	31 – 39	1	1,29	0	0
1 – 6	33	6	1,51	56,9	42,7
7 – 12	34	6	1,65	91,6	74,1
13 – 18	32	6	1,68	97,7	79,8
19 – 24	35	6	2,17	195,6	171,5
25 – 27	31	3	2,23	207,6	179,6
28 – 32	36	5	2,50	251,1	219,2
33 – 37	38	5	2,99	319,7	281,6
38 – 42	37	5	3,26	352,9	311,7
43 – 47	38	5	4,01	429,5	396,3

Як впливає з табл. 4.5, підвищення коефіцієнта захисту до  $K_z = 2,25$  досягнуто через впровадження чотирьохшарових модулів у зонах 2, 3, 4 (область щитоподібної залози, тулуба і статевих органів), двошарового шолома масою 270 г та тришарових захисних модулів у зонах 5–9. Відповідно підвищення до  $K_z = 4$  досягнуто через впровадження шестишарових модулів у зонах 2, 3, 4, 5, тришарового шолома масою 410 г та п'ятишарових захисних модулів у зонах 6–9.

У табл. 4.7 наведено порівняльні результати різних конструкцій радіаційнозахисного ЗО, яке реалізовано за однакових початкових умов.

Таблиця 4.7

## Оцінка ефективності конструкції радіаційнозахисного одягу

Показники захисного одягу	Вихідні дані	Модульна конструкція		Суцільна конструкція	
		1 постановка	2 постановка	1 постановка	2 постановка
Коефіцієнт захисту (до 100 кеВ)	1,29	2,27	4,0	2,84	4,79
Маса, кг	2,872	8,442	14,212	10,736	16,104
Матеріало-місткість, м <sup>2</sup>	2,46	6,81	11,47	9,26	13,88
Вартість захисного матеріалу, грн	462	1 362	2 294	1 851	2 777
Приріст, %	100	195	396	300	500

Як впливає з табл. 4.7, модульна конструкція ефективніша за всіма показниками порівняно з суцільною. Зазначимо, що коефіцієнти захисту від  $\gamma$ -випромінювань радіаційнозахисного комплексу змінюються залежно від енергії



γ-випромінювань: 5,47 за енергії випромінювання до 10 кеВ; 2,27 – до 100 кеВ; 1,39 – до 200 кеВ; 1,14 – до 662 кеВ (перша постановка задачі). Коефіцієнт захисту радіаційнозахисного комплекту (друга постановка задачі) становить: 9,65 за енергії до 10 кеВ; 4,0 – до 100 кеВ; 1,74– до 200 кеВ; 1,24 – до 662 кеВ.

#### **4.4 Структурна оптимізація ізолювальних комплектів**

На АЕС зменшення негативного впливу фіброгенних промислових забруднень, які містять пил з радіонуклідами, сухі та рідкі радіоактивні речовини, можна досягти під час використання працівниками негерметичного ізолювального ЗО без примусового вентилювання у комплекті з іншими ЗІЗ [15].

Ізолювальні ЗІЗ у комплекті повинні забезпечувати такі обов'язкові показники захисної ефективності:

- від α-випромінювання і β-випромінювання малих енергій;
- від пилу та аерозолів з радіонуклідами;
- від механічних ушкоджень і загальних забруднень;
- водо і маслонепроникні;
- стійкі до впливу лугів і кислот.

##### **4.4.1. Рекомендації щодо створення пакетів матеріалів та комплектності**

Для ЗО спеціального призначення важливо враховувати експлуатаційні потреби, спрямовані на забезпечення відповідності виробу умовам тривалої праці. Такі вимоги нормативних документів можна досягти через правильно вибрані матеріали, науково розроблені конструкції і методи обробки.

Формування асортиментного ряду ізолювального комплекту, який може складатися з куртки, штанів, напівкомбінезону, фартуха, рукавичок, нарукавників та інших виробів реалізовано через раціональний вибір способів і методів підвищення показників захисту, якості, надійності та ергономічності.

Запропоновано асортимент ізолювальних комплектів, які забезпечать оптимальне сполучення захисної функції і умов комфортності праці (рис. 4.4).

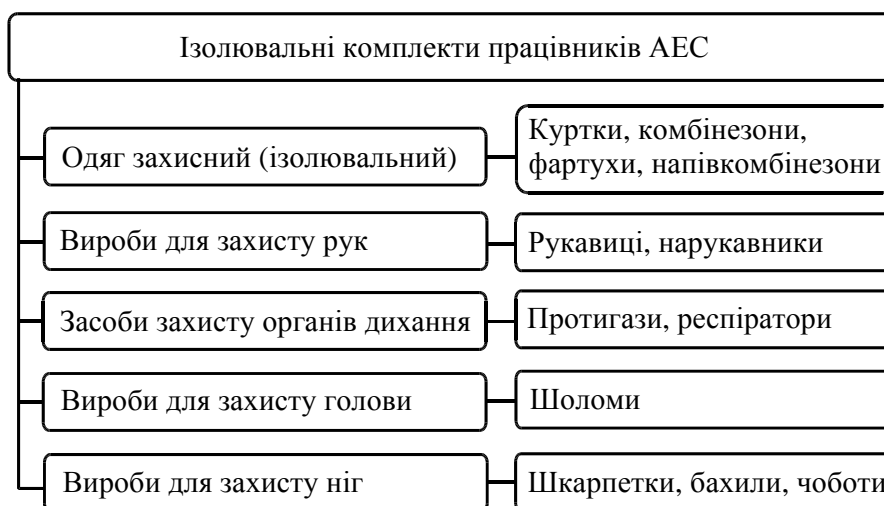


Рис. 4.4. Запропонований склад ізолювальних комплектів працівників АЕС

Невелику масу ЗО (до 1000 г) і не ускладнення рухів у ході роботи забезпечено через використання ПВХ-пластикатів завтовшки 0,10-0,15 мм, невеликою поверхневою густиною і жорсткістю.

Виявлено, що характерними конструктивними особливостями ЗО є відсутність кишень, застібок, ременів, гудзиків та інших деталей виробів, які виступають, фурнітури зі застілками на «липучках» та клейових швів через обмежені можливості їх дезактивації. Окрім того, під час створення ЗО необхідно передбачити гладку поверхню матеріалу і конструкцію, яка сприяє стіканню рідких радіоактивних речовин з поверхні.

Для підвищення зручності та швидкості одягання та знімання виробів з урахуванням характерних рухів та поз працівника, слід передбачити центральну бортову застібку, пати, куліси, бретелі тощо. Для уникнення опромінення та інших професійних травм і захворювань, зовнішня поверхня матеріалу не контактує зі шкірою працівника, чому буде сприяти стягнутий низ штанів і рукав з регулюванням їх ступеня прилягання та застібка на зав'язки.

Дезактивація ЗІЗ, виготовлених з ПВХ-пластикатів, може відбуватися за температури (45...55) °С з подальшим збереженням у приміщеннях за температури (3...15) °С.

Перелік заходів, які розглянуто з відповідними параметрами замінних елементів, наведено у табл. 4.8

Таблиця 4.8

Перелік заходів до оптимізації ізолювального комплекту

Найменування змінних елементів	Умовні позначення	Показники елементів	
		Додаткова вартість $\Delta C$ , %	Маса $m$ , г

Конструктивні елементи:			
$n$ -шарові вставки з матеріалів	$B_n (n = 1, 2, 3)$	30,0	380...550
фурнітура	Ф	5,0	100
обтюрація штанів	O1	3,0	50
обтюрація рукавів	O2	2,5	50
вентиляційний отвір	BO	15,0	10
Додаткові елементи:			
нарукавники	H1	7,50	1200
наколінники	H2	8,50	350
напульсники	H3	2,0	250
бахили	B	12,0	1500
рукавички	P	11,0	120
фартух	F	25,0	1700
Технологія виготовлення швів:			
шов машинний подвійний	Ш1	15,0	
шов зварний типу накладний	Ш2	10,0	
шов зварний типу подвійний	Ш3	10,0	

Маємо дискретну послідовність окремих технічних засобів і технологічних заходів, які дають змогу підвищити коефіцієнт захисту і сприяти створенню безпечних і комфортних умов. Відповідно усі заходи з удосконалення виробів призводять до зростання вартості  $\Delta C_i$  і маси  $\Delta m$  виробу

Для формалізації процедури підготовки розрахункових схем запроваджено позначення змінних керування  $X_i$ , характеристики яких наведено в табл. 4.8.

$$\begin{aligned}
 X1 &:= \text{Ш1} \vee \text{Ш2} \vee \text{Ш3}; & X2 &:= B_1 \vee B_2 \vee B_3; \\
 X3 &:= \text{BO} \wedge (B_n \vee F); & X4 &:= \text{H1} \vee P; & X5 &:= \text{H2} \vee B; \\
 X6 &:= \text{O1} \wedge B; & X7 &:= \text{H1} \wedge (\text{H3} \vee \text{O2}) \wedge P; & X8 &:= \Phi.
 \end{aligned}
 \tag{4.21}$$

Задачу вибору багат шарового пакету ізолювального комплексу сформульовано як оптимізаційну і вирішено через знаходження місць впровадження додаткових шарів матеріалу і додаткових виробів до 3O.

### 4.3.2. Вибір оптимального складу та конструкції

Задачу структурної оптимізації ізолювального комплексу, призначеного для захисту від  $\alpha$ - і  $\beta$ -випромінювань, вирішено у такій постановці: під час проектування ізолювального комплексу, який складається з  $n$  модулів, забезпечити коефіцієнт захисту від  $\beta$ -випромінювань не менше заданого  $K_{зд}$  за мінімально можливої маси  $m_b$  виробу загалом [136].

$$\min [m_b(x_1 \dots x_n)] / [K_3(x_1 \dots x_n) \geq K_{зд}].$$

Процес оптимізації здійснюється через вибір обсягів і черговості заміни конструктивних і додаткових елементів, які дають змогу поліпшити виріб. Наприклад, для ізолювального ЗО це додаткові вставки, шари матеріалу або додаткові вироби на ділянках, які потребують підвищеного захисту або на ділянках з механічним навантаженням і підвищеним зношенням. Обмеження формуємо за кількістю додаткових шарів матеріалу у модулі, за загальною масою та вартістю виробів. Тобто задача формулюється так: максимізувати цільову функцію коефіцієнту захисту від  $\beta$ -випромінювань виробу, який з урахуванням залежностей (3.3), запишемо у вигляді:

$$K_{з\beta} = 0,153 \frac{\sum_{i=1}^9 n_i \cdot w_i \cdot S_{mi}}{S_{\Pi}} + 0,451 \rightarrow \max \quad (4.22)$$

де  $S_{mi}$  – площа модуля  $i$ -тої зони,  $\text{см}^2$ ;  $n_i$  – кількість шарів у модулі;  $w_i$  – ваговий коефіцієнт;  $i$  – кількість модулів,  $i = 1, 2 \dots 9$ ;  $S_{\Pi}$  – загальна поверхня виробу.

За наявності обмежень:

– за масою

$$F(m): m \in \left[ \sum_{i=1}^9 m_{mi} \leq m_{\text{доп}} \right], \quad (4.23)$$

де  $m_i$  – маса окремого модулю у  $i$ -тій зоні, г;  $m_{\text{доп}}$  – допустима маса комплексу. Максимальна маса комплексу становить 3 кг;

– за кількістю шарів в окремих модулях

$$F(n): n \in [n \leq 2 \dots k] \quad (4.24)$$

де  $n$  – кількість шарів матеріалу в окремому модулі. Кількість шарів в окремих модулях з технологічних умов не може перевищувати три шари;

– за вартістю

$$F(C): C \in \left[ \left( \sum_{i=1}^9 C_{mi} + C_j \right) \leq C_{\text{доп}} \right], \quad (4.25)$$

де  $C_{mi}$  – вартість  $i$ -го модуля;  $C_j$  – вартість додаткових елементів;  $C_{\text{доп}}$  – допустима вартість комплексу, яка визначається з маркетингових умов.

Головний критерій оптимального варіанта побудови моделі – забезпечення потрібного рівня захисту за обмеженням загальної маси комплексу. Як критерій оптимізації  $KR$  вибрано співвідношення

$$KR = \min \left\{ \left( \frac{m_{j+1} - m_j}{K_{зд} - K_{зj}} \right) \right\} = \left\{ \frac{\Delta m_j}{\Delta K_{зj}} \right\}, \quad (4.26)$$

де  $K_{зд}$  – коефіцієнт захисту, який потрібно досягти відповідно до технічного завдання на розробку;  $K_{зj}$  – коефіцієнт захисту за  $j$ -го кроку оптимізації;  $\Delta K_{з}$  – приріст коефіцієнта захисту;  $m_j$  – маса комплексу за  $j$ -го шагу оптимізації;  $\Delta m$  – приріст маси.

Комплексний критерій оптимізації реагує на зміну рівня захисту і збільшення маси у результаті встановлення або додаткових шарів захисного матеріалу або впровадження додаткових виробів.

Структуризація заходів з використанням логічних функцій дала змогу сформувати матрицю: в рядку вказано можливі заходи, а у стовбцях – площі зон з довірчим інтервалом (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

### Структурно-логічна матриця для ізолювального комплексу

Перелік заходів	Номер зони та площа зони $S_i$ , $10^{-2}$ м <sup>2</sup> .								
	31 10,5± 0,4	32 0,26 ±0,01	33 2,4± 0,09	34 1,45 ±0,06	35 4,2± 0,16	36 2,3± 0,16	37 1,74 ±0,1	38 3,6± 0,25	39 4,0± 0,23
Додаткові шари матеріалу	X2	X2	X3	X2	X3	X3	X2	X3	X2
Посилена фурнітура		X2v X8	X3v X8	X8					
Обтюрація	X8						X4v X7	X5	X6
Види швів	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1	X1

У першому стовпчику вказано перелік можливих способів підвищення захисних властивостей, а саме:

- встановлення додаткового шару ПВХ-пластикату у зоні голови, шиї, частини тулуба спереду, у нижній частині живота та паховій складці;
- посилення фурнітури через заміну відкритої застібки на гудзики на застібку типу «блискавка» або заміна застібки типу «блискавка» на модель з покращеними фізико-механічними властивостями або додатковий поверхневий шар матеріалу за довжиною застібки.
- впровадження обтюрації з гумової резинки на каптурі, рукавах комбінезону та з низу штанів або одночасне використання ізолювального 3О і бахили;
- використання додаткових виробів: нарукавників, наколінників, бахилів, рукавичок, напульсників;
- вибір типу швів під час з'єднання окремих модулів виробу.

Базова конструкція (рис. 4.2) має певний коефіцієнт захисту, масу і вартість. Такі данні використано як початкову інформацію в оптимізаційному розрахунку (нульовий крок). Змінні керування задані як дискретні послідовності (див. табл. 4.8). На подальших кроках оптимізації за критерієм (4.26) визначаємо найефективніший засіб, який після перегляду всіх можливих модулів для його установки, фіксуємо. Визначаємо відповідний приріст коефіцієнту захисту  $\Delta K_z$  і маси  $\Delta m$ . Процес триває доти, доки не буде розглянуто всі засоби з вихідної послідовності. Розробка конструкції захисних виробів відбувається на підставі технічного завдання, де замовник вказує головні вимоги до виробу, а саме потрібний коефіцієнт захисту, масу і вартість виробі. Обмеження за загальною масою і вартістю виробу можуть спричинити передчасне закінчення розрахунку у разі досягнення граничних значень. У результаті оптимізаційного розрахунку отримуємо впорядковану низку заходів з підвищення коефіцієнту захисту та за кожним кроком прирощення матеріаломісткості, маси і вартості виробу.

Результати, отримані у процесі оптимізаційного розрахунку, реалізовано у конструктивно-технологічній розробці. Структурна оптимізація визначила технологію виготовлення ЗІЗ методом СВЧ-зварюванням з використанням подвійних швів, запровадження посиленої обтюрації у 35, 36 і 38, використання подвійної застібки і фурнітури у 33, впровадження додаткових шарів захисного матеріалу у 1–3 зонах, використання у комплекті нарукавників, бахилів і фартуха, встановлення вентиляційних отворів у 36. Послідовність впровадження визначених заходів за їх ефективністю наведено на рис. 4.5.

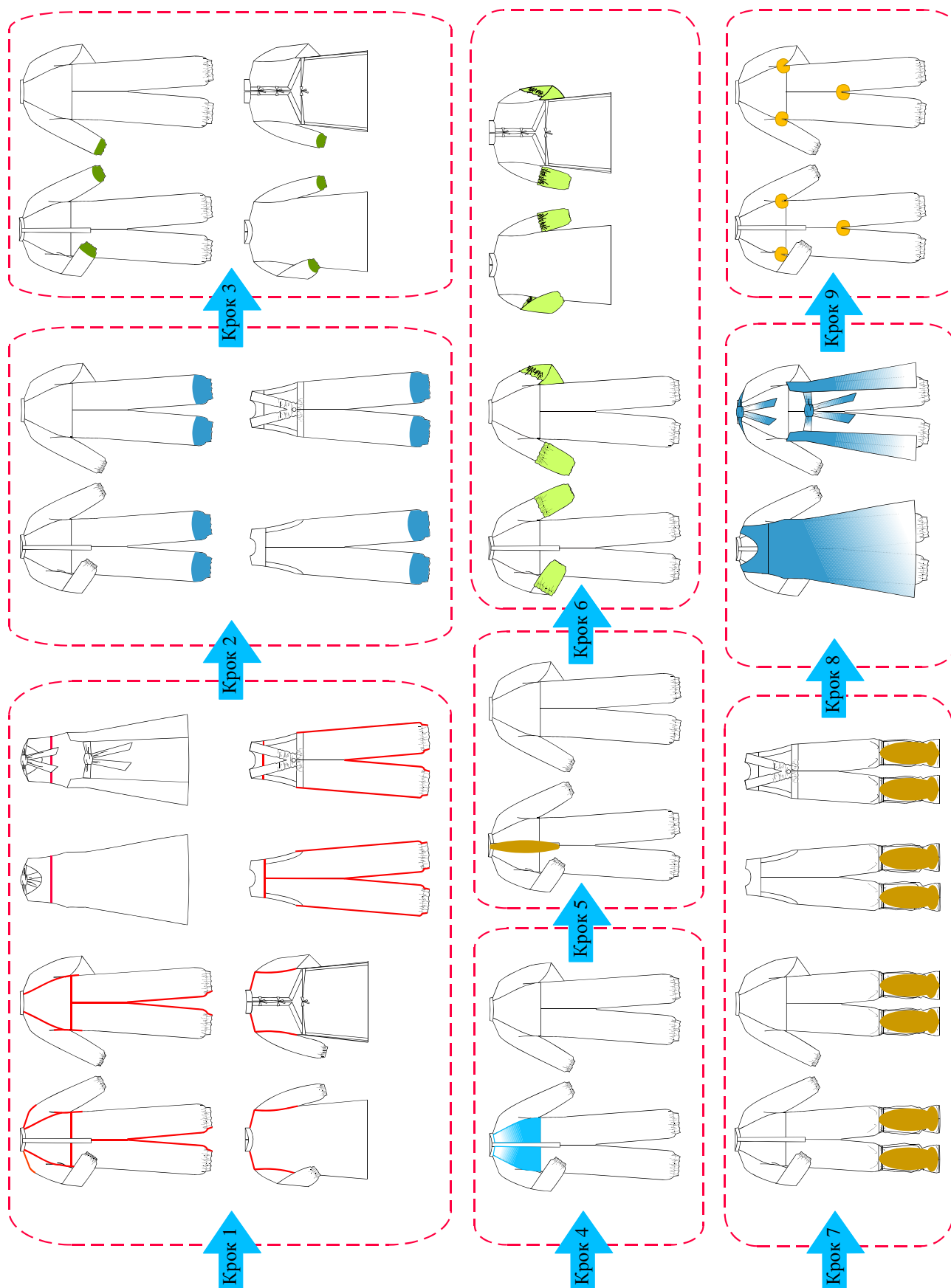


Рис. 4.5. Покрокова реалізація оптимізаційного розрахунку

Запропонований метод реалізовано у вигляді комп'ютерного алгоритму та отримано такі результати: коефіцієнт захисту комплекту від  $\beta$ -

випромінювань збільшився і становить 0,9...1 залежно від джерела випромінювань; коефіцієнт захисту від  $\alpha$ -випромінювань становить 1; зростання коефіцієнтів захисту призвело до збільшення маси комплекту на 56 % порівняно з початковою (до 1800 г); вартість комплекту збільшилася на 80 %.

#### 4.5 Структурна оптимізація фільтрувального комплекту

Основна мета розробки фільтрувальних комплектів, виготовлених зі спеціальних матеріалів, це забезпечення задовільного тепломасообміну між працівником і виробничим середовищем упродовж здійснення довготривалих безперервних робіт, в яких виникає необхідність у практичній діяльності, а особливо у ситуаціях втручання в період подолання наслідків радіоактивного забруднення робочої зони АЕС і прилеглих територій.

За результатами контрольних випробувань можна рекомендувати для виготовлення фільтрувального одягу багаторазового використання композиційні текстильні матеріали (кодове позначення Ф1, Ф2) Маса фільтрувального комплекту до 3 000 г та обмеження додаткових електростатичних ризиків можна забезпечити у ході оптимізації проектної розробки з урахуванням того, що вибрані матеріали мають невелику поверхневу густину і жорсткість (див. табл. 3.16, 3.17).

Фільтрувальний 3О можна виготовляти на швейному устаткуванні у вигляді костюму або комбінезону. Відсутність кишень, застібок, ременів та інших виступаючих деталей унеможливорює зачеплення працівника за рухомі частини устаткування. Зручність і швидкість одягання та знімання виробів мають забезпечувати центральні бортові застібки, пати, куліси, бретелі, які проектує з урахуванням характерних рухів та робочих позицій працівників. Для регулювання ширини низу штанів на ділянці щиколотки застосовують пуфти, манжети, напульсники, зав'язки, еластичні тасьма (рис. 4.6).

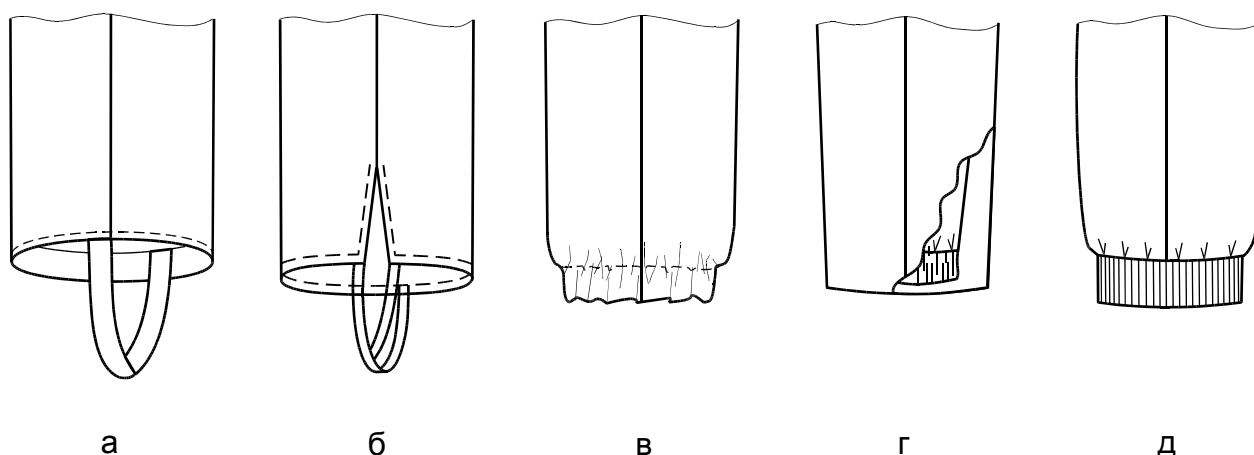


Рис. 4.6. Оформлення низу штанів: а, б – зі штрипкою; в – з еластичною тасьмою; г – з напульсником; д – з манжетою.

Різновиди фільтрувального 3О складаються з комбінезону, куртки,



штанів, напівкомбінезонів, яку використовують у комплекті ЗІЗ рук, ніг, голови, ЗІЗОД (рис. 4.7).

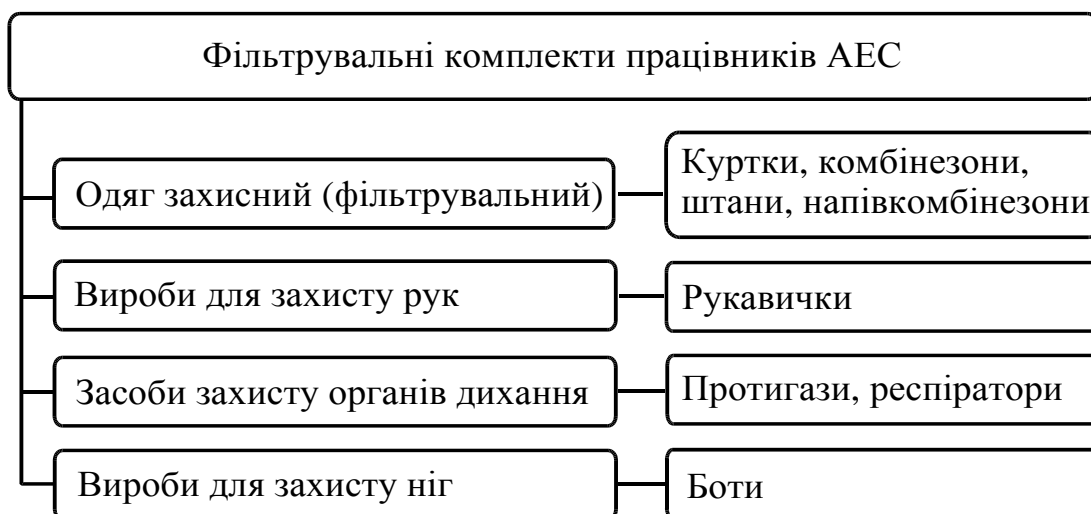


Рис. 4.7. Запропонований склад фільтрувальних комплектів.

Конструкцією комбінезонів і курток передбачено каптури з щільним приляганням до обличчя, що дає можливість у разі потреби використовувати ЗІЗОД.

Для очищення фільтрувальних матеріалів передбачено режим прання за температури 60 °С, з подальшим збереженням у щільному пакуванні за температури від -10 °С до 30 °С.

Фільтрувальні матеріали є коштовними, тому задачу структурної оптимізації фільтрувального комплекту, призначеного до робі в умовах радіоактивного, хімічного або біологічного забруднення територій, вирішено у такій постановці: під час проектування комплекту, який складається з  $n$  модулів, забезпечити показники захисту не менше заданих  $K_{30}$  за мінімально можливої вартості виробу  $C_3$  загалом:

$$\min[C_3(x_1...x_n)]/[K_3(x_1...x_n) \geq K_{30}].$$

Задача формулюється так: мінімізувати цільову функцію загальної вартості виробу за наявності обмежень за масою та коефіцієнтом захисту.

$$F(C) = \sum_{i=1} C_i + \sum_{j=1} C_j + \sum_{r=1} C_r \rightarrow \min;$$

де  $C_i$  – вартість матеріалу  $i$ -го модулю;  $C_j$  – вартість додаткових елементів;  $C_r$  – вартість резервних елементів.

Критерій оптимізації  $KR$  представляємо у вигляді дробу: в чисельнику записуємо зміни витрат, а в знаменнику – зміну коефіцієнту захисту.

$$KR = \min \left\{ \left( \frac{C_{j+1} - C_j}{K_{3д} - K_{3j}} \right) \right\} = \left\{ \frac{\Delta C_j \cdot C_6}{\Delta K_{3j}} \right\}, \quad (4.27)$$

де  $C_j, C_{j+1}$  – витрати на додатковий елемент за кожним  $j$ -тим кроком оптимізації;  $C_6$  – вартість базового виробу;  $\Delta C_j$  – приріст вартості,  $\Delta K_{3j}$  – зміни коефіцієнта

захисту за кожним  $j$ -тим кроком оптимізації. Зміни коефіцієнта захисту визначено за формулою (3.5).

За результатами структурної оптимізації фільтрувального комплексу отримано такий перелік можливих способів підвищення захисних властивостей, а саме:

- встановлення додаткового захисту голови (зона 1) у вигляді каптура;
- використання машинних подвійних швів з подальшою їх герметизацією тасьмою;
- посилення фурнітури через заміну відкритої застібки на гудзики на застібку типу «блискавка» з додатковим поверхневим шаром матеріалу за довжиною застібки;
- впровадження обтюрації з гумової резинки на каптурі, рукавах куртки та з низу штанів.

Впровадження вказаних заходів підвищило коефіцієнт захисту на 23 % за підвищенні вартості фільтрувального ЗО на 15 % порівняно з базовою.

#### **Висновки до розділу 4**

Розділ містить постановку багатокритеріальних завдань оптимізації параметрів комплектів ЗІЗ різного функціонального призначення та способи їх вирішення.

1. Формалізовано процедуру підготовки вихідних даних в оптимізаційних розрахунках на основі використання структурно-логічних матриць, які містить конструктивно-технологічних засоби і заходи покращення захисних, ергономічних, експлуатаційних властивостей ЗІЗ. Структурно-логічні матриці дають змогу розглянути у ході оптимізаційних розрахунків усі можливі способи удосконалення конструктивних і технологічних заходів.

2. Запропоновано, обґрунтовано та реалізовано комплексний підхід до постановки завдань щодо оптимізації конструкції захисного одягу і комплексу у ході проектування з урахуванням вимог нормативів до окремих ЗІЗ. Вирішення завдань здійснено на підставі структурно-логічних матриць з використанням методу нормованих функцій, який належить до евристичних методів оптимізації і дає можливість отримати обґрунтовані та однозначні рішення у вирішенні дискретних завдань різного характеру.

3. Запропоновано новий метод визначення та корегування вагових коефіцієнтів окремих критеріїв (показників захисту, економічності, ергономічності), які впроваджено у цільові функції моделей задач оптимізації комплектів ЗІЗ різного функціонального призначення. Як показав перебіг оптимізаційних розрахунків, наведених у розділі, використання запропонованого адаптивного алгоритму за інших рівних умов реалізації оптимізаційного процесу, призводить до швидкого знаходження найефективнішого способу побудови конструкції порівняно з традиційними підходами.

4. Розроблено метод структурної оптимізації конструкцій ЗІЗ, за наявності нелінійних цільових функцій, дискретної вихідної інформації та багатомірності обмежень, який дає змогу вирішити такі завдання:

- забезпечення максимального коефіцієнту захисту ЗІЗ за мінімізації його маси;
- вибір оптимальних заходів щодо підвищення коефіцієнта захисту за наявності обмежень на матеріальні, технічні чи технологічні ресурси;
- оцінка ефективності використання певних видів додаткових захисних виробів за вартісними показниками.

5. Запропоновано алгоритм комплексної оптимізації радіаційнозахисного комплексу за критерієм максимізації коефіцієнта захисту від зовнішнього  $\gamma$ -випромінювання з урахуванням обмежень за загальною масою, матеріаломісткістю, кількістю шарів в окремих модулях пакету радіаційнозахисного матеріалу та загальною вартістю. За результатами оптимізації розроблено конструкцію, яка забезпечує коефіцієнт захисту 9,65 за енергії випромінювання до 10 кеВ; 4,0 – до 100 кеВ; 1,74 – до 200 кеВ; 1,24 – до 662 кеВ, яка порівняно з традиційною дає змогу зменшити масу комплексу на 14 % і вартість захисного матеріалу на 21 %.

6. Запропоновано алгоритм комплексної оптимізації ізолювального комплексу ЗІЗ від  $\alpha$ -,  $\beta$ -випромінювань за критерієм максимізації коефіцієнта захисту від  $\beta$ -випромінювань з урахуванням обмежень за загальною масою, матеріаломісткістю, кількістю шарів захисного матеріалу в окремих модулях та загальною вартістю. Процес оптимізації здійснюється через вибір обсягів і черговості заміни конструктивних і додаткових елементів, які дають змогу поліпшити виріб. Розробка конструкції з оптимальними параметрами, яка забезпечує повний захист від  $\beta$ -,  $\alpha$ -випромінювань, реалізована через встановлення додаткового шару захисного матеріалу у трьох зонах, використання додаткових виробів (нарукавник, бахили, фартух) і посилення основної застібки. Порівняно з вихідною моделлю коефіцієнт захисту комплексу збільшився на 65 %, маса – на 56 %, витрати – на 80 %.

7. Запропоновано алгоритм комплексної оптимізації фільтрувального комплексу ЗІЗ від  $\alpha$ -,  $\beta$ -випромінювань за критерієм мінімізації загальної вартості при досягненні економічно обґрунтованого коефіцієнту захисту від  $\beta$ -випромінювань з урахуванням обмежень за матеріаломісткістю. За результатами структурної оптимізації фільтрувального комплексу отримано такий перелік можливих способів підвищення захисних властивостей:

- встановлення додаткового захисту голови (зона 1) у вигляді каптура;
- використання машинних подвійних швів з подальшою їх герметизацією тасьмою;
- посилення фурнітури через заміну відкритої застібки на гудзики на застібку типу «блискавка» з додатковим поверхневим шаром матеріалу за довжиною застібки;

– впровадження обтюрації з гумової резинки на каптурі, рукавах куртки та з низу штанів.

Впровадження вказаних заходів підвищило коефіцієнт захисту на 23 % при підвищенні вартості фільтрувального ЗО на 15 % порівняно з базовою.

8. Реалізація методу структурної оптимізації дає можливість розробити рекомендації щодо конструктивно-технологічних рішень створення радіаційнозахисного, фільтрувального та ізолювального комплектів ЗІЗ за умовами відповідності захисним, ергономічним, гігієнічним, економічним та технологічним вимогам.

## РОЗДІЛ 5

### ПРАКТИЧНА РОЗРОБКА БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПЛЕКТІВ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Проблема цілеспрямованого формування асортименту і підвищення якості системи індивідуального захисту працівників АЕС з метою зниження професійних захворювань і травматизму, яка відповідає умовам експлуатації та стандартизованим комплексним вимогам, за умов сьогодення має особливу значущість.

Зазначимо, що вирішенню поставлених завдань передують обґрунтований вибір асортименту виробів для формування структури комплектів ЗІЗ з потрібним рівнем захисту.

Відповідно до вказаних положень авторка спільно з фірмами НВП “Ікар”, “Укрмаскпол”, “Скіф” розробив і запропонував до використання працівниками АЕС такі комплекти ЗІЗ:

1. Ізолювальні комплекти для робіт з дезактивації, ремонтних робіт, у ситуаціях втручання. Розроблено два різновиди комплектів: разового і багаторазового використання.
2. Ізолювальні комплекти багаторазового використання для робіт з хімічноактивними речовинами.
3. Радіаційнозахисний комплект для роботи під впливом зовнішніх іонізуючих джерел низької та середньої енергій.
4. Фільтрувальний комплект, який застосовують під час здійснення тривалих робіт за наявності пилу та аерозолів з радіонуклідами, в умовах хімічного, радіоактивного і біологічно забруднення.

#### **5.1. Розробка конструктивно-технологічних рішень ізолювальних комплектів для захисту від радіоактивних забруднень**

Ізолювальні комплекти ЗІЗ призначено для робіт з рідкими і сухими радіоактивними відходами, в умовах впливу зовнішніх  $\alpha$ -,  $\beta$ -випромінювання, пилу та аерозолів з радіонуклідами.

##### **5.1.1. Вибір різновидів та конструктивних рішень для захисного одягу**

Запропоновано ізолювальний ЗО для щоденних і регламентних робіт розробляти двох видів – разового і багаторазового використання. Безперечною перевагою одягу разового використання є можливість відмови від його дезактивації після закінчення робіт, що дає змогу суттєво зменшити кількість рідких радіоактивних відходів.

Ізолювальний ЗО разового використання, виготовлений з матеріалів з кодовим позначенням В4, П3 або П4 [137], використовують у комплекті з разовим протипиловим респіратором, з разовими рукавичками, півбахилами або гамашами з ПВХ-пластикату (матеріали з кодовим позначенням В2, В3).

Ізолювальний ЗО багаторазового використання виготовлено з матеріалу з кодовим позначенням В1 [138]. Використовують у комплекті з фільтрувальним респіратором [139], універсальними рукавичками або з рукавицями з ПВХ-пластикату (матеріал з кодовим позначенням В4), бахилами з ПВХ-пластикату (матеріали з кодовим позначенням В2, В3) [140], які забезпечують надійний захист під час роботи в приміщеннях з підвищеним рівнем вологості.

Подальший процес розробки реалізовано з урахуванням вимог щодо призначення та цільової спрямованості, а саме

- носіння в шкідливих умовах та можливого рівня радіоактивного забруднення;
- вікова група працівників становить 30...55 років;
- розмірно-зростова та повнотна групи відповідають другій групі, тип жирівідкладень – рівномірний;
- вироби є всесезонними;
- можливий термін безперервного використання ізолювальних комплектів становить до 240 хвилин;
- температура виробничого середовища від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+30^{\circ}\text{C}$ ;
- режим використання – циклічний з можливістю дезактивації до 10 циклів;
- деформаційні та механічні навантаження в лініях швів, плечових зрізів жилету витримуються не менш як 24 години;
- вироби не обмежують вільність рухів і дихання під час роботи та переміщення;
- вироби призначено до визначеного функціонального використання.

Поліпшення теплообмінних процесів і зменшення теплових ризиків від перегріву працівників в ізолювальному ЗО досягають під час використання у пакеті з білизною та виробничим фільтрувальним одягом з бавовни [141].

Зазначимо, що визначальним фактором у розробці конструктивно-технологічних рішень виробів комплектів є вибір асортименту матеріалів і формування структури пакетів залежно від топографії впливу НШВЧ. На основі зонально-модульної моделі і методу структурної оптимізації встановлено раціональну комплектність виробів, виявлено їх конструктивні особливості (рис. 5.1).

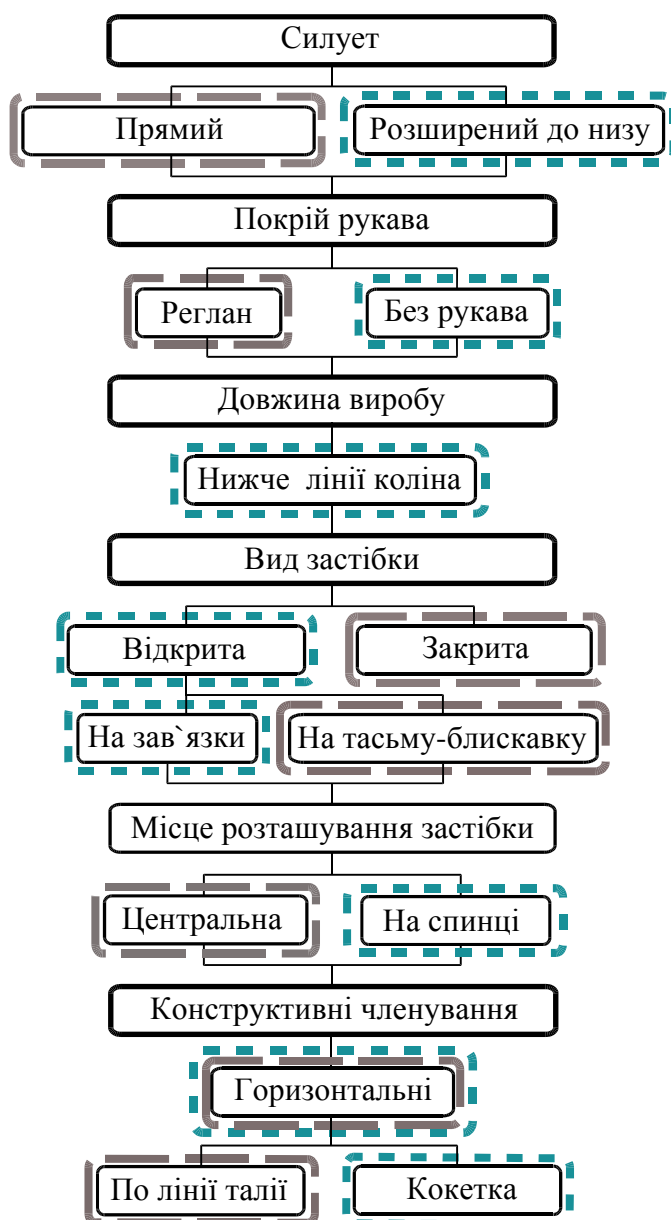


Рис. 5.1. Структурна схема конструктивного рішення плечових виробів ізолювального комплекту.

Виокремлено основні конструктивні групи комплекту: 3О для верхньої частини тіла (плечовий), 3О для нижньої частини тіла (поясний), 3ІЗ рук, ніг, голови та органів дихання. Відповідні основні конструктивні категорії такі: куртки, фартухи, комбінезони, напівкомбінезони, штани, рукавички, нарукавники, бахили, півбахили, панчохи, каптури, респіратори разового і багаторазового використання.

Вироби ізолювальних 3О мають прямий силует з помірною об'ємною формою, мінімальну кількість членувань. До конструктивних особливостей належить крій одношовного рукава – вшивний і “реглан”, що дає можливість вільно рухатися працівнику, особливо під час виконання роботи в обмеженому просторі. З метою мінімізації ризику забруднення працівника та зручності під

час одягання та знімання виробів застосовано центральну відкриту та закриту застібки на тасьму-блискавку і зав'язки (рис. 5.2).

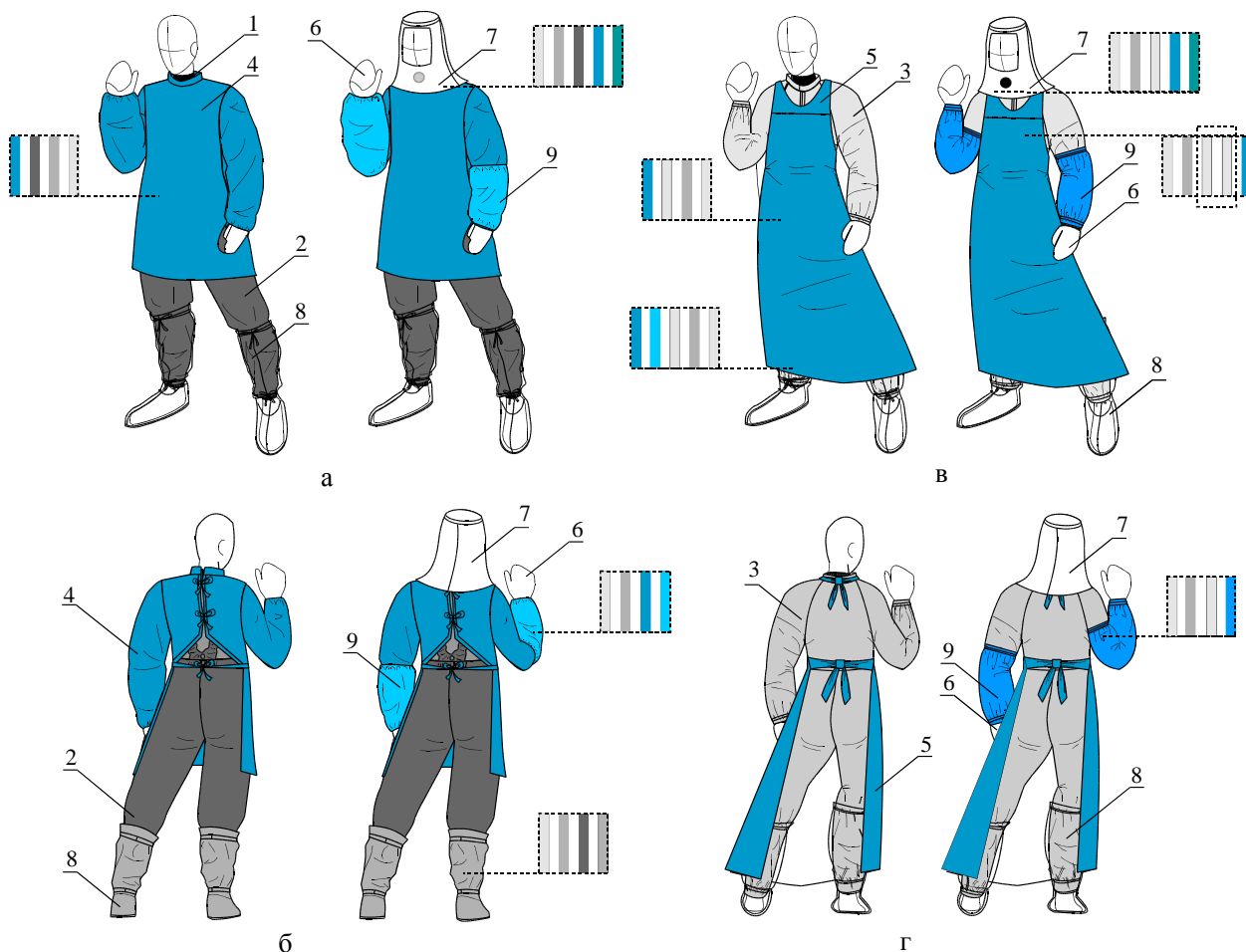


Рис. 5.2. Проектно-конструктивні рішення виробів ізолювальних комплектів спереду (а, в) та ззаду (б, г) із зональним розташуванням пакетів: 1 – виробничий одяг; 2 – напівкомбінезони; 3 – комбінезон; 4 – куртка; 5 – фартух; 6 – рукавиці; 7 – каптур; 8 – бахили; 9 – нарукавники.

Запропоновано різновиди комплектів разового ізолювального ЗО, які складаються з куртки та штанів або комбінезону. Комбінезон разового використання виготовлено з матеріалу з кодованим позначенням П4. Виріб прямого силуету зі суцільнокроєним одношовним рукавом і центральною бортовою застібкою-блискавкою. Низ рукавів і штанів комбінезона оброблено еластичною тасьмою.

В іншій конструкції комбінезону разового використання передню частину виробу виготовлено з матеріалу з кодованим позначенням ПЗ з поверхневою густиною  $60 \text{ г/м}^2$ , спинку виробу – з матеріалу П2 з поверхневою густиною  $42 \text{ г/м}^2$ , що покращує відведення тепла від тіла працівника. Комбінезон прямого силуету з коміром-стояком, вшивним одношовним рукавом, відрізний на лінії талії з відкидними задніми половинками і поясом, який зав'язується спереду. Низ рукав і штанів стягнуто на еластичну тасьму. У паховій ділянці та в ділянці щитоподібної залози передбачено подвійний шар тканини. На пілочках



розташовано накладні кишені, які мають застібки на тасьму-блискавку.

Також розроблено костюм разового використання, який складається з куртки та штанів, і виготовлено з матеріалу з кодованим позначенням ПЗ. Куртка довжиною нижче лінії стегон, з каптуром, який вшито на еластичній тасьмі, з низу рукавів на ділянці зап'ястя застосовано еластичну тасьму. Зручність та швидкість одягання і знімання виробів забезпечує центральна бортова застібка на тасьму-блискавку. На пілочках передбачено додатковий шар матеріалу з кодованим позначенням В1. Для регулювання ширини низу штанів на ділянці щиколотки застосовано еластичну тасьму. Передні частини штанів посилено подвійним шаром матеріалу.

Запропоновано комплекти ізолювального одягу багаторазового використання [142], які складаються з куртки, напівкомбінезону або штанів та фартуху. Враховано сумісність з іншими виробами, призначеними для спільного використання: для захисту рук, ніг, голови і органів дихання.

Куртка має горизонтальні членування по лінії талії та складається з верхньої та нижньої частин передніх та задніх половин. Комір куртки – вшивний стояк; каптур з козирком, що захищає від потрапляння крапель на обличчя.

Напівкомбінезон має суцільнокроєний нагрудник та бретелі з еластичною тасьмою для фіксування положення виробу щодо тіла людини, обтюрація низу штанів і рукав регулює ширину виробу по низу рукавів і штанів. Костюми характеризуються більш високими показниками матеріалоемності та трудомісткості порівняно з комбінезонами, але мають кращі ергономічні властивості. Унеможливлення потрапляння рідких РАВ, пилу та аерозолів у підодяговий простір забезпечує обтюрація низу штанів і рукав, а також відсутність бічних швів у напівкомбінезоні.

Фартух виготовлено для захисту передньої і бічних частин виробничого одягу працівника і має кокетку з двох шарів матеріалу. Коефіцієнт дезактивації ЗО багаторазового використання не менше восьми за температури дезактивації 40...60 °С.

Для захисту рук розроблено двопалі рукавиці з ПВХ-пластикату (матеріал В4) і нарукавники (матеріал В1). Для робіт з рідкими РАВ запропоновано використання рукавичок універсальних (фірма OZON), які виконано з натурального латексу. Рукавички м'які й зручні, завтовшки 0,4 мм, щільно облягають руку при довжині 305 мм і мають високу міцність на розтягання. Нижній бік рукавичок з рифленням (у вигляді риб'ячої луски або гранул) забезпечує їх надійне пристосування для різних видів робіт. Внутрішній бік – з бавовни зі спеціальною обробкою для зменшення ризику алергійної реакції.

Запобіганню виникнення додаткових ризиків у процесі експлуатації ЗО сприяє ступінь перекриття різних виробів, а саме: верхньої частини напівкомбінезону і куртки, низу рукавів і нарукавників, нижньої частини штанів і бахилів, опорної ділянки куртки і каптура. Маса захисного комплексу становить  $(1,4 \pm 0,2)$  кілограмів. За умов виникнення надзвичайних обставин (у разі ліквідації аварій та їх наслідків) ізолювальний ЗО входить до складу

спорядження швидкого застосування. Запропонований комплект можна використовувати і як разовий.

### 5.1.2. Розробка конструктивно-технологічних рішень для респіраторів

За умов виникнення небезпеки через забруднення повітря пилом або аерозолями з низькою концентрацією радіонуклідів передбачено можливість застосування протипилового респіратора. Розроблено разовий респіратор для



Рис. 5.3. Протипиловий респіратор класу FFP3

захисту органів дихання та обличчя від вискодисперсних аерозолів, радіоактивного і ґрунтового пилу класу FFP3 (рис. 5.3). Респіратор такого типу можна використовувати за умови, що концентрація шкідливих аерозолів у повітрі робочої зони АЕС не перевищує (10...12) ГДК. Півмаску виготовлено з двох шарів фільтрувальних матеріалів: перший шар виготовлено з матеріалу (кодове позначення Н1) з поверхневою густиною  $25 \text{ г/м}^2$  ( $MD = 39 \text{ Н}$ ,  $CD = 22 \text{ Н}$ ); другий шар – з термоформованої поліефірної тканини з густиною  $50...100 \text{ г/м}^2$ .

Натурні випробування на Південноукраїнський АЕС довели правильність підходу до його розробки, що підтверджено безперервним перебуванням у респіраторі до 8 годин без погіршення працездатності і функціонального стану виробничого персоналу.

Півмаска допомагає знизити імовірність забруднення від рукавичок в області рота, але не забезпечує захисту очей і не повинна застосовуватися у разі ризику забруднення шкіри. Фільтрувальні матеріали мають властивість накопичувати забруднення і через їх поверхню може проходити до 8 % часток пилу з урахуванням ефекту підсмоктування на смузі обтюрації з обличчям, тому треба попередньо розраховувати або здійснювати контроль забруднення фільтрувальної півмаски у виробничих умовах [143]. Респіратор зручний у використанні, має невелику вартість і призначено до використання впродовж одного робочого дня.

Респіратори з негативним тиском для захисту від газів та аерозолів займають проміжне значення між респіраторами протипиловими і протигазами. Вони складаються з півмаски, фільтрів, які є невід'ємною частиною виробу, і клапанів. Запропоновано застосування для захисту органів дихання від твердих і рідких аерозолів, радіоактивних і токсичних частинок та мікроорганізмів респіратор марки "Profile<sup>2</sup>" (фірма SCOTT®) (рис. 5.4). Застосування протигазових або комбінованих фільтрів забезпечує захист органів дихання від сильнодіючих шкідливих речовин, якщо їх концентрації у повітрі не перевищує 10...15 ГДК.



Рис. 5.4. Зовнішній вигляд респіратора марки “Profile<sup>2</sup>”.

Респіратор складається з фільтрувальної півмаски, яку виготовлено з термопластичного еластомеру, двох фільтрів серії Pro<sup>2</sup> (протиаерозольні, протигазові або комбіновані), клапанів вдиху и видиху. Півмаска щільно прилягає до обличчя користувача під час застосування наголовника з ременями кріплення. Фільтри серії Pro<sup>2</sup> вирізняють за призначенням, складом поглиначів і відповідним маркуванням (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Типи фільтрів серії Pro<sup>2</sup> для респіраторів

Шкідлива речовина	Тип фільтра	Колір маркування
Пил та аерозолі з радіоактивними і токсичними частинками, мікроорганізми (бактерії та віруси)	P3	Білий
Органічні гази і пари з температурою кипіння менш як 65°C. 1 клас захисту	A1	Коричневий
Органічні гази і пари (розчинники) з температурою кипіння більш як 65°C. 2 клас захисту	A2	Коричневий
Двоокис сірки та інші органічні та неорганічні кислі гази й пари	A1B1E1	Коричневий, сірий, жовтий
Органічні та неорганічні кислі гази й пари, аміак та аміни	A1B1E1K1	Коричневий, сірий, жовтий, зелений
Органічні гази і пари з температурою кипіння більш як 65°C. Пил і аерозолі з	A1 P3	Коричневий, білий

радіоактивними і токсичними частинками, мікроорганізми		
Органічні гази і пари з температурою кипіння більш як 65°C. Пил і аерозолі з радіоактивними і токсичними частинками, мікроорганізми. 2 клас захисту	A2 P3	Коричневий, білий
Органічні та неорганічні кислі гази й пари, пил і аерозолі з радіоактивними і токсичними частинками, мікроорганізми	A1B1E1P3	Коричневий, сірий, жовтий, білий
Органічні та неорганічні кислі гази й пари, аміак та аміни, пил і аерозолі з радіоактивними і токсичними частинками, мікроорганізми	A1B1E1K1P3	Коричневий, сірий, жовтий, зелений, білий

Маса фільтра не перевищує 500 грамів, респіратор у комплекті з двома фільтрами має масу до 900 грамів. Респіратори виготовляють у трьох розмірах (S, M, L).

Вибір певного виду респіратора диктується видами забруднень повітря, їх концентрацією та умовами застосування. Захисні властивості респіратора, які вказано у ТУ, не завжди можна досягнути у виробничих умовах. Наприклад, фільтрувальна півмаска може не відповідати контурам обличчя і його розмірам. Як показали випробування у промислових умовах, навіть приріст лицевого волосся впродовж робочого дня призводить у фільтрувальних масках до зменшення коефіцієнту захисту у два і більше разів [144].

Захисні властивості респіраторів з фільтрами є достатньо стабільними, але також залежать від ступеню обтюрації з обличчям користувача, а також від тривалості захисної дії фільтрів. Через те у [38] рекомендовано контролювати захисні властивості таких ЗІЗОД у разі безперервного використання впродовж тривалого часу (більш як три години).

В умовах забруднення повітря аерозолями з природними радіонуклідами (передусім радіоактивними ізотопами йоду ( $^{128}\text{I}$  до  $^{139}\text{I}$ ) або газом тритієм, який має високу ступень дифузії), тривалість використання фільтрувальних півмасок і відповідних фільтрів підлягає корегуванню.

Респіратори є більш комфортні до використання, порівняно з протигазами, особливо впродовж тривалих періодів через менший коефіцієнт опору диханню та масі, але захищають лише органи дихання. Очі, верхня частина обличчя і підборіддя залишаються відкритими, тому можливо забруднення шкіри обличчя у разі торкання її руками.

У запропонованих ізолювальних комплектах підвищено захисні властивості респіраторів за рахунок відповідних конструкцій ізолювального ЗО через проектування у куртках і комбінезонах каптурів з козирками та вшивного на стойці коміру.

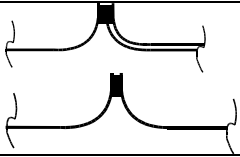
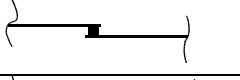
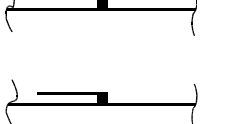
### 5.1.3. Особливості технології виготовлення


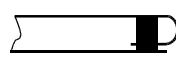
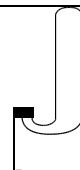
Вироби з ПВХ-пластикату виконують нескладних конструкцій, прямих силуетів, з формоутворенням за рахунок конструкції через неможливість використання волого-теплової обробки та клейових швів, які ускладнюють процес дезактивації. Також виключено з'єднання деталей нитковим способом через унеможливлення відновлення структури матеріалу після проколу його голкою. Технологією виготовлення ЗО з ПВХ-пластикатів (В1, В4) вибрано СВЧ-зварювання, яке забезпечує непроникність пилу, аерозолів, рідини у підодяговий простір [145]. Результати випробувань підтвердили, що у розроблених ПВХ-пластикатів коефіцієнт діелектричних втрат становить 0,013...0,015, що дало змогу застосувати спосіб СВЧ-зварювання. Вироби виготовляють на устаткуванні УЗП 2500. Струм зварювання і механічне навантаження залежить від товщини матеріалу і становить: матеріал В1, В4 завтовшки 0,1...0,15 мм – струм 0,5 А, механічне навантаження 6,8 кН; матеріал В2 – струм 0,65 А, навантаження 6,8 кН; матеріал В3 – струм 0,9 А, навантаження 7,3 кН.

Основними перевагами високочастотного СВЧ-зварювання є: короткий час зварювання (до 5 с); відсутність різких перепадів температури, що зменшує руйнування структури матеріалу; утворення герметичного зварного шва без застосування сторонніх речовин. У виготовленні ізолювального ЗО методом СВЧ-зварювання використано певні види швів (табл. 5.2). Трудомісткість виготовлення костюма становить 4 275 с, куртки – 1 920 с, півкомбінезону – 2 860 с.

Таблиця 5.2

Характеристика зварних швів для виготовлення ізолювального ЗО з ПВХ-пластикату

Найменування шва	Найменування операції	Ширина зварювання шва, мм	Умове зображення шва
Зварний типу зшивний (із суміщенням зрізів)	Зшивання плечових, бокових зрізів	1,5–2	
Зварний типу накладний з відкритими зрізами	Зшивання деталей	2	
Зварний типу настрочування тасьми	Настрочування зав'язок на бахили, застібку куртки	1,5	

Зварний типу відгин з відкритим зрізом	Застрочування низу рукав, штанів, комбінезону	2	
Зварний комбінований типу настрочування обшивки на деталь	Обшивання пройми півкомбінезону обшивкою	2	
Зварний типу вшивний	Вшивання коміру у горловину	1,5	

Разовий ізолювальний ЗО виготовлено на промисловому швейному устаткуванні з використанням подвійного шва на штанах і бічних деталях куртки з такими характеристиками: розривальне навантаження 90 Н; повітропроникність 10  $\text{дм}^3/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ ; стійкість до багаторазового згину 100 кілоциклів.

Ізолювальний комплект захищає від сухих і рідких радіоактивних відходів, знижує рівень  $\beta$ -випромінювання на 92 % і  $\alpha$ -випромінювання на 98 % в умовах впливу радіонукліду цезію  $^{137}\text{Cs}$ .

Новизну рішень ізолювальних комплектів підтверджено патентом України на корисну модель [146].

## 5.2. Розробка конструктивно-технологічних рішень для ізолювальних комплектів від хімічноактивних речовин

Ізолювальні комплекти призначено для захисту від дії кислот, лугів, нафти, нафтопродуктів, пилу, води, органічних розчинників. Ізолювальний ЗО виготовлено з матеріалу з покриттям з кодованим позначенням ІВЗ. Захист забезпечено за рахунок повної ізоляції шкіряних покривів, органів дихання від навколишнього середовища. Розроблено та виготовлено різновиди ЗО залежно від місця застосування, теплоізоляції, вартості [147].

### 5.2.1. Вибір різновидів та конструктивних рішень для захисного одягу

На підставі узагальнення практичного досвіду [148] сформовано такий асортиментний ряд ізолювального ЗО багаторазового використання: куртки, напівкомбінезони, штани. У комплекті разом із ЗО використовують фільтрувальний респіратор, рукавички та взуття (бахили, півбахили, гамаші).

Одна з головних вимог, які висувають до ЗО від хімічноактивних речовин, – створення відповідної конструкції, яка забезпечувала б скочування рідких хімічних речовин з поверхні одягу (відсутність відкритих кишень, застібок).

Враховуючи характер основних рухів працівника (нахили тулуба вперед, підняття рук та ін.) і топографію ділянок найбільшого навантаження, куртки,

напівкомбінезон, штани запроектовано прямого силуету з помірною об'ємною формою, вшивний одношовний рукав, центральну бортову застібку, мінімальну кількість членувань (рис. 5.5).

Під час проектування враховано певні вимоги, пов'язані з особливостями робіт на АЕС: матеріал є хімічно неактивний, водонепроникний і вогнебезпечний; складники костюма зручні в носінні (гарна формостійкість); легке одягання і роздягання (спеціальна конструкція застібок); мінімізація ризику порушення процесів тепломасообміну (збільшено прибавки на вільне облягання та можливість носіння з білизняним і виробничим одягом з бавовни).

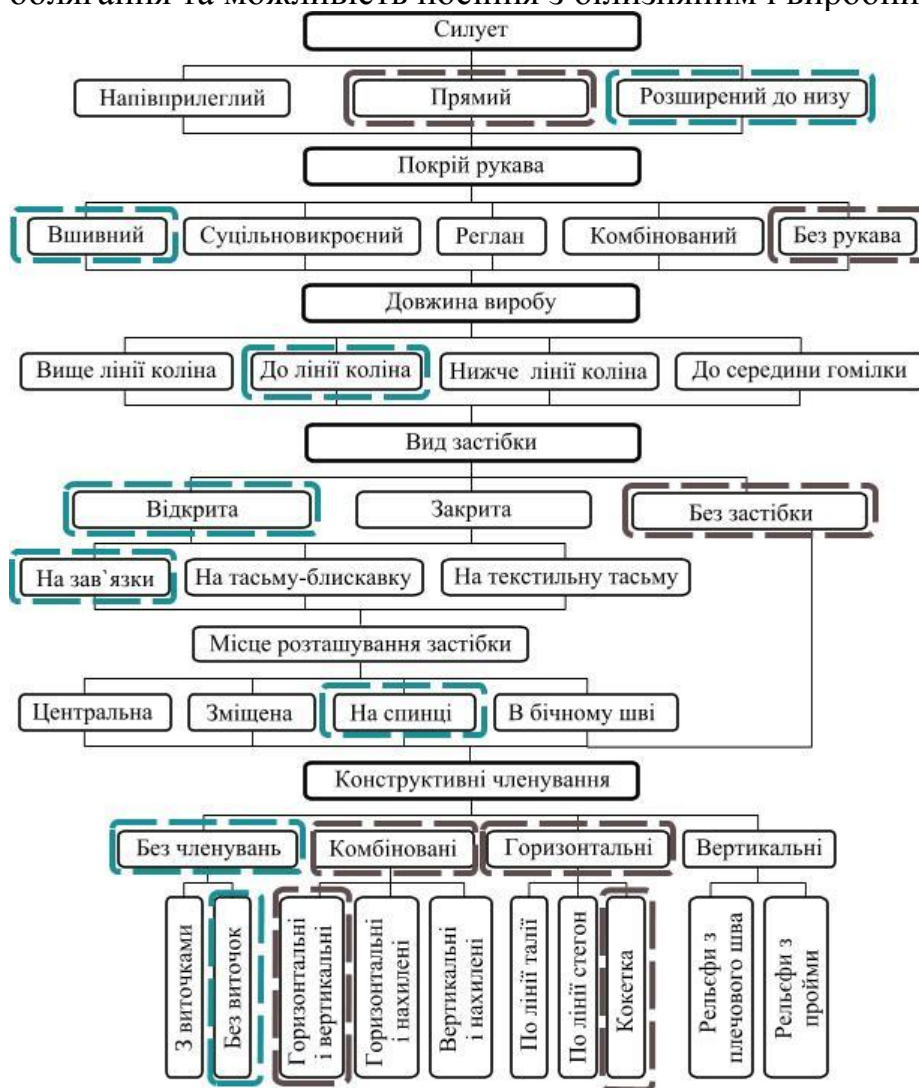


Рис. 5.5. Структурна схема конструктивного рішення плечових виробів ізольовального комплексу

Передбачено подвійну застібку куртки і гульфіка півкомбінезона – верхній шар з накладок утворює обтюрацію для більшої герметизації. Унеможливлення потрапляння рідких хімічноактивних речовин у підодяговий простір забезпечує стягнутий еластичною тасьмою низ штанів, що також дає можливість регулювати ширину виробу. Низ рукавів має обтюрацію (напульсник або вшивний напульсник), що запобігає проникненню води під

рукав; посилено шви за рахунок використання внутрішньої термострічки.

Виявлення місць найінтенсивнішого зношення здійснено через обстеження ЗО після використання впродовж трьох місяців. Встановлено, що найбільшому зносу підлягають: зона колін, зона застібки, низ рукавів, кроковий шов. Для підвищення рівня надійності і захисту, на відміну від наявних моделей, впроваджено: конструкція підсилювальних накладок на ліктях і колінах, що дає змогу максимально захистити ці ділянки; посилений захист грудної клітки за допомогою нагрудної кишені з клапаном, яка запобігає проникненню рідини всередину; комір-стійку для забезпечення щільності прилягання. Для більшого захисту від проникнення шкідливих речовин у ділянці шиї застібку подовжено на комір-стійку.

У конструкції забезпечення задовільного теплообмінного процесу працівника із зовнішнім середовищем і збільшення терміну безперервної роботи реалізовано через вентиляцію підкостюмного простору в ділянці пройми рукава. Запропоновано в жіночому варіанті використовувати додаткову вентиляцію в середньому шві спинки через тасьму “блискавку”, яку зашивають мембранною тканиною. Така конструкція пропускає повітря з-під костюмного простору та унеможливорює потрапляння шкідливих випарів всередину.

ЗО підлягає очищенню у разі забруднення мильним розчином, коефіцієнт очищення не менше восьми за температури 40...50 °C.

Враховано сумісність ЗО з іншими виробами, призначеними для спільного використання: для захисту рук – рукавички; ніг – бахили, півбахили, панчохи, гамаші; голови та органів дихання – фільтрувальний каптур.

Роботи з розчинами хімічноактивних речовин запропоновано здійснювати з використанням одного з трьох типів рукавичок (фірма OZON). Рукавички першого типу виконано з нітрилу завтовшки 0,28–0,38–0,56 мм і призначені для робіт у вологому середовищі та з такими хімічними речовинами як органічний спирт, бензол, бутаном, формальдегід, фреон, хідрозина 65 тощо. Зручні і довговічні в експлуатації через поєднання механічної міцності при довжині 330–380–455 мм і хімічної стійкості, втричі міцніші на розривання, аніж гумові. Внутрішній бік, який виготовлено з бавовни, містить протигрибкові й бактеріостатичні речовини для гігієни рук.

Рукавички другого типу виконано з каучуку поліакрилового завтовшки 0,28–0,56 мм. Мають високу хімічну стійкість на органічні розчинники, мастила, жири, смоли, нафтопродукти, не пропускають водяні розчини. Призначені для роботи з акумуляторами під час знежирення поверхонь. М'які й еластичні довжиною 330–380–455 мм, з високим опором на розривання і розрізання. Внутрішню частину рукавичок оброблено бавовною, шорсткий нижній бік у вигляді ромбів забезпечує якісний захват предметів.

Рукавички третього типу з комбінації латексу з неопреном, завтовшки 0,68 мм, довжина 323 мм. Можна використовувати під час робіт з фенолом, органічними розчинниками, формальдегідами, органічними барвниками, азотною кислотою з концентрацією (10...70) %, гідрохіноном, гідроaziном, фреоном, кислотах, водяних розчинах аміаку тощо. Внутрішня частина має



бавовну зі спеціальною обробкою, що зменшує ризик алергійної реакції.

### 5.2.2. Розробка конструктивно-технологічних рішень для фільтрувального каптура

Основними причинами виникнення нещасних випадків під час роботи з хімічноактивними речовинами є гостре отруєння газами або випаровуваннями, а також опіки очей та шкіри голови. Комбінований захист органів дихання, шкіри голови, обличчя, очей та шиї забезпечено фільтрувальним каптуром (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Зовнішній вигляд фільтрувального каптура

Каптур виготовляють з матеріалу з покриттям (кодоване позначення IB2) з чотирьох частин, з'єднаних середнім швом [149]. На бокових частинах розташовано отвори для гуми, яка регулює розміри каптура відповідно до голови користувача. Третя частина конструкції каптура дає об'ємну форму для панорамного візора. У нижній частині конструкції передбачено внутрішню силіконову півмаску з двома клапанами видиху, яка запобігає потраплянню видихуваного повітря під каптур, зменшує об'ємну частку двоокису вуглецю в повітрі, що вдихається, до 2 %, а також мінімізує процес затуманення панорамного візора, через підтримання вологості у видихуваному повітрі. Еластичний комірць, який розміщено у нижній частині каптура, забезпечує надійну обтюрацію і запобігає проникненню токсичних газів під каптур. Усередині розміщено переговорний пристрій.

Каптур спроектовано за вимогами стандарту [150] з нарізевими з'єднаннями  $Rd\ 40 \times 1/7''$  (відповідно до [151]) для під'єднання фільтру (табл. 5.3). Комплектується фільтром марки АВЕКР15, який ефективний від багатьох газів, пари і випарів, високотоксичних і радіоактивних частинок, бактерій та вірусів. Каптур застосовують без примусової подачі повітря за об'ємного вмісту кисню в повітрі не менше 17 %. Термін захисної дії визначається показниками фільтру.

Таблиця 5.3

#### Основні характеристики каптура фільтрувального

Найменування показника	Фактичні значення показника
Час захисної дії, хв, не менш як	45
Коефіцієнт підсмоктування, %, не більш як	5
Опір постійному потоку повітря, Па, не більш як:	
за об'ємної витрати 95 дм <sup>3</sup> /хв під час вдиху;	800
за об'ємної витрати 160 дм <sup>3</sup> /хв під час видиху	300
Вміст CO <sub>2</sub> на вдиху, %, не більш як	2,0
Загальна маса, кг не більше	2,0
Гарантований термін зберігання, років, не менш як	5,0
Поле огляду, %, не менш як	80

Каптур з відповідним фільтропоглиначем застосовують в комплекті з ізолювальним ЗО.

### 5.2.3. Особливості технології виготовлення

Герметичність швів повинна забезпечити непроникливість розчинів хімічноактивних речовин і нафтопродуктів. У виготовленні ізолювального ЗО використано спосіб СВЧ-зварювання, який відповідає таким вимогам. Через те, що способом виготовлення ЗО вибрано зварювання, виникають певні вимоги до конфігурації лекал, а саме: на зварювальному устаткуванні досить складно виготовити криволінійний шов, наприклад, з'єднання окату рукава і пройми. Тому запропоновано лінію окату рукава спроектувати прямою лінією, а лінію пройми змодельовати з прямих ліній, розташованих під кутом одна до одної. Довжину плеча при цьому подовжено на величину висоти окату – 10,0 см. Матеріал з покриттям не піддається волого-тепловій обробці, тому отримати об'ємні форми можна завдяки конструкції. Всі основні деталі костюма не підлягають членуванню, не використовуються виточки, кокетки, підрізи та ін. Під час виготовлення ізолювального ЗО використано такі зварні шви (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

#### Види зварних швів для виготовлення ізолювального ЗО

Найменування шва	Призначення шва	Ширина шва, мм	Ширина зварювання, мм
Зварний типу вшивний	З'єднання плечових і бокових зрізів виробу, деталей рукавів, бокових, крокових і середнього зрізів півкомбінезона	10	1,5–2

Зварний тип накладного з відкритими зрізами	Вшивання рукавів у пройму; з'єднання дрібних деталей з основними	10	2
Зварний впідгин	Обробка низу виробу, рукавів і зрізів інших деталей	10–20	2

Зварні шви виконують однією лінією завширшки 1,5–2 мм. Каптур з'єднують з чотирьох частин зварним швом.

Вироби виготовляють на устаткуванні УЗП 2500, що дає можливість забезпечити потрібний рівень ФМХ швів (табл. 5.5). Для матеріалу ІВЗ струм зварювання 0,78 А, механічне навантаження 7,5 кН.

Таблиця 5.5

#### Фізико-механічні характеристики зварювальних швів

Найменування показника	Фактичне значення показника	Нормативний документ на метод випробування
Розривальне навантаження, Н: поздовжній шов; поперечний шов.	76 73	ДСТУ ISO 2960
Втрата міцності після 20 циклів розтягування: поздовжній шов; поперечний шов	0 0	ДСТУ ISO 2960
Втрата міцності після 100 циклів згинання: поздовжній шов; поперечний шов	0 0	ДСТУ EN 1073-1:2003
Повітропроникність, дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с): поздовжній шов; поперечний шов; на перехресті швів	28,0 30,0 108,3	ДСТУ ISO 9237
Водопроникність швів	0	ДСТУ ISO 9237
Пилопроникність швів	0	ДСТУ ISO 9237

З табл. 5.5. випливає, що розривне навантаження швів сумірне з розривним навантаженням матеріалу (див. табл. 3.13). Це доказ високої міцності зварних швів, що є обов'язковим для ЗО.

Витрати часу на виготовлення костюма методом СВЧ-зварювання становлять 4 275 с. Зварні шви повністю унеможливають проникнення нафти та інших мастильних речовин під одяг. Дослідження підтвердили міцність з'єднань, але після очищення вона знижується. Водночас виріб не набуває

жорсткості та не заважає працівнику рухатися. Економічні розрахунки підтверджують невисоку собівартість виробів, виготовленого на такому устаткуванні.

У разі використання ультразвукового зварювання витрати часу на виготовлення костюма становлять 3 985 с. Порівняно з іншими способами це найменш трудомістка обробка. Це зумовлено великою швидкістю з'єднання деталей з необхідним рівнем герметизації швів. Однак у разі застосування цього способу первинні витрати на устаткування дуже суттєві.

Маса ЗО перебуває в діапазоні від 0,6 до 1,8 кілограмів, а комплекту з фільтрувальним каптуром, рукавичками та бахилами – до трьох кілограмів [152].

Новизну рішень ізолювальних комплектів підтверджено патентом України на корисну модель [153].

### **5.3. Розробка конструктивно-технологічних рішень радіаційнозахисних комплектів**

Радіаційнозахисний комплект призначено для роботи під впливом зовнішніх іонізуючих джерел низької, середньої і високої енергії до 662 кеВ. Головна вимога до таких комплектів – забезпечення найбільш можливішого коефіцієнта захисту від  $\beta$ -,  $\gamma$ - випромінювань, що дає змогу збільшити тривалість робіт в умовах впливу зовнішнього іонізуючого випромінювання.

#### **5.3.1. Вибір різновидів та конструктивних рішень для захисного одягу**

Передумовою для вибору асортиментного виду та конструктивного рішення виробів радіаційнозахисного комплекту є результати структурної оптимізації радіаційнозахисного ЗО, призначені для обґрунтування способів підвищення захисту. З огляду на це, складовими комплекту є багатошарові жилети, накидки, куртки, півкомбінезони, шоломи, рукавиці, бахили, виготовлені з радіаційнозахисного матеріалу (кодове позначення РЗ1).

Вироби виконано нескладних конструкцій прямих силуетів з помірним об'ємом і формоутворенням за рахунок членування. Характерною особливістю виробів комплектів є їх багатошаровий склад пакетів матеріалу (рис. 5.7).

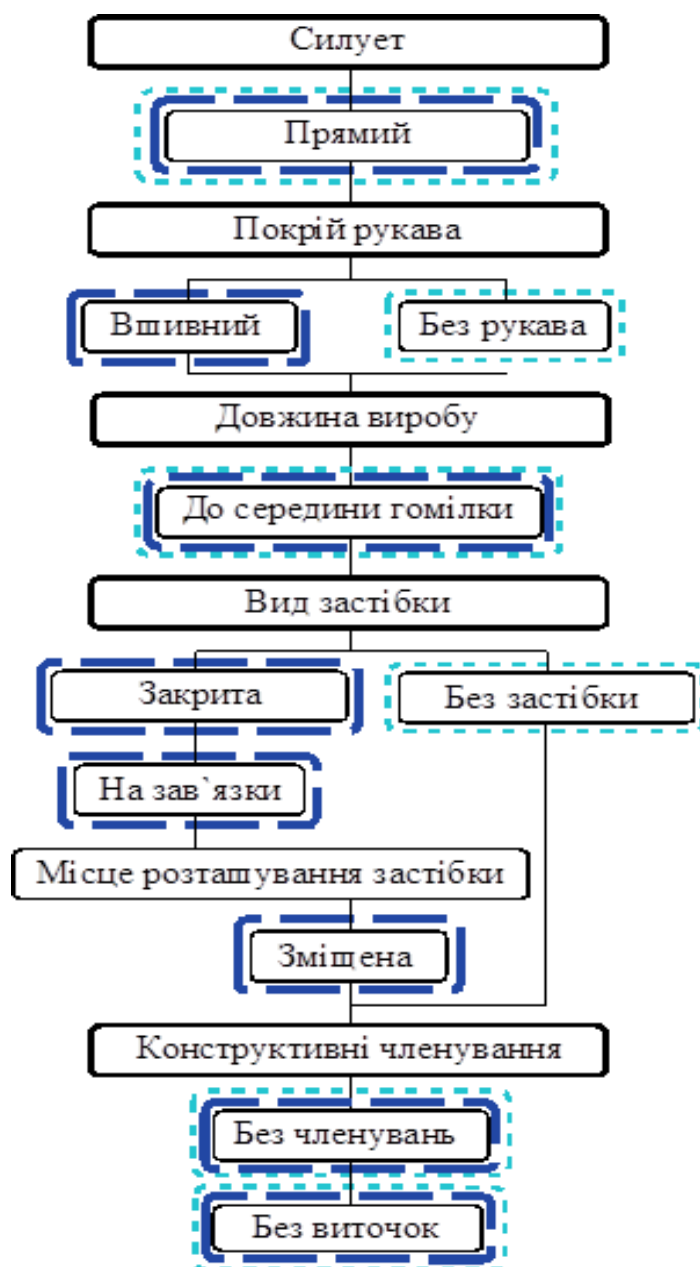


Рис. 5. 7. Структурна схема конструктивного рішення плечових виробів радіаційнозахисного комплексу

Матеріал РЗ1 має велику густину (див. табл. 3.10), тому під час проектування та оптимізації параметрів головним обмеженням є маса комплексу. Розглянуто такі різновиди конструкцій:

- багат шаровий суцільний ЗО, що забезпечує сталий коефіцієнт захисту на всіх його ділянках;
- ЗО, який складається з окремих захисних елементів різної товщини. Друга конструкція дає можливість змінювати коефіцієнт захисту відповідно до зонально-модульної моделі, раціонально використовувати матеріал і контролювати масу готового виробу.

Розроблено дві конструкції жилетів: суцільнокроєна накидка [154]; жилет з окремими змінними елементами-вставками [155]. Накидку з'єднано з двох та тришарових шарів матеріалу Р31 зі зміщеними плечовими швами один щодо одного. Це дало змогу збільшити товщини пакетів на швах з одночасним зменшенням навантаження на шви з'єднання.

Для зменшення навантаження на плечові шви та кращого облягання постаті зроблено кокетки, які розподіляють рівномірно навантаження з одного шва на два, та дають можливість, незважаючи на особливості матеріалу, закласти виточки у плечовий шов кокетки і зменшити частину зварного шва. Горловину зменшено до мінімально необхідної величини. За рахунок використання еластичної тасьми та текстильної застібки біля горловини збільшено легкість одягання. Для найкращого захисту від радіоактивного впливу та механічних навантажень у зонах, які потребують підвищеного рівня захисту, запроектовано додаткові підсилювальні накладки. Для кращої ізоляції пройму оброблено захисним шаром ПВХ-пластикату В4 (рис. 5.8).

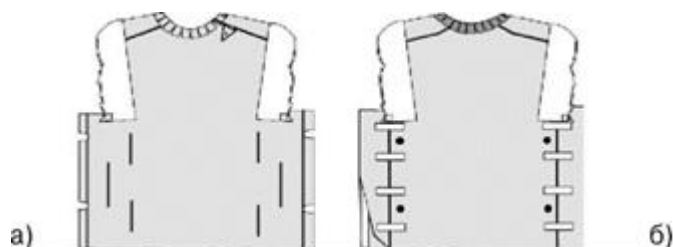


Рис. 5.8. Загальний вигляд накидки моделі 1: а) спереду; б) ззаду

Перевагами першої моделі є відсутність швів у захисних шарах, що підвищує рівень надійності в експлуатації, забезпечує зручність у одяганні та зніманні. Вада – велика маса (до 18 кг), що створює надмірне статичне навантаження на тіло працівника. Жилет використовують у комплектів з наколінниками, нарукавниками і шортами, поверх білизни, виробничого одягу з бавовни або разового ізолювального ЗО (у зимово-осінній період).

Другий варіант виготовлено у вигляді багат шарового жилета, який складається із захисних модулів і поверхневого покриття з іншого матеріалу (кодове позначення В1). На пілочці та спинці зовнішнього шару матеріалу В1 розташовано двошарову кокетку з внутрішніми кишнями, які прикріплені своїми верхніми краями до неї внакладку та оснащені застібками для забезпечення нерухомості захисних чотирьох, шести або восьмишарових модулів з матеріалу Р31. Перекривна поверхня одного модуля іншим становить (3...5) % від площі модуля. Кишені виконано вздовж ширини пілочки та спинки з внутрішнього боку для захисту всієї поверхні переду та спини працівника та зручності у використанні, наприклад, під час заміни захисних елементів. Один бік кожної кишені з'єднано із жилетом, а другий – частково перекриває попередню для уникнення незахищених ділянок.

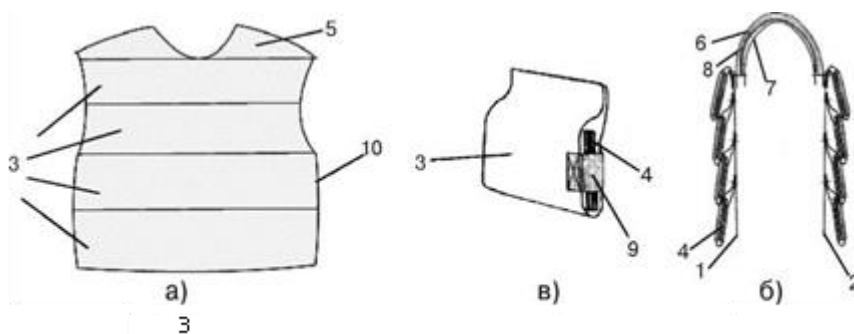


Рис. 5.9. Загальний вигляд жилету моделі 2: а – вигляд спереду; б – повздовжній переріз; в – кишень. 1 – пілочка; 2 – спинка; 3 – кишені; 4 – захисні модулі; 5 – двошарова кокетка; 6, 7 – шари зовнішнього матеріалу, 9 – застібки; 10 – бічний шов.

Дослідне носіння в промислових умовах виявило певні вади і незручності, а саме:

- плечовий зварний шов жилета не витримував великих навантажень під час підняття рук працівником вгору;
- застібка з переду деформувалася під впливом маси захисних модулів;

– недостатнє облягання жилетом (спинкою) фігури.

Після доопрацювання конструкції жилету запропоновано такі зміни:

- плечові шви усунуто, що уможливило вкладання захисних модулів нерозрізаними по лінії плеча. Це забезпечує кращий захист через надійно закріплені на плечах захисні модулі. Зварні шви в області плеча відсутні;
- застібку перенесено на спинку, що покращує легкість одягання та знімання, запобігаючи забрудненню чистих поверхонь;
- такий варіант конструкції зменшив масу жилета з 18 кг до 8 кг за однакового коефіцієнта захисту.

Розроблено радіаційнозахисний костюм, який складається з куртки і напівкомбінезону. Куртка подовжена, прямого силуету зі суміщеною бортовою застібкою. Рукава вшивні одношовні. У виробі не передбачено комір і каптур через застосування шолома. Для регулювання навантаження у конструкціях плечових виробів максимальна кількість шарів обмежена до п'яти.

Напівкомбінезон виготовлено прямого силуету з центральною застібкою на тасьму “блискавку”, яка закрита планкою. На передній половинці в області коліна передбачено наколінники прямокутної форми. Для підвищення надійності шари радіаційнозахисного одягу покрити тканим матеріалом з густиною 480 г/м<sup>2</sup>. Така конструкція виробу дає змогу не створювати перешкод для рухів працівника.

Під час розробки шолома розглянуто декілька варіантів конструктивного рішення, що зумовлено необхідністю забезпечення надійного захисту голови, щитоподібної залози, обличчя і сумісності з іншими ЗІЗ – очей та органів дихання. Конструкція шолому складається: з нижньої частини, яка лягає на плечі і перекриває

спинку на 8 см, що забезпечує підвищений захист шийних хребців та щитоподібної залози; з верхньої частини, яка захищає голову; з лицьової частини у формі овалу. Конструкція складається з трьох деталей і має середній шов. Форма виробу задається за рахунок бічних виточок і середнього шва.

Для показників захисних властивостей збільшено довжину виробу на 6 сантиметрів по плечах і на 8 сантиметрів в області спинки, а також зроблено овальну конфігурацію передніх зрізів шолома з метою покращення захисту щитоподібної залози. Запроектовано дві застібки на тасьмі (рис. 5.10).

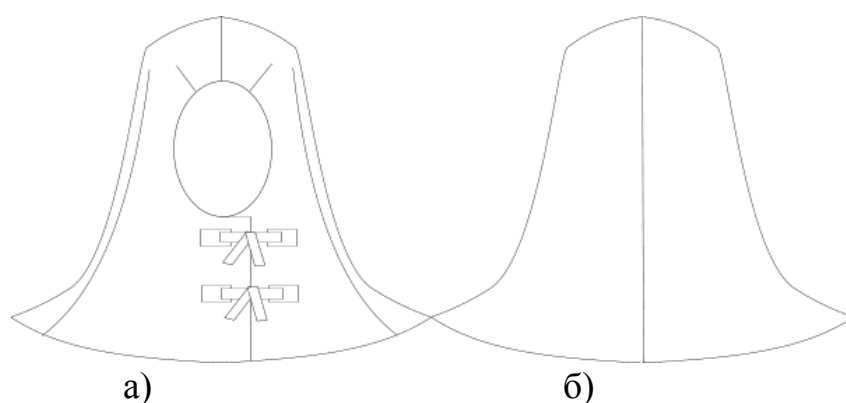


Рис. 5. 10. Загальний вигляд шолому: а) – вигляд спереду; б – вигляд ззаду.

Бахили виготовлено з двошарових модулів захисного матеріалу РЗ1 і поверхневого шару з ПВХ-пластикату В2 (халява) і В3 (подошва), рукавиці мають по одному шару захисного матеріалу і ПВХ-пластикату В1.

На рис. 5.11 представлено проектно-конструктивні рішення різновидів радіаційнозахисних комплектів із зональним розташуванням раціональних пакетів.



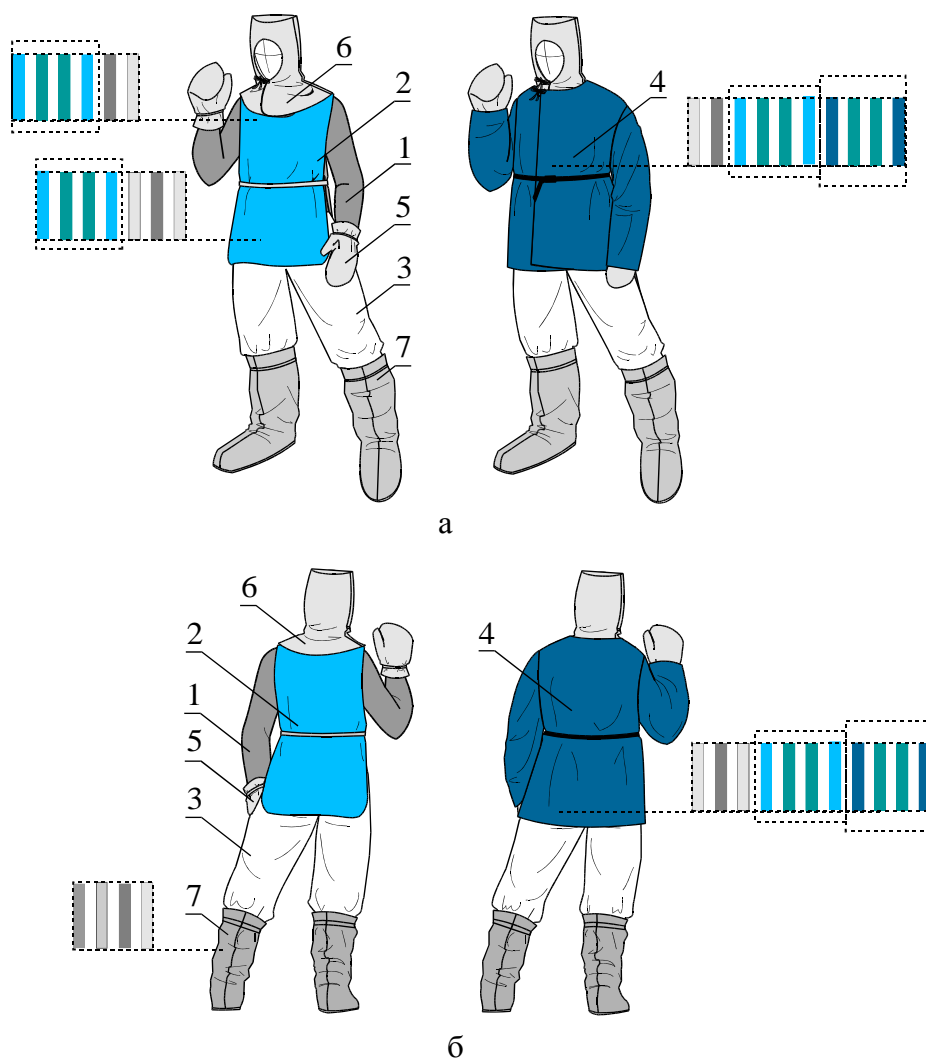


Рис. 5.11. Проектно-конструктивні рішення виробів радіаційнозахисного комплекту спереду (а) та ззаду (б) із зональним розташуванням пакетів: 1 – виробничий одяг; 2 – жилет; 3 – штани; 4 – куртка; 5 – рукавиці, рукавички; 6 – шолом; 7 – бахили.

Усі конструктивні елементи виробів у комплекті гармонійно поєднані між собою і відповідають естетичним вимогам до ЗІЗ. Кольорові рішення залежать від кольору матеріалів зовнішнього шару ЗО: синій, темно-синій, зелений, коричневий, прозорий.

### 5.3.2. Особливості технології виготовлення

Вироби виготовляють методом СВЧ-зварювання на устаткуванні УЗП 2500. Наявність модифікаторів у матеріалі Р31 суттєво ускладнює процес зварювання, тому захисні модулі зроблено з двох, чотирьох і шести шарів двох розмірів (10x50) см або (15x40) см. Використання СВЧ-зварювання під час виготовлення захисних модулів дало можливість на 70 % зменшити відхилення модуля за висотою та стабілізувати його положення у кишенях зовнішнього шару. Струм зварювання через високий рівень провідності матеріалу встановлюють мінімальним 0,6 А та механічне навантаження для матеріалу Р31

підвищують до 8,2 кН. Зі збільшенням шарів міцність швів зменшується, що також вплинуло на обмеження за кількістю шарів захисного матеріалу у модулях.

Експериментальні дослідження коефіцієнта захисту на робочому майданчику АЕС за максимального рівня енергії 662 кеВ  $\gamma$ -випромінювання показали відповідні результати (рис. 5.12).

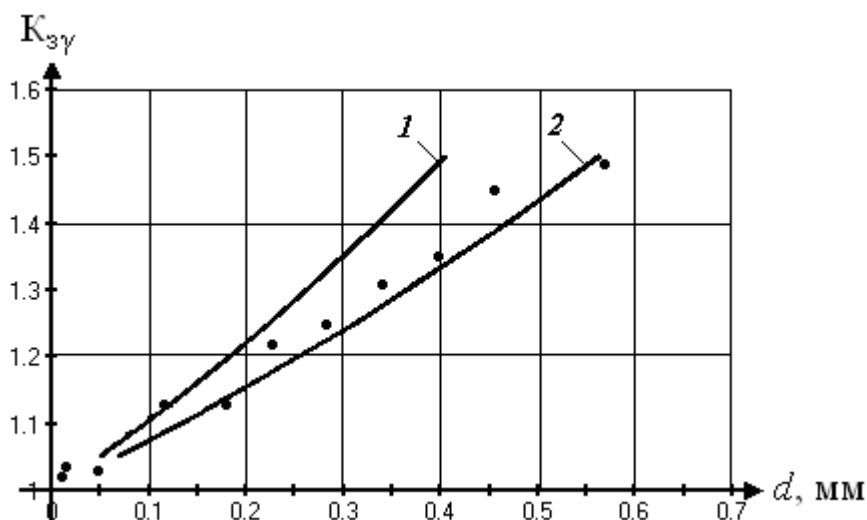


Рис. 5.12. Залежність коефіцієнта захисту  $\gamma$ -випромінювання від товщини захисного шару: 1 – верхня межа; 2 – нижня межа.

З рис. 5.12 випливає, що 30 з шести захисних шарів забезпечує коефіцієнт захисту  $K_{з\gamma} = 1,24$  за енергій випромінювання до 662 кеВ, що дає змогу збільшити термін проведення робіт у зоні впливу іонізуючого випромінювання у 1,11 раз.

Розроблений радіаційно-захисний комплект має такі характеристики: повністю захищає від  $\beta$ -випромінювання з енергією до 2 МеВ, поглинається 90%  $\gamma$ -випромінювання за енергій менш як 10 кеВ, коефіцієнт захисту від  $\gamma$ -випромінювання становить: 9,65 за енергій до 10 кеВ; 4,0 – до 100 кеВ; 1,74 – до 200 кеВ; 1,24 – до 662 кеВ, маса – до 16 кг.

Вироби виготовлено на підприємстві “Скіф” (м. Корсунь-Шевченківський, Черкаська обл.). Новизну рішень радіаційнозахисних комплектів підтверджено патентами України на корисні моделі і промислові зразки [154–157].

#### 5.4. Розробка конструктивно-технологічного рішення фільтрувальних комплектів

Фільтрувальний комплект захищає від пилу та аерозолів з радіонуклідами та шкідливих хімічних речовин і призначений для безперервного використання впродовж 24 годин.

##### 5.4.1. Вибір різновидів і конструктивних рішень для захисного одягу

Комплект складається з 3О, засобів захисту органів дихання, шкіри рук і ніг. 3О виготовлено з фільтрувального матеріалу з кодовим позначенням Ф2.

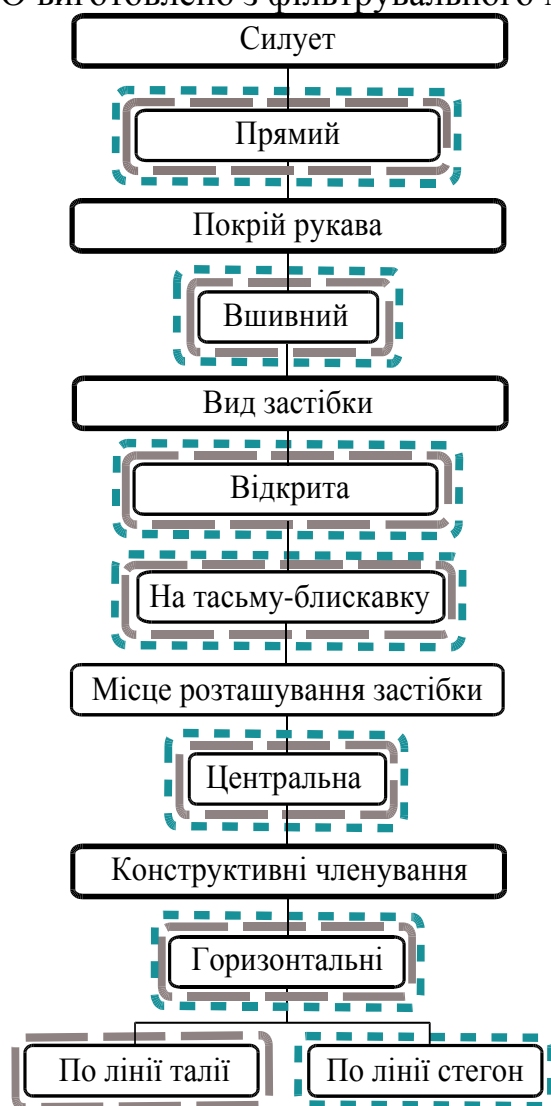


Рис. 5.13. Структурна схема конструктивного рішення плечових виробів

Відповідно до розробленої моделі і методу структурної оптимізації встановлено раціональну комплектність 3О та виявлено його конструктивні

особливості (рис. 5.13). Запропоновані різновиди ЗО складаються з костюму (подовжена куртка та штани) або комбінезону прямого силуету з каптуром.

До конструктивних особливостей ЗО належить відсутність кишень, застібок, гудзиків і фурнітури, що виступають, через які можливо зачепитися в обмеженому просторі за рухомі частини аварійно-рятувального устаткування (рис. 5.14).

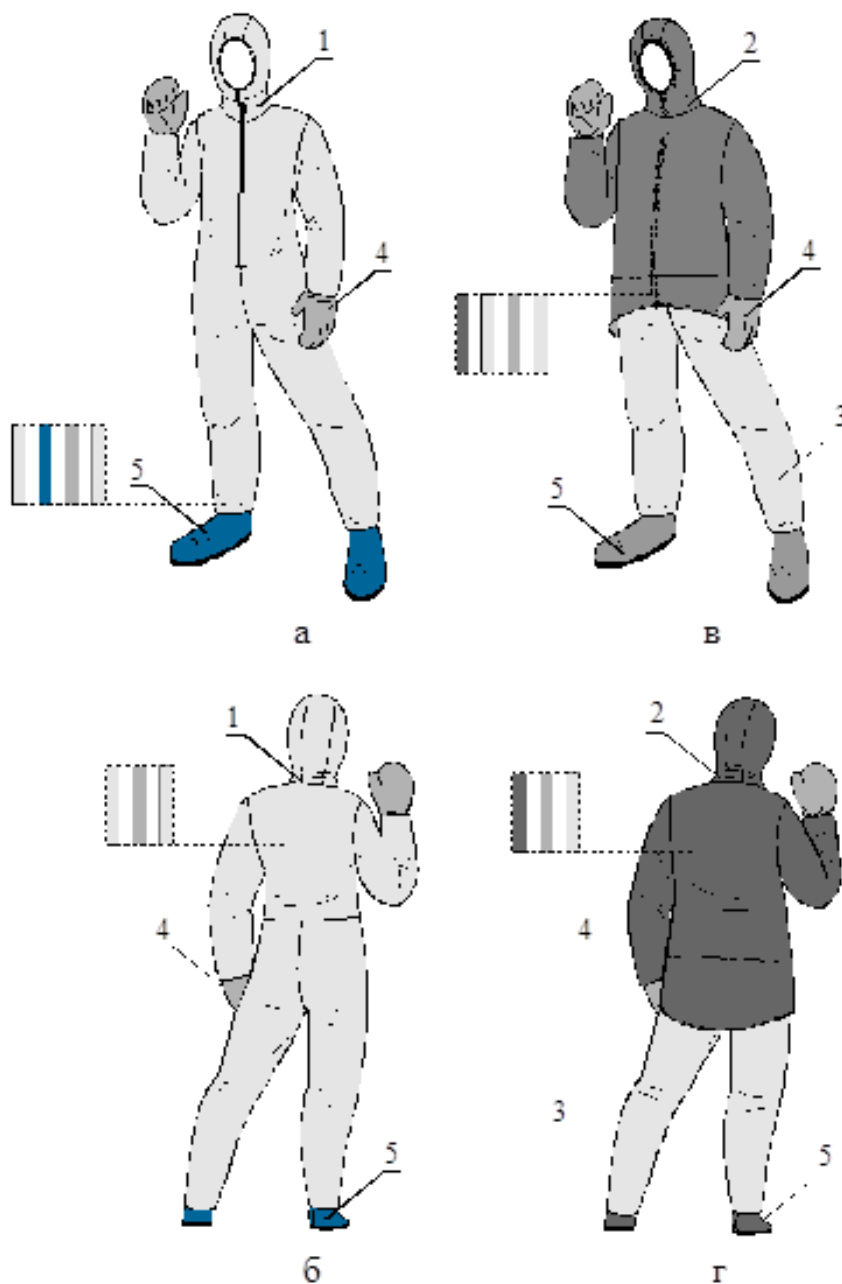


Рис. 5.14. Проектно-конструктивні рішення виробів фільтрувальних комплектів: вид спереду (а, в) і ззаду (б, г) із зональним розташуванням пакетів, 1 – комбінезон; 2 – куртка; 3 – штани; 4 – рукавиці, рукавички; 5 – бахили.

Конструкцією комбінезонів і курток передбачено каптури із щільним приляганням до обличчя. Мінімальний ризик забруднення працівника, легкість

в одяганні та зніманні куртки і комбінезону досягнуто застосуванням центральної подвійної закритої застібки на тасьму «блискавку» для захисту щитоподібної залози, грудної клітини та черевної порожнини від проникнення шкідливих мікроорганізмів. З урахуванням зміни розмірних ознак під час виконання основних рухів запропоновано суцільнокроєний рукав, що скоротить навантаження на лінію пройми і дасть змогу працівнику вільно підіймати та опускати руки.

У створенні конструкції ЗО важливо не допускати захоплення біологічних речовин у зап'ястях або щиколотках як результат "ефекту гармошки". Застосовано фіксатор для великого пальця у рукавах куртки і комбінезону та штрипки по низу штанів для фіксації деталей виробу під час руху. Забезпечено сумісність такого ЗО з ЗІЗ рук (рукавичками), та ніг – (бахилами або ботами), призначеними для спільного використання. Зазначимо, що фільтрувальний ЗО є одягом з обмеженим терміном використання через можливість його промокання. Для збільшення тривалості використання розроблено моделі з матеріалу (кодове позначення Ф4), який має поверхнєве покриттям водостійкою камуфльованою тканиною. У разі використання фільтрувального ЗО у вибухонебезпечному середовищі поверхневий шар матеріалу додатково попередньо обробляють і наносять зовнішній антистатик.

Фільтрувальний ЗО комплектують подвійними рукавичками – з каучуку поліакрилового або з нітрилу і бавовни. Під час робіт, пов'язаних з великими механічними навантаженнями, в складних кліматичних умовах, за низьких температур використовують рукавички зі шкіри. Їх виготовляють з цільних шматків шкіри. Такі рукавички або рукавиці захищають від проколів, опіків, спадин, порізів, а також від бризків і іскор розплавленого металу. Зусилля під час проколювання шкіри працівника становить 38,8...78,4 Н [158], тому ЗІЗ до рук повинні витримувати механічні зусилля під час проколювання: за легких механічних навантажень – не менш як 50 Н, за великих – не менш як 200 Н.

#### **5.4.2 Розробка конструктивно-технологічних рішень протигазів**

В умовах АЕС часто виникають ситуації, коли фільтрувальний і ізолювальний ЗО використовують у комплекті з ЗІЗОД: робота з хімічними речовинами 1...4 класу небезпеки, в транспортних коридорах, у ситуаціях втручання. Для уникнення потрапляння шкідливих речовин пероральним або інгаляційним способом фільтрувальний та ізолювальний ЗО використовують у комплекті з протигазами. Виходячи з цих обставин, авторка спільно з фірмами “Укрмаскпол” і ТОВ “НВП “Ікар” розробила протигази МП-5У і МТ 213/2У, які складаються з повної лицьової маски та фільтра-поглинача, з’єднаних між собою безпосередньо [159]. Протигази призначено для захисту органів дихання, поверхні обличчя та голови від впливу сильнодіючих отруйних речовин, пилу з радіонуклідами та хімічно і біологічноактивних аерозолів, а також від впливу шкідливих, отруйних, токсичних речовин у вигляді пари та крапель, через очищення (способом фільтрації) забрудненого повітря.

Протива́з МП-5У (рис. 5.15) має два вдихувальні клапани та дефлектор для запобігання затуманенню панорамного візира. Площа поля зору маски порівняно зі звичайною площею: ефективна – 70 %; перекривна – 80 %. Лицьову маску виготовлено з багатоелементної суміші на основі природного каучуку з додаванням внутрішніх антистатиків. Спосіб виготовлення – лиття. Візир можна виготовляти з полікарбонату, поліаміду (для використання за високих температур або триплексу (стійкого до хімічних речовин)).



Рис. 5.15. Зовнішній вигляд протигазу марки МП-5У

Протива́з можна використовувати автономно без подачі очищеного повітря, в атмосфері, яка містить не менш як 17 % кисню. За такої умови використання протигазу не погіршує фізичних і психологічних можливостей працівника, дає змогу виконувати свої основні функції в аварійних умовах упродовж 24 годин. Температура навколишнього середовища може змінюватися в діапазоні від  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Протигази МП-5У і МТ 213/2У відповідають вимогам стандарту [160] і мають такі показники захисної дії (табл. 5.6.)

Таблиця 5.6.

#### Технічні характеристики протигаза МП-5У

Опір постійному потоку повітря на вдиху, не більш як, Па		Опір постійному потоку повітря на видиху, не більш як, Па	
За об'ємної витрати повітря 30 дм <sup>3</sup> /хв	За об'ємної витрати повітря 160 дм <sup>3</sup> /хв	За об'ємної витрати повітря 30 дм <sup>3</sup> /хв	За об'ємної витрати повітря 160 дм <sup>3</sup> /хв
<b>175</b>	<b>1500</b>	<b>80</b>	<b>300</b>

Лицьові маски протигазу виготовляють 4 типорозмірів (1 – найбільший, 4 – найменший). Коефіцієнт проникання тест-аерозолі під маску (коефіцієнт підсмоктування) через лінії обтюрації та в інші вузли не більш як 0,05 %. Коефіцієнт проникання тест-аерозолі через фільтр-поглинач (коефіцієнт проскакування) не більш як  $1 \cdot 10^{-4}$  %. Об'ємна частка двоокису вуглецю у повітрі, що вдихається, не більш як 1,0 %. Протигаз МП-5У комплектують з маски протигазової, фільтра-поглиначу, ємності для рідкої їжі, з'єднувального шлангу з клапаном. Маса протигазової маски – не більш як 0,6 кг, фільтра-поглиначу – не більш як 0,27 кг, пристрою для пиття у зібраному стані (без рідини) – не більш як 0,25 кг. Загальна маса протигазу в комплекті (без сумки) – не більш як 1,2 кг. Об'єм місткості для пиття – не менш як 0,6 дм<sup>3</sup>. Прокідність (питома витрата рідини) системи для пиття – не менш як 200 см<sup>3</sup>/хв. Термін гарантованого зберігання становить 10 років.

Маска протигазова МТ 213/2 відрізняється від МП-5У наявністю другого клапану для видиху, відсутністю пристрою до пиття та дефлектора (рис. 5.16).



Рис. 5.16. Зовнішній вигляд протигазу марки МТ 213/2

Очищення повітря відбувається через фільтрацію забрудненого повітря у фільтропоглинальній системі протигазу. Ефективність протигазу визначається двома чинниками:

- можливістю запобігання проникненню через маску шкідливих речовин ззовні;
- можливістю фільтрації певної речовини.

Перше досягають правильним вибором розміру маски і способів її допасування до форми обличчя, друге – використанням змінних фільтрів серії PRO 2000. Лицьова маска протигазів має нарізеве з'єднання *Rd 40x1/7"* (відповідно до [151]) для приєднання фільтра. Корпуси фільтрів з відповідним маркуванням виконано з технічної пластмаси (табл. 5.7).

Таблиця 5.7.

Типи фільтрів серії PRO 2000 для протигазів

Шкідлива речовина	Тип фільтра	Колір маркування
Пил і аерозолі з радіоактивними і токсичними частинками,	PF 10 P3	Білий

мікроорганізми (бактерії та віруси)		
Органічні гази і пари з температурою кипіння більш як 65°C.	GF22 A2	Коричневий
Неорганічні гази і пари (хлор, водень, сульфід, фтор)	GF22 B2	Сірий
Кислі гази й пари (сульфід, диоксид, фтористий водень)	GF32 E2	Жовтий
Аміак та його органічні похідні	GF22 K2	Зелений
Органічні гази і пари з температурою кипіння менш як 65°C.	GF32 AX	Коричневий
Органічні та неорганічні гази й пари	GF22 A2B2	Коричневий, сірий
Органічні та неорганічні кислі гази й пари, аміак та його органічні похідні	GF32 A2B2E2K2	Коричневий, сірий, жовтий, зелений
Ртуть та її суміші, радіоактивний йод, тверді та рідкі аерозолі, радіоактивні частинки	CF32/ CFR32 Hg-P3	Білий, оранжевий, рожевий

Головна вада наявних протигазів марок ЦП-5, ЦП-5М, ЦП-7, ЦП-7В та ПМГ, ПМГ-2, ПБФ, ПМК, ПМК-2 – суттєве обмеження терміну безперервного використання. Відповідно до [161] термін безперервного перебування у таких протигазах становить: від трьох годин за температури менш як 15 °С, до 20 хв за температури від 30 °С. Для поліпшення тепловіддачі з поверхні голови маску МП-5У удосконалено у такий спосіб: на ділянках щільного прилягання маски до поверхні голови і на ділянках носоглотки розміщено додаткові теплопровідні елементи з графітованої гуми і поверхневі металеві розсіювачі тепла [162]. Доцільність впровадження таких елементів підтверджується розрахунками. Тепловий потік  $Q_{\Gamma}$ , який відводиться з поверхні голови визначаємо за формулою:

$$Q_{\Gamma} = \frac{\Delta t}{R_{\text{то}}},$$

де  $\Delta t$  – різниця температур між поверхнею обличчя і зовнішнім середовищем;  $R_{\text{то}}$  – тепловий опір протигазу, який визначено за формулою:

$$R_{\text{Ti}} = \frac{\delta_i}{(\lambda_i \cdot S_{\text{Pi}})}, \quad (5.11)$$

де  $\lambda_i$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м К).



З урахування того, що коефіцієнт теплопровідності для протигазів марки ПМГ становив  $0,16 \text{ Вт/(м К)}$ , для матеріалу маски МП-5У і МТ 213/2У –  $1,15 \text{ Вт/(м К)}$ , для графітованої гуми –  $60 \text{ Вт/(м К)}$ , відповідно змінюється величина тепловіддачі з поверхні голови (рис. 5.17.)

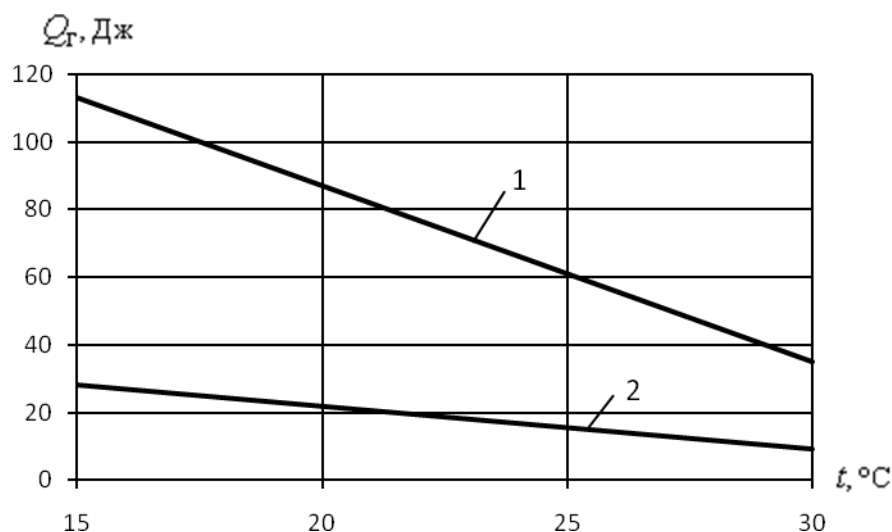


Рис. 5.17. Залежності теплового потоку з поверхні протигазу від температури зовнішнього середовища: 1 – протигаз марки МП-5У; 2 – протигаз марки ПМГ

Кількість теплоти, яка відводиться від голови працівника у протигазі МП-5У, за температура навколишнього середовища в діапазоні від  $-30\text{ }^\circ\text{C}$  до  $+30\text{ }^\circ\text{C}$  більш, ніж утворюється під час робіт.

Використання розроблених нових протигазів не погіршує фізичних і психологічних можливостей працівника і дає змогу виконувати свої основні функції в аварійних умовах упродовж 24 годин, що підтверджено під час польових випробувань.

#### 5.4.3. Особливості технології виготовлення

З'єднання деталей комбінезону, куртки, штанів фільтрувальних комплектів виконано на промисловому швейному обладнанні з використанням ниткового з'єднання подвійним швом, який має такі характеристики: розривальне навантаження у поздовжньому напрямку –  $155 \text{ Н}$ ; у поперечному напрямку –  $112 \text{ Н}$ ; повітропроникність (при  $50 \text{ Па}$ ) –  $178 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; водотривкість –  $37 \text{ мм вод.ст.}$  У виробах мінімізована кількість деталей і швів [163]. Для підвищення надійності шви виконують з подальшою герметизацією термострічкою.

Захисні властивості фільтрувальних комплектів перевірено в лабораторних умовах хімічних військ Української армії (табл. 5.8).

Таблиця 5.8

**Показники захисних та експлуатаційних властивостей фільтрувального ЗО**

Найменування показника	Значення показника
Час захисної дії, год., не менш як:	
від пилу з радіонуклідами	6
від крапель іприту при щільності зараження 10 г/м <sup>2</sup> , температурі повітря 20 °С та відносній вологості 80 %	24
від парів іприту при концентрації 20 мг/м <sup>3</sup> , температурі повітря 20°С та відносній вологості 80 %	6
Тривалість перебування в захисному одязі під час виконання робіт середньої та високої важкості за температури повітря 20 °С та відносній вологості 80 %, год., не менш як	36
Кратність прання, разів, не менш як	5

Основною перевагою такого ЗО є достатньо високий рівень повітропроникності: максимальний рівень повітропроникності ЗО з лицьового боку становить 664 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> с), зі зворотного – 656 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> с). Як фільтрувальний шар для токсичних речовин парів і газів використано вуглецеві волокна, що також зменшує поверхневий опір матеріалу до рівня 1,6·10<sup>8</sup> Ом і суттєво знижує імовірність утворення електростатичних полів у внутрішніх і зовнішніх шарах ЗО.

Маса фільтрувального ЗО залежно від типу і пакету матеріалів змінюється від двох до трьох кілограмів, а в комплекті – до шести кілограмів. Фільтрувальний ЗО пристосований до зберігання у закритих неопалюваних сховищах упродовж десяти років за коливань температури від мінус 30 до плюс 30 °С та відносній вологості повітря від 30 до 95 %. Фільтрувальні комплекти виготовлено на підприємстві ПрАТ “Скіф”, впроваджено у промислове виробництво на ТОВ “НВП “Ікар” (м. Київ) і пройшли випробування у частинах хімічного захисту збройних сил України та на АЕС України.

### Висновки до розділу 5

У розділі наведено результати практичної реалізації запропонованих математичних моделей та аналітичних методів розрахунку під час конструктивно-технологічної розробки нових комплектів ЗІЗ.

1. Запропоновані у монографії математичні моделі, методи та алгоритми реалізовано під час створення комплектів ЗІЗ, призначених для комплексного захисту працівників АЕС у практичній діяльності і в ситуаціях втручання. Комплексний підхід дав змогу на єдиній інформаційній базі об'єднати велику кількість взаємозв'язаних чинників і створити естетичні, ефективні, надійні, з прогнозованими захисними властивостями комплекти ЗІЗ.

2. Розроблено структурну схему для конструктивно-технологічних рішень ізолювального комплекту від радіоактивних забруднень. Практично реалізовано асортиментний ряд ЗО разового (куртка, штани, комбінезон) і багаторазового використання (куртка, півкомбінезон, фартух), а також засоби захисту рук (нарукавники), ніг (бахили) та органів дихання (протипиловий

респіратор), які використовують у комплекті. Ізолювальний комплект захищає від сухих і рідких радіоактивних відходів, знижує рівень  $\beta$ -випромінювання на 92 % і  $\alpha$ -випромінювання на 98 % в умовах впливу радіонукліду цезію  $^{137}\text{Cs}$ . Розроблено конструкції фільтрувальних лицьових масок, які захищають органи дихання від потрапляння радіонуклідів інгаляційним способом.

3. Розроблено структурну схему для конструктивно-технологічних рішень ізолювального ЗО від хімічноактивних речовин. Сформовано асортиментний ряд ЗО (півкомбінезон, куртка) з рекомендаціями щодо його комплектації для забезпечення необхідного рівня надійності і безпеки робіт з хімічноактивними речовинами. Реалізовано конструкцію фільтрувального каптуру, який у комплекті з відповідно вибраними фільтрами дає можливість здійснювати роботи у хімічнонебезпечному середовищі.

4. Розроблено конструктивно-технологічні рішення виробів радіаційнозахисного комплекту з урахуванням зональної системи захисту. Сформовано раціональний склад пакетів матеріалів і структуру асортименту ЗО, засобів захисту рук, ніг, голови. Загальна маса – до 16 кг. Комплекти повністю захищають від  $\beta$ -випромінювання з енергією до 2 МеВ; поглинають до 90 %  $\gamma$ -випромінювання за енергій менш як 10 кеВ. Коефіцієнт захисту від  $\gamma$ -випромінювання становить: 9,65 за енергії до 10 кеВ; 4,0 – до 100 кеВ; 1,74 – до 200 кеВ; 1,24 – до 662 кеВ.

5. Розроблено конструктивно-технологічні рішення фільтрувального комплекту, який може складатися з куртки та штанів або комбінезону та визначено його комплектність (рукавички, боти, респіратор або протигаз). Запропоновано нові конструктивні рішення повних лицьових масок протигазів, які в умовах радіоактивного і хімічного забруднення середовища за наявності відповідних фільтрів захищають працівників від ураження шкідливими газами, аерозолями або випарами. Термін безперервного використання фільтрувального комплекту становить не менш як 24 годин.

6. Розроблені комплекти виготовлено і впроваджено у промислове виробництво на ТОВ “НВП “Ікар” (м. Київ) та ПрАТ “Скіф” (м. Корсунь-Шевченківський). Використання комплектів ЗІЗ дало можливість збільшити тривалість виконання робіт в умовах впливу НШВЧ, досягти соціального ефекту за рахунок поліпшення умов праці працівників АЕС, а також економічного ефекту завдяки можливості реалізації вітчизняного виробництва і відмови від закупівлі виробів іноземного виробництва. Новизну рішень підтверджено патентами України на корисні моделі і промислові зразки.

7. Ізолювальні, радіаційнозахисні, фільтрувальні комплекти впроваджено у промислову експлуатацію на АЕС України і об’єкті “Укриття”, а також на підприємствах інших галузей промисловості.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У монографії викладено результати науково-дослідною роботою, у якій здійснено теоретичне обґрунтування і вирішена актуальна наукова проблема розробки новітніх рішень для індивідуального захисту працівників АЕС з комплексним обліком всього спектру НШВЧ та параметрів змінюваних умов праці. Отримані рішення спрямовані на підвищення захисної ефективності, ергономічності й економічності систем індивідуального захисту при дотриманні вимог нормативних документів. Отримані результати у сукупності мають суттєве значення для розвитку теорії і методів конструкторсько-технологічної розробки окремих типів і видів ЗІЗ з урахуванням необхідності їх спільного використання з метою зниження або повністю унеможливлення впливу НШВЧ на працівників. При цьому отримано такі основні наукові і практичні результати, висновки і рекомендації:

1. На підставі аналізу статистичної інформації щодо умов праці і потреби у використанні ЗІЗ визначено основні завдання, які потрібно вирішувати у ході створення комплектів ЗІЗ. Система індивідуального захисту вирішує три основні завдання: відповідність початковим вимогам, встановленим на основі аналізу умов праці; забезпечення базового рівня показників захисту і надійності; мінімізація додаткових загроз здоров'ю і ризиків травматизму працівників у використанні.

2. Сформульовано концепцію для формування раціонального асортименту ЗІЗ для працівників АЕС, засновану на положеннях ергатичного оптимального керування, завдяки якій забезпечено оптимальне сполучення захисних, фізико-механічних, гігієнічних характеристик матеріалів і захисних функцій, надійності та економічності ЗІЗ. Такій підхід дав змогу об'єднати в процесі створення всі стадії: розробку матеріалу, проектування, виготовлення та впровадження з урахуванням вимог нормативних документів.

3. Розроблено структурну зонально-модульну модель, призначену для конструктивно-технологічної розробки захисних комплектів різного функціонального призначення, особливості якої полягають у можливості добору складу пакетів матеріалів залежно від їх вартості, топографії впливу радіоактивних речовин і випромінювань, місць з найбільшим зношенням.

4. Розроблено нові рецептури і впроваджено у виробництво нові полімерні і текстильні композиційні матеріали, які не містять свинець і захищають від зовнішнього іонізуючого випромінювання, пилу та аерозолів з радіонуклідами та хімічноактивних речовин. Доведено на основі аналізу показників якості нових матеріалів, що вони придатні для проектування, виготовлення та експлуатації в умовах АЕС захисного одягу та засобів захисту рук, ніг, голови і органів дихання відповідного функціонального призначення.

5. Визначено та експериментально підтверджено коефіцієнти захисту від  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінювань нових матеріалів залежно від їхньої товщини і енергії випромінювання, що дало можливість науково обґрунтувати пакети матеріалів радіаційнозахисного, фільтрувального та ізолювального комплектів.

6. Реалізацію комплексного вирішення проблем узгодження суперечливих вимог між технічними, економічними і нормативними показниками ЗІЗ здійснено на основі структурно-логічних матриць з використанням методу нормованих функцій, який належить до евристичних методів оптимізації і дає можливість отримати обґрунтовані та однозначні рішення у вирішенні дискретних завдань різного характеру.

7. Розроблено метод структурної покрокової оптимізації, який дає можливість врахувати особливості побудови математичних моделей конструкцій комплектів, нелінійність цільових функцій, наявності обмежень і дискретності вихідної інформації для пакетів захисних матеріалів та параметрів технологічних процесів. Метод спрямовано на вирішення завдань досягнення максимізації коефіцієнта захисту за мінімізації маси, кількості деталей і швів, додаткових конструктивних елементів і виробів або загальної вартості комплекту ЗІЗ. На основі метода структурної оптимізації розроблено алгоритм і програму та вирішено задачі вибору заходів і засобів підвищення захисних властивостей радіаційнозахисного, ізолювального і фільтрувального комплектів. Така реалізація дала змогу сформувати ефективний багатошаровий пакет матеріалів і виробів, який забезпечує диференційований захист найуразливіших зон тіла працівника та загальний коефіцієнт захисту комплекту ЗІЗ в межах економічної і технологічної доцільності.

8. Сформовано та практично реалізовано раціональну структуру асортименту комплектів визначеного функціонального призначення: радіаційнозахисного – для робіт в умовах впливу  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінювань (жилет, нанопівкомбінезон, куртка, каптур, нарукавники, шорти, рукавиці, бахили); ізолювального – для робіт з хімічноактивними речовинами (напівкомбінезон, куртка, фільтрувальний каптур, рукавиці); ізолювального – для робіт з рідкими радіоактивними відходами під час дезактивації засобів захисту, приміщень, устаткування (напівкомбінезон, куртка, фартух, нарукавники, бахили, разовий респіратор третього класу захисту); фільтрувального – для тривалих робіт в умовах радіоактивного і хімічного забруднення територій (комбінезон, куртка, штани, рукавиці, протигаз); разовий – для робіт у контрольованих зонах з хімічними і радіоактивними речовинами (комбінезон, куртка, штани, респіратор). Новизну рішень підтверджено патентами України на корисні моделі і промислові зразки.

9. Результати досліджень використано під час створення нових матеріалів і ЗІЗ на підприємствах ТОВ “НВП “Ікар” (м. Київ), ТОВ “Укрмакспол” (м. Київ), ПрАТ “Скіф” (м. Корсунь-Шевченківський), ВАТ “Слов’янський завод “Тореласт” (м. Слов’янськ). Загальний обсяг виробництва за останні п’ять років становить більш як 8 млн. грн. Розроблені види ЗІЗ впроваджено на Українських АЕС, у частинах збройних сил України, на підприємствах Міністерства промислової політики України. Впродовж п’яти років отримано економічний ефект у розмірі 2 940 тис. грн. за рахунок відмови від закупівлі ЗІЗ іноземного виробництва.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основні положення розроблення і виготовлення ЗІЗ. ДСТУ 4676:2006. – К.: Держстандарт України, 2006. – 14 с. – (Національний стандарт України).
2. Каталог вітчизняних засобів індивідуального захисту працівників / За загальною ред. М.О.Лісюка. – Дніпропетровськ: ВАТ “Видавництво Зоря”, 2004. – 167 с.
3. Захисний одяг. Загальні вимоги. EN 340. – К. Укр НДІССІ, 1993. – 10 с.
4. Щурин К. Социотехническое регулирование надежности / К. Щурин // Стандарты и качество. – 2007. – № 4. – С. 32 – 37.
5. Чемерісін М. М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності / М. М. Чемерісін, В. І. Романченко. – Харків: 2006. – 167 с.
6. Radiation Protection of Workers (ionizing radiations), and ILO Code of Practice. – Geneva, ILO, 1987. – 63 p.
7. Романов В. Е. Системный подход к проектированию специальной одежды / В. Е. Романов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 128 с.
8. Колосниченко М.В. Розвиток наукових основ створення термозахисного спеціального одягу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора. техн. наук: спец. 05.19.04 “Технологія швейних виробів” / М. В. Колосниченко. – К., 2004. – 35 с.
9. Долженков А. Ф. Розвиток наукових основ створення вискоєфективних засобів індивідуального захисту шахтарів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора. техн. наук: спец. 05.26.01 “Охорона праці” / А. Ф. Долженков. – Макеевка, 2009. – 35 с.
10. Болібрух Б. В. Удосконалення методів оцінки показників якості спеціальних матеріалів захисного одягу пожежників: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.02 “Пожежна безпека” / Б. В. Болібрух. – К., 2004. – 20 с.
11. Одяг захисний. Загальні вимоги. ДСТУ ISO 13688:2001. – К.: Держстандарт України, 2002. – 6 с. – (Національний стандарт України).
12. Взуття спеціальне. Номенклатура показників. ДСТУ 3242:95. – К.: Держстандарт України, 1995. – 6 с. – (Національний стандарт України).
13. Основні положення розроблення і виготовлення ЗІЗ. ДСТУ 4676:2006. – К.: Держстандарт України, 2006. – 14 с. – (Національний стандарт України).
14. Состав и общие правила задания требований по надежности. ДСТУ ГОСТ 27.003. – К.: Держстандарт України, 1995. – 27 с. – (Національний стандарт України).
15. Одяг для захисту від радіоактивного випромінювання і забруднення. ДСТУ ISO 8194:2004. – К.: Держстандарт України, 2004. – 24 с. – (Національний стандарт України).
16. Костюми ізолювальні та одяг спеціальний вентиляований від радіоактивного забруднення. Технічні вимоги і методи випробувань. ДСТУ EN 1073–1:2001. – К.: Держстандарт України, 2003. – 10 с. – (Національний стандарт України).

17. Худецький І. Ю. Застосування нових підходів до оцінки комплексів засобів індивідуального захисту / І. Ю. Худецький, О. П. Яворовський, Н. М. Худецька // Військова медицина України. – 2003. – № 3–4. – С. 136–143.
18. Колосніченко М. В. Методологічні підходи до обґрунтування тривалості захисної дії термозахисного спецодягу / М. В. Колосніченко // Вісник технологічного університету Поділля. – 2002. – № 4. – С. 186–187.
19. Кокеткин П. Какая нужна спецодежда / П. Кокеткин, С. Беляева, Л. Эглит // Охрана труда и социальное страхование. – 2002. – № 10. – С. 28–30.
20. Дрегуляс О. П. Розробка спецодягу для екстремальних умов при підвищеній вологості / О. П. Дрегуляс, Г. Є. Літвіненко // Легка промисловість. – 2003. – № 2. – С. 9–12.
21. Мазеин С. А. Методика оценки сроков носки СИЗ и их экономическая эффективность / С. А. Мазеин // Средства индивидуальной защиты. – 2005. – № 7. – С. 75 – 79.
22. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. – К.: МОЗ України, 2005. – 40 с.
23. Патон Б. Майбутнє атомної енергетики / Б. Патон, В. Бар'яхтар, О. Бакай, І. Неклюдов // Вісник НАН України. – 2006. – № 4. – С. 4–7.
24. Соботович Е. Ядерна енергетика і наслідки чорнобильської катастрофи / Е. Соботович, Р. Белєвцев // Вісник НАН України. – 2009. – № 4 – С. 29–39.
25. Сидоренко В.А. Вопросы безопасной работы реакторов ВВЭР / В.А. Сидоренко. – М.: Атомиздат, 1977. – 324 с.
26. Стыро Б.И. Изотопы йода и радиоактивная безопасность / Б.И. Стыро, Т.Н. Недвецайте, В.И. Филистович. – Новосибирск: Сиб. Гидрометеиздат, 1992. – 249 с.
27. Бахчеван Д. Н. Общие вопросы регулирования и оценки безопасности объектов по обращению с радиоактивными отходами / Д. Н. Бахчеван // Ядерная и радиационная безопасность. – 2004. – № 3. – С. 39–45.
28. Kim I. S. Test errors in evaluating surveillance test intervals: BNL-NUREG- 46381. / I.S. Kim., S. Martorell, W.E. Vesely, P.K. Samanta. – U.S. Nuclear regulatory Commission, 1993. – 12 p.
29. Здановский В.Г. Аспекты промышленной и радиационной безопасности атомных электростанций / Здановский В.Г. // Проблеми охорони праці в Україні: зб.наук.праць. – 2013. – Вип. 26. – С. 24–32.
30. Батий В. Г. Исследования в области повышения радиационной безопасности при реализации практической деятельности в зоне отчуждения ЧАЭС / В. Г. Батий // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2009. – Вип. 12. – 113–123 с.
31. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій. НП 306.2.141 – 2008. – К.: Державна адміністрація ядерного регулювання України, 2008. – 35 с.
32. Денисов А. С. Сучасні проблеми атомної енергетики України: пріоритетні напрямки розвитку / А. С. Денисов // Формування ринкових відносин в Україні. – 2008. – № 3 (82). – С. 179–184.



33. Work Management in the Nuclear Power Industry: A Manual prepared for the NEA Committee on Radiation Protection and Public Health by the ISOE Expert Group on the Impact of Work Management on Occupational Exposure. // OECD/NEA, 1997. – 26 p.
34. Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation // ICRP, ICRU. Tech. Rep. Ser. – 1997. – No. 57. – 48 p.
35. Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency. // IAEA. Tech. Rep. Ser. – 1994. – No. 109. – 88 p.
36. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения // МАГАТЭ. Серия норм по безопасности. – 1997. – № 115. – 156 с.
37. Risk based Optimization of Technical Specifications for operation of nuclear power plants: IAEA-TECDOC-729. IAEA. – Vienna (Austria), 1993. – 145 p.
38. Радиационная защита при профессиональном облучении // МАГАТЭ, МБТ. Серия норм по безопасности. – 2002. – No. RS-G-1.1. – 77 с.
39. Неклюдов І. М. Сьогодення і перспективи ядерної енергетики в Україні / І. М. Неклюдов // Вісник НАН України. – 2006. – № 2. – С. 11–17.
40. Шевцов А. І. Ядерна енергетика України: стан та напрямки розвитку / А. І. Шевцов, А. З. Дорошенко // Стратегічні пріоритети. – 2008. – № 1(6). – С. 153–160.
41. Оценка профессионального облучения от внешних источников ионизирующего излучения // МАГАТЭ. Серия норм по безопасности. – 1999. – № RS-G-1.3. – 73 с.
42. Ключников А. А. Оценка дополнительных воздействий на окружающую среду в процессе реализации работ по стабилизации объекта “Укрытие” / А. А. Ключников, В. Н. Щербин, В. М. Рудько // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2004. – Вип. 1. – С. 14–23.
43. Богорад В. И. Методология внедрения принципа оптимизации при снятии с эксплуатации энергоблоков АЭС / В. И. Богорад, Т. В. Литвинская, А. В. Носовский, А. Ю. Слепченко // Проблемы безпеки атомних станцій і Чорнобиля. – 2009. – Вип. 12. – С. 60–68.
44. Риск-ориентированные подходы оптимизации технического обслуживания и эксплуатационного контроля систем, важных для безопасности АЭС: [сб.н.р. / под. ред. В.И. Скалазубова]. – Одесса: ТЭС, 2004. – 530 с.
45. Одинцов А. А. Контроль содержания радионуклидов в водных скоплениях объекта “Укрытие” в 2007–2008 годах // А. А. Одинцов, В. Е. Хан, В. А. Краснов, В. Н. Щербин // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2009. – Вип. 12. – С. 143–153.
46. Хан В. Е. Контроль выброса радиоактивных аэрозолей из объекта “Укрытия” в 2008 году / В. Е. Хан, Б. И. Огородников, А. К. Калиновский, В. А. Краснов // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2009. – Вип. 12. – С. 154–161.
47. Алешин А. М. Анализ безопасности завода по переработке жидких радиоактивных отходов Чернобыльской АЭС / А. М. Алешин, В. Г. Батий, Н.



- А. Кочнев // Наукові і технічні проблеми Чорнобиля: зб.наук.пр. – 2002. – С. 171–182.
48. Batiy V. Preliminary Accident Analysis for Construction and Operation of the Chornobyl New safe Confinement / V. Batiy, Y. Rubezhansky, V. Rudko // Proceeding of ANSTMD. – Denver, 2005. – P. 210–213.
  49. До парламентських слухань у зв'язку з 15-ю річницею Чорнобильської катастрофи: зб. Матеріалів. – К.: Верховна Рада України, 2001. – 40 с.
  50. Пристер Б. С. Чернобыльская катастрофа: эффективность мер защиты населения, опыт международного сотрудничества. / Б.С. Пристер, Р.М. Алексахин, В.Г. Бебешко. – К.: Украинское ядерное общество, 2007. – 64 с.
  51. Чернобыльская атомная электростанция – Славутич: медицинские аспекты: [сб.н.роб. / науч. ред. В. Г. Бебешко, А. В. Носовского, Д. А. Базыки]. – К.: Вища школа, 1996. – 367 с.
  52. Третьякова Л. Д. Сучасні засоби захисту персоналу атомних електричних станцій у практичній діяльності / Л. Д. Третьякова, А. А. Разводовський // Інформаційний бюлетень з охорони праці. – 2010. – № 1 (55). – С. 43–50.
  53. Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers // ICRP. Tech. Rep. Ser. – 1994. – No. 68. – 60 p.
  54. Носовский А.В. Опыт и актуальные проблемы ретроспективного восстановления доз. / А.В. Носовский, С.И. Ильичев // Актуальные проблемы сохранения здоровья персонала ПО ЧАЭС и населения прилегающих территорий. – Киев, 1995. – 255 с.
  55. Носовский А.В. Дозиметрическое сопровождение медицинских и эпидемиологических исследований / А.В. Носовский, И.Н. Хомахюк, Е.В. Гарин, И.Н. Митичкина. // Чернобыльская атомная электростанция – Славутич: медицинские аспекты. – К.: Вища школа, 1996. – С. 17–50.
  56. Клименко В.И. Гематологические эффекты облучения / В.И. Клименко, И.С. Дягиль. // Чернобыльская атомная электростанция – Славутич: медицинские аспекты. – К.: Вища школа, 1996. – С. 185–199.
  57. Третьякова Л. И. Совершенствование процессов проектирования и изготовления спецодежды. / Л.И. Третьякова, А.И. Сандуковский. – К.: Знание, 1983. – 205 с.
  58. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1968. – 355 с.
  59. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович. – М.: Высшая школа, 1982. – 132 с.
  60. Ли Т. Г. Управление процессами с помощью ЭВМ. Моделирование и оптимизация / Т. Г. Ли, Г. Э. Адамс, У. М. Гейнз. – М.: Советское радио, 1972. – 312 с.
  61. Аверин Ю. Ф. Моделирование нестационарных температурных полей в многослойных пакетах теплозащитной одежды / Ю. Ф. Аверин, Н. И. Простов, В. И. Логинов, А. К. Некрасов // Проблемы повышения эффективности пожарной техники. – 1988. – С. 98–104.
  62. Колосніченко М. В. Дослідження спецодягу з пасивним та активним

- теплозахистом / М. В. Колосніченко // Вісник технологічного університету Поділля. – 2002. – Т. 2, № 3. – С. 262–264.
63. Зорин В. В. Разработка модели для исследования электромагнитной совместимости бытовых приборов / В. В. Зорин, Л. Д. Третьякова // Электрические сети и системы. – 1979. – Вып. 15. – С. 148–154.
  64. Долженков А. Ф. Модель многофакторного регрессионного анализа зависимости заболеваемости и травматизма от условий труда и применяемых средств индивидуальной защиты / А. Ф. Долженков // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. – 2007. – Вып. 20. – С. 120–129.
  65. Третьякова Л. Д. Вплив фізико-механічних властивостей та конструкції ЗІЗ на ефективність праці / Л. Д. Третьякова: зб. статей за матеріалами першої наук. методич. конф. [“Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки”], (Київ, 30 листопада 2007 р.) / НТТУ “КПІ” – К.: НТТУ “КПІ”, 2007. – С. 31.
  66. Третьякова Л. Д. Дослідження фізико-механічних характеристик нових полімерних матеріалів для захисного одягу / Л. Д. Третьякова // Проблеми охорони праці в Україні. – 2007. – Вип. 14. – С. 59–67.
  67. Патлашенко О. А. Матеріалознавство швейного виробництва / О. А. Патлашенко. – К.: Арістей, 2006. – 288 с.
  68. Третьякова Л. Д. Моделирование электростатического поля на складных поверхностях диэлектрических материалов / Л. Д. Третьякова, О. Д. Подольцев // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Тематичний випуск: “Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування”. – 2010. – № 2. – С. 129–135.
  69. Третьякова Л. Д. Дослідження та моделювання теплового стану працівника в ізолювальному комплекті / Л. Д. Третьякова // Вісник Національного технічного університету України “КПІ”. Серія “Гірництво”. – 2010. – Вип. 19. – С. 230–237.
  70. Третьякова Л. Д. Метод вибору технічних заходів підвищення надійності засобів захисту / Л. Д. Третьякова, В. В. Зорін // Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки: третя наук.-методич. конф. НТУУ “КПІ”, 23–24 грудня 2009 р. – К., 2009. – С. 38–40.
  71. Фадеев Д. К. Вычислительные методы линейной алгебры / Д. К. Фадеев, В. Н. Фадеева. – М.-Л.: Физматгиз, 1963. – 736 с.
  72. Лихтенштейн В. Е. Модели дискретного программирования / В. Е. Лихтенштейн. – М.: Наука, 1971. – 240 с.
  73. Финкельштейн Ю. Ю. Приближенные методы и прикладные задачи дискретного программирования / Ю. Финкельштейн. – М.: Наука, 1976. – 264 с.
  74. Беллман Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус: пер. с англ. ред. А. А. Первозванского. – М.: Наука, 1965. – 563 с.
  75. Зорин В. В. Модели задач оптимизации надежности распределительных сетей: обзор зарубежного опыта / В. В. Зорин, П. Я. Экель, В. А. Попов // Электрическое моделирование. – 2012. – № 5, том 34. – С. 69–89.
  76. Glover F., Kochenberger G. T. Handbook of metaheuristics / F. Glover, G. T. Kochenberger. – New York, Kluwer Academic Publishers, 2003. – 556 p.

- 77.Третьякова Л. Д. Метод визначення оптимального розподілу надійності між елементами засобів захисту / Л.Д. Третьякова // Проблеми охорони праці в Україні. – 2009. – Вип. 17. – С. 120–130.
- 78.Селіверстов А. Є. Розробка засобів індивідуального захисту для працівників об'єктів ядерної енергетики / А. Є. Селіверстов, Г. Є. Литвиненко, Л. Д. Третьякова // Вісник національного науково-дослідного інституту охорони праці. – 2004. – № 7. – С. 1–3.
- 79.Долженков А. Ф. Повышение эффективности средств индивидуальной защиты горнорабочих угольных шахт / [А. Ф. Долженков, В. Д. Воробьев, А. И. Крючков, С. А. Долженков]. – Донецк, Донбасс, 2011. – 218 с.
- 80.Литвиненко Г. Є. Розробка конструкції і вдосконалення технологій виготовлення засобів індивідуального захисту для працівників нафтопереробних підприємств / Г. Є. Литвиненко, Л. Д.Третьякова, М. М. Корчагіна // Вісник національного науково-дослідного інституту охорони праці. – 2004. – № 7. – С. 3–5.
- 81.Норми радіаційної безпеки України (НРБУ–97). Державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1–6.5.001–98. – К.: Комітет з питань гігієнічного регламентування. Національна комісія з радіаційного захисту населення України, 2000. – 135 с
- 82.Селіверстов А. Є. Разработка средств индивидуальной защиты для отдельных участков АЭС / А. Є. Селіверстов, Г. Є. Литвиненко, Л. Д. Третьякова // Одяг, який захищає. – 2003. – № 1. – С. 38–40.
- 83.Басматов Л.И. Использование респираторов ШБ-1 «Лепесток» при ликвидации последствий аварии на ЧАЭС / Л.И. Басманов, Н.Б. Борисов, Л.И. Борисова, Б.И. Огородников // Охрана окружающей среды, вопросы экологии и контроля качества продукции. – 1992. – Вып. 5. – С. 32–39.
- 84.Носовский А. В. Радиационная безопасность и защита на атомных электрических станциях: монография / А. В. Носовский, В. И. Богород, А. Ю. Слепченко: под ред. А. В. Носовского. – Х.: Оберіг, 2008. – 356 с.
- 85.Третьякова Л. Д. Сучасні системи захисту персоналу під час експлуатації об'єктів ядерної енергетики / Л. Д. Третьякова, Л. А. Митюк: зб. статей за матеріалами п'ятої наук.-методич. конф. [“Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки”], (Київ, 15–17 травня 2011 р.) / НТТУ “КПІ” – К.: НТТУ “КПІ”, 2011. – С. 107–110.
- 86.Personal protective equipment // IAEA. PRTM–5. – 2004. – 69 p.
- 87.Литвиненко Г. Є Засоби індивідуального захисту: виготовлення та застосування / Г. Є. Литвиненко, Л. Д. Третьякова. – К.: Лібра, 2008. – 317 с.
- 88.Chubb J. N. Measurement of tribo and corona charging features of materials for assessment of risks from static electricity / J. N. Chubb // Trans. IEEE Ind. Appl. – Nov/Dec 2000. – № 36 (6). – P. 1515–1522.
- 89.Paasi J. Risks of damage to electronics with reference o charged clothing / J. Paasi, L. Fast, T. Kalliohaka // J. Electrostatics. – 2005. – № 63. – P. 603–608.
- 90.Сидоренко Г. И. Влияние электромагнитных полей на здоровье (обзор) / Г. И. Сидоренко, В. В. Вашкова, Е. А. Можаяев // Гигиена и санитария. – 1999. – № 2. – с. 52–62.

91. Davies D. K. Harmful effects and damage to electronics by electrostatic discharges / D. K. Davies // J. Electrostatics. – 1985. – № 16. – P. 329–342.
92. Luttgens G. Electrostatic hazards / G. Luttgens, N. Wilson. – Oxford, Linacre House, 1997. – 163 p
93. Третьякова Л. Д. Оцінка параметрів електростатичного поля на поверхнях засобів індивідуального захисту персоналу атомних електричних станцій / Л.Д. Третьякова // Енергетика, економіка, технології, екологія. – 2010. – № 1 (26). – С. 75–81.
94. Взуття захисне виробничого призначення. Частина 2. Додаткові вимоги та методи випробування. ДСТУ EN 344-2:2004 – [Чинний від 2005-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2004. – 28 с. – (Національний стандарт України).
95. Загальні вимоги до рукавиць. ДСТУ EN 420-2001. – [Чинний від 2002-06-01]. – К.: Держстандарт України, 2001. – 38 с. – (Національний стандарт України).
96. Засоби індивідуального захисту рук. Спеціальні рукавички для захисту від хімічних речовин і мікроорганізмів. ДСТУ EN 374-2:2005. – [Чинний від 2002-06-01]. – К.: Держстандарт України, 2001. – 38 с. – (Національний стандарт України).
97. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Терміни і піктограми. ДСТУ 132:2004. – [Чинний від 2004-06-01]. – К.: Держстандарт України, 2004. – 42 с. – (Національний стандарт України).
98. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Півмаски і чверть маски:ю Вимоги, випробування, маркування. ДСТУ 140: 2004. – [Чинний від 2004-06-01]. – К.: Держстандарт України, 2004. – 25 с. – (Національний стандарт України).
99. ДСТУ EN 136:2003. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Маски. Вимоги, випробування, маркування. – [Чинний від 2004-06-01]. – К.: Держстандарт України, 2004. – 48 с. – (Національний стандарт України).
100. Третьякова Л.Д. Деякі заходи щодо підвищення виробничої безпеки персоналу АЕС / Л.Д. Третьякова, О.Ф. Оберемок // Інформаційний бюлетень з охорони праці. – 2012. – № 1 (63). – С. 12–19.
101. Третьякова Л.Д. Дослідження характеристик нових ізольованих засобів захисту для працівників АЕС / Л.Д. Третьякова // Проблеми охорони праці в Україні. – 2010. – Вип. 19. – С. 102–110.
102. Третьякова Л.Д. Зонально-модульна модель для розробки комплектів захисного одягу / Л.Д. Третьякова, Н.В. Остапенко, М.В. Колосніченко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 2. – С. 25–32.
103. Третьякова Л.Д. Оптимізація заходів підвищення ефективності радіаційно-захисного одягу / Л.Д. Третьякова // Проблеми охорони праці в Україні. – 2012. – Вип. 22. – С. 116–123.
104. Одяг. Позначки розмірів. ДСТУ EN 13402-2:2009. – [Чинний від 2010-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2010. – 280 с. – (Національний стандарт України).
105. Стандарт ISO/TR 7250 – 2:2010. Basic human body measurements for technological design. Part 2. TK ISO/TC 159. – 2010. – 41 p.

106. Славінська А. Л. Методи і способи антропометричних досліджень для проектування одягу / А. Л. Славінська. – Хмельницький: ХНУ, 2012. – 191 с.
107. Технічні умови ТУ У 25.2–00300363–014:2005. Матеріал з полівінілхлоридним покриттям для спецодягу. – К.: 2005. – 22 с.
108. Технічні умови ТУ У 25.2–25661375.005:2006. Пластикат полівінілхлоридний для засобів індивідуального захисту від радіоактивних речовин. – К.: 2006. – 16 с.
109. Третьякова Л. Д. Особливості застосування засобів індивідуального захисту на стадії аварії / Л. Д. Третьякова, Л. А. Митюк, М. В. Сидорко // Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки: друга наук.-методич. конф. НТУУ “КПІ”, 17–18 грудня 2008 р.: тези докл. – К.: 2008. – С. 59–61.
110. Третьякова Л. Д. Дослідження та моделювання теплового стану працівника в ізолювальному комплекті / Л. Д. Третьякова // Вісник Національного технічного університету України “КПІ”. Серія “Гірництво”. – 2010. – Вип. 19. – С. 230–237.
111. Третьякова Л. Д. Вплив виробничих факторів на умови використання засобів індивідуального захисту/ Л. Д. Третьякова // Вісник Національного технічного університету України КПІ. Серія «Гірництво». – 2011. – Вип.20. – С.252–257.
112. Третьякова Л. Д. Оцінка захисних властивостей спеціального одягу від зовнішніх іонізуючих випромінювань / Л. Д. Третьякова, Т.Є. Луц // Мат. Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи». – Харків: НУЦЗУ, 2014. – С. 170–172.
113. Технічні умови ТУ 25.1-31655768-003:2004. Плівка радіаційно-захисна. – Слов’янськ, “Слов’янський завод Тореласт”, 2004. – 15 с.
114. Технічні умови ТУ У 25.2–00300363–014:2005. Матеріал з полівінілхлоридним покриттям для спецодягу. – К.: 2005. – 22 с.
115. Гроссман Р. Ф. Руководство по разработке композиций на основе поливинилхлорида: пер. с англ. под ред. В. В. Гузеева. – С.-Петербург, 2009. – 606 с.
116. Литвиненко Г. Є. Розробка спеціального одягу для нафтопереробних підприємств / Г. Є. Литвиненко, Л. Д. Третьякова, Е. П. Дрегуляс [та ін.] // Легка промисловість. – 2004. – № 2 – С. 58–62.
117. Третьякова Л. Д. Вплив коливань температури на рівень надійності засобів індивідуального захисту / Л. Д. Третьякова // Проблеми охорони праці в Україні. – 2008. – Вип. 16. – С. 122–130.
118. Власенко В. И. Возможности использования многослойных многофункциональных текстильных композитов / В.И. Власенко, С.И. Ковтун, Н.П. Березненко // Технический текстиль. – 2005. – № 12. – С. 23–25.
119. Супрун Н. П. Сучасні проблеми виробництва безпечного у споживанні та екологічно чистого текстилю / Н.П. Супрун, Г.В. Щуцька. – К. : КНУТД, 2013. – 112 с.

120. Третьякова Л. Д. Розробка та дослідження текстильних композиційних матеріалів для засобів індивідуального захисту / Л.Д. Третьякова, Н.П. Супрун, В.М. Василенко // Проблеми охорони праці в Україні. – 2014. – Вип. 28. – С. 47–52.
121. Патент на корисну модель № 62400 Україна, МПК D 04B 21/00. Основов'язаний двошаровий трикотаж / Омельченко В.Д., Прокопова Є.А., Локтіонова О.М., Розсоха Т.І. – Опубл. 25.08.2011. Бюл. № 16. – 4 с.
122. Третьякова Л. Д. Новітні засоби індивідуального захисту для здійснення аварійно-рятувальних робіт / Л.Д. Третьякова, Подобед І.М., А.А Зубков // Інформаційний бюлетень з охорони праці. –2014. – Вип. 1 (72). – С. 98–103.
123. ГОСТ 12.4.217-2001. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от радиоактивных веществ и ионизирующих излучений. Требования и методы испытаний. – www/ OpenGost.ru, 2003. – 19 с.
124. Пишнев В.М. Порівняльна оцінка рентгенозахисних матеріалів на основі свинцевмісних і без свинцевих наповнювачів // Український радіологічний журнал. – 2002.– Т. 10.– № 1. – С. 24–28.
125. Третьякова Л. Д. Експериментально-розрахункова оцінка захисних властивостей матеріалів від іонізуючих випромінювань / Л.Д. Третьякова, І.М. Подобед // Вісник Національного технічного університету України КПІ. Серія «Гірництво» – 2014. – Вип. 26. – С. 184–190.
126. Гусев Н. Г. Защита от ионизирующих излучений / Гусев Н. Г., Климанов В. А., Машкович В. П. [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 512 с.
127. Третьякова Л. Д. Проблеми методики оцінки електростатичних властивостей засобів захисту персоналу / Л.Д. Третьякова / Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2010. – № 3. – С. 37–43.
128. Одяг захисний. Електростатичні властивості. Частина 1. Поверхневий опір (метод вимірювання і вимоги). ДСТУ EN 1149-1. – [Чинний від 2005-10-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 12 с. – (Національний стандарт України).
129. Полимерные материалы. Методы ускоренных испытаний на климатическое старение. ГОСТ 9.708. – М.: ГКС, 1990. – 80 с.
130. Василенюк Ю. И. Защита полимеров от статического электричества / Ю. И. Василенюк. – Л.: Химия, 1974. – 192 с.
131. Славінська А.Л. Основи модульного проектування одягу. / А.Л. Славінська – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 167 с
132. Вагнер Г. Основы исследования операций. Т. 1 / Г. Вагнер. – М.: Мир, 1972. – 336 с.
133. Колосніченко М. В. Проектування спеціального одягу / М. В. Колосніченко, Н. В. Остапенко. – К.: КНУТД, 2008. – 128 с.
134. Третьякова Л. Д. Оптимізація заходів підвищення ефективності радіаційнозахисного одягу / Л. Д. Третьякова // Проблеми охорони праці в Україні: зб. наук. праць. – 2012. – Вип. 22. – С. 116–123.
135. Ткачук К. Н. Охорона праці і промислова безпека: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / К. Н. Ткачук, В. В. Зацарний, Л. Д. Третьякова [та ін.] – К.:

Лібра, 2010. – 560 с.

136. Третьякова Л. Д. Оцінка захисних властивостей нових засобів індивідуального захисту від іонізуючого випромінювання / Л. Д. Третьякова // Вісник національного технічного університету України “КПІ”. Серія “Гірництво”. – 2008. – Вип. 16. – С. 154–160.
137. Третьякова Л. Д. Розробка ізолювального захисного одягу для працівників атомних електричних станцій / Л.Д. Третьякова, Н.В. Остапенко // 36. мат. Восьмої науково-методичної конференції «Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки». – К.: Основа, НТУУ КПІ, 2013. – С. 157–160.
138. Технічні умови ТУ У 25.2–25661375–028:2005. Одяг захисний одноразовий. – К, НВП “Ікар”, 2005. – 35 с.
139. Технічні умови ТУ У 25661375.015:99. Одяг спеціальний пластикатовий від радіоактивного забруднення. – К, НВП “Ікар”, 1999. – 32 с.
140. Технічні умови АФСА 305262.026 ТУ. Фільтрувальна півмаска У-2К. – К, НВП “Ікар”, 2004. – 45 с.
141. Технічні умови ТУ У 13667483.014 – 98. Взуття спеціальне пластикатове від радіоактивного забруднення. – К, НВП “Ікар”, 1998. – 28 с.
142. Третьякова Л. Д. Разработка конструкторско-технологических решений защитной одежды для персонала АЭС / Л. Д. Третьякова, М.В. Колосніченко // Известия вузов «Технология легкой промышленности». – Санкт-Петербург, 2013. – №3. – С.67–75.
143. Новітні засоби індивідуального захисту для здійснення аварійно-рятувальних робіт / Інформаційний бюлетень з охорони праці. – 2014. – Вип. 1 (71). – С. 98–103.
144. Janssen Larry L. Workplace Protection Factors for an N95 Filtering Facepiece Respirator / Janssen Larry L., Nelson, Thomas J. and Cuta, Karen T. // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. – 2007. – V. 4, № 9. – P. 698–703.
145. Голинько В.И. Анализ и оценка защитной эффективности фильтрующих респираторов / В.И. Голинько, С.И. Чеберячко, В.Е. Колесник, А.С. Ищенко // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 12. – С. 33–36.
146. Литвиненко Г.Э. Заходи підвищення надійності засобів індивідуального захисту / Г.Э. Литвиненко, Л.Д. Третьякова // Вісник Київського національного університету технології та дизайну. – 2010. – №4 (54) – С. 141–148.
147. Патент на корисну модель № 5762 Україна, МПК А62D5/00, F62D17/00. Захисний костюм / Селіверстов А. Є., Третьякова Л. Д., Литвиненко Г. Є. та ін.; заявники і власники Селіверстов А. Є., Третьякова Л. Д. – № 2004 0806829, заявл.16.08.2004, опубл. 15.03.2005. Бюл. № 3. – 3 с.
148. Технічні умови ТУ У 25.2 – 25661375 – 021:2005. Костюм ізолювальний для захисту від нафти та продуктів її переробки. – К, НВП “Ікар”, 2005. – 26 с.
149. Ергономіка і дизайн. [Колосніченко М.В., Зубкова Л.І, Пашкевич К.Л., Остапенко Н.В]. – К.: ПП «НВЦ «Профі», 2014. – 283 с.
150. Технічні умови ТУ У 25.1–25661375.030:2006. Капюшон фільтрувальний для саморятунку під час пожежі. – К, НВП “Ікар”, 2006. – 39 с.
151. Засоби індивідуального захисту органів дихання для саморятунку.

- Загальні вимоги. ДСТУ EN 403:2003. – [Чинний від 2005-07-01]. – К.: Держстандарт України, 2005. – 16 с. – (Національний стандарт України).
152. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Нарізеви з'єднання для лицевих частин. ДСТУ EN 148-1: 2004. – [Чинний від 2006-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2005. – 16 с. – (Національний стандарт України).
  153. Технічні умови ТУ У 25.2 – 25661375 – 024:2006. Фільтрувальні і ізолювальні захисні комплекти. – К, НВП “Ікар”, 2006. – 45 с.
  154. Патент на промисловий зразок № 11060 Україна, МПК02-02. Костюм нафтозахисний / Селіверстов А. Є., Третякова Л. Д., Литвиненко Г. Є. [та ін.]; заявники і власники Селіверстов А. Є., Третякова Л. Д. – № 2004 701141; заявл. 30.07.2004, опубл. 15.11.2005. Бюл. № 11. – 3 с.
  155. Патент на корисну модель № 11195 Україна, МПК G 21 F3/02. Протирадіаційний жилет / Білоусова Г. Г., Третякова Л. Д., Курганський А. В.; заявник і власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № 200505354; заявл. 06.06.2005 опубл. 15.12.2005. Бюл. № 12. – 3 с.
  156. Патент на корисну модель № 30691 Україна, МПК G21F 3/00. Протирадіаційний жилет / Селіверстов А.Є., Третякова Л. Д., Курганський А.В.; заявник і власник Селіверстов А. Є., Третякова Л.Д. – № 200711751 заявл. 24.10.2007 опубл. 11.03.2008. Бюл. № 5. – 3 с.
  157. Патент на корисну модель № 30691 Україна, МПК G21F 3/00. Протирадіаційний жилет / Селіверстов А. Є., Третякова Л. Д., Курганський А. В.; заявник і власник Селіверстов А. Є., Третякова Л. Д., Курганський А. В – № 200711751 заявл. 24.10.2007 опубл. 11.03.2008. Бюл. № 5. – 3 с.
  158. Патент № 2102211195 Україна, МПК G 21 F3/00. Протирадіаційний жилет / Білоусова Г. Г., Третякова Л. Д., Курганський А. В.; заявник і власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № 200610050; заявл. 20.09.2006; опубл. 15.02.2007. Бюл. № 2. – 3 с.
  159. Ефремова О.С. Опасные и вредные производственные факторы и средства защиты работающих от них / Ефремова О.С. – М.: Альфа-Пресс, 2009. – 304 с.
  160. Технічні умови АФСА 305269.023ТУ. Протигаз фільтруючий МП-5У. – К, НВП “Ікар”, 2005. – 35 с.
  161. Пристрої респіраторні захисні. Повні маски. Вимоги, випробування, маркування. ДСТУ EN 143–2003. – [Чинний від 2004-06-01]. – К.: Держстандарт України, 2003. – 26 с. – (Національний стандарт України).
  162. Пам'ятка військовослужбовцю: Зброя масового ураження та захист від неї / Під заг. ред. Литвака В.М. — К.: Міністерство оборони України, 2003. — 88 с.
  163. Патент. № 84782 Україна, МПК А62В 18/00. Протигазова маска / Головка В. М., Петропавлівський Є. І., Селіверстов А. Є., Третякова Л. Д.; заявник і власник Головка В. М., Петропавлівський Є. І., Селіверстов А. Є., Третякова Л. Д. – №2007 01306; заявл. 08.02.2007; опубл. 25.11.2008. Бюл. № 22. – 3 с.
  164. Tretiakova L. Methods of increase of reliability of filter protective clothing / L.Tretiakova, M. Kolosnichenko, N. Ostapenko // Мат конференції в Кишинев. AL.



III Simpozion Internațional "Creativitate Tenologie Marketing" 31.octov. 01 nov. 2014.– Chisinau, 2014. – С. 224–230.

Персонал на атомних електричних станціях (АЕС) України налічує більш як 31 тисячу осіб, серед яких жінки становлять більш як 30 %, на допоміжних об'єктах працює до 5 тисяч працівників, на будівництво "Укриття 2" залучено більш як 120 тис. осіб. АЕС України належать до радіаційно-небезпечних об'єктів, робота на який пов'язана зі стійким впливом комплексів небезпечних і шкідливих виробничих чинників. Роботи здійснюються в умовах підвищених і знижених температур, з водними розчинами радіоактивних речовин, під впливом електромагнітних полів, іонізуючих та неіонізуючих випромінювань, шумів, з біологічними і хімічними речовинами 1...4 класу небезпеки (пропан-бутан, ацетилен, кисень, сірчана кислота, хлор, ацетон, аміак).

На чотирьох АЕС щорічно реєструють високий рівень працюючих в умовах, в яких перевищено граничнодопустимі рівні або концентрації НШВЧ. За даними 2014 року в незадовільних умовах мікроклімату працює більш як 52% працівників, під впливом двох і більше НШВЧ – 50 %, для 66 % умови праці на робочому місці не відповідають санітарно-гігієнічним нормативам. Такий рівень показників шкідливих умов праці має постійну тенденцію до збільшення впродовж останніх років (рис. 1.). Порівняно з 2007 роком кількість працюючих у шкідливих умовах збільшилася у 1, 8 разів.

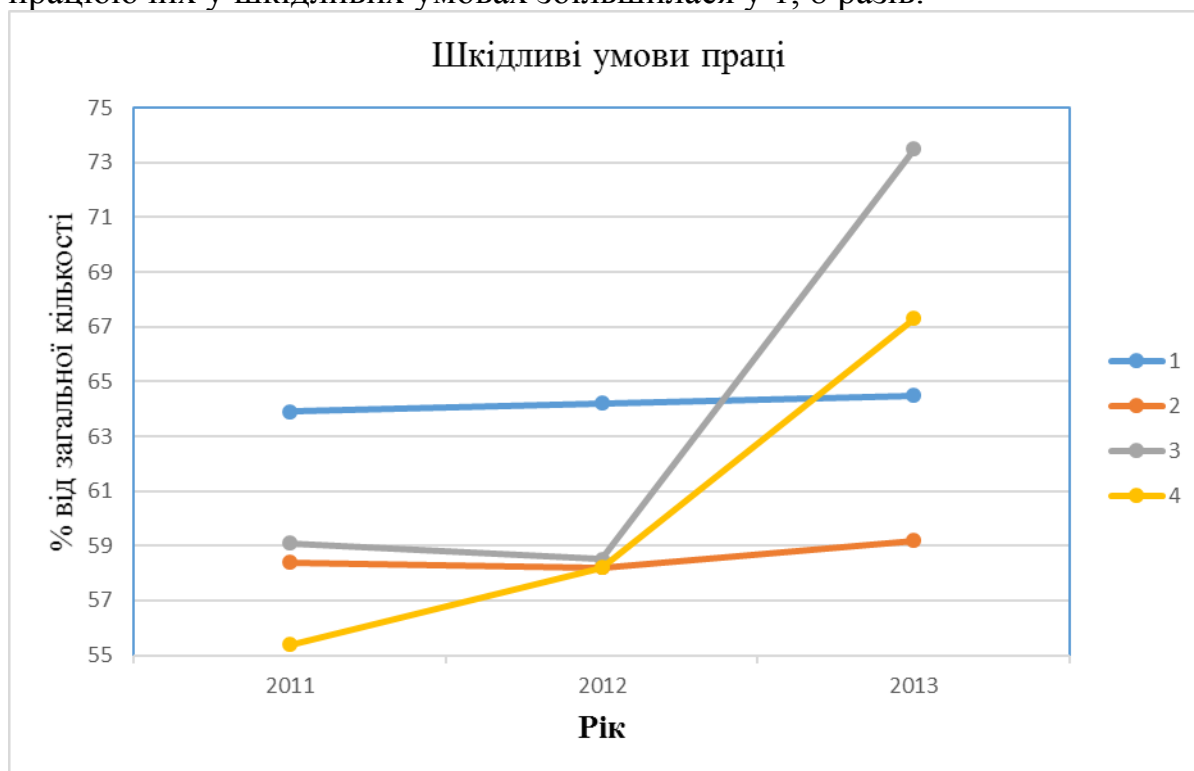


Рис. 1. Динаміка зміни кількості працюючих (у процентах загальної кількості) в шкідливих умовах на АЕС: 1 – Хмельницька АЕС; 2 – Рівненська; 3 – Запорізька; 4 – загалом за усіма АЕС.

Аналіз умов праці на кожній з чотирьох АЕС виявив певні особливості. Так, під впливом комплексу двох і більше шкідливих чинників, 2013 року на Хмельницькій АЕС року працювало 10,3 % загальної кількості працівників, Рівненській АЕС – 49,4 %, Запорізькій АЕС – 58,5 %.

Перспективи розвитку ядерної енергетики неможливо відокремити від потреби створення дієвої системи охорони праці на об'єктах підвищеної радіаційної небезпеки. Чинне законодавство України у цій сфері визначає основні вимоги до охорони здоров'я працівників від можливої шкоди внаслідок опромінювання та ймовірних забруднень довкілля [1]. У документах International Atomic Energy Agency [2] вказано, що основний напрям підвищення промислової безпеки АЕС є планові системні дії, спрямовані на зниження рівня опромінювання персоналу.

На АЕС України за рахунок впровадження наявних інженерно-технічних заходів не вдається уникнути впливу іонізуючого випромінювання від зовнішніх джерел, пилу та аерозолів з радіонуклідами. Багаторічний досвід експлуатації ядерних блоків показав неможливість уникнення робіт з джерелами випромінювання і радіоактивними речовинами під час пуску та зупинки ядерних блоків; утилізації поглинальних стержнів системи керування захистом та інших високоактивних матеріалів; очищення та дезактивації басейнів витримки. Суттєвий рівень опромінювання 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. Кількість працівників, які перебувають під впливом іонізуючого випромінювання, щорічно практично зростає (рис. 2.)



Рис. 2. Динаміка зміни кількості працюючих (у процентах загальної кількості) під впливом іонізуючого випромінювання на Хмельницькій АЕС

Аналіз поточної експлуатації показує, що на АЕС 10 % персоналу, який виконує роботи на першому контурному устаткуванні, під час ремонтних, демонтажних та аварійно-відновлювальних робіт, а також утилізації радіоактивних відходів має рівні опромінювання від 20 до 40 мЗв за рік. Водночас рівень опромінення працівників Європейських АЕС становить 0,2...0,4 мЗв.

Згідно з діючим законодавством, працівники, котрі зайняті на роботах з важкими та шкідливими умовами додатково отримують певні пільги та компенсації. Працівники АЕС щорічно отримують такі пільги: додаткове лікувально-профілактичне харчування; медичне обслуговування; скорочення тривалості робочого часу; додаткову оплачувану відпустку; пільгову пенсію. На Рівненській АЕС кількість працівників, які отримують компенсації за шкідливі умови праці становить 64 %, на Хмельницькій АЕС – 65 %, на Запорізькій АЕС – 71 %. Кількість працівників, які мають право на надання пільгових пенсій, на кожній зі станцій становить від 41 до 46 відсотків. Щорічно відбуваються медичні обстеження працівників, де виявляються певні професійні захворювання та аномалії органів дихання, кістково-м'язової системи, серцево-судинної системи на інші. Узагальнений показник, коефіцієнт виробничих втрат, який визначає кількість людино-днів непрацездатності, на АЕС становить в середньому 0,65.

