

Л.Д. ТРЕТЯКОВА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Н.В. ОСТАПЕНКО, М.В. КОЛОСНІЧЕНКО, Т.В. ЛУЦКЕР
Київський національний університет технологій та дизайну

ЗОНАЛЬНО-МОДУЛЬНА МОДЕЛЬ ДЛЯ РОЗРОБКИ КОМПЛЕКТІВ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ

У статті запропоновано підхід до розробки комплектів захисного одягу з прогнозованими характеристиками шляхом застосування зонально-модульної моделі для реалізації оптимізаційних методів розрахунку параметрів конструкції з неоднорідною багатоелементною структурою. На основі аналітичних досліджень умов експлуатації одягу для працівників АЕС обґрунтовано зони моделі, визначено чисельні характеристики імовірних значень площ окремих зон, що дає змогу в подальшому встановити функціональні зв'язки між модулями та окремими елементами конструкції.

Ключові слова: зонально-модульна модель, засоби індивідуального захисту, захисний одяг, розмірні ознаки.

L.TRETIAKOVA

National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»
N. OSTAPENKO, M. KOLOSNIICHENKO, T. LUTSKER
Kyiv National University of Technologies and Design

ZONALLY MODULE MODEL FOR DEVELOPMENT OF COMPLETE SETS OF PROTECTIVE CLOTHING

In the article offered approach to development of complete sets of protective clothing with the expected descriptions by application zonally module models for realization of optimization methods of calculation of parameters of construction with a heterogeneous rich elementnami structure. On the basis of analytical researches of external of clothes environments for the workers of nuclear power plants grounded, certainly numeral descriptions of credible values of areas of separate areas, that gives model areas possibility in future to set functional zv"yazkiv between the modules and separate elements of construction

Keywords: zonally-module model, facilities of individual defence, protective clothing, size signs

У процесі виробничої діяльності на працівників АЕС діє певна сукупність небезпечних і шкідливих виробничих чинників, які зумовлюють виникнення професійних травм і захворювань. Оцінка умов праці, яку здійснюють не менше ніж раз у три роки, згідно з положенням про атестацію робочих місць [1], дає можливість визначити відповідний перелік засобів індивідуального захисту, які потрібно використовувати на певному робочому місці [2].

Відомо, що поява нових матеріалів і технологій виготовлення засобів захисту обумовлює їх суттєві зміни. Згідно висунутих вимог до захисного одягу і потреби створення виробів, які відповідають певним умовам їх використання, відбуваються подальші якісні зміни їх конструктивних рішень. Однак, захисний одяг є складним багатоелементним об'єктом проектування і тому його розробка заснована на інформації про базові і типові конструкції.

Постановка завдання.

Мінімізацію впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників можна досягти завдяки використанню комплектів засобів індивідуального захисту, основною складовою яких є захисний одяг. Такі

комплекти можна розглядати як неоднорідну багатоелементну структуру, кожний елемент якої має індивідуальне функціональне, захисне, ергономічне призначення та характеризується певними рівнями фізико-механічних, гігієнічних, електричних характеристик тощо та вартістю. Особливе значення у виготовленні захисного одягу становлять способи обробки, які вибирають залежно від призначення, конструкції, структури матеріалів тощо. Так, для роботи в умовах забруднення повітря пилом, аерозолями, парами або випаровуваннями, з розчинами хімічно-, біологічно- та радіоактивних речовин найважливішою вимогою є забезпечення непроникності шкідливих речовин у підодяговий простір, яку можна задовольнити шляхом використання захисного одягу із відповідними способами з'єднання і його резервування – застосування наруківників, напульсників, функціональних вставок, герметизації швів тощо.

Виділення невирішених частин

Під час створення моделей і конструкцій захисного одягу з прогнозованими параметрами необхідно проаналізувати значну їх кількість варіантів. При цьому більшість вирішених завдань можна привести до вибору найкращого варіанту захисного одягу за умов поєднання різних показників. Усі розглянуті варіанти повинні відповідати основним критеріям – якості продукції, відповідності умовам праці та вимогам безпеки. У реальних умовах поставлену мету необхідно реалізувати в умовах обмежених матеріальних, трудових ресурсів тощо. За таких обставин математичним апаратом досліджень поставленої проблеми вибрано методи оптимізації, які дають змогу отримати обґрунтовані та однозначні рішення. Досвід використання математичних методів оптимізації у проектно-конструкторській розробці захисних виробів високої складності [4], для яких існує достатньо великий набір заходів і засобів удосконалення виробу, свідчить про певні складності у наданні вихідної інформації.

Формулювання цілей

У зв'язку із цим виникає потреба в узгодженні формальних математичних моделей з особливостями проектування захисного одягу, засобів індивідуального захисту рук, ніг, голови, органів дихання для проведення оптимізаційних розрахунків показників якості комплектів і параметрів захисних виробів. Тому завдання обґрунтованого формування вихідних даних і їх розрахунку при проектуванні захисного одягу потребує першочергового вирішення.

Виклад основного матеріалу.

Прийнята нині система індивідуального захисту працівників АЕС малоефективна з низки причин. Як відомо [1], на робочих місцях на працівників одночасно діє комплекс небезпечних і шкідливих виробничих чинників різної інтенсивності та з різною топографією впливу на окремі ділянки тіла. Діючі нормативні документи формулюють вимоги до захисту від одного чинника, розглядають і нормують його значення без узгодження з іншими. Відсутня комплексна оцінка показників ефективності і надійності захисних виробів.

І хоча завдання розробки конструкції захисного одягу постійно є актуальною, однак багато проблем залишаються невирішеними. Так, класичні методи проектування [1] не враховують особливостей конструкції захисного одягу, де домінують показники захисту і надійності, тому що розрив, розтріскування, прокол, втрата формостійкості виробів може призвести до потрапляння шкідливих речовин на шкіру працівника і викликати травми або професійні захворювання. Необхідно врахувати щоденний тривалий термін використання, передбачити можливість очищення та утилізації без забруднення довкілля, запобігти виникненню додаткових ризиків у вигляді поверхневих електростатичних полів, порушень теплового стану працівника. Під час проектування захисного одягу розробнику потрібно дотримуватися вимог багатьох нормативних документів, які висувають детерміновані вимоги до багатьох параметрів (маса, площа, товщина, вартість тощо).

Виходячи з основних теоретичних положень роботи, будь-яке конструктивно-технологічне рішення 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 [1, 2].

У статті запропоновано зонально-модульну модель, яка утворює у своїй сукупності структуру

комплекту захисного одягу, і дає змогу в подальшому встановити функціональні зв'язки між модулями та окремими елементами конструкції. Кожен елемент або модуль має відповідне призначення за захисними функціями і характеризується певними технічними та вартісними показниками [1, 2].

Дози радіоактивності, що накопичуються в організмі, нерівномірно розподіляються та неоднаково впливають на органи, тому у проектуванні захисного одягу визначено ділянки, які потребують підвищеного захисту. З метою формування вихідних даних захисного одягу з прогнозованими параметрами запропоновано зонально-модульну модель тіла людини для проведення оптимізаційних розрахунків показників якості комплектів (рис.). Кожен модуль має відповідне призначення за захисними функціями і характеризується певними технічними та вартісними характеристиками. У ході проектно-конструкторської розробки захисного одягу і подальших оптимізаційних розрахунках потрібно знати площі окремих зон, які обумовлюють норми витрат матеріалів, масу, коефіцієнт захисту, показники надійності тощо.

Зріст, обхвати грудей і талії чоловіків є ведучими розмірними ознаками і основними параметрами у визначенні решти характеристик. Величини розмірних ознак 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 [4, 5]. Математичне очікування кожної з ознак позначаємо як $M(Z_i) = \underline{A}$, де \underline{A} – оцінка математичного очікування шуканої розмірної ознаки.



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

Величина \underline{A} перебуватиме в межах довірчого інтервалу визначається за формулою:

$$\underline{Z}_i - \varepsilon_\beta \leq \underline{A} \leq \underline{Z}_i + \varepsilon_\beta, \quad (1)$$

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

$$\varepsilon_\beta = \sqrt{\frac{D_i}{n}} \cdot \alpha, \quad (2)$$

де D_i – дисперсія i -ої розмірної ознаки;

n – кількість значень;

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

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

$$M(S_j) = M(Z_i) \cdot M(Z_j), \quad (3)$$

$$\varepsilon(S_{ij}) = M(Z_i) \cdot \varepsilon(Z_j) + M(Z_j) \cdot \varepsilon(Z_i) + \varepsilon(Z_j) \cdot \varepsilon(Z_i), \quad (4)$$

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

З урахуванням особливостей проектування захисного одягу і відповідних комплектів запропоновано формули для визначення площ окремих зон. За основу взято розмірні антропометричні ознаки типових фігур чоловіків для проектування одягу відповідно до нормативних документів [3].

У першу зону з кодованим позначенням 31 виокремлено голову, захист якої можна забезпечити виробами захисту голови, засобами захисту обличчя, очей та органів дихання. Відповідно площу першої зони визначено за формулою:

$$S_1 = O_{гол} \cdot \frac{3 \cdot B_{гол}}{4}, \quad (5)$$

де $O_{гол}$ – обхват голови, см;

$B_{гол}$ – висота голови, см.

До другої зони належить шия із таким життєво важливим органом як щитовидна залоза. Площа другої зони із кодованим позначенням 32 визначається виразом:

$$S_2 = \frac{O_{ш} \cdot B_{гол}}{4}, \quad (6)$$

де $O_{ш}$ – обхват шиї, см;

Передню частину тулуба людини поділено на дві зони: груди, верхня частина живота (кодоване позначення зони 33) і нижня частина живота, яка охоплює статеві органи (кодоване позначення зони 34). Для визначення площі третьої зони використовують формулу:

$$S_3 = D_{mnl} \cdot \left(Ш_г + \frac{O_{гг} - Ш_с - Ш_з}{2} \right), \quad (7)$$

де D_{mnl} – відстань від точки основи шиї до лінії талії спереду, см;

$Ш_г$ – ширина грудей, см;

$Ш_с$ – ширина спини, см;

$O_{гг}$ – обхват грудей перший, см.

Площа четвертої зони визначається за формулою:

$$S_4 = \frac{O_{б}}{2} \cdot (D_{cn} - D_n), \quad (8)$$

де D_{cn} – відстань від лінії талії до підлоги спереду, см;

D_n – довжина ноги внутрішньої поверхні, см;

$O_{б}$ – обхват стегон з урахуванням виступу живота, см.

Задня частина тулуба становить зону з кодованим позначенням 35. Формулу для визначення площі п'ятої зони подано у вигляді:

$$S_5 = D_{mcl} \cdot \left(Ш_с + \frac{O_{гг} - Ш_с - Ш_з}{2} \right) + \left(\frac{O_{б}}{2} \cdot (D_{cn} - D_n) \right), \quad (9)$$

де D_{mcl} – відстань від лінії талії ззаду до точки основи шиї збоку, см.

На дві зони (кодовані позначення 36, 37) поділено руки: лікоть і верхня частина руки належить до шостої зони, сьома зона охоплює нижню частину руки. Площа шостої зони визначається за формулою:

$$S_6 = 2 \cdot D_{p.лок} \cdot O_n, \quad (10)$$

де $D_{p.лок}$ – довжина руки до ліктя, см;

O_n – обхват плеча, см.

Формула для визначення площі сьомої зони має вид:

$$S_7 = 2 \cdot O_n \cdot (D_{p.зан} - D_{p.лок}), \quad (11)$$

де $D_{p.зан}$ – довжина руки до зап'ястка, см;

До нижніх кінцівок належать дві зони із кодованими позначеннями 38 та 39). Так, верхню частину ноги і коліно віднесено до восьмої зони, нижню частину ноги і ступні – до дев'ятої. Формула для визначення площі восьмої зони набуває такого вигляду:

$$S_8 = 2 \cdot O_{бед} \cdot (B_{nc} - B_k), \quad (12)$$

де $O_{бед}$ – обхват стегна, см;

B_{nc} – висота підсідничної складки, см;

B_k – висота колінної складки, см

Поділ верхніх та нижніх кінцівок на чотири зони дає змогу запровадити додаткові елементи для захисту ліктювих, колінних, плечових суглобів, а також поєднати модулі захисного одягу із засобами захисту рук (рукавиці, нарукавники, рукавички) та ніг (гамаші, бахили тощо). Площа дев'ятої зони визначається виразом:

$$S_9 = 2 \cdot B_k \cdot O_{кc}, \quad (13)$$

де $O_{кc}$ – обхват коліна в зігнутому положенні ноги, см.

Захисним одягом передбачено відповідні припуски на вільне облягання, а площі окремих зон визначено за розмірними ознаками типових фігур чоловіків другої і третьої повнотних груп.

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.).

Таблиця. Чисельні характеристики площ зон зонально-модульної моделі

Назва зони (кодоване позначення зони)	Назва частини/ділянки тіла (назва органів тіла) людини відповідної зони	Математичне очікування площі зони $M(S_{ij})$, см ²	Довірчий інтервал $\varepsilon(S_{ij})$, см ²
Зона 1 (31)	Голова (мозок, органи дихання і зору)	1052,4	45,1
Зона 2 (32)	Шия, частина тулуба спереду (щитовидна залоза)	259,3	12,3
Зона 3 (33)	Груди, живіт (плечовий суглоб, стравохід, шлунок, печінка, легені)	2397,1	90,9
Зона 4 (34)	Нижня частина живота, пахова складка (статеві органи, сечовий міхур, товстий кишечник)	1454,9	61,3
Зона 5 (35)	Плечовий пояс, спина, сідниці (легені, червоний кістковий мозок)	4201,1	155,2
Зона 6 (36)	Плеche руки, лікоть (плечовий суглоб, ліктювий суглоб)	2290,8	164,6
Зона 7 (37)	Передпліччя руки	1744,3	107,6
Зона 8 (38)	Стегно ноги, коліно (колінний суглоб)	3605,8	249,5
Зона 9 (39)	Гомілка, стопа	4029,3	226,2

Чисельні характеристики загальної поверхневої площі захисного одягу такі: математичне очікування – $M[S_n] = 2,1035 \text{ м}^2$; коефіцієнт варіації $K_a[S_n] = 0,052$; з урахуванням антропометричних особливостей працівників змінюється в межах від 1,9922 до 2,2148 м². Перевірка за критерієм Пірсона показала, що гіпотеза

про підпорядкування випадкових величин S_n рівномірному закону розподілу не суперечить результатам досліджень.

Знання чисельних значень окремих зон захисних комплектів дає змогу формалізувати визначення зміни вартості, маси, показники захисту та надійності у ході проектно-конструкторської розробки з використанням математичних методів оптимізації у комп'ютерних розрахунках. Наприклад, під час впровадження одношарової вставки у зонах 2 – 5 математичне очікування маси $M(\Delta m)$ і вартість $M(\Delta C)$ виробу змінюється відповідно:

$$M(\Delta m) = M(S_2 \cdot \rho_2 + S_3 \cdot \rho_3 + S_4 \cdot \rho_4 + S_5 \cdot \rho_5), \quad (14)$$

$$M(\Delta C) = M(S_2 \cdot c_{02} + S_3 \cdot c_{03} + S_4 \cdot c_{04} + S_5 \cdot c_{05}), \quad (15)$$

де ρ – поверхнева густина матеріалу вставки; c_0 – вартість 1 м² матеріалу вставки. Довірчі інтервали вказаних величин можна розрахувати за формулами (2) і (3).

Висновки.

Запропоновано формули для визначення площ окремих зон на основі відомих розмірних ознак типових фігур та визначено їх чисельні характеристики. Завдяки розробці зонально-модульної моделі запропоновано підхід до створення комплектів захисного одягу з прогнозованими характеристиками для реалізації формальних математичних моделей і проведення в подальшому оптимізаційних розрахунків показників якості комплектів.

Література

1. Литвиненко Г.Є. Засоби індивідуального захисту: виготовлення та застосування: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / Г.Є. Литвиненко, Л.Д. Третьякова. – К.: Лібра, 2008. – 317 с.
2. 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.
3. ОСТ 17-325-86 Изделия швейные, трикотажные, меховые. Фигуры типовые мужчин. Размерные признаки для проектирования одежды. – Взамен ОСТ 17-325-81; Введ. 01.07.87. – М.: ЦНИИТЗИлегпром, 1987. – 75 с.

References

1. Litvinenko G.E. Facilities of individual defence: making and application: train aid [for stud. univer.] / G.E. Litvinenko, L.D. Tretyakova. – K.: Libra, 2008, 317 p.
2. Tretyakova L. D. Optimizaciya measures of increase of efficiency of radiaciynozakhisnogo clothes, Problems of labour protection in Ukraine, 2012., Vol. 22, pp. 116–123.
3. Industry standard 17-325-86 Wares sewings, knittings, fur. Figures are a model men. Size signs for planning of clothes, 01.07.87. is entered , 1987, 75 p.