

УДК 614.8.084

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-17>

## ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОМЕОСТАЗУ МЕТАЛУРГІВ

**Юсубова Лейла Яківна,**

магістр

Донецький національний технічний університет

**Костенко Віктор Климентович,**

доктор технічних наук, професор,

професор кафедри безпеки праці і охорони довкілля

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

ORCID ID: 0000-0001-8439-6564

*Аналіз сучасних інформаційних джерел дав змогу встановити, що робота у металургійній промисловості характеризується інтенсивними фізичними навантаженнями, недостатнім захистом від теплових факторів виробництва, які, діючи у сукупності, можуть призвести до перегріву та теплових травм.*

*Основними причинами порушення теплового балансу в організмах металургів можуть бути надмірний рівень прямого теплового випромінювання від обладнання, висока температура довкілля; тривале перебування у зоні впливу теплових факторів виробництва; підвищена внутрішня генерація тепла в організмі робітника внаслідок тяжкого фізичного навантаження; недостатня вентиляція та рух повітря; відсутність або неправильний вибір спецодягу. Розглянутий загальний підхід до оцінювання теплового балансу тіла людини вказав на безперечну актуальність питання забезпечення максимального видалення зовнішньої теплоти з поверхні захисного одягу.*

*Метою роботи було обґрунтування властивостей поверхневого шару захисного одягу для мінімізації негативного впливу на металургів виробничих зовнішніх теплових потоків.*

*Метод дослідження – теоретичний аналіз на основі класичних положень термодинаміки процесів тепломасопереносу на поверхні захисного одягу металургів.*

*Було поставлено такі завдання: обґрунтування раціональних параметрів відбиваючих промені поверхонь теплозахисного одягу металургів; розкриття умов ефективного виносу тепла з поверхні захисного одягу металургів.*

*Встановлено, що для створення безпечних та комфортних умов праці металургів необхідно забезпечити ефективні рівні відбиття променевого навантаження, максимальне власне випромінювання і конвекційний виніс теплоти з поверхні. Теоретично вибрано основні залежності, що розкривають механізм протидії тепловому навантаженню на металургів. Вперше теоретично обґрунтовано доцільність використання тканин з нерівномірною поверхневою текстурою для виготовлення захисного одягу людей що працюють в умовах нагрітого мікроклімату.*

**Ключові слова:** *тепловий баланс, гомеостаз, металургія, терморегуляція, одяг для захисту, вплив кольору, теплове навантаження, безпека праці, високотемпературні умови, метаболічне тепло, конвекція, радіація, випаровування.*

### **Yusubova Leila, Kostenko Viktor. The influence of the surface layer of protective clothing on ensuring the homeostasis of metallurgists**

*The analysis of modern information sources made it possible to establish that the work in the metallurgical industry is characterized by intense physical exertion, insufficient protection from thermal factors of production, which acting together can lead to overheating and thermal injuries.*

*The main reasons for the violation of the thermal balance in the bodies of metallurgists can be: an excessive level of direct thermal radiation from the equipment, high ambient temperature; prolonged stay in the zone of influence of thermal factors of production; increased internal heat generation in the worker's body due to heavy physical exertion; insufficient ventilation and air movement; lack or incorrect choice of work clothes. The considered general approach to the assessment of the thermal balance of the human body indicated the indisputable relevance of the issue of ensuring the maximum removal of external heat from the surface of protective clothing.*

*The purpose of the work was to substantiate the properties of the surface layer of protective clothing to minimize the negative impact on metallurgists of production external heat flows.*

*The research method is a theoretical analysis based on classical provisions of thermodynamics of heat and mass transfer processes on the surface of protective clothing of metallurgists.*

*Task: substantiation of rational parameters of reflective surfaces of heat-protective clothing of metallurgists; disclosure of the conditions for effective removal of heat from the surface of protective clothing of metallurgists.*

*It has been established that in order to ensure safe and comfortable working conditions for metallurgists, it is necessary to ensure: effective levels of radiation load reflection, maximum own radiation and convection removal of heat from the surface. Theoretically, the main dependences that reveal the mechanism of counteracting the heat load on metallurgists have been chosen. For the first time, the expediency of using fabrics with an uneven surface texture for the production of protective clothing for people working in a heated microclimate has been theoretically substantiated.*

**Key words:** *thermal balance, homeostasis, metallurgy, thermoregulation, protective clothing, effect of color, working conditions, physiological processes, thermal load, ergonomics, occupational safety, high temperature conditions, metabolic heat, convection, radiation, evaporation.*

**Вступ.** Тепловий баланс між доквіллям і тілами людей є критично важливою умовою підтримки їх працездатності та загального здоров'я. Він визначається як рівновага між кількістю тепла, що виробляється організмом, і тим, що втрачається або надходить з доквілля. Основні біофізичні процеси, що впливають на тепловий баланс, – це метаболізм, теплопровідність, конвекція, випромінювання та випаровування. Динаміка теплового балансу організму (гомеостаз) здійснюється через складну систему фізіологічних реакцій, які дають змогу адаптуватися до змін зовнішніх та внутрішніх умов. Гомеостаз підтримується безперервною роботою систем органів кровообігу, дихання, травлення, виділення тощо, постачанням у кров біологічно активних хімічних речовин, котрі забезпечують взаємодію клітин і органів.

Робота у металургійній промисловості характеризується інтенсивними фізичними навантаженнями, недостатнім захистом від теплових факторів виробництва, які, діючи у сукупності, можуть призвести до перегріву та теплових травм.

Основними причинами порушення теплового балансу в організмах металургів можуть бути:

- надмірний рівень прямого теплового випромінювання від обладнання;
- висока температура доквілля;
- тривале перебування у зоні впливу теплових факторів виробництва;
- підвищена внутрішня генерація тепла в організмі робітника внаслідок важкого фізичного навантаження;
- недостатні вентиляція та рух повітря;
- відсутність або неправильний вибір спецодягу.

Виходячи з технологічних, економічних та інших умов, неможливо одночасно привести до комфортного для існування людини рівня весь комплекс наведених негативних факторів металургійного виробництва.

Розуміння механізму теплового впливу на організм металурга є ключовим для розроблення ефективних заходів безпеки та забезпечення оптимальних умов праці. Для розкриття механізму використовують різноманітні

вимірювальні методи, які дають змогу оцінити тепловий стан організму та виявити потенційні ризики, пов'язані з робочим середовищем. Ці методи є ключовими для розроблення ефективних стратегій контролю стану організму та адаптації його до небезпечних теплових умов.

Для вимірювання теплового балансу використовують такі методи [1]:

- термометрія – вимірювання температури тіла та доквілля;
- калориметрія – визначення кількості тепла, що виробляється або поглинається організмом;
- гідрометрія – аналіз втрати рідини, в тому числі через потіння;
- моніторинг фізіологічних показників – вимірювання пульсу, артеріального тиску та інших показників, що можуть вказувати на перегрів.

Систематичне порушення теплового балансу у системі «організм металурга – доквілля», яке виникає через інтенсивну внутрішню генерацію тепла або недостатнє тепловідведення, веде до порушення гомеостазу – природної системи саморегуляції організму, яка підтримує теплову стабільність внутрішнього середовища. В результаті можуть виникати серйозні наслідки для здоров'я, зокрема тепловий удар та зневоднення, що здатні призвести до хронічних станів, таких як порушення серцево-судинної системи.

Проблемі визначення теплового тіла людини, яка перебуває у певному тепломасообміні з доквіллям, присвячено багато наукових робіт вітчизняних та зарубіжних дослідників [2–5]. В них надано низку результатів, у яких враховано складові загального теплового балансу. Аналіз сучасних методик визначення теплового балансу тіла людини виявив відсутність єдиного підходу та суттєві відмінності у підходах до визначення його складових. Наприклад, розбіжності у величинах конвекційного і променистого теплообміну, а також у коефіцієнтах опромінення варіюються від 5 до 90%, що справляє значний вплив на точність визначення радіаційної складової теплообміну [6]. Це може призвести до помилок

у розрахунках теплового комфорту та безпеки працівників у різних умовах.

Загальна формула теплового балансу тіла людини виглядає так [7–9]:

$$M = \pm \Delta Q - Q_p \pm Q_u \pm Q_n \pm Q_k - Q_{\phi}, \quad (1)$$

де  $M$  – теплота, яка виробляється організмом в результаті метаболічних процесів;  $Q_p$  – втрата власної теплоти тілом через випромінювання в інфрачервоному діапазоні хвиль;  $Q_k$  – втрата теплоти, яка виноситься з повітрям, що рухається навколо тіла;  $Q_u$  – тепловіддача через випаровування вологи з поверхні тіла;  $Q_{\phi}$  – теплота, що витрачається на фізіологічні процеси, такі як дихання та кровообіг;  $Q_n$  – променистий теплообмін із зовнішнім середовищем;  $\Delta Q$  – надлишок (накопичення) або нестача теплоти в організмі.

Формула теплового балансу тіла людини є фундаментальною для розуміння теплообміну та визначення необхідних умов для підтримки теплового комфорту та здоров'я людини під час роботи.

Вона дає змогу оцінити, як метаболічна теплота, компоненти теплообміну через шкіру та дихальні шляхи, а також механічна робота впливають на загальний тепловий стан організму.

Низка складових рівняння (1) має позитивний або негативний знак ( $\pm Q_u, \pm Q_n, \pm Q_k$ ), що означає надходження теплоти до організму людини або вилучення. Забезпечення захисту робітників від перегріву формально полягає в обмеженні складових, що мають позитивний показник.

Для розрахунку теплового балансу тіла людини на металургійному підприємстві необхідно врахувати основні зовнішні складові теплообміну: випромінювання з розігрітих частин обладнання; температуру, вологість та швидкість повітря в робочій зоні, оскільки вони визначають позитивний характер теплообміну між тілом та довкіллям.

Гомеостаз забезпечується комплексною роботою систем кровообігу, дихання, травлення, виділення тощо, тому одним з ефективних способів забезпечення їх надійної дії є застосування працівниками захисного одягу. Тканина такого одягу перебуває безпосередньо поряд із головними системами життєзабезпечення, вона служить свого роду панциром для захисту зазначених систем організму від інфрачервоного випромінювання та контакту з гарячим повітрям [10].

Головну роль у процесі теплозахисту відіграє поверхневий шар захисного одягу, адже основні види теплообміну, а саме відбиття

енергії, конвекційний її винос, реалізуються саме на поверхні. Вглиб одягу прямує тільки та теплота, що залишається після відбиття та зняття теплоти з поверхні. Тому питання забезпечення максимального видалення зовнішньої теплоти з поверхні захисного одягу металурга є **актуальним**.

**Метою** роботи є обґрунтування властивостей поверхневого шару захисного одягу для мінімізації негативного впливу на металургів виробничих зовнішніх теплових потоків.

**Метод дослідження** – теоретичний аналіз на основі класичних положень термодинаміки процесів тепломасопереносу на поверхні захисного одягу металургів.

#### **Завдання:**

– обґрунтування раціональних параметрів відбиваючих промені поверхонь теплозахисного одягу металургів;

– розкриття умов ефективного виносу тепла з поверхні захисного одягу металургів.

**Виклад основного матеріалу.** Поверхневий шар захисного одягу доцільно розглянути з позиції здатності відбивати теплове випромінювання. Колір поверхні відіграє важливу роль у відбитті та поглинанні тепла.

Мірою поглинання або відштовхування променів є коефіцієнт відбиття ( $\rho$ ) [11; 12]:

$$\rho = I_i / I_r, \quad (2)$$

де  $I_r, I_i$  – інтенсивність (густина) теплового потоку  $i$ , відповідно, відбитого та падаючого випромінювання,  $Wm/m^2$ .

Кількість відбитої поверхнею захисного одягу металурга променевої теплоти може бути визначена за формулою:

$$Q_n = F \cdot I \cdot \rho, \quad (3)$$

де  $F$  – площа опроміненої поверхні захисного одягу металурга,  $m^2$ ,  $I$  – інтенсивність (густина) теплового потоку,  $Wm/m^2$ ,  $\rho$  – коефіцієнт відбиття променів.

Відомо, що світлі кольори відбивають більше сонячного світла та тепла, тоді як темні поглинають їх (табл. 1).

Основний тепловий вплив здійснює інфрачервоне випромінювання (ІЧ) – частина електромагнітного спектру, яка лежить між видимим світлом та мікрохвильовим випромінюванням. Якщо припустити, що світлий колір відбиває 80% теплового випромінювання, а темний – лише 20%, одяг темного кольору збільшує теплове навантаження на працівника в чотири рази порівняно зі світлим.

Для зменшення нагрівання тіл людей зовнішнім поверхням захисних засобів надають

Таблиця 1

**Вплив кольору одягу на відбиття теплоти [13]**

Колір спецодягу	Відбиття теплоти (%)	Поглинання теплоти (%)
Білий	Високе (~ 75–90%)	Низьке
Жовтий	Середнє (~ 60–75%)	Середнє
Червоний	Низьке (~ 25–40%)	Високе
Чорний	Дуже низьке (< 25%)	Дуже високе

посилений відбиваючий ефект, наносячи на них віддзеркалююче покриття. Багато речовин, прозорих у видимій області, виявляються непрозорими в деяких областях інфрачервоного випромінювання (ІЧ), і навпаки. Так, у більшості металів відбивна здатність для ІЧ значно більша, ніж для видимого світла, наприклад коефіцієнти відбиття Al, Au, Ag, Cu складають для ІЧ від 65 до 85%, можуть сягати 98%. Важливі кольори поверхонь. Так, пофарбовані у білий колір мають  $\rho = 0,7 \dots 0,8$ ; світло-сірий –  $0,4 \dots 0,5$ ; зелений –  $0,12 \dots 0,2$ . З цього випливає, що для поверхні протитеплого засобу доцільно вибрати білий колір або напилувати шар такого ж кольору металевого покриття. Показник  $\rho$  може також суттєво змінюватись залежно від кольору тканини, її текстури, величини шорсткості та інших чинників [12].

Інтенсивність опромінювання ( $I$ ,  $Вт/м^2$ ) залежить від площини поверхні, на яку спрямовано промені. Найбільша інтенсивність за вертикального напрямку, коли кут між вектором променю і поверхнею складає  $90^\circ$ . Відхилення того ж променя від вертикалі означає збільшення площині опромінювання і, відповідно, зменшення інтенсивності. Під час порівняння дії проміння  $I$  на два однакових за розмірами і показником  $\rho$  клаптів тканини, але з гладкою та хвилеподібною текстурою для першого з них інтенсивність опромінювання буде більшою. Це пояснюється тим, що у другому випадку випромінювання розсіюється на значно більшу загальну площу поверхні, тому інтенсивність опромінювання така:  $I_{r2} < I_{r1}$ . Отже, використовуючи рівняння (2), оцінимо інтенсивності відбиття:  $I_{i1} = \rho/I_{r1}$  та  $I_{i2} = \rho/I_{r2}$ , враховуючи що  $\rho = const$ , маємо  $I_{i1} < I_{i2}$ . Більшій відбиваючий ефект притаманний тканинам з нерівною поверхневою текстурою.

Для скорочення впливу теплового випромінювання використовуються різні матеріали та технології покриття. Це можуть бути спеціальні фарби та покриття, які відбивають ІЧ-промені. Також використовуються багаточарові матеріали, які комбінують відбивні та ізоляційні властивості для забезпечення ефективного захисту об'єктів від тепла і збільшення складової балансу –  $Q_n$  (див. 1). Для вибору матеріалів

або покриттів захисного одягу металургів їх поверхонь величину коефіцієнта  $\rho$  відбиття слід уточнювати експериментально.

Нагріта поверхня випромінює тепло у довкілля. Розрахунок ефективності випромінювання з поверхні захисного одягу можна виконати, використовуючи закон Стефана-Больцмана для випромінювання теплоти:

$$Q_p = F \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4, \quad (4)$$

де  $Q_p$  – потужність випромінювання на одиницю площі,  $Вт/м^2$ ,  $F$  – площа нагрітої поверхні захисного одягу,  $м^2$ ,  $\varepsilon$  (емісійність) – коефіцієнт, який показує частку випромінювання тілом відносно випромінювання абсолютно чорного тіла (від 0 до 1, де 1 означає ідеальне чорне тіло),  $\sigma$  – стала Стефана-Больцмана,  $5,67 \cdot 10^{-8}$ ,  $Вт/(м^2 \cdot K^4)$ ,  $T$  – абсолютна температура тіла,  $К$ .

Величина  $\varepsilon$  може бути відома з довідникової літератури або встановлюється експериментально.

Нагріта до температури  $T_2$  поверхня засобу площиною  $F$  контактує з навколишнім повітрям нагріваючи його. Це збільшує конвекційні потоки, що приводить до виносу частини теплової енергії з поверхні. Можливі такі варіанти конвекції, як природня та вимушена. Як вимушена конвекція може використовуватись знімання теплоти потоком повітрям або рідини [13]. За вільного характеру конвекції на винос теплоти впливають переважно підйомна сила і сила в'язкості. Товщини теплового і гідродинамічного граничних шарів близькі за величиною.

Режим конвекційної тепловіддачі до повітря визначається величиною критеріїв Релея та Нуссельта [14]:

$$R_a = g \cdot l^3 \cdot \beta (T_2 - T_1) / (\nu \cdot a), \quad (5)$$

$$Nu = \alpha l / \lambda,$$

де  $g = 9,80665$  – стандартне прискорення вільного падіння,  $м/с^2$ ;  $l$  – визначальний лінійний розмір поверхні теплообміну,  $м$ ;  $\beta$ , – ізобарний коефіцієнт термічного розширення,  $К^{-1}$ ; (для повітря ця величина обернена до його абсолютної температури  $T$ , тобто  $\beta = 1/(t + 273,15)$ );  $T_2$  і  $T_1$  – середні температури поверхні тканинного

майданчика і повітря (за межами рухомого шару),  $K$ ;  $\nu$  – кінематична в'язкість повітря,  $m^2/s$ ;  $a$  – коефіцієнт температуропровідності повітря,  $m^2/s$ ;  $\alpha$  – середній коефіцієнт тепловіддачі,  $Wm/(m^2K)$ ;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності повітря,  $Wm/(mK)$ .

Критеріальне рівняння для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі до повітря запропоновано [13] у вигляді  $Nu=C \cdot Ra \cdot n$ , де сталі  $C$  і  $n$  визначаються на основі експериментів. Умови теплообміну між рідиною (повітря) та поверхнею твердого тіла (тканина) характеризуються коефіцієнтом пропорційності, який називається коефіцієнтом тепловіддачі та визначає інтенсивність теплообміну. Значення коефіцієнта тепловіддачі дорівнює кількості теплоти, переданого в одиницю часу через одиницю поверхні за різниці температур між поверхнею і рідиною в 1,  $K$ . З літературних джерел відомо, що для вертикальних поверхонь у діапазоні температур ( $^{\circ}C$ ):

$-5 \leq \Delta t \leq 25$ , середній коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha \approx 6$ ,  $Wm/(m^2 \cdot K)$ .

Питомий тепловий конвекційний потік становить,  $Wm/m^2$ :

$$q_k = \alpha \cdot (T_2 - T_1),$$

відповідно, конвекційний потік з нагрітої до  $T_2$  поверхні розміром  $F$  також спрямований від тіла металурга:

$$-Q_k = F \cdot \alpha \cdot (T_2 - T_1), \text{ Wm.} \quad (6)$$

Аналіз виразу (6) показує, що збільшення конвекційної складової  $Q_k$  за перерозподілу зовнішнього теплового потоку можливе або

шляхом збільшення різниці температур, що недоцільно, або через збільшення площини майданчика, наприклад, за виконання її ребристою, не збільшуючи суттєво об'єм тканини. Міркування щодо площини поверхні за конвекційного виносу теплоти подібні тим, що належать до виразів (3 і 4). Регулярний моніторинг і адаптація захисного одягу до фізіологічних потреб людини значно знижують пов'язані з високотемпературним середовищем ризики [14; 15].

**Висновки.** Підтримання теплового балансу та гомеостазу є критично важливим для здоров'я та продуктивності працівників у металургійній промисловості. Поверхневий шар захисного одягу металурга є переднім рубежем, який відіграє значну роль у забезпеченні безпечних та комфортних умов його праці. Для цього необхідно забезпечити ефективні рівні відбиття променевого навантаження –  $Q_{\rho}$ , максимальне власне випромінювання –  $Q_p$  і конвекційний виніс теплоти з поверхні –  $Q_k$ .

У роботі теоретично вибрано основні залежності, що розкривають механізм протидії тепловому навантаженню на металургів. Це може стати науковим підґрунтям для подальшого обґрунтування практичних заходів щодо удосконалення індивідуальних засобів захисту від негативних теплових факторів металургійного виробництва.

Вперше теоретично обґрунтовано доцільність використання тканин з нерівномірною поверхневою текстурою для виготовлення захисного одягу людей, що працюють в умовах нагрітого мікроклімату.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. S.F. Neves, Campos J.B.L.M. The impact of water on firefighter protective clothing thermal performance and steam burn occurrence in firefighters. *Fire Safety Journal*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103506>.
2. Zhang H., Song G., Ren H., Cao J. The effects of moisture on the thermal protective performance of firefighter protective clothing under medium intensity radiant exposure. *Textile Research Journal*. 2018. № 88 (8). P. 847–862. DOI: 10.1177/0040517517690620.
3. Treatment of Firefighter's Suit against Fire to Increase Its Effectiveness / Eman Saad. DOI: <https://doi.org/10.12816/0045763>.
4. Kostenko V., Kostenko T., Zemlianskiy O., Maiboroda A., Kutsenko S. Automatization of individual anti-thermal protection of rescuers in the initial period of fire suppression. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. No. 5/10 (89). P. 4–11.
5. Гаврилко О.А., Вашкевич Р.В. Наукові основи створення методів і засобів індивідуального проти-газотеплового захисту рятувальників: монографія. Львів: «Львівська політехніка», 2023. 387 с.
6. Ozgur Atalay, Senem Kursun Bahadir, Fatma Kalaoglu. An Analysis on the Moisture and Thermal Protective Performance of Firefighter Clothing Based on Different Layer Combinations and Effect of Washing on Heat Protection and Vapour Transfer Performance. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/540394>.
7. Aude Morel, Gauthier Bedek, Fabien Salaün & Daniel Dupont. A review of heat transfer phenomena and the impact of moisture on firefighters' clothing and protection. *Ergonomics*. 2014. № 57:7. P. 1078–1089. DOI: 10.1080/00140139.2014.907447.

8. Yun Su, Jun Li & Guowen Song. The effect of moisture content within multilayer protective clothing on protection from radiation and steam. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2017. № 24:2. P. 190–199. DOI: <https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1321890>.
9. Черичка А. Вогнестійкі тканини з мета-і пара-арамідних волокон. З чого шити сучасний костюм пожежника. 2019. URL: [teksika.ua/company/news/vognestiyki\\_tkanyny\\_z\\_metai\\_paraaramidnykh\\_volokon\\_z\\_chogo\\_shyty\\_suchasnyy\\_kostyum\\_pozhezhnyka](https://teksika.ua/company/news/vognestiyki_tkanyny_z_metai_paraaramidnykh_volokon_z_chogo_shyty_suchasnyy_kostyum_pozhezhnyka).
10. Abu Shaid, Lijing Wang, Rajiv Padhye, Martin Gregory. Low cost bench scale apparatus for measuring the thermal resistance of multilayered textile fabric against radiative and contact heat transfer. *Hardware X*. 2019. Vol. 5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00060>.
11. "Safety of life activities. Workshop." (n.d.) Retrieved April 16, 2024. URL: from files.khadi.kharkov.ua.
12. Henning A. The Heat reducing Effects of Reflective Clothing in Firefighting: A study on the efficiency of reflective textiles in personal protective equipment (Dissertation). 2022. URL: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-92455>.
13. Костенко Т. Розвиток наукових основ підвищення безпеки рятувальників під час ведення оперативних дій в умовах нагрітого мікроклімату: автореф. дис. ... докт. техн. наук; ДВНЗ ДонНТУ. Покровськ, 2018. 40 с.
14. Materials of the XIII-th International Scientific and Practical. April 16, 2024. URL: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net).
15. Тепловіддача за вільним рухом повітря у великому об'ємі / Д. Сінат-Радченко, Н. Іващенко, С. Василенко. *Цукор України*. 2016. № 6–7 (126–127). С. 34–35.
16. Improving the protective properties of special clothing for the State Emergency Service workers for working in high-temperature conditions. Code "Protective clothing". Lviv 2017. P. 29
17. Santen normi mccrocklin of virobnychih primer: LTOs 3.3.6.042-99. [Introductio. From 1999-01-12]. K.: Mn. Aharoni health, 1989. 15 p. (Sanitary norms).

#### REFERENCES:

1. S.F. Neves, J.B.L.M. Campos (2022). The impact of water on firefighter protective clothing thermal performance and steam burn occurrence in firefighters. *Fire Safety Journal*. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103506>.
2. Zhang H., Song G., Ren H., Cao J. (2018). The effects of moisture on the thermal protective performance of firefighter protective clothing under medium intensity radiant exposure. *Textile Research Journal*. 88 (8): 847-862. Retrieved from: 10.1177/0040517517690620.
3. Eman Saad. Treatment of Firefighter's Suit against Fire to Increase Its Effectiveness. Retrieved from: <https://doi.org/10.12816/0045763>.
4. Kostenko V., Kostenko T., Zemlianskiy O., Maiboroda A., Kutsenko S. (2017). Automatization of individual anti-thermal protection of rescuers in the initial period of fire suppression. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. No. 5/10 (89). P. 4–11.
5. Gavrylko O.A., Vashkevich R.V. (2023). Scientific basis of creation of methods and means of individual anti-gas-thermal protection of rescuers: monograph; Lviv: Lviv Polytechnic. 387 p.
6. Ozgur Atalay, Senem Kursun Bahadir, Fatma Kalaoglu (2015). An Analysis on the Moisture and Thermal Protective Performance of Firefighter Clothing Based on Different Layer Combinations and Effect of Washing on Heat Protection and Vapour Transfer Performance. *Advances in Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2015/540394>.
7. Aude Morel, Gauthier Bedek, Fabien Salaün & Daniel Dupont (2014). A review of heat transfer phenomena and the impact of moisture on firefighters' clothing and protection, *Ergonomics*, 57:7, 1078–1089. DOI: 10.1080/00140139.2014.907447.
8. Yun Su, Jun Li & Guowen Song (2017). The effect of moisture content within multilayer protective clothing on protection from radiation and steam. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 24:2, 190–199. Retrieved from: <https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1321890>.
9. Cherychka A. (2019). Vohnestiiki tkanyny z meta-i para-aramidnykh volokon. Z choho shyty suchasnyi kostium pozhezhnyka [Fire-resistant fabrics made of meta- and para-aramid fibers. What to sew a modern firefighter's suit from]. Retrieved from: [teksika.ua/company/news/vognestiyki\\_tkanyny\\_z\\_metai\\_paraaramidnykh\\_volokon\\_z\\_chogo\\_shyty\\_suchasnyy\\_kostyum\\_pozhezhnyka](https://teksika.ua/company/news/vognestiyki_tkanyny_z_metai_paraaramidnykh_volokon_z_chogo_shyty_suchasnyy_kostyum_pozhezhnyka) [in Ukrainian].
10. Abu Shaid, Lijing Wang, Rajiv Padhye, Martin Gregory (2019). Low cost bench scale apparatus for measuring the thermal resistance of multilayered textile fabric against radiative and contact heat transfer. *Hardware X*. Vol. 5. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00060>.
11. Safety of life activities. Workshop (n.d.). Retrieved from: files.khadi.kharkov.ua.

12. Henning, A. (2022). The Heat reducing Effects of Reflective Clothing in Firefighting: A study on the efficiency of reflective textiles in personal protective equipment (Dissertation). Retrieved from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-92455>.

13. Kostenko T.V. (2018). Rozvytok naukovykh osnov pidvyshchennia bezpeky riaduvanykh pid chas vedennia operatyvnykh dii v umovakh nahrivnoho mikroklimatu [Development of the scientific basis of improving the safety of rescuers during operational actions in the conditions of a heated microclimate]. Author's ref. diss. dokt. of science., DVNZ DonNTU, Pokrovsk. 40 p. [in Ukrainian]

14. Research Gate (n.d.) Materials of the XIII International Scientific and Practical. Retrieved from: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net).

15. Sinat-Radchenko D., Ivashchenko N., Vasilenko S. (2016). Teploviddacha za vilnym rukhom povitria u velykomu obiemi [Heat transfer due to free movement of air in a large volume]. *Sugar of Ukraine*, no. 6–7 (126–127), pp. 34–35. [in Ukrainian]

16. Improving the protective properties of special clothing for the State Emergency Service workers for working in high-temperature conditions. Code "Protective clothing". Lviv, 2017. P. 29.

17. Santen normi mccrocklin of virobnychih primer: LTOs 3.3.6.042-99. [Introductio. From 1999-01-12]. K.: Mn. Aharoni health, 1989. 15 p. (Sanitary norms).