

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичного заняття 6

«Методичні вказівки для розрахунку теплоізоляції комплекту індивідуальних засобів захисту працюючих від охолодження і часу допустимого перебування на холоді»

з дисципліни «Атестація робочих місць за умовами праці»

для студентів денної і заочної форми навчання

спеціальності 263 «Цивільна безпека», спеціалізації «Охорона праці»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 2 від 17.05.2019 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2019

Методичні вказівки до практичного заняття № 6 «Методичні рекомендації для розрахунку теплоізоляції комплекту індивідуальних засобів захисту працюючих від охолодження і часу допустимого перебування на холоді» з дисципліни «Атестація робочих місць за умовами праці» для студентів спеціальності 263 «Цивільна безпека», спеціалізації «Охорона праці» /уклад. В. В. Горбенко, О. О. Кузьменко, В. В. Макаренко, І. О. Мезенцева. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – 20 с.

Укладачі: В. В. Горбенко
О. О. Кузьменко
В. В. Макаренко
І. О. Мезенцева

Рецензент О. М. Древаль

Кафедра охорони праці та навколишнього середовища

Мета роботи – ознайомитися:

- з основними термінами для визначення теплоізоляції комплексу засобів індивідуального захисту працюючих при виконанні робіт на відкритих територіях в холодну пору року;
- з послідовністю розрахунку середньої величини сухого теплового потоку ($q_{п}$) і належної величини теплоізоляції ($I_{к}$) комплексу ЗІЗ з урахуванням температур і часу допустимого перебування на холоді;
- з методикою розрахунку комплексу одягу для захисту працюючих від холоду.

1. Загальні положення

Працівники на відкритій території (будівельники, ремонтники, лісоготівники, гірники, працівники сільського господарства та ін.) велику частину року піддаються дії холоду, під яким розуміється комплекс фізичних чинників (температури, вологості, швидкості руху повітря), що обумовлюють охолодження організму (холодовий стрес) і необхідність застосування відповідних заходів для зниження тепловтрат (використання одягу, регламентація часу перебування на холоді тощо).

Найбільш очевидним наслідком дії холоду при роботах на відкритій території являється охолодження поверхневих і глибоких тканин тіла людини і пов'язані з ним реакції в діапазоні від загальних і/або локальних дискомфортних теплових відчуттів до поразок різної міри: гіпотермія, локальне холодове ушкодження (відмороження, оніміння, біль), функціональні зміни (гострий кардіо респіраторний ефект, погіршення працездатності та ін.).

Охолодження людини, як загальне, так і локальне (особливо кистей), сприяє зміні його рухової активності, порушує координацію і здатність виконувати точні операції, викликає гальмівні процеси в корі головного мозку, що може бути причиною травматизму. Навіть при короткочасній дії холоду в організмі відбувається перебудова регуляторних і гомеостатичних систем, змінюється імунний статус організму.

Симптомами хронічної поразки холодом стоп і кистей є зниження температури їх поверхні, порушення тактильної чутливості, трофічні розлади. При локальному охолодженні кистей знижується точність виконання робочих операцій – працездатність зменшується на 1,5 % на кожен градус зниження температури пальців.

Таким чином, пов'язані з холодом захворювання включають:

- хвороби циркуляції (захворювання судин серця, розлад периферичної циркуляції, гіпертензія);
- респіраторні захворювання (астма, бронхіти, риніти);
- захворювання сполучних тканин;
- захворювання периферичних нервів;
- обмороження і їх наслідки.

Основна роль в захисті людини від холоду належить поведінковій терморегуляції, яка полягає в активному, цілеспрямованому регулюванні термічного навантаження на організм.

У зв'язку з необхідністю проведення робіт на відкритій території в холодний період року велике значення має одяг, теплофізичні параметри якого забезпечують належний захист від охолодження усіх ділянок поверхні тіла людини відповідно до конкретних умов його трудової діяльності.

Для здійснення розрахунків теплоізоляції комплексу засобів індивідуального захисту в холодний період року слід ознайомитися з прийнятими термінами і їх поясненнями.

Тепловий стан – функціональний стан людини, що характеризується певним змістом і розподілом тепла в глибоких і поверхневих тканинах організму, а також ступенем напруги механізмів терморегуляції.

Тепловіддача – тепло, що втрачається організмом за рахунок радіації, конвекції, кондукції, випаровування вологи з поверхні тіла і дихальних шляхів.

Дефіцит тепла в організмі – різниця величин тепловіддачі і теплопродукції в одиницю часу.

Оптимальний тепловий стан – тепловий стан людини, що характеризується відсутністю загальних і/або локальних дискомфортних тепловідчуттів, мінімальною напругою механізмів терморегуляції і є передумовою тривалого збереження високої працездатності.

Допустимий тепловий стан – тепловий стан людини, що характеризується незначними загальними і/або локальними дискомфортними тепловідчуттями, збереженням термостабільності організму при помірному напруженні механізмів терморегуляції. При цьому може мати місце тимчасове зниження працездатності без порушення здоров'я.

Гранично допустимий тепловий стан – тепловий стан людини, що характеризується вираженими загальними і/або локальними дискомфорtnими тепловідчуттями. Він не гарантує збереження термічного гомеостазу та здоров'я, обмежує працездатність.

Неприпустимий тепловий стан – тепловий стан людини, що характеризується надмірним напруженням механізмів терморегуляції і призводить до порушення стану здоров'я.

Напруга механізмів терморегуляції – активація реакцій різних систем організму, спрямованих на збереження температурного гомеостазу.

Локальне охолодження – охолодження окремих ділянок тіла людини (кисті і/або стопи, гомілки, обличчя).

«Сухий» тепловий потік – це тепловий потік, що складається з одного або більш компонентів: кондуктивного ($q_{\text{конд}}$), конвективного ($q_{\text{конв}}$), радіаційного ($q_{\text{рад}}$).

Щільність сухого теплового потоку, $q_{\text{п}}$, Вт/м² – потужність теплової енергії, що проходить за одиницю часу через одиницю поверхні.

Знижена температура (холодна середа) – комбінація фізичних факторів (температури, вологості повітря, швидкості вітру), що обумовлюють охолодження людини (загальне і/або локальне) і вимагають застосування відповідних заходів зниження тепловтрат організму.

Комплект одягу – одяг для захисту від холоду в комплекті з «внутрішнім» одягом, що підодягається (бавовняна трикотажна білизна, сорочка, напівшерстяні куртка і штани, теплі шкарпетки), взуттям, рукавицями, головним убором.

Теплоізоляція комплекту ЗІЗ (далі – комплекту) визначається конструкцією його складових (наприклад, куртка і брюки, комбінезон, пальто і ін.), теплофізичними властивостями матеріалів, швидкістю вітру і інтенсивністю руху людини, які обумовлюють зміну його тепловтрат.

Теплоізоляція комплекту одягу, I_k , °С·м²/Вт – повний опір переносу тепла від поверхні тіла людини в зовнішнє середовище, включаючи матеріали, повітряні прошарки між ними і прикордонний шар повітря, що прилягає до зовнішньої поверхні одягу.

2. Розрахунок теплоізоляції комплекту ЗІЗ

Теплоізоляція комплекту одягу представляє собою відношення різниці середньозваженої температури шкіри ($T_{ш}, ^\circ\text{C}$) і температури навколишнього середовища ($T_c, ^\circ\text{C}$) до середньозваженої щільності сухого теплового потоку ($q_{п}, \text{Вт}/\text{м}^2$).

Теплоізоляція комплекту ЗІЗ ($I_k, ^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$) розраховується за формулою (2.1):

$$I_k = \frac{T_{ш} - T_c}{q_{п}}, ^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт} \quad (2.1)$$

де $T_{ш}$ – середньо зважена температура шкіри, $^\circ\text{C}$; T_c – температура навколишнього середовища, $^\circ\text{C}$; $q_{п}$ – середньо зважена величина густини «сухого» теплового потоку з поверхні тіла, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Для розрахунку величини теплоізоляції необхідні відомості про належні величини $T_{ш}$ і $q_{п}$, а також про температуру навколишнього середовища T_c , при якій передбачається експлуатувати одяг.

Тепловий стан людини значною мірою залежить від кількості тепла, що їм виробляється, тобто від теплопродукції $q_m, \text{Вт}/\text{м}^2$.

Дані [1] дозволяють орієнтуватися у виборі величин ($T_{ш}, ^\circ\text{C}$) для розрахунку необхідної величини теплоізоляції комплекту ($I_k, ^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$) залежно від рівня теплопродукції людини ($q_m, \text{Вт}/\text{м}^2$) і його тепловідчуттів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Рівняння для визначення ($T_{ш}, ^\circ\text{C}$) у цілях розрахунку необхідної теплоізоляції комплекту ЗІЗ

Тепловідчуття	Формула	Нумерація формули
Комфорт	$T_{ш} = 36,07 - 0,0354 \times q_m$	2.2
Прохолодно	$T_{ш} = 33,37 - 0,0354 \times q_m$	2.3
Холодно	$T_{ш} = 30,06 - 0,0310 \times q_m$	2.4

де q_m – рівень теплопродукції, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Теплопродукція і тепловіддача обумовлені діяльністю центральної нервової системи, яка регулює обмін речовин, кровообіг, потовиділення, діяльність скелетних м'язів.

Розрахунок середньої величини «сухого» теплового потоку $q_{\text{п}}$, який необхідний для визначення належної теплоізоляції комплекту ЗІЗ, обчислюється відповідно до рівняння теплового балансу за формулою 2.5:

$$q_{\text{п}} = q_{\text{конв}} + q_{\text{рад}} = q_{\text{м}} - W - q_{\text{к.дих}} - q_{\text{вип.дих}} - q_{\text{вип.ш}} \pm \Delta q_{\text{ТВ}}, \text{ Вт/м}^2 \quad (2.5)$$

де W – ефективна потужність механічної роботи, Вт/м^2 ; $q_{\text{к.дих}}$ – тепловтрати конвекцією при диханні, Вт/м^2 ; $q_{\text{вип.дих}}$ – тепловтрати випаровуванням вологи при диханні, Вт/м^2 ; $q_{\text{вип.ш}}$ – втрати тепла випаровуванням вологи з поверхні тіла, Вт/м^2 ; $\Delta q_{\text{ТВ}}$ – зміна тепловмісту в організмі, Вт/м^2 .

Зміна тепловмісту в організмі ($\Delta q_{\text{ТВ}}$, Вт/м^2) – це різниця між величиною теплопродукції ($q_{\text{м}}$, Вт/м^2) і сумою тепловтрат організму.

Величина $q_{\text{к.дих}}$ може бути визначена за формулою 2.6:

$$q_{\text{к.дих}} = 0,0014 \cdot q_{\text{м}} (T_{\text{вид}} - T_{\text{с}}), \text{ Вт/м}^2 \quad (2.6)$$

де $q_{\text{м}}$ – рівень теплопродукції, Вт/м^2 ; $T_{\text{с}}$ – температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{вид}}$ – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$, що видихається, обчислюється за формулою 2.7:

$$T_{\text{вид}} = 29 + 0,2 \cdot T_{\text{с}} \quad (2.7)$$

Величина $q_{\text{вип.дих}}$ обчислюється за формулою 2.8:

$$q_{\text{вип.дих}} = 0,0173 \cdot q_{\text{м}} (P_{\text{вид}} - P_{\text{с}}), \text{ Вт/м}^2 \quad (2.8)$$

де $P_{\text{вид}}$ – тиск насиченого водяного пару при температурі повітря, що видихається ($T_{\text{вид}}$), кПа ; (Додаток 1); $P_{\text{с}}$ – тиск водяного пару в атмосфері, кПа ; (Додаток 2).

Для виготовлення одягу найчастіше використовується паро проникний матеріал. В цьому випадку розрахунок втрат тепла випаровуванням з поверхні тіла людини може бути здійснений за формулою 2.9:

$$q_{\text{вип.ш}} = \frac{(8,816 + 0,390 \cdot q_{\text{м}})}{S} - q_{\text{вип.дих}}, \text{ Вт/м}^2 \quad (2.9)$$

де S – площа поверхні оголеного тіла людини, $S \approx 1,8 \text{ м}^2$.

3. Приклад розрахунку середньої величини ($q_{\text{п}}$, Вт/м^2), необхідної для визначення належної теплоізоляції комплекту

Визначимо величину $q_{\text{п}}$ для людини, що виконує фізичну роботу з теплопродукцією $q_{\text{м}} = 130 \text{ Вт/м}^2$ при температурі повітря (-10) $^{\circ}\text{C}$, за умови збереження теплового балансу, тобто $\Delta q_{\text{ТВ}} = 0$.

Для цього виконуємо наступні етапи розрахунку:

- за формулою 2.7 визначимо температуру повітря, що видихається:

$$T_{\text{вид}} = 29 + 0,2 \cdot T_c = 29 + 0,2 \cdot (-10) = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

- за формулою 6.6 розрахуємо втрати тепла диханням за рахунок конвекції:

$$q_{\text{к.дих}} = 0,0014 \cdot q_m (T_{\text{вид}} - T_c) = 0,0014 \cdot 130(27 - (-10)) = 6,73 \text{ Вт/м}^2$$

- використовуючи формули 2.7 і 2.8, а також додатки 2.1 і 2.2, розрахуємо втрату тепла за рахунок випаровування вологи з верхніх дихальних шляхів:

$$q_{\text{вип.дли}} = 0,0173 \cdot q_m (P_{\text{вид}} - P_c) = 0,0173 \cdot 130(3,57 - 0,26) = 7,44 \text{ Вт/м}^2$$

- за допомогою формули 6.9 визначимо величину втрати тепла випаровуванням вологи з поверхні тіла $q_{\text{вип.ш}}$:

$$q_{\text{вип.ш}} = \frac{(8,816 + 0,390 \cdot q_m)}{S} - q_{\text{вип.дих}} = \frac{8,816 + 0,390 \cdot 130}{1,8} - 7,44 = 25,62 \text{ Вт/м}^2$$

- використовуючи рівняння 2.5 розрахуємо величину $q_{\text{п.комф}}$ для граничних умов, що ефективна потужність механічної роботи (W) дорівнює 0:

$$q_{\text{п.комф}} = 130 - 0 - 6,73 - 7,44 - 25,62 = 90,21 \text{ Вт/м}^2$$

Якщо для виготовлення одягу передбачається використовувати паропроникні матеріали (індекс паропроникності пакету матеріалів складає 0,30 і більш), належна величина q_n в діапазоні температур повітря до $(-10 \text{ }^\circ\text{C})$ може бути орієнтовно визначена за формулою 3.1:

$$q_{\text{п.кком}} = 46,1 + 21,9 \cdot \frac{(q_m - 64,4)}{32,2}, \text{ Вт/м}^2 \quad (3.1)$$

$$q_{\text{п.кком}} = 46,1 + 21,9 \cdot \frac{(130 - 64,4)}{32,2} = 90,7 \text{ Вт/м}^2$$

У разі потреби регламентації часу перебування на холоді величина $q_{\text{п}}$, що розрахована для випадку збереження *теплого комфорту* (формула 3.1), може бути збільшена відповідно до допустимого ступеню охолодження людини і тривалості його перебування на холоді.

Величина дефіциту тепла в організмі (D) не повинна перевищувати $52 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^2$ [2]. При даному ступені охолодження людина оцінює свої тепловідчуття як «прохолодно».

Таким чином, величина $q_{п}$, що використовується для обчислення теплоізоляції, може бути визначена з урахуванням планованого часу безперервного перебування на холоді τ , год (формула 3.2):

$$q_{п} = q_{п.комф} + \frac{Д}{\tau}, \text{ Вт/м}^2 \quad (3.2)$$

де $q_{п.комф}$ – величина теплового потоку за умови збереження *теплого комфорту*, в даному випадку $90,7 \text{ Вт/м}^2$; $Д$ – величина дефіциту тепла в організмі, $Д = 52 \text{ Вт} \cdot \text{год/м}^2$; τ – запланований час безперервного перебування на холоді, (год).

Якщо час безперервного перебування на холоді буде обмежений, наприклад, рекомендованими трьома годинами, то для розрахунку теплоізоляції комплекту величину $q_{п}$ слід прийняти рівною 108 Вт/м^2 :

$$q_{п} = 90,7 + \frac{52}{3} = 108 \text{ Вт/м}^2$$

4. Приклад розрахунку належної величини теплоізоляції комплекту ЗІЗ

Згідно формулі 2.1 для розрахунку теплоізоляції комплекту крім відомостей про величину теплового потоку необхідні дані про середньо зважену температуру шкіри $T_{ш}$. Її значення вибираємо відповідно до допустимого ступеня охолодження організму (таблиця 2.1). При цьому $T_{ш}$ не повинна бути нижче величини, яка отримана за формулою 2.3.

Отже, величину теплоізоляції комплекту ЗІЗ $I_{к}$, що необхідна для забезпечення *теплого комфорту* протягом довгого часу, слід розраховувати при теплопродукції $q_{м} = 130 \text{ Вт/м}^2$, а $q_{п.комф}$ і $T_{ш}$ відповідно $90,7 \text{ Вт/м}^2$ і $31,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (формула 2.2):

$$I_{к} = \frac{31,5 - (-10)}{90,7} = 0,458 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$$

Величина $I_{к}$, що необхідна для захисту *від охолодження* протягом часу до трьох годин, для $q_{п} = 108 \text{ Вт/м}^2$ і $T_{ш} = 28,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, отриманих за формулою 2.3, дорівнює:

$$I_{к} = \frac{28,7 - (-10)}{108} = 0,358 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$$

Проте, оскільки в умовах дії вітру і виконання фізичної роботи теплоізоляція комплекту знижується, потрібно використовувати відповідну поправку до величини I_k , яка визначається за формулою 4.1:

$$C = (0,07 \cdot B + 2) \cdot V + 5, \% \quad (4.1)$$

де C – зниження теплоізоляції, %; B – повітропроникність зовнішнього шару одягу, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$; V – швидкість вітру, м/с.

Наприклад, якщо передбачається експлуатувати ЗІЗ у кліматичному регіоні, де найвірогідніше швидкість вітру в зимові місяці складає 5,6 м/с, а як зовнішній шар планується використовувати матеріал, що має повітропроникність $10 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, то теплоізоляція комплекту повинна знизитися на 20,12 %.

Належна величина теплоізоляції комплекту в цьому випадку з урахуванням поправки на вітер визначається за формулою 4.2:

$$I_{kc} = \frac{I_k \cdot 100}{100 - C} = \frac{I_k \cdot 100}{100 - (0,07 \cdot B + 2) \cdot V + 5}, \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт} \quad (4.2)$$

Таким чином, якщо ЗІЗ передбачено експлуатувати в умовах дії вітру, їх теплоізоляція повинна бути збільшена відповідно до формули 4.2.

Для прикладу, що розглядається, величина теплоізоляції комплекту I_{kc} з урахуванням поправки на вітер, повітропроникність зовнішнього шару та рух людини за умови збереження *теплого комфорту* дорівнює $0,572 \text{ } ^\circ\text{C} \times \text{м}^2/\text{Вт}$, а при охолодженні на протязі трьох годин – $0,447 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$.

5. Розрахунок теплоізоляції комплекту ЗІЗ з урахуванням температур і часу допустимого перебування на холоді

У таблиці 5.1 приведені належні величини теплоізоляції комплекту з урахуванням його повітропроникності і швидкості вітру для метеорологічних умов нашого регіону.

Таблиця 5.1 – Вимоги до теплоізоляції комплекту одягу для захисту від холоду

Середня температура повітря, $^\circ\text{C}$	Найбільш вірогідна швидкість вітру, м/с	Належна теплоізоляція комплекту $I_k, \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}^*$	Теплоізоляція комплекту з урахуванням дії вітру і руху людини $I_{kc}, \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}^{**}$			
			Повітропроникність зовнішнього шару одягу, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$			
			10	20	30	40
1	2	3	4	5	6	7
9,7	5,5	0,360	0,451	0,474	0,500	0,528

* В графі 3 приведена величина теплоізоляції, що необхідна для забезпечення належного захисту від охолодження у реальних умовах експлуатації комплекту одягу.

** В графах 4–7 надана величина теплоізоляції, яку повинен мати комплект в початковому стані (визначення на людині, що знаходиться в положенні стоячи у відносно спокійному повітрі).

Величини теплоізоляції розраховують виходячи з:

- теплопродукції людини 130 Вт/м^2 ;
- тривалості безперервного перебування на холоді не більше трьох годин (до появи тепловідчуттів «прохолодно»);
- середньо зваженої температури шкіри $28,7 \text{ }^\circ\text{C}$;
- дефіциту тепла в організмі $52 \text{ Вт} \cdot \text{год/м}^2$.

Середньо зважене значення теплового потоку поверхні тіла людини ($q_{\text{п.комф}}$, Вт/м^2) для різної теплопродукції людини і температур повітря за умови збереження теплового комфорту надані у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Середньо зважене значення теплового потоку поверхні тіла людини ($q_{\text{п.комф}}$, Вт/м^2), що забезпечує комфортні умови, при різних температурах повітря і інтенсивності фізичної роботи

Температура повітря, $^\circ\text{C}$	Теплопродукція q_m , Вт/м^2 (категорія робіт)			
	88 (I б)	113 (II а)	130 (II а – II б)	145 (II б)
–5	60,1	78,3	90,2	102,1
–10	59,6	77,7	89,5	101,3
–15	59,1	77,1	88,9	100,5
–20	58,6	76,4	88,3	99,7
–25	58,2	75,8	87,7	98,9
–30	57,7	75,1	87,1	98,1

Реальну величину теплового потоку визначаємо за допомогою формули 2.1. Середньозважену температуру шкіри з урахуванням *теплопродукції* на виконання фізичної роботи визначаємо за формулою 2.3. Допустимий час перебування людини на холоді розраховуємо з співвідношення 5.1:

$$\tau = \frac{Д}{q_{п} - q_{п.комф}}, \text{ год} \quad (5.1)$$

Наприклад, комфортна величина теплового потоку $q_{п.комф}$ при температурі повітря $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ і виконанні фізичної роботи з теплопродукцією 130 Вт/м^2 дорівнює $90,7\text{ Вт/м}^2$. При теплоізоляції комплекту, яка дорівнює $0,360\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$ (див. табл. 5.1), величина $q_{п}$ в реальних умовах його експлуатації при деякому охолодженні організму складає:

$$q_{п} = \frac{T_{ш} - T_{c}}{I_k} = \frac{28,7 - (-10)}{0,360} = 107,5\text{ Вт/м}^2$$

Отже, допустимий час безперервного перебування на холоді (при допустимому дефіциті $52\text{ Вт} \cdot \text{год/м}^2$ дорівнює:

$$\tau = \frac{Д}{q_{п} - q_{п.комф}} = \frac{52}{107,5 - 90,7} = 3\text{ год}$$

В цілях забезпечення належного захисту всіх областей тіла людини від охолодження, теплоізоляція комплекту повинна бути розподілена відповідно до коефіцієнтів, що приведені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Коефіцієнти k щодо розподілу теплоізоляції комплекту одягу по поверхні тіла людини

Область тіла (номер)	Теплоізоляція комплекту (верхня межа) $^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$		
	0,556 (12)*	0,792 (24)*	> 0,792 (> 24)*
Голова (1)	0,5	0,49	0,39
Тулуб (2)	1,26	1,31	1,45
Плече і передпліччя (3)	1,13	1,24	1,23
Кисть (4)	0,74	0,66	0,55
Стегно і сідниці (5)	1,13	1,08	1,07
Голень (6)	0,90	0,88	0,86
Стопи (7)	0,83	0,77	0,59

* В дужках вказана середньозважена товщина пакету матеріалів комплекту, мм.

Якщо необхідно виготовити комплект, який має теплоізоляцію $0,474\text{ }^{\circ}\text{C} \times \text{м}^2/\text{Вт}$ (див. табл. 5.1), розподіл теплоізоляції по поверхні тіла здійснюють з урахуванням коефіцієнтів k , що наведені у графі 2 табл. 5.3, множачи I_k на k . Отримані значення приведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Теплоізоляція комплекту на різних ділянках поверхні тіла

Область тіла	Теплоізоляція °C · м ² /Вт	Область тіла	Теплоізоляція °C · м ² /Вт
Голова	0,237	Тулуб	0,597
Плече і передпліччя	0,536	Кисть	0,351
Стегно	0,536	Сідниці	0,536
Голень	0,427	Стопи	0,393

В цілях рішення практичної задачі створення комплекту одягу (комбінезону або куртки і брюк) для захисту від холоду в повітряному середовищі може бути використано регресійне рівняння, яке відображає взаємозв'язок теплоізоляції з середньозваженою його товщиною. Середньозважена товщина комплекту (δ , мм) є середньою товщиною пакету матеріалів комплекту, яка визначається з урахуванням питомої площі різних областей тіла людини за формулою 5.2:

$$I_k = 0,126 + 0,044 \cdot \delta - 0,000678 \cdot \delta^2 \quad (5.2)$$

де δ – середньо зважена товщина (мм) пакету матеріалів комплекту.

Ураховується також товщина шарів одягу, який одягнений під верхній комплект.

Наприклад, слід виготовити комплект ЗІЗ. При цьому верхній шар матеріалу має повітропроникність $20 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$. Згідно таблиці 5.1 такий комплект повинен мати теплоізоляцію, зміряну у відносно спокійному повітрі, що дорівнює $0,474 \text{ °C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$.

Вирішуємо рівняння щодо вільної змінної δ :

$$0,474 = 0,126 + 0,044 \cdot \delta - 0,000678 \cdot \delta^2,$$

Приводимо рівняння до необхідного вигляду – квадратного тричлену:

$$0,000678 \cdot \delta^2 - 0,044 \cdot \delta + (0,474 - 0,126) = 0$$

$$0,000678 \cdot \delta^2 - 0,044 \cdot \delta + 0,348 = 0$$

Введемо позначення:

- перший коефіцієнт $a = 0,000678$;
- другий коефіцієнт $b = -0,044$;
- вільний член $c = 0,348$.

Формула для знаходження коріння квадратного рівняння виглядає як:

$$\delta_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (5.3)$$

$$\delta_1 = \frac{-(-0,044) + \sqrt{(-0,044)^2 - 4 \cdot 0,000678 \cdot 0,348}}{2 \cdot 0,000678} = 55,6 \text{ мм}$$

$$\delta_2 = \frac{-(-0,044) - \sqrt{(-0,044)^2 - 4 \cdot 0,000678 \cdot 0,348}}{2 \cdot 0,000678} = 9,247 = 9,3 \text{ мм}$$

З двох отриманих значень $\delta_{1,2}$ вибираємо реальну величину середньо зваженої товщини такого комплекту – 9,3 мм. Товщина пакету матеріалів комплекту на різних його ділянках з урахуванням коефіцієнтів, приведених в табл. 5.3, становить: для голови – 4,65 мм; для тулуба – 11,72 мм; плечей і передпліччя – 10,51 мм, кисті – 6,88 мм; стегон і сідниць – 10,51 мм; голени – 8,37 мм.

6. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися с загальними положеннями та основними термінами і їх поясненнями, щодо виконання робіт працівниками на відкритих територіях в холодну пору року, які наведені у п. 1.

2. Ознайомитися с послідовністю розрахунку теплоізоляції комплекту ЗІЗ, який наведено у п. 2;

3. Розглянути приклади розрахунків:

- середньої величини сухого теплового потоку (q_p), який наведено у п. 3;
- належної величини теплоізоляції (I_k) комплекту ЗІЗ з урахуванням температур і часу допустимого перебування на холоді, що наведено у п. 4, 5.

4. Виписати основні розрахункові формули, які наведені у п. 2, 3, 4, 5.

5. Перевірити ступінь своєї готовності до виконання роботи, відповівши на контрольні запитання, які наведені у п. 8 (можливе обговорення під керівництвом викладача).

6. Самостійно виконати завдання 1, 2, 3.

7. Звіт

1. Мета роботи.

2. Привести короткий опис понять.

3. Відповісти на запитання.

4. Виконати завдання 1, 2, 3.

8. Контрольні запитання

1. Які хвороби можуть виникати при виконанні роботи в холодний період року на відкритих територіях?
2. Поясніть термін «*дефіцит тепла в організмі*»?
3. Назвіть величину та одиницю вимірювання дефіциту тепла в організмі (Д).
4. Яким показником необхідно задатися для визначення середньо зваженої температури шкіри (T_{sk}) при отриманні величини теплоізоляції комплекту ЗІЗ?
5. Як змінюється теплоізоляція комплекту в умовах дії вітру і в процесі виконання фізичної роботи працівником?
6. Як визначається допустимий час безперервного перебування на холоді?
7. Як визначається теплоізоляція комплекту на різних ділянках поверхні тіла (голені, стопи і ін.)?
8. Яке рівняння відображає взаємозв'язок теплоізоляції комплекту з середньозваженою його товщиною?
9. В яких одиницях вимірюється повітропроникність зовнішнього шару одягу?
10. В яких одиницях вимірюється теплоізоляція комплекту ЗІЗ?

9. Завдання для самостійного виконання

Завдання 1. Розрахувати допустимий час перебування бурильника на холоді, як що температури шкіри бурильника при виконанні робіт (роботи категорії II б – середньої тяжкості, рівень теплопродукції $q_m = 145 \text{ Вт/м}^2$) на відкритому робочому майданчику при тепло відчутті «прохолодно». Температура навколишнього середовища та належна теплоізоляція комплекту I_k стосовно метеорологічних умов нашого регіону надані у таблиці 5.1. Величина дефіциту тепла в організмі – $D = 52 \text{ Вт} \cdot \text{год/м}^2$.

Завдання 2. Розрахувати належну величини теплоізоляції (I_k) комплекту ЗІЗ, яка необхідна для забезпечення *теплого комфорту* протягом довгого часу, як що працівник виконує роботу з теплопродукцією 113 Вт/м^2 , при температурі повітря $-10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Завдання 3. Визначити середньо зважену товщину комплекту ЗІЗ та товщини пакету матеріалів комплекту на різних ділянках поверхні тіла працівника, як що верхній шар матеріалу має повітропроникність $30 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

ДОДАТКИ

Додаток 1

**Тиск насичених водяних парів залежно від температури повітря,
що видихає працюючий**

t °С	Р		t °С	Р		t °С	Р	
	кПа	мм.рт.ст		кПа	мм.рт.ст		кПа	мм.рт.ст
0	0,61129	4,585	14	1,5988	11,99	28	3,7818	28,37
1	0,65716	4,929	15	1,7056	12,79	29	4,0078	30,06
2	0,70605	5,296	16	1,8185	13,64	30	4,2455	31,84
3	0,75813	5,685	17	1,9380	14,54	31	4,4953	33,72
4	0,81359	6,102	18	2,0644	15,48	32	4,7578	35,69
5	0,87260	6,545	19	2,1978	16,48	33	5,0335	37,75
6	0,93537	7,016	20	2,3388	17,54	34	5,3229	39,93
7	1,0021	7,516	21	2,4877	18,66	35	5,6267	42,20
8	1,0730	8,048	22	2,6447	19,84	36	5,9453	44,59
9	1,1482	8,612	23	2,8104	21,08	37	6,2795	47,10
10	1,2281	9,212	24	2,9850	22,39	38	6,6298	49,73
11	1,3129	9,848	25	3,1690	23,77	39	6,9969	52,48
12	1,4027	10,52	26	3,3629	25,22	40	7,3814	55,37
13	1,4979	11,24	27	3,5670	26,75	41	7,7840	58,38

Додаток 2

Тиск водяного пару в атмосфері залежно від температури

t °C	-20	-15	-10	-5	0
P, кПа	0,10	0,17	0,26	0,40	0,61

Список літератури

1. ISO/CD 11079. Revision 2000-11-17. Ergonomics of the Thermal Environment-Determination and Interpretation of Cold Stress when Using Required Clothing Insulation (IREQ) and Local Cooling Effects.
2. Методические указания Гигиена одежды / сост. Рахимов Р. Г., Дмитричева И. А. /Лабораторно-практические работы //. – Киев, 1980.
3. ДСТУ 4676:2006. Основні положення розроблення і виготовлення ЗІЗ.– Київ : Держстандарт України, 2006. – 14 с.
4. Шахбазян Г. Х., Шлейфман Ф. М. Гигиена производственного микроклимата. – Киев : Здоровья, 1977. – 133 с.
5. Афанасьева Р. Ф. Некоторые способы поддержания температурного гомеостаза в условиях воздействия на человека холодового фактора / В кн.: Теоретические и практические проблемы терморегуляции // Отв. ред. Ф. Ф. Султанов. – Ашхабад, 1982. – С. 143–152.

Навчальне видання

Методичні вказівки

до практичного заняття № 6

«Методичні рекомендації по розрахунку теплоізоляції комплекту індивідуальних засобів захисту працюючих від охолодження і часу допустимого перебування на холоді»

з дисципліни «Атестація робочих місць за умовами праці» для студентів денної і заочної форми навчання спеціальності 263 «Цивільна безпека», спеціалізації «Охорона праці»

Укладачі: ГОРБЕНКО Вероніка Володимирівна
КУЗЬМЕНКО Олена Олексіївна
МАКАРЕНКО Вікторія Василівна
МЕЗЕНЦЕВА Ірина Олександрівна

Відповідальний за випуск проф. Березуцький В. В.
Роботу до видання рекомендувала проф. Пономаренко О. І.
В авторській редакції

План 2019 р, поз. 174

Підп. до друку 17.10.2019. Формат 60x84 1/12. Папір офсет.

Друк – різнографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк.

Наклад 50 прим. Зам. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Друкарня