

УДК 687.157.016:615.479.4

О.А. ЖДАНОВА

Київський національний університет технологій та дизайну

УДОСКОНАЛЕННЯ АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ НАБЛИЖЕНОГО ТЕПЛООВОГО РОЗРАХУНКУ ОДЯГУ ДЛЯ МЕДПРАЦІВНИКІВ ХІРУРГІЧНИХ ВІДДІЛЕНЬ

На основі аналітичного методу наближеного теплового розрахунку одягу розробленого Кондратьєвим, запропоновано автоматизований розрахунок параметрів одягу, який дозволяє рекомендувати пакет матеріалів одягу визначеної товщини в залежності від температури довкілля та метаболізму людини. Метод може бути використаний для визначення раціонального складу пакету матеріалів одягу спеціального призначення, зокрема, при проектуванні одягу для медпрацівників хірургічних відділень.

Ключові слова: тепловий розрахунок одягу, теплообмін, метаболізм, пакет матеріалів, одяг для медпрацівників хірургічних відділень.

Основним призначенням одягу для медпрацівників є захист організму людини від несприятливих впливів навколишнього середовища, при цьому одяг створює людині штучно регульований мікроклімат, який, знижуючи тепловитрати організму, забезпечує сприятливі умови для підтримки постійності температури тіла. Теплообмін між людським тілом та оточуючим його навколишнім середовищем через одяг це складний процес, який складається з ряду фізичних та фізіологічних явищ. Одяг, що є бар'єром, який ізолює організм людини від більш низьких температур навколишнього середовища, зберігає тепловий баланс організму людини, та запобігає зайвій тепловіддачі. Отже, найбільше значення одяг має для процесів теплообміну організму людини з навколишнім середовищем, для забезпечення нормальної діяльності терморегуляції людини и зв'язаного з нею відчуття комфорту.

Об'єкти та методи дослідження

Експериментальні методи оцінки теплозахисних властивостей одягу, які застосовуються в даний час дуже трудомісткі, вимагають точної і складної апаратури, численних натурних досліджень і часто не забезпечують достовірності отриманих результатів. Тому дослідники одягу, серед яких Бютнер, Бартон, Вітте, Кондратьєв, Будько, Йокл, Колесніков та інші протягом багатьох років робили спроби щодо створення аналітичних методів теплового розрахунку одягу.

Аналізуючи методи наближеного теплового розрахунку одягу, які були запропоновані можна визначити, що найбільший практичний і теоретичний інтерес представляє метод Г. М. Кондратьєва, який дає наближений тепловий розрахунок одягу, зв'язавши метаболізм організму людини з тепловою дією на нього зовнішнього середовища за умови, що одяг забезпечує організму відчуття комфорту. За критерій комфорту у розрахунку прийнята середня температура шкіри [1].

Відомо [1,2], що теплозахисна здатність одягу і величина метаболізму кількісно характеризуються двома безрозмірними параметрами: N – тепловим навантаженням та I – теплоізоляційним показником. За даним методом теплового розрахунку одягу [1] людський організм розглядається як термостатична система з внутрішнім джерелом тепла, а одяг - як тепловий бар'єр між поверхнею шкіри і зовнішнім середовищем, основне призначення якої полягає у зменшенні теплових втрат людини.

У зв'язку з виділенням шкіряним покривом людини випаровувань вологи і вуглекислоти, підодяговий простір повинен постійно вентилюватися, що вносить серйозні ускладнення в процес теплоізоляції організму [2]. Г. М. Кондратьєв розглядає енергетичний баланс людини з двох точок зору: як явища, які відбуваються всередині організму і, як теплообмін між тілом і зовнішнім середовищем.

Постановка завдання

Метою дослідження було створення на основі відомого методу наближеного теплового розрахунку одягу запропонованого Кондратьєвим автоматизованого розрахунку товщини пакету матеріалів одягу в залежності від величини метаболізму людини під час діяльності, температури довкілля та швидкості вітру.

Результати та їх обговорення

Як відомо[2, 3], сукупність складних біохімічних процесів (головним чином окислення тканин), які відбуваються всередині людського організму (метаболізм), є основним джерелом теплоутворення (теплопродукції). Загальна кількість енергії яка виділяється внаслідок цих процесів, розрахована на одиницю часу, тобто потужність, автор позначає через M , а її розмірність – кілокалорій за годину. Найважливішими зовнішніми проявами діяльності живого організму є теплообмін через шкіру та одяг із зовнішнім середовищем, а також м'язова робота. Тепло втрачається в наступній кількості (ккал/год): через поверхню шкіри, вкрито одягом, – Q і не вкрито одягом – Q' , через слизові оболонки легенів і дихальних шляхів E , через зовнішню механічну роботу – L .

Виходячи з матеріалістичних уявлень про живий організм, є підстави вважати, що до нього цілком можуть бути використані закони фізики і хімії, зокрема перший закон термодинаміки. Враховуючи закон збереження енергії, в умовах сталої діяльності організму сума складових (у даному випадку завжди позитивних) Q , Q' , L , E повинна дорівнювати енергії M , що утворюється всередині організму (теплопродукції). Тоді тепловий баланс тіла людини можна виразити рівнянням:

$$M = Q + Q' + L + E. \quad (1)$$

При цьому особливістю людського організму є наявність терморегуляційного апарату, який підтримує постійну, в дуже вузьких межах (від 36,5 до 37,5°C) середню об'ємну температуру тіла. Постійність цієї температури t тісно пов'язана з постійністю середньої температури поверхні тіла t_1 , що є надзвичайно важливим чинником. Слід зазначити, що якщо температура t має важливе значення для всіх біохімічних процесів всередині тіла, то рівнянням температури t_1 обумовлений процес теплообміну між тілом і зовнішнім середовищем [2,3].

Відчуття людиною теплового комфорту одягу для конкретних умов праці та клімату буде забезпечено за умови підтримки температури t_1 на певному рівні, який в середньому може бути прийнятий для шкіри, вкритої одягом, 33°C. Можна вважати, що цей середній рівень – основний критерій теплового комфорту – мало коливається в залежності від M , а приблизно однаковий для всіх видів діяльності людини.

Рівняння (1) у деяких випадках не цілком точно відображає теплову енергетику живого організму, тому що іноді паралельно з тепловитратами у зовнішнє середовище відбувається накопичення енергії у вигляді теплоти всередині організму (A), що викликає деяке підвищення температури. Якщо врахувати цю частку акумульованої всередині тіла енергії, то рівняння (1) набуде вигляду:

$$M = Q + Q' + L + E + A. \quad (2)$$

Однак величини Q' та A незначні в порівнянні з Q , L , E , в наближеному розрахунку можуть бути виключені, і в розрахунках можна виходити з рівняння:

$$M = Q + L + E. \quad (3)$$

За таких обставин розрахунок можна вести виходячи з рівняння (3) і описується воно так:

$$L = xM; \quad E = yM, \quad (4)$$

де x , y – правильні дроби, що показують витрати тепла в результаті зовнішньої механічної роботи (з.м.р.) (x) і при диханні (y).

Дослідження фізіологів та гігієністів дозволяють наближено оцінити величини втрати тепла різних видів діяльності людини, вони складають: в результаті з.м.р – x та при диханні – y . Величини x (%): по Рубнеру – 27, за Агулеру – 20, за Бенедикту – 33 [4].

При довгостроковій роботі, яку здійснює людина можна в середньому прийняти $x = 0,20\%$; величину y в якості першого наближення на рівні 0,24. У кожному окремому випадку величини x та y можуть бути уточнені. Ці уточнення не змінюють принципів розрахунку.

Таким чином, на основі фізіологічних і гігієнічних досліджень можна вважати відомими всі три величини: M , x , y – і, отже, одержати повну кількість тепла, яке проходить крізь одяг, тобто:

$$Q = M(1 + x + y) \quad (5)$$

Вважаючи, що $x \approx 0,20$ і $y \approx 0,24$, отримуємо: $Q = 0,56 M$.

Повна тепловтрата (Q) пов'язана з питомим тепловим потоком (q):

$$Q = qS, \quad (6)$$

де S – поверхня шкіри людини, m^2 .

Слід зазначити, що, так само як замість Q можна розглядати q , замість M часто розглядають величину метаболізму – $\frac{M}{S}$.

Так як чисельне значення теплового потоку, що проходить через одяг, змінюється в досить широких межах залежно від різних обставин, доцільно для більшої наочності це теплове навантаження одягу (q) порівнювати з тепловим навантаженням (q_0), що відповідає певному тепловому стану організму, тобто, певній величині метаболізму, і даними зовнішніх умов (t_n, α) конкретному одягу, умовами, близьким до основного обміну [2].

Для цифрової характеристики цього порівняння вводиться нова величина теплового навантаження, виражена:

$$N = \frac{q}{q_0} \quad (7)$$

або на основі рівняння (6):

$$N = \frac{Q}{Q_0} \quad (8)$$

Число N показує, у скільки разів теплове навантаження будь-якого одягу більше або менше навантаження, що здійснюється в умовах нормального метаболізму.

Чим число N більше, тим далі ми відходимо від нормальних умов, тобто тим холодніше організму, тим напруженіша боротьба організму з холодом.

Число N , не залежить від вибору одиниць виміру. Воно наглядно показує, у скільки разів тепловтрати шкіри під одягом за даних умов роботи організму більше тепловтрати при основному метаболізмі.

Точно так само тепловий опір R будь-якого одягу і в будь-яких умовах доцільно порівнювати з тепловим опором R_0 одягу в нормальних умовах. Для цифрової характеристики цього порівняння вводиться друга нова величина I , яка є показником теплоізоляційної здатності і виражається:

$$I = \frac{R}{R_0}. \quad (9)$$

Число I , є також абстрактним, не залежним від вибору одиниць виміру та показує у скільки разів теплозахисна здатність розглянутого одягу більше теплозахисної здатності того легкого одягу, в якій одягнена людина, яка перебуває в умовах нормального метаболізму. Чим більше I , тим тепліше одяг.

Величини N і I пов'язані з температурою t_l поверхні шкіри і тепловим впливом на людину зовнішнього середовища, яка чисельно характеризується її температурою t_b і коефіцієнтом тепловіддачі α від поверхні одягу Π в навколишнє середовище.

Як встановлено вище,

$$q = \frac{\Delta t}{R + R_f}; \quad q_0 = \frac{\Delta_0 t}{R_0 + R_f}, \quad (10)$$

де Δt і $\Delta_0 t$ позначені величини різниці температур шкіри (t_l) і зовнішнього середовища (t_n) для даних умов і умов нормального метаболізму.

Розділивши перше з рівнянь (10) на друге, отримаємо

$$\frac{q}{q_0} = \frac{R_0 + \frac{1}{\alpha_0}}{R + \frac{1}{\alpha}} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta_0 t} = N. \quad (11)$$

Розв'язуючи це рівняння відносно I , знаходимо

$$I = \frac{1 + \frac{1}{\alpha_0} R_0}{\Delta_0 t} \cdot \frac{\Delta t}{N} - \frac{1}{R_0} \cdot \frac{1}{\alpha}. \quad (12)$$

За допомогою математичних перетворень відбувається скорочення вищезгаданих рівнянь, які будуть використані для розрахунку теплового балансу у конкретних умовах [2].

Для отримання чисельних значень α_0 , $\Delta_0 t$, R_0 , N уточнимо, який стан організму взято за основу для порівняння його з будь-яким іншим.

Передбачається, що суб'єкт, тобто, лікар-хірург заходячи в операційну знаходився в спокійному положенні стоячи, в положенні нахиленому уперед до хворого, що забезпечує відсутність усякого м'язового напруження, в бадьорому стані. Температура повітря, стін, стелі, підлоги та інших речей у приміщенні дорівнює 21°C. Повітря нормально вентильюється, тобто, рухається зі швидкістю близько 0,1 м/с, відносна вологість повітря близько 60%.

Численні дослідження показали, що в цих умовах відчуття теплового комфорту забезпечено таким одягом, в якому величина метаболізму дорівнює (для суб'єкта з нормальним станом здоров'я)

$\frac{M}{S} = 50 \text{ ккал} \times \text{м}^2 / \text{год}$, при цьому тепло, яке витрачається при диханні, становить 24% метаболізму, тобто

$$y = 0,24.$$

Очевидно, що $x=0$, так як $L = 0$. Середня температура шкіри під одягом у цих умовах $t_f=33^\circ\text{C}$. Тепловий опір повітря в таких умовах виявляється дорівнює $R_{no} = 0,14$, тобто:

$$\alpha_0 = 7,15 \text{ ккал/м}^2 \times \text{год} \cdot \text{х град}. \quad (13)$$

Звідси легко знайти і R_0 , так як через одяг проходить тепло, яке дорівнює $50 \text{ ккал/м}^2 \times \text{год}$. За формулою (10)

$$R_0 + R_n = \frac{\Delta t_0}{q_0} \quad (14)$$

Отримуємо:

$$R_0 = \frac{33 - 21}{38} - 0,14 = 0,175 \text{ м}^2 \times \text{град/ккал}. \quad (15)$$

З огляду на неминучу неточність вимірювань, під R_0 слід розуміти кількість, укладену між 0,17–0,18. Таким чином, тепловий опір одягу, в якому одягнена людина в умовах нормального метаболізму, дорівнює:

$$R_0 = 0,17 \div 0,18 \text{ м}^2 \times \text{год} \times \text{град/ккал}. \quad (16)$$

Викладені вище умови майже відповідають основному метаболізму, тобто, такого стану організму, коли поглинається кисень, їжа і рідина йдуть тільки на підтримку життєво необхідних внутрішніх процесів і на мінімальну теплопродукції (тепловиділення).

На підставі викладеного вище, коефіцієнти при $\frac{\Delta t}{N}$ і при α в правій частині формули (12)

отримують певний чисельний вираз (при $\frac{1}{R_0} = 5,7$):

$$\frac{1 + \frac{1}{\alpha_0} R_0}{\Delta_0 t} = \frac{1 + \frac{0,14}{0,175}}{32 - 21} = 0,15. \quad (17)$$

Формула (12) приймає вигляд:

$$I = 0,15 \frac{t_1 - t_2}{N} - \frac{5,7}{\alpha}. \quad (18)$$

Таким чином, це рівняння пов'язує показник теплоізоляційної здатності одягу метаболізмом при певних зовнішніх умовах, тобто при даних t_n і α . Однак з формули (17) ще не впливає, що одяг в цих умовах забезпечить тепловий комфорт. Тепловий комфорт буде забезпечений тільки тим одягом, показник якого відповідатиме значенню $t_f = 33$.

Тоді формула (18) набуде вигляду:

$$I = 0,15 \frac{33 - t_i}{N} - \frac{5,7}{\alpha}. \quad (19)$$

На цій формулі і заснований запропонований Г. М. Кондратьєвим метод наближеного теплового розрахунку одягу, придатного для даного виду діяльності людини і в конкретних метеорологічних умовах.

Таким чином, величина M визначається видом діяльності людини; ця величина може бути отримана за літературними даними [3].

Фізіологи можуть вказати значення коефіцієнтів x і y , знаючи їх, можна знайти за формулами (5) і (8) показник теплового навантаження одягу N , тобто, що посилається через неї в зовнішнє середовище тепловий потік, виражений в долях нормального теплового потоку:

$$N = \frac{M(1-x-y)}{Q_0} \quad (20)$$

Нормальне теплове навантаження розраховується Г. М. Кондратьєвим на підставі таких міркувань.

Для суб'єкта (вага 70кг, зріст 171см., площа поверхні S приймемо $1,9\text{ м}^2$) повна величина нормального метаболізму дорівнює:

$$\frac{M}{S_{\text{нр}}} S = 50 \cdot 1,9 = 95 \text{ ккал/год.} \quad (21)$$

де $S_{\text{ср}}$ – середня поверхнева площа тіла людини, приблизно дорівнює $1,8 \text{ м}^2$.

Через одяг проходить тепло, яке дорівнює $Q_0 = 0,76 \cdot 95 = 72 \text{ ккал/год.}$ (тому що від M потрібно відняти $y=0,24$).

Приймаючи в середньому $x=0,20$; $y=0,24$ для всіх видів праці, отримаємо $(1-x-y) \approx 0,56$. Підставивши знайдені величини в формулу (20), визначимо N :

$$N = \frac{M \cdot 0,56}{72} \approx 0,78 \frac{M}{100} \quad (22)$$

Далі наближений тепловий розрахунок одягу ведуть за наступною схемою.

Оцінюють для даного виду праці значення M , після чого за формулами (20) або (22) обчислюють N .

Для конкретного виду роботи будуть відомі $t_{\text{н}}$ і α . Отже, з рівняння (19) можна знайти чисельне значення шуканого I . Знаючи I , обчислюють потрібний тепловий опір R за формулою (9) або за формулою: [4,5]

$$R = 0,175I \quad (23)$$

Товщина пакету одягу розраховується за формулою:

$$\delta = 0,041 \cdot R \cdot 1000 \text{ (мм)} \quad (24)$$

Дана методика теплового розрахунку одягу дозволяє розрахувати необхідну товщину пакету одягу, яка забезпечуватиме необхідний підодяговий мікроклімат для підтримки тривалої працездатності лікаря-хірурга.

З метою автоматизації наведених розрахунків було розроблено алгоритм, блок-схему та реалізовано програму з використанням мови програмування Visual Basic, однією з переваг якої можливість здійснювати розрахунок необмеженої кількості заданих значень. Розроблений метод дає можливість швидко і точно розрахувати товщину пакету одягу та побудувати графіки залежностей.

Використовуючи цю програму для розрахунку товщини пакету одягу лікаря-хірурга було введено такі дані: $M=150, 200, 250, 300 \text{ ккал} \cdot \text{м}^2 / \text{год}$; $t_{\text{н}}=20, 21, 22, 23 \text{ }^\circ\text{C}$; $\alpha=9$. Таким чином, при температурі 22°C та метаболізмі 250 ккал/год – товщина пакету одягу повинна дорівнювати $1,5 \text{ мм}$.

Побудувавши графіки згідно розрахованим значенням (рис.1,2), було встановлено залежність товщини пакету одягу від температури та метаболізму.

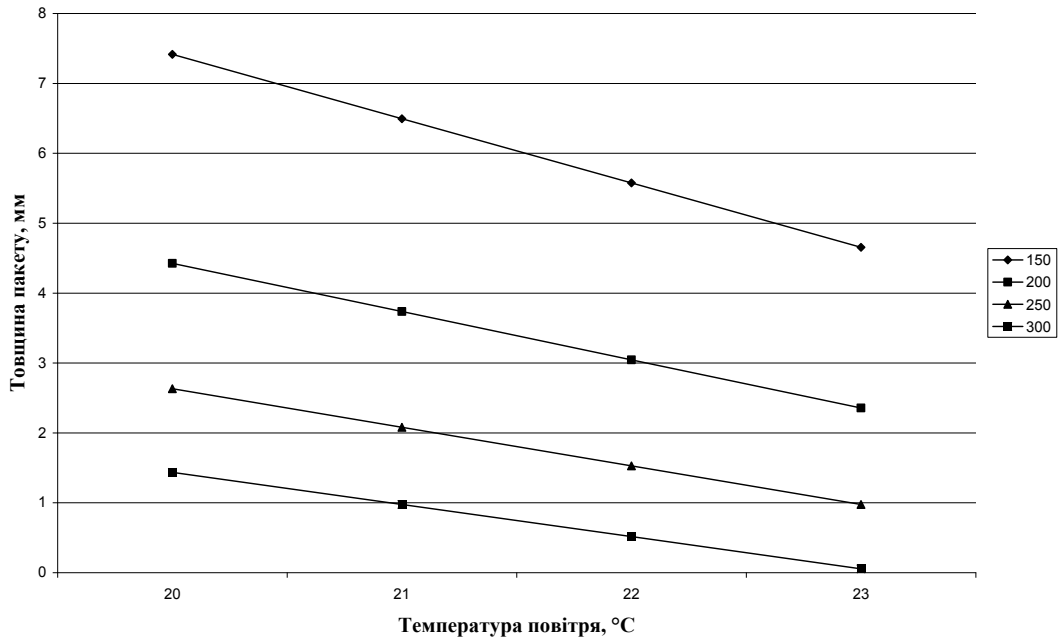


Рис.1. Графічні залежності товщини пакету одягу від температури повітря

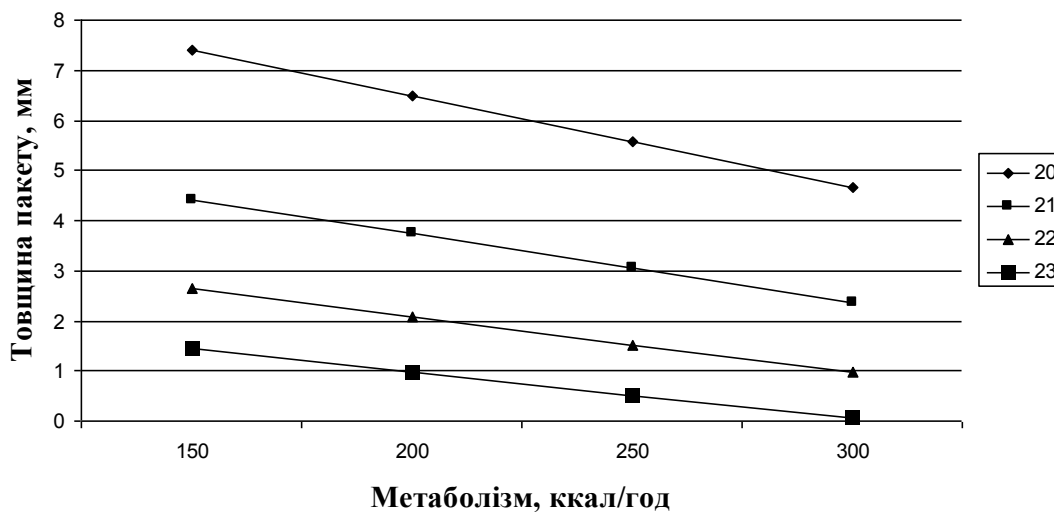


Рис.2. Графічні залежності товщини пакету одягу від метаболізму

Проаналізувавши графіки можна зробити висновки, що величина товщини пакету знаходиться у лінійній залежності від величин метаболізму та параметрів температури довкілля, що дозволяє визначити їх раціональні параметри у визначених умовах діяльності медпрацівників хірургічних відділень

Отже, в подальшій роботі були підібрані матеріали, товщина яких в сумі дорівнює необхідній товщині пакету одягу, який забезпечуватиме тепловий баланс працюючого.

Висновки

З метою дослідження системи «людина-захисний одяг-виробниче середовище» на основі аналітичного методу наближеного теплового розрахунку одягу запропонованого Кондратьєвим було здійснено його удосконалення в частині врахування параметрів діяльності медпрацівників хірургічних відділень. Розроблено алгоритм, підготовлено програму та створено інтерфейс для роботи з програмою розрахунку параметрів одягу. Виконано автоматизований розрахунок величини товщини пакету матеріалів медичного халату в залежності від умов діяльності з використанням мови програмування Visual Basic. Запропонована задача наближеного теплового розрахунку одягу вирішується з урахуванням величини метаболізму, температури повітря, швидкості вітру, тощо. При проектуванні нових видів спеціального одягу для медпрацівників хірургічних відділень було використано графічні залежності товщини від величин метаболізму та температури довкілля, отримані в результаті автоматизованого розрахунку.

Список використаної літератури

1. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим, – М.: Государственное издательство технической литературы, 1954. – 408 с.
2. Колесников П.А. Теплозащитные свойства одежды. – М.: Легкая индустрия, 1965. – 346 с.
3. Кошечев В.С., Кузнец Е.И. Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека в условиях высоких температур. – М.: Медицина, 1986 – 256 с.
4. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи.– М.: Энергия, 1977 – 344 с.
5. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справочник – М.: Энергия, 1972 – 560 с.

Стаття надійшла до редакції 08.09.2012

Совершенствование аналитического метода приближенного теплового расчета одежды для медработников хирургических отделений

Жданова О.А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

На основе аналитического метода приближенного теплового расчета одежды, разработанным Кондратьевым предложено автоматизированный расчет параметров одежды для медработников хирургических отделений, который позволяет рекомендовать пакет материалов одежды определенной толщины в зависимости от температуры окружающей среды и метаболизма человека. Метод может быть использован для определения рационального состава пакета материалов для одежды, специального назначения, в частности, при проектировании одежды для медработников хирургических отделений.

Ключевые слова: тепловой расчет одежды, теплообмен, метаболизм, пакет материалов, одежда для медработников хирургических отделений.

Improvement of the analytical method of approximate calculation of thermal clothing for medical staff surgical departments

O. Zhdanova

Kyiv National University of Technologies and Design

Based on the analytical method of approximate calculation of thermal clothing designed Kondratiev proposed automated dimensioning of clothing for health workers surgery, which allows us to recommend a package of clothing materials of a certain thickness depending on the temperature of the environment and human metabolism. The method can be used to determine the rational structure of a package of materials for clothing, for special purposes, such as in the design of clothing for health workers surgical departments.

Keywords: thermal design of clothing, heat, metabolism, package of materials, clothing for health workers surgical departments.