

УДК 64.066.44

А.О. Алейніков студент, керівник О.І. Соловей
 НТУУ «КПІ» Ін-т енергозбереження та енергоменеджменту. Київ, Україна.

ТЕПЛОВИДІЛЕННЯ ЛЮДИНИ ПРИ ВПЛИВІ НА НЕЇ РІЗНИХ ПОБУТОВИХ ЕЛЕКТРОПРИЛАДІВ ДЛЯ ОБІГРІВУ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ

Стаття присвячена аналізу теплового комфорту людини та дослідженню ефективності впливу побутових приладів для обігріву та вентиляції на організм. Приведений склад експериментальної установки, яка дозволяє реєструвати показники тепловиділення та використовувати їх для подальшої обробки.

Статья посвящена анализу теплового комфорта человека и исследованию эффективности воздействия бытовых приборов для обогрева и вентиляции на организм. Приведен состав экспериментальной установки, которая позволяет регистрировать показатели тепловыделения и использовать их для дальнейшей обработки.

This paper is devoted to analysis of human thermal comfort and study of the influence of household appliances for heating and ventilation on the body. The structure of the experimental facility that allows you to record indexes of heat release and use them for further processing is given.

Тепловий баланс людини

Відомим дослідником параметрів комфорту і якості повітряного середовища Оле Фангером запропонована формула теплового балансу між людським тілом і навколишнім середовищем. У цій формулі береться за основу теплообмін людини, що знаходиться у спокої, у стані температурного балансу із зовнішнім середовищем. При цьому байдуже, яка точно його температура. У цих умовах кількість теплоти, що виробляється, дорівнює теплоті, що відводиться в зовнішнє середовище, з чого випливає:

$$q_{\text{фізіол}} = q_{\text{м}} + q_{\text{д}} + q_{\text{шк}},$$

де $q_{\text{фізіол}}$ – питомий тепловий потік, що виробляється організмом, Вт/м²;

$q_{\text{м}}$ - еквівалент потоку механічної роботи, Вт/м²;

$q_{\text{д}}$ - питомий тепловий потік, що виділяється при диханні, Вт/м²;

$q_{\text{шк}}$ - питомий тепловий потік, що відводиться через шкіру, Вт/м².

Кількість відведеної від людського тіла теплоти залежить від декількох змінних параметрів і, головним чином, від наступних:

- різниці температур (додатної або від'ємної) між тілом і навколишнім повітряним середовищем;
- втрат (або отримання) теплоти від оточуючих стін;
- шкірних випарів (охолодження при випаровуванні);
- явних і прихованих втрат теплоти при диханні, відповідно за рахунок теплопровідності і випаровування.

Теплота, що виділяється організмом людини, передається в навколишнє середовище через шкірний покрив радіаційним теплообміном, конвекцією, теплопровідністю і випаровуванням (прихована теплота), а також шляхом видихання теплого повітря.

Радіаційний теплообмін відбувається між людиною і поверхнями огорожень, його величина і напрям залежать від температури цих поверхонь. Теплота, що передається конвекцією та теплопровідністю, залежить від температури, вологості і швидкості повітря,

виду і теплопровідності одягу.

Випаровування вологи з поверхні тіла людини (прихований тепловідвід) здійснюється за рахунок різниці парціальних тисків водяної пари в насиченому шарі біля поверхні тіла і в повітрі приміщення. При цьому витрачається теплота (енергія) організму, що йде на випаровування вологи. Тепловіддача випаровуванням буде завжди тим більше, чим нижче значення відносної вологості при даній температурі повітря в приміщенні. Зменшення відносної вологості призводить до збільшення різниці парціальних тисків пари біля поверхні тіла людини і в навколишньому повітрі і тим самим до збільшення випаровування.

Комфортні кондиції повітряного середовища можуть мати різні значення і залежать головним чином від інтенсивності праці, що здійснюється людиною, і його одягу.

У залежності від стану організму (сон, відпочинок, розумова робота, м'язова робота різної інтенсивності) і параметрів навколишнього повітряного середовища кожна людина протягом години виділяє 330 -1050 кДж теплоти, 40 - 300 г вологи і 15-30 л вуглекислого газу.

При постійній температурі повітря і поверхонь огорожень із зростанням фізичного навантаження на організм людини збільшуються загальні тепловиділення і частка теплоти, що відводиться випаровуванням вологи. При незмінному навантаженні і підвищенні температури навколишнього середовища зменшується частка явного тепловідведення, а тепловідвід випаровуванням зростає при практично незмінних загальних тепловиділеннях.

Приклад аналізу теплового комфорту

Для того, щоб визначити кількість теплоти, що виділяється організмом людини при різних видах діяльності, вводиться спеціальний показник, який отримав назву "Met" (від "метаболізм" - виділення теплоти всередині організму). При спокійному (нейтральному) стані людини питомий тепловий потік дорівнює величині 58 Вт/м^2 . У табл. 1 наведені показники "Met" при різних видах діяльності. Вони зазвичай використовуються при оцінці кількості теплоти і при оцінці умов комфортного стану. Наприклад, для людини, що працює в спокійному режимі в офісі, цей показник в середньому дорівнює 1 Met.

Одяг має теплоізоляційний ефект щодо передачі теплоти в зовнішнє середовище. Щоб мати можливість це враховувати, був введений спеціальний показник, який отримав назву "Clo" (скорочення від англ. Clothing - одяг). 1 Clo дорівнює $0,155 \text{ м}^2\text{К/Вт}$.

У табл. 2 наведені показники значення Clo і ступеня ізоляції основних видів одягу. Літній костюм має показник 0,5 Clo, тоді як зимовий одяг може мати від 0,8 до 1,0 Clo або більше, залежно від типу матеріалу. Показники є умовними і можуть видозмінюватися залежно від типу матеріалу і комплекту одягу який носить.

Таблиця 1 – Типові показники виробленого питомого теплового потоку, що виділяється всередині організму людини (метаболізму) при різних видах діяльності

Вид діяльності	Вт/м ²	Met
Сон	40	0,7
Спокій, положення сидячи	55	1
Робота за ПК, читання, положення сидячи	60	1
При письмовій роботі	60	1
Розслаблення, положення стоячи	70	1,2
Інші види діяльності, легка праця	70	1,2
Ходьба в приміщенні	100	1,7
Праця середньої інтенсивності	120	2,1
Танець	140-255	2,4-4,4
Важка праця	235-280	4,0-4,8

Для аналізу співвідношення вищевказаних параметрів були розроблені складні математичні формули за допомогою яких можна прогнозувати показники температури і вологості, що в більшій мірі задовольняють "умовам комфорту".

Діаграма, представлена на рис. 1, дозволяє прогнозувати умови комфорту, які можуть задовольнити більшість людей з відсотком незадоволених нижче 10%. На діаграмі враховується вид виконуваної діяльності (вертикальні шкали) та ізоляційні властивості одягу (горизонтальні шкали). У полі діаграми зображені кілька кривих "оптимальної температури", яка відповідає середнім показникам температури між температурою зовнішнього середовища і середньою температурою стін за малої швидкості руху повітря всередині приміщення.

Таблиця 2 – Показники термічного опору різних видів одягу ($R_t = \delta / \lambda$)

Вид одягу	м ² К/Вт	Clo
Костюм легкий літній	0,078	0,5
Костюм середньої щільності	0,124	0,8
Костюм зимовий	0,155	1,0 1

У залежності від виконуваної діяльності і від характеру одягу визначається відповідна оптимальна температура і обчислюються допустимі межі коливання температури (у більшу чи меншу сторону) щодо встановленого показника. Наприклад, якщо люди виконують роботу зі ступенем інтенсивності 1,4 Met в зимовий час, маючи одяг типу 1 Clo, то оптимальна температура повинна становити 21 °С з допустимими межами коливання плюс-мінус 2 °С. Влітку в тому ж приміщенні і для тих ж людей, що мають одяг типу 0,5 Clo, необхідна оптимальна температура становить 24 °С (плюс-мінус 2 °С).

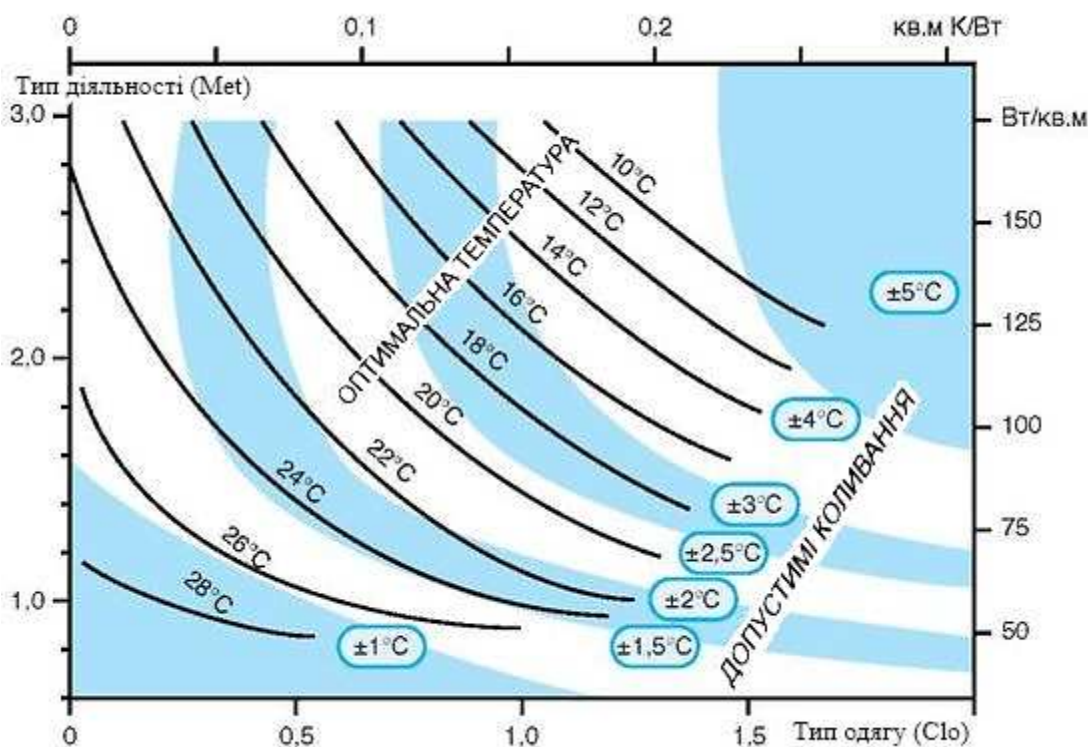


Рис. 1. Діаграма, що дозволяє визначити температуру комфортного стану в залежності від одягу та інтенсивності праці, що виконує людина

У відношенні одягу слід зазначити, що підвищення ізоляційних властивостей на кожні 0,1 Clo компенсується зниженням температури на 0,6 °С. Швидкість руху повітря зовнішнього середовища може змінюватися в певних межах для нейтралізації можливого підвищення температури. Допустимі межі коливання складають 0,2-0,8 м/с.

Дослідження тепловиділення людини при впливі на нього різних побутових електроприладів для обігріву та вентиляції

При проведенні дослідження для отримання контрольних значень теплоти, що виділяється людиною, використовувався мультиметр DT-830B.

Також для замірів було використано датчики густини теплового потоку які були розроблені та виготовлені в Інституті технічної теплофізики НАН України.

Конструктивно тепломір складається з батареї послідовно з'єднаних диференційних термоелементів-термопар, заформованих в тіло полімерної пластинки.

Чутливий елемент виконаний з константанового дроту діаметром 0,1 мм, намотаного на корд порізаної на смужки кіноплівки завширшки 1,0 мм (для збільшення чутливості використовують смужки до 6 мм), товщиною 0,17 мм, у якого половина витка гальванічно покрита міддю завтовшки 3...3,5 мкм (див. рис. 2). Таким чином створюється чергуюча послідовність міді та константану — плоску спіраль парних термоелектродів, в яких місця переходу від чистого константану до біметалу грає роль спаїв послідовних термопар, що знаходяться в двох різних площинах на поверхнях пластинки-тепломіра. Формування пластинки-тепломіра відбувається в залежності від призначення: інтенсивності теплових потоків та температурних навантажень, розмірів та форми дослідних об'єктів тощо. По призначенню підбирається і заповнювач (епоксидні смоли та інші полімери, в чистому вигляді чи з барвниками та теплопровідними домішками, вогнетривкої глини тощо), товщина тепломіра, його площа та форма (рис.3).

Дротові спіральні електроди та компаунд, що заповнює проміжки між ними, створюють термічний опір тепловому потоку – допоміжну стінку. При проходженні крізь стінку потоку теплоти в шарі між першою і другою площинами утворюється перепад температур ($t_1 - t_2$), і термобатарея виробляє ЕРС, пропорційну цьому перепаду і числу термоелементів, та відповідно і тепловому потоку. Можлива кількість таких диференціальних термопар від кількох десятків до тисячі на одному квадратному сантиметрі пластини. Їх кількість приймається в залежності від можливої інтенсивності теплових потоків та бажаної інерційності (виходу на робочий режим).

Градуувальною характеристикою є робочий коефіцієнт або коефіцієнт перетворення — k_q , Вт/(м²·мВ), зворотній величині чутливості тепломіра до теплового потоку. Робочий коефіцієнт являє собою міру пропорційності між вимірювальною густиною теплового потоку і термо-ЕРС — e , мВ, що виробляє тепломір:

$$k_q = q / e .$$

Кожен з тепломірів після градування має власний робочий коефіцієнт k_{qi} , залишається тільки помножити на показання мілівольметра e та визначити за рівнянням густину теплового потоку:

$$q_i = k_{qi} e_i .$$

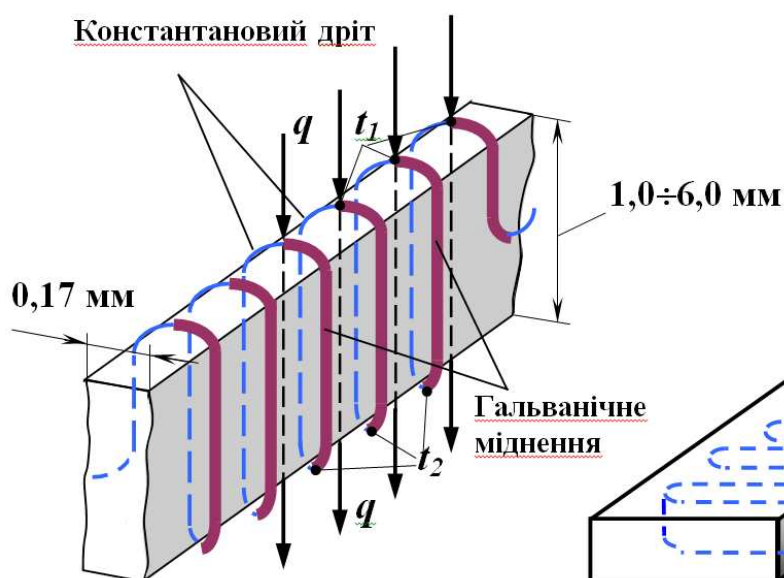


Рис. 2. Схема включення термоелементів в батарею.

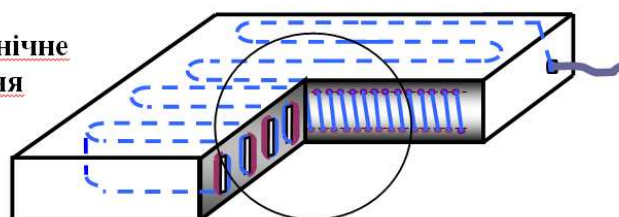
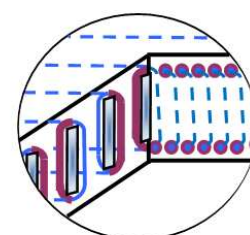


Рис. 3. Розміщення термобатареї в тілі тепломіра

Найбільш просте кріплення тепломіра на поверхні — це наклеювання на двохсторонній тонкий скоч. Дуже важливо, що дане кріплення доволі міцне, можливо швидко замінити, поверхня не має механічної деформації при закріпленні (на одязі), не забруднює поверхні та є гігієнічним.

Важлива особливість пластинок-тепломірів, що термоелементи розташовані перпендикулярно поверхні пластинки і в процесі роботи тепломіра розташовані нормально до потоку теплоти, що визначає спрямування (напрямок) теплового потоку та його знак «+» чи «-». При дослідженні теплових потоків з тіла людини необхідно буде знати спрямування теплового потоку — ці надходження ідуть із зовні (від системи опалення, сонця то що), або

навпаки саме тепловиділення.

Заміри були проведені в двох точках - на долонях і на грудях. У дослідженні застосовувалися такі побутові електроприлади:

- вентилятор побутовий (охолодження)
- тепловентилятор ($P = 1000$ Вт)
- тепловентилятор ($P = 2000$ Вт)
- ІЧ-обігрівач побутовий ($P = 1500$ Вт)

У зведеній таблиці 3 представлені результати вимірів тепловиділення людини без використання приладів для вентиляції і обігріву приміщень, а так само при експлуатації вентилятора, тепловентилятора та ІЧ-обігрівача. На момент проведення експерименту температура в приміщенні перебувала на рівні $+19-20$ °С.

Таблиця 3 - Тепловиділення людини при дії на нього різних побутових електроприладів

Умови	Примітки	Тепловий потік в місці виміру, Вт/м ²	
		Долоня	Грудна клітка
Комнатная температура	$t_{\text{кімн}} = +19-20$ °С	77,3	103
Вентилятор побутової настільний	$P = 35$ Вт Відстань до приладу – 2 м	128,8	154,6
Тепловентилятор побутовий	$P = 1000$ Вт Відстань до приладу – 2 м	12,9	51,5
Тепловентилятор побутовий	$P = 2000$ Вт Відстань до приладу – 2 м	-38,6	0
ІЧ-обігрівач побутовий	$P = 1500$ Вт Відстань до приладу – 3 м	32,2	45,1

З отриманих даних можна зробити наступні висновки:

- так як нормальним тепловиділенням людини при комфортних умовах і в стані спокою вважається $40-60$ Вт/м², то отримані нами значення в 77 і 103 Вт/м² для долоні і грудей відповідно свідчать про знижену температуру в приміщенні. Як наслідок тепловиділення збільшується і ми бачимо зростання показників. Щоб досягти комфортних умов в приміщенні, де знаходиться людина, необхідно встановити температуру $+21-22$ °С.

- застосування побутового вентилятора збільшує тепловіддачу людини ще приблизно на 50 Вт/м², що відповідає тепловіддачі при середній трудовий навантаженні і недоцільно при $t_{\text{кімн}} = +19-20$ °С.

- тепловентилятор потужністю 1 кВт та ІЧ-обігрівач потужністю $1,5$ кВт, як ми бачимо, демонструють дуже непогані показники при створенні з їхньою допомогою комфортних умов у приміщенні. Тепловіддача людини в стані спокою опускається до нормальних $20-50$ Вт/м² і тепер можна говорити про створення дійсно комфортних умов для людини.

– тепловентилятор потужністю 2 кВт створює відчутний перегрів і як наслідок відведення теплоти у людини, що знаходиться в приміщенні і обігривається таким приладом, знижується нижче норми. Застосування тепловентиляторів такої потужності необхідно тільки у випадку сильного зниження температури в кімнаті (до 13-15 °С) або для обігріву великих приміщень за умови, що потік підігрітого повітря не спрямований на людину.

При використанні нагрівальних приладів для опалення приміщення треба уважно підходити до вибору їх потужності. Експериментально було доведено, що при кімнатній температурі 19 °С найбільш доцільним є використання ГЧ-обігрівача потужністю 1,5 кВт або тепловентилятора потужністю 1 кВт (на відстані 2–3 м). Вже при використанні тепловентилятора потужністю 2 кВт спостерігався перегрів і як наслідок відведення теплоти у людини, що знаходилася в приміщенні, знижувалося нижче норми, що не менш шкідливо, ніж прохолодне повітря в кімнаті.