

УДК 677.07: 681.5.08

КУРГАНСЬКИЙ А.В., БЕРЕЗНЕНКО С.М.,
КУРГАНСЬКА М.М.

Київський національний університет технологій та дизайну

ПРИНЦИП ЗОНАЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО РОЗТАШУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ ПІД ОДЯГОМ

Мета. Дослідження факторів, що впливають на зонування, кількісний та якісний склад елементів бездротових сенсорних мереж для моніторингу зовнішнього мікроклімату підодягового простору у системі «людина-спеціальний одяг-навколишнє середовище» у реальному часі для створення спеціального одягу максимально наближеного до виробничих умов.

Методика. Аналіз факторів, які впливають у системі підодягового простору на зонування, кількісний та якісний склад елементів комплексу з моніторингу мікроклімату підодягового простору.

Результати. Запропоновано принцип розташування елементів бездротових сенсорних мереж для моніторингу мікроклімату у підодяговому просторі та наведено приклад зонально-диференційованого розташування цих елементів.

Наукова новизна. Вперше проведено комплексне дослідження факторів у підодяговому просторі з метою застосування бездротових сенсорних мереж для моніторингу його параметрів та оцінювання впливу одягу на ефективність виконання функціональних обов'язків працівником.

Практична значимість. Розробка елементів та нової конструкції, в цілому, функціонального спеціального одягу з інтегрованою бездротовою сенсорною мережею.

Ключові слова: смарт одяг, спеціальний одяг, комфортність, бездротові сенсорні мережі, моніторинг мікроклімату.

Вступ. Знаходження працівника або військовослужбовця у навколишньому середовищі у комфортних умовах вимагає врахування максимальної кількості факторів під час проектування спеціального одягу або предметів речового майна відповідно. На теперішній час актуальними є дослідження із застосуванням бездротових сенсорних мереж для встановлення залежностей між ступенем напруженості основних фізіологічних функцій та кількісного та якісного складу комплексу спеціального одягу через аналіз затрати часу, зусиль і енергії на подолання опору екіпірування, що визначає його працездатність. Також відсутні дослідження, що спрямовані на комплексний аналіз комплектності та сумісності елементів спеціального одягу та параметрів взаємодії з людиною. В Україні практично відсутні розробки виробів з зонально-диференційованим використанням біометричних пакетів матеріалів для контролю тактико-технічних властивостей та мікроклімату під спеціальним одягом. Проте, численні і аргументовані публікації стосуються аналізу ефективності застосування елементів «розумного» (smart) одягу та «носимих» (wearable) технологій для різних сфер життєдіяльності.

Зростання потреби у спеціальному одягу та засобах індивідуального захисту загалом обумовлене сталим розвитком вимог та ринку праці. Очікування працівників, на теперішній час, стосуються не стільки окремо захисних функцій, а також комфортності, наявності «розумної» складової, вартості, з огляду на максимальну доступність, екологічності [1].

Комфортний стан людини залежить від багатьох факторів, в тому числі кліматичних змінних, метаболічного тепла і параметрів одягу [2].

Постановка завдання. Комфорт під час експлуатації одягу залежить від тонкого шару між шкірою тіла людини та одягом [3]. На теперішній час відсутня методика визначення швидкоплинних одночасно параметрів температури та розподілу концентрацій поту і тепла.



Рис.1. Принципова схема мікроклімату під одягом [3]

Існуючі правила застосування матеріалів у спеціальному одязі чітко встановлюють вимоги до показників, які характеризують фізичні властивості текстильних матеріалів (сировинного складу, гігроскопічність, повітропроникність), які регулюють підодяговий мікроклімат [4,5].

И. Парковою та А. Вилломсоне [6] було проведено дослідження процесів та факторів, які впливають на комфорт носіння «розумного» одягу, а також проаналізовані процеси терморегуляції організму людини і параметрів, які впливають на мікроклімат підодягового простору. Авторами зазначено складність визначення температури у прошарку між тілом людини та одягом в зв'язку з залежністю від ступеня активності людини. Умовами комфорту мікроклімату підодягового простору визначено: вологість – 35-60 %; температура повітряного прошарку – 30-32⁰С (у стані спокою) та 15⁰С (під час роботи); концентрація CO₂ < 0,8% [6,7]. Також у даній роботі [8] визначено умови теплового комфорту: тіло знаходиться у тепловому балансі; інтенсивність потовиділення та середня температура шкіри знаходяться у комфортних межах.

Відповідно до досліджень [9] слід враховувати залежність зміни товщини матеріалів відповідно до кількості циклів прання. Врахування цих змін унеможливить використання не стабільних матеріалів низької якості.

Також встановлено, що дослідження не проводились за напрямом функціонального стану організму працівника, який характеризується різним ступенем напруженості основних фізіологічних функцій через аналіз затрати часу, зусиль і енергії на подолання опору екіпірування, що визначає його працездатність. Також відсутні дослідження, що спрямовані на комплексний аналіз комплектності та сумісності елементів індивідуального захисту з працівником.

Для дослідження впливу елементів комплексу, рекомендовано проводити порівняння різновидів із застосуванням аналізу мікроклімату під одягом та на поверхні шкіри [10,11,12], доведено, що зміна одного шару комплексу (білизни) дозволяє не вносити зміни до конструкції та матеріали спеціального одягу та отримати комфортні умови виконання функціональних обов'язків. Також обов'язковим є врахування не тільки матеріал верху за волокнистим складом, а і його структуру, також товщина повітряного прошарку, щільність та тиск [13]. Також слід застосовувати мініатюрні біосенсорні системи, мікроелектроніку та бездротові технології застосування, яких знизить ступінь впливу на процес вимірювання [14].

Результати дослідження. Тіло людини прийнято поділяти на 13 циліндричних сегментів з характерною кривизною і площею поверхні різних частин тіла [15]. Наведені дані щодо кривизни відносної площі стосуються чоловіка нормальної статури. Для інших типів параметри можуть змінюватись, але не мають суттєвого впливу на розрахунки (табл. 1). Циліндрична модель (Cylinder model) є прийнятною для розрахунку еталонних значень, тобто стоячи і без вітру (рис. 2).

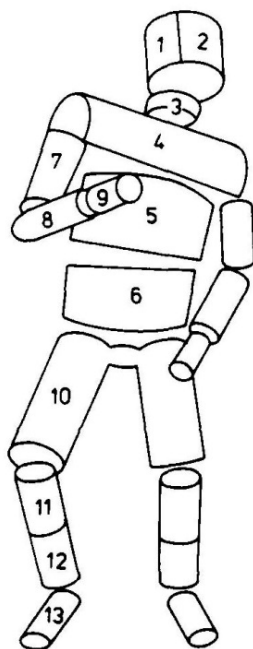


Рис.2. Зображення циліндричних сегментів тіла людини [15]

Таблиця 1

Характеристика циліндричних сегментів тіла людини для розрахунку мікроклімату під одягом [15]

Назва параметру	Номер циліндричного сегменту, S_n												
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}
Радіус, см	9,5	9,5	6,5	12,0	16,0	16,0	4,5	4	3,5	9,0	6,5	6,5	4,5
Площа, %	4	3	1	13	12	10	6	6	5	20	7	6	7

Місця накладання декількох датчиків або систем пропонується назвати біометричним пакетом. Засіб вимірювання, який зонально-диференційовано поєднує в собі системи вимірювання та моніторингу – біометричним комплексом.

Такий підхід дозволяє уніфікувати пакети та зосередити дослідження щодо їх удосконалення, оптимізації як розмірів так і енергоспоживання як окремо взятого пакету так і бездротової натільної сенсорної мережі моніторингу мікроклімату загалом. Наприклад, в зоні сьомого шийного хребця у циліндричному сегменті S_4 – місце поєднання акселерометру-гіроскопу, датчиків температури та вологості (табл. 2).

Таблиця 2

Приклад оптимізації елементів біометричного пакету для циліндричного сегменту S_4

Номер циліндричного сегменту, S_n	Перелік обов'язкових елементів біометричного пакету	Зображення елементів біометричного пакету	
		Поелементне зображення	Запропонований поелементний склад пакету
S_4	Акселерометр	 ADXL335	 MPU-6050
	Гіроскоп	 ASD2614-R	
	Датчик температури	 DS18B20	
	Датчик вологості	 HH-4030	 HH-4030

При підході до оптимізації, без умови власного виготовлення, слід притримуватись таких критеріїв: точність вимірювання, маса, розміри, максимальне поєднання необхідних елементів. Система також має відповідати вимогам ДСТУ ETSI EN 303 203-2:2015 в частині загальних технічних вимог усіх елементів бездротового зв'язку, у частині безпеки, інтеграції, захисту персональної інформації – відповідати розробленого Task Group стандарту IEEE 802.15.6 [16,17].

Також пропонується для бездротової передачі даних отриманих з датчиків та інших пристроїв застосування антени на текстильній основі із розташуванням на руці, яка була розроблена в рамках європейського проекту “Proetex” (FP6-2004-IST-4-02698 (рис. 3) [18].

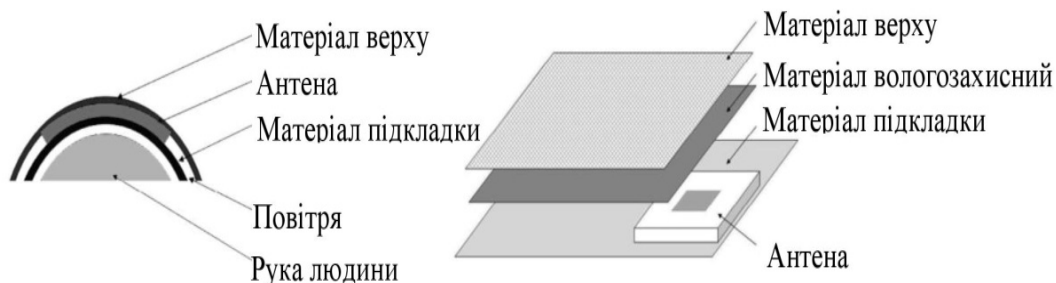


Рис.3. Зображення гнучкої антени на текстильній основі [18]:
а- модель розташування антени у рукаві; б – антена інтегрована між шарами текстильного матеріалу

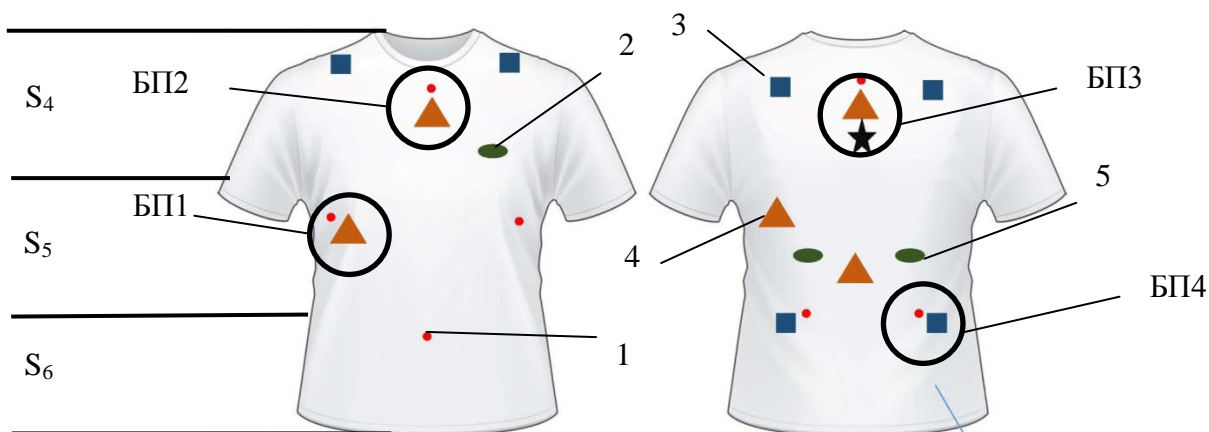


Рис.4. Принципова схема розташування елементів та пакетів біометричного комплексу: БП_n – номер біометричного пакету; 1 – датчик температури; 2- датчик серцевого ритму; 3- датчик тиску; 4 – датчик вологості; 5 – датчик EMG

На (рис.4) наведено принципову схему розташування елементів та пакетів біометричного комплексу у відповідності до циліндричної моделі, з урахуванням фізіології тіла людини та вимог до розташування елементів бездротових сенсорних мереж.

У зв'язку із зональною залежністю у циліндричній моделі рекомендовано для проміжного шару застосовувати сітчасті основов'язальні полотна філейних переплетень. Вони не жорсткі, мають стійку петельну структуру, абсолютно не розпускаються, не осипаються при розрізанні в будь-якому напрямку і мають при цьому мінімальну поверхневу щільність, не закручуються та легко моделюються [19]. Важливим показником є висота полотна – має біти в межах від 3-5 мм [7].

Висновки. Проблема забезпечення спеціальним одягом для захисту працівника в умовах, що впливають на рівень його працездатності потребує комплексного підходу, який

включає не тільки дослідження умов його застосування, а також мікроелектричних систем моніторингу. На сьогоднішній день в Україні відсутні системи мультисенсорного дистанційного моніторингу мікроклімату під одягом у реальному часі у виробничих умовах безпосередньо. Запропоновано принцип зонально-диференційованого розташування елементів бездротових сенсорних мереж, який дозволяє врахувати анатомію та біомеханіку тіла людини, вимоги до розташування елементів бездротових сенсорних мереж та визначити вплив спеціального одягу на працівника та його працездатність.

Список використаних джерел

1. Turkey - 7th European Conference on Protective Clothing (7thECPC) [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://ecpc2016.com/> (дата звернення 05.10.2016) – Назва з екрана.
2. Goldman R. F., Kampmann B. Handbook on clothing: biomedical effects of military clothing and equipment systems // Report NATO Research Study Group. – 2007. – Т. 7.
3. Ninagawa T., Konishi T., Narumi A. Measurement of Microclimate within Clothing Using the Combination Technique of Infrared Ray Absorption Method And Holographic Interferometry // Open Applied Physics Journal. – 2012. – Т. 5. – С. 54-59.
4. Ярощук О. В., Бохонько О. П., Кочмар А. А. Напрямки гармонізації екологічних вимог до швейних виробів та текстильних матеріалів до стандартів країн ЄС // Вісник Хмельницького національного університету. Серія "Технічні науки". – №2 - 2012. – С. 77.
5. Василенко В. М., Василенко М. П. Розробка методу оцінювання комфортності текстильних матеріалів на основі їх власних теплових шумів // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія "Технічні науки". – №2 – 2016. – С. 148-153.
6. Parkova I., Vilumsone A. Microclimate of smart garment // Scientific Proceedings of Riga Technical University, Series 9: Material Science. – 2011. – Т. 6. – №. 99. – С. 99.
7. Делль Р. А., Афанасьєва Р. Ф., Чубарова З.С. Гигиена одежды: Учеб. пособие для вузов.— 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Легпромбытиздат. – 1991. – 160 с.
8. Williams J. T. (ed.). Textiles for cold weather apparel. – Elsevier, 2009.
9. Havenith, G., 2009. Laboratory assessment of cold weather clothing. IN: Williams, J. (ed.). Textiles for cold weather apparel. Woodhead Publishing in Textiles, no. 93. Abington, Cambridge : Woodhead Publishing, p.217-243.
10. Bartkowiak G. Influence of undergarment structure on the parameters of the microclimate under hermetic protective clothing // Fibres Textil East Eur. – 2010. – Т. 18. – С. 82-86.
11. Bartkowiak G., Dąbrowska A., Marszałek A Analysis of thermoregulation properties of PCM garments on the basis of ergonomic tests // Textile Research Journal. – 2013. – Т. 83. – №. 2. – С. 148-159.
12. На М, Tokura H, Tanaka Y, Holmér I. Effects of two kinds of underwear on thermophysiological responses and clothing microclimate during 30 min walking and 60 min recovery in the cold // Applied Human Science. – 1996. – Т. 15. – №. 1. – С. 33-39.

13. Çetin, m. s., karabay, g., öztürk, h., & kurumer, g. examining comfort properties of leather and artificial leather cover materials. 2016.- p.151-154.
14. Pantelopoulos A., Bourbakis N. G. A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews). – 2010. – Т. 40. – №. 1. – С. 1-12.
15. Lotens W. A., Havenith G. Calculation of clothing insulation and vapour resistance //Ergonomics. – 1991. – Т. 34. – №. 2. – С. 233-254.
16. ДСТУ ЕТСІ EN 303 203-2:2015 «Електромагнітна сумісність і радіочастотний спектр. Радіообладнання малого радіуса дії. Мережеві системи натільних медичних сенсорних радіопристроїв діапазону частот від 2483,5 МГц до 2500 МГц. Частина 2. Загальні технічні вимоги» . - К. : Держстандарт України, 2015.
17. Kwak K. S., Ullah S., Ullah N. An overview of IEEE 802.15. 6 standard //2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 2010). – IEEE, 2010. – С. 1-6.
18. Hertleer C. et al. A textile antenna for off-body communication integrated into protective clothing for firefighters // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2009. – Т. 57. – №. 4. – С. 919-925.
19. Єрмоленко І. В. Новий аспект використання основов'язаних сіткополотен // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2013. – №. 3. – С. 74-78.

ПРИНЦИП ЗОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦІРОВАННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ БЕЗПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА ПОД ОДЕЖДОЙ

Курганский А.В., Березненко С.Н., Курганская М.Н.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Мета. Исследование факторов, влияющих на зонирование, количественный и качественный состав элементов беспроводных сенсорных сетей для мониторинга внешнего микроклимата пододежного пространства в системе «человек- специальная одежда - окружающая среда» в реальном времени для создания специальной одежды максимально приближенной к производственным условиям.

Методика. Анализ факторов, влияющих в системе внешнего пододежного пространства на зонирование, количественный и качественный состав элементов комплекса по мониторингу микроклимата пододежного пространства.

Результати. Предложен принцип расположения элементов беспроводных сенсорных сетей для мониторинга микроклимата в пододежном пространстве и приведен пример зонально-дифференцированного расположения этих элементов.

Наукова новизна. Впервые проведено комплексное исследование факторов в пододежном пространстве с целью применения беспроводных сенсорных сетей для мониторинга его параметров и оценки влияния одежды на эффективность выполнения функциональных обязанностей работником.

Практична значимість. Разработка элементов и новой конструкции, в целом, функциональной специальной одежды со встроенной беспроводной сенсорной сетью.

Ключові слова: *смарт одежда, специальная одежда, комфортность, беспроводные сенсорные сети, мониторинг микроклимата.*

THE PRINCIPLE OF AREA-DIFFERENTIATED ARRANGEMENT OF WIRELESS SENSOR NETWORK FOR MICROCLIMATE MONITORING UNDER CLOTHING SPACE

KURHANSKYI A.V., BEREZHENKO S.M., KURGANSKA M.M.

Kiev National University of Technologies and Design

Purpose. A study of factors affecting on zonation, qualitative and quantitative composition of wireless sensor network elements for microclimate monitoring under clothing space in the system «body - special clothing - environment» in real life setting.

Methodology. Analysis of factors that influence on zonation, qualitative and quantitative composition of wireless sensor network elements for microclimate monitoring under clothing space.

Findings. The concept of the arrangement of wireless sensor network for microclimate monitoring under clothing space was proposed. The example of area-differentiated arrangement was introduced.

Scientific novelty. For the first time a multicenter study of the factors under clothing space was carried out with a view to wireless sensor networks using for the monitoring parameters and impact assessment of clothing on efficiency of employee productivity.

Practical value. Components and new design development, as whole, functional clothing for special needs with integrated wireless sensor networks.

Key words: *smart clothing, special clothing, comfort, wireless sensor networks, microclimate monitoring, clothing systems.*