УДК 006.91 **DOI 10.33042/2522-1809-2021-4-164-197-202**

О.В. Крайнюк[1], Ю.В. Буц[2], В.В. Барбашин[3], П.І. Лоцман[4], Д.Ю. Кальченко[1]

[1]*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна*
[2]*Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна*
[3]*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна*
[4]*Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди, Україна*

ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ДИСТАНЦІЙНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНІ ТІЛА ЛЮДИНИ

Поширене використання безконтактних інфрачервоних пристроїв для температурного скринінгу. Але актуальним є приділення уваги точності даних систем для ідентифікації відвідувачів або персоналу, що мають інфекційне захворювання. У дослідженні визначено оптимальні умови використання приладу для безконтактного температурного скринінгу в умовах пандемії.

Ключові слова: *безконтактне вимірювання температури, достовірність, COVID-19.*

Постановка проблеми

Моніторинг температури під час спалахів інфекційних захворювань став звичайним явищем. Використовуються різні підходи до моніторингу температури на входах в громадські місця. Поширене використання безконтактних інфрачервоних (ІЧ) пристроїв для температурного скринінгу. Але актуальним є приділення уваги точності даних систем для ідентифікації відвідувачів або персоналу, що мають інфекційне захворювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Використання диджиталізації для забезпечення безпеки виробничих процесів нами розглянуто у роботах [1–2]. Сучасні дистанційні пристрої дозволяють виміряти температуру тіла в режимі реального часу та вчасно ввести карантин для інфікованих осіб. Масовий скринінг за допомогою ІЧ пристроїв застосовується під час спалахів епідемій інфекційних захворювань, таких як COVID-19. Деякі автори відзначають певні недоліки масового скринінгу за допомогою ІЧ-пристроїв [3–5].

Aw (2020) прокоментував надійність ручних ІЧ-термометрів і зазначив неточність вимірювань і низьку чутливість [6]. Тауі зі співавторами відзначив труднощі у використанні ІЧ-систем для виявлення підвищеної температури у жаркому кліматі [7].

У науковій літературі недостатньо уваги приділено вивченню достовірності вимірювання температури тіла людини дистанційними методами.

У деяких дослідженнях було зазначено багато супутніх чинників, що впливають на температуру тіла, таких як пітливість, стать, вік, діапазон температур, метод лікування, фізична активність, використання жарознижуючих препаратів і емоційний стан, але цей список не є вичерпним. Слід мати на увазі, що ці чинники можуть вплинути на результати вимірювання при використанні безконтактних інфрачервоних (в тому числі вушних, шкірних або ІЧ-камер) термометрів.

У публікації [8] автори дослідження демонструють, що використання простого ручного ІЧ пристрою для вимірювання температури тіла, аналогічного тому, який широко використовувався у всьому світі під час недавніх інфекційних спалахів, недостатньо ефективно, щоб покладатися на нього в якості основного інструменту скринінгу.

Низку приладів для дистанційного вимірювання температури досліджено авторами роботи [9]. Наведено дані про велику кількість помилково позитивних і помилково негативних результатів.

Автори [10] температуру шкіри вимірювали на лобі за допомогою інфрачервоного термометра (Raynger MX; Raytek, Берлін, Німеччина). Дослідження проводилося з метою оцінки діагностичної точності ІЧ термометрії для виявлення хворих з підвищеною температурою. Автори прийшли до висновку, що вимір температури шкіри за допомогою ІЧ термометрії не є надійним методом для скринінгу амбулаторних пацієнтів з підвищеною температурою.

Метою даної наукової роботи став розгляд можливості підвищення достовірності дистанційних методів вимірювання температури поверхні тіла людини.

Виклад основного матеріалу

До медичних термометрів пред’являються метрологічні вимоги, як до засобів вимірювань, а також вимоги щодо безпеки та електромагнітної

© Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Барбашин В.В., Лоцман П.І., Кальченко Д.Ю.

сумісності. Застосування засобів вимірювань температури того чи іншого виду визначається прийнятним способом вимірювання, необхідною точністю і швидкістю вимірювання, вимогами безпеки. Типові значення метрологічних характеристик представлені абсолютною похибкою, діапазоном вимірювання, швидкістю вимірювань (табл. 1).

ІЧ термометр сприймає ІЧ випромінювання нагрітого об'єкту чутливим до даного діапазону довжин хвиль приймачем, перетворює температуру в електричний сигнал, вимірюваний аналогово-цифровим перетворювачем і відображає його на цифровому дисплеї. Забезпечує безконтактні, швидкісні і безпечні вимірювання, що робить ІЧ термометр незамінним засобом для вимірювання температури тіла співробітників при допуску на роботу і протягом дня, його застосування практично не викликає втрати робочого часу на проведення вимірювань, виключає вплив самого об'єкту дослідження на результат вимірювання, сприяє якісному та своєчасному виявленню хворих співробітників.

Таблиця 1

Нормативні документи та порівняльні характеристики медичних термометрів

Засоби вимірювання температури тіла	Нормативні документи	Переваги	Недоліки
Ртутний термометр	ДСТУ OIML R 7:2019 (OIML R 7:1979, IDT)	Висока точність вимірювань, перешкодозахищеність, низька вартість	Необхідність щільного теплового контакту, вміст токсичної ртуті, низька швидкість вимірювань 0,1 вим/хв, незручність зчитування показань
Електронний термометр	ДСТУ OIML R 114:2019 (OIML R 114:1995, IDT)	Висока точність і швидкість вимірювань 0,1 ... 5 вим / хв, зручний цифровий екран, відсутність токсичних речовин	Необхідність щільного теплового контакту, чутливість до високочастотних електромагнітних випромінювань
ІЧ термометр	ДСТУ EN 60601-1-2-2015	Безконтактний спосіб вимірювання, висока швидкість вимірювань 2 ... 30 вим/хв, зручний цифровий екран, відсутність токсичних речовин	Чутливість до високочастотних електромагнітних випромінювань, підвищений вплив умов вимірів (рух повітряних мас, вологість, температура навколишнього середовища та ін.)

ІЧ термометри набувають все більшого поширення, але вимагають суворого дотримання методики вимірювань, що на практиці рідко виконується. Проведений нами аналіз дає можливість сформулювати вимоги і пропозиції щодо забезпечення достовірності при проведенні вимірювань ІЧ термометрами при температурному контролі (табл. 2). Як видно з таблиці з 10 вимог 6–8 вимог зазвичай не виконуються на практиці.

У дослідженні ми вимірювали температуру тіла людини на зап'ясті та на шиї. Значення порівнювали із показаннями ртутного термометра, які вважали правдивими. Серед дослідників існує думка, що температура зап'ястя менше піддається впливу навколишнього середовища та фізіологічних чинників. Температура шкіри відкритого чола не так стабільна і залежить від температури повітря і швидкості вітру – ці фактори можуть призвести до помилок і вплинути на точність вимірювання. Але за нашими міркуваннями це може бути пов'язано із порою року, кліматичними особливостями, параметрами навколишнього середовища.

Дослідження нами проведено у холодну пору року: листопад 2020. На вулиці температура $0^0 \ldots 5^0$ С. У таких умовах більшість людей носили шапки, захищали голову та лоб від переохолодження, але рукавички носили одиниці.

За представленим графіком (рис. 1) можна відмітити, що вимірювання на шиї близько до значень, що отримано з використанням ртутного термометру. Але дані отримані при вимірюванні на зап'ясті дуже відрізняються від показань ртутного термометру.

Для ртутного термометру отримаємо справжнє значення (36,61±0,29) ^{0}С. При вимірюванні безконтактним способом на шиї отримаємо справжнє значення (36,47±0,43) ^{0}С. При вимірюванні безконтактним способом на зап'ясті отримаємо справжнє значення (36,15±0,64) ^{0}С.

Отримані результати ми пояснюємо холодним періодом року, перебуванням відвідувачів університету протягом тривалого часу при температурі 0…5 ^{0}С, при якій руки мерзнуть і температура на поверхні руки знижується. Тобто при вимірюванні температури людина повинна 10…15 хвилин знаходиться у приміщенні для визначення більш достовірного значення.

Таблиця 2

Вимоги та пропозиції щодо забезпечення достовірності при вимірюванні температури тіла з використанням ІЧ термометрів

Вимоги до проведення достовірних вимірювань	Дотримання вимог на практиці	Пропозиції
Використання в допустимих умовах навколишнього середовища (від 10 °С до 40 °С), прогрів ІЧ термометра при різкій зміні умов не менше 30 хв.	+	Проводити вимірювання в приміщеннях з рекомендованим діапазоном температури. Прогрівати ІЧ термометр при різкій зміні умов не менше 30 хв.
Напрямок ІЧ термометра в центр чола людини, переміщення по колу в процесі вимірювання (від 2 с до 30 с)	-	Інструктаж і проведення тренувальних вправ для операторів вимірювань
Чиста, суха, без шару косметики, без подразнень шкіра, без волосся поверхня чола людини	-	Використання сухої (вологої) серветки для підготовки поверхні чола до вимірювань
Спокійний фізичний і розумовий стан організму, відсутність поверхневого перегріву або переохолодження, наприклад, при вході в приміщення з спеки або морозу	-	Проведення вимірювань з затримкою в кілька хвилин при наявності фізичної або розумової активності, перегріву або переохолодження перед вимірами
Відсутність прийому судинозвужувальних препаратів перед вимірами	Дані відсутні	Інформування оператора вимірювань для застосування інших способів
Відсутність руху повітряних мас (протягів, вентиляторів, кондиціонерів і т.д.)	-	Проведення вимірювань у відокремленому просторі приміщення – в кутку, за ширмою або спеціальному кабінеті
Забезпечити інтервал між вимірами, необхідний для відновлення ІЧ термометра (від 5 с до 10 с)	+	Обмежити потік співробітників на рівні від 6…12 осіб/хв.
Виключити вплив електромагнітних випромінювань в процесі вимірювань	-	Проведення вимірювань в режимі «Політ» або «Виключений» мобільних телефонів, планшетів, ноутбуків і комп'ютерів
Очищення оптичної системи ІЧ термометра	Дані відсутні	Проведення технічного обслуговування і очищення згідно з інструкцією з експлуатації
Проведення калібрування ІЧ термометра перед вимірами	-	На початку робочого дня проводити калібрування по зразковому ртутному термометру

Найважливішим є те, що при використанні ртутного термометру виявлена одна людина із підвищеною температурою тіла – понад 37^0С. Вимірювання температури на руці не показало даного результату, таким чином всі відвідувачі вважаються здоровими. Тобто ми маємо один хибно негативний результат.

На даний час широко поширено безконтактне вимірювання температури у місцях масового скупчення людей: у торгових центрах, ринках, аеропортах, терміналах, закладах освіти, медичних закладах та ін. але дуже часто ми можемо спостерігати, що температура безконтактним способом вимірюється на відстані від 0,5 м до 1,5 м та навіть більше.

У своєму дослідженні ми спробували встановити як впливає відстань від безконтактного приладу для вимірювання температури до тіла людини на точність вимірювання.

Порівняно значення, що отримано безконтактним термометром на відстані 10 см від тіла людини, на відстані 50 см від тіла людини та вимірювання за допомогою ртутного термометру.

Результати вимірювання безконтактним способом порівнювали із даними, що отримано за допомогою ртутного термометру (рис. 1).

Результати на відстані 10 см відрізняються від тих, що отримано ртутним термометром, але випадок із підвищеною температурою ідентифіковано. При вимірюванні на відстані 50 см всі показники значно менше за дані, що отримано ртутним термометром, причому не вдалося розпізнати людину із підвищеною температурою. Отримано помилково негативний результат та хвору людину не виявлено.

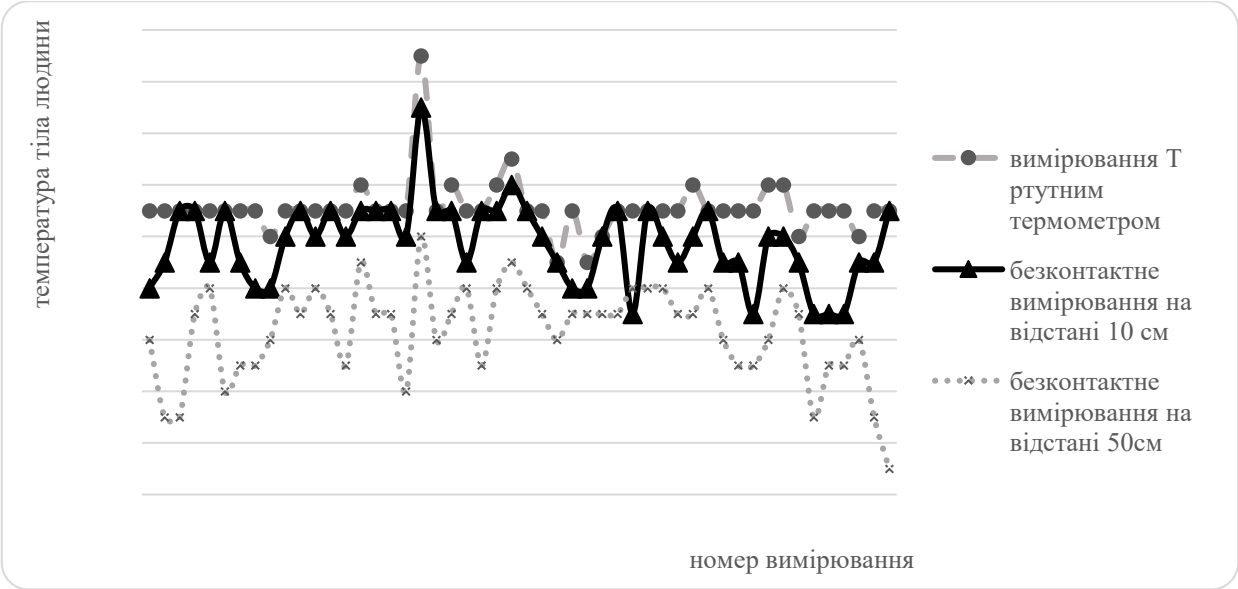

Рис. 1. Результати вимірювання температури відвідувачів університету безконтактним способом на шиї на відстані 10 см та 50 см та за допомогою ртутного термометру

Висновки

Встановлено, що відсутність проведення калібрування при вимірюванні температури тіла 50 відвідувачів університету ІЧ термометром є причиною виникнення грубої систематичної похибки, яка потребує виправлення введенням поправки. Для підвищення достовірності вимірювань необхідно розробити і випробувати просту і ефективну методику калібрування ІЧ термометрів, придатну в звичайних експлуатаційних умовах.

Література

1. *Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Барбашин В., Діденко Н.В. Перспективи диджиталізації у сфері охорони праці // Комунальне господарство міст, 2020, Т. 6, Вип. 159. – С. 130–138. DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-6-159-130-138*

2. *Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Барбашин В.В. SWOT - Аналіз впровадження цифрових технологій для забезпечення безпеки праці // Комунальне господарство міст, 2021, Т. 3, Вип. 163, . 234–238. DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-3-163-234-238*

3. *Lee, I.K., Wang, C.C., Lin, M.C., Kung, C.T., Lan, K.C., and Lee, C.T. Effective strategiestop revent coronavirus disease-2019 (COVID-19) out breakin hospital. J HospInfect. 2020. May; 105 (1) : 102–103. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.02.022*

4. *Gostic, K., Gomez, A.C., Mummah, R.O., Kucharski, A.J., and Lloyd-Smith, J.O. Estimated effectiveness of symptom and risk screening to prevent the spread of COVID-19. E life. 2020 Feb 24. DOI: https://doi.org/10.7554/eLife.55570*

5. *Oran, D.P., and Topol, E.J. Prevalence of Asymptomatic SARS-CoV-2 Infection: A Narrative Review. Ann Intern Med. 2020;173(5):362–367. DOI: https://doi.org/10.7326/m20-3012*

6. *Aw, D.J. The non-contact handheld cutaneous infra-red thermometer for fever screening during the COVID-19 global emergency J. Hosp Infect. 2020 Apr; 104 (4) : 451. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.02.010*

7. *Guan, W.J., Ni, Z.Y., Hu, Y., Liang, W.H., Ou, C.Q., He, J.X., Liu, L., Shan, H., etal. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. N Engl J Med. 2020; 382(18):1708–1720.*

8. *Hogan, D.E., Shipman, S., and Smith, K. Simple infrared thermometry in fever detection: consideration in mass fever screening. Am J Disaster Med. Winter. 2015; 10(1):69–74. DOI: https://doi.org/10.5055/ajdm.2015.0190*

9. *Nguyen, A.V., Cohen, N.J., Lipman, H., Brown, C.M., Molinari, N.A., Jackson, W.L., Kirking, H., Szymanowski, P., etal. Comparisonof 3 infrared thermal detection system sandself-report for mass fevers creening. Emerg Infect Dis. 2010; 16(11) : 1710–1717.*

10. *Suzuki, T., Wada, K., Wada, Y., Kagitani, H., Arioka, T., Maeda, K., and Kida, K. The validity of mass body temperature screening with ear thermometers in a warm thermal environment. Tohoku J ExpMed. 2010; 222(2): 89–95.*

References

1. Krainiuk, O.V., Buts, Y.V., Barbashin, V.V., Didenko, N.V. (2020) Prospects for digitalization in the field of labor protection. *Municipal economy of cities*, 6(159). 130–138. DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-6-159-130-138

2. Krainiuk, O.V., Buts, Y.V, Barbashin, V.V. (2021) SWOT - Analysis of the introduction of digital technologies to ensure occupational safety. *Municipal economy of cities*, 3(163). 234–238. DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-3-163-234-238

3. Lee, I.K., Wang, C.C., Lin, M.C., Kung, C.T., Lan, K.C., and Lee, C.T. Effective strategiestop revent coronavirus disease-2019 (COVID-19) out breakin hospital. J HospInfect. 2020.

May; 105 (1): 102–103. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.02.022
4. Gostic, K., Gomez, A.C., Mummah, R.O., Kucharski, A.J., and Lloyd-Smith, J.O. Estimated effectiveness of symptom and risk screening to prevent the spread of COVID-19. *E life*. 2020 Feb 24. DOI: https://doi.org/10.7554/eLife.55570
5. Oran, D.P., and Topol, E.J. Prevalence of Asymptomatic SARS-CoV-2 Infection: A Narrative Review. *Ann Intern Med*. 2020; 173(5): 362–367. DOI: https://doi.org/10.7326/m20-3012
6. Aw, D.J. The non-contact handheld cutaneous infra-red thermometer for fever screening during the COVID-19 global emergency J. *Hosp Infect*. 2020 Apr; 104(4): 451. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.02.010
7. Guan, W.J., Ni, Z.Y., Hu, Y., Liang, W.H., Ou, C.Q., He, J.X., Liu, L., Shan, H., etal. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *N Engl J Med*. 2020; 382(18): 1708–1720.
8. Hogan, D.E., Shipman, S., and Smith, K. Simple infrared thermometry in fever detection: consideration in mass fever screening. *Am J Disaster Med*. Winter 2015; 10(1): 69–74. DOI: https://doi.org/10.5055/ajdm.2015.0190
9. Nguyen, A.V., Cohen, N.J., Lipman, H., Brown, C.M., Molinari, N.A., Jackson, W.L., Kirking, H., Szymanowski, P., etal. Comparisonof 3 infrared thermal detection system sandself-report for mass fevers creening. *Emerg Infect Dis*. 2010; 16(11): 1710–1717.
10. Suzuki, T., Wada, K., Wada, Y., Kagitani, H., Arioka, T., Maeda, K., and Kida, K. The validity of mass body temperature screening with ear thermometers in a warm thermal environment. *Tohoku J ExpMed*. 2010; 222(2): 89–95.

Рецензент: доктор технічних наук, професор каф. технологій та безпеки життєдіяльності С. Логвінков, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна.

Автор: КРАЙНЮК Олена Володимирівна
кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – alenauvarova@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9524-040X

Автор: БУЦ Юрій Васильович
доктор технічних наук, професор
Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця
E-mail – yurii.buts@hneu.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0450-2617

Автор: БАРБАШИН Віталій Валерійович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – barbachyn@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3262-8305

Автор: ЛОЦМАН Павло Ігорович
кандидат географічних наук, доцент
Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди
E-mail – yurii.buts@hneu.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9894-5728

Автор: КАЛЬЧЕНКО Данило Юрійович
магістр, Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – kalchenko@ukr.net

INCREASING THE RELIABILITY OF REMOTE METHODS FOR MEASURING THE TEMPERATURE OF THE SURFACE OF THE HUMAN BODY

O. Krainiuk[1], Yu. Buts[2], V. Barbachyn[3], P. Lotsman[4], D. Kalchenko[1]
[1]Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine
[2]Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine
[3]O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine
[4]H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Ukraine

The aim of the work is to increase the reliability of remote methods of measuring the surface temperature of the human body. Common use of non-contact infrared (IR) devices for temperature screening. But it is important to pay attention to the accuracy of these systems to identify visitors or staff with an infectious disease.

The following areas of improvement of metrological characteristics of non-contact devices for measuring human body temperature in a pandemic are identified: 15 cm, the presence in the equipment of a calibrated thermostable source of radiation, called the absolute black body (APT). An effective method of providing the most accurate measurements of skin surface temperature is associated with the use of "baseline sampling". To implement this method, a thermal imager measures the temperature of a specially selected group of perfectly healthy people, with whom the temperature of all others is compared.

As a result of the conducted research the requirements to carrying out measurements of body temperature by IR thermometers for reception of reliable results are substantiated and offers on maintenance of these requirements for the purpose of increase of collective safety are put forward.

It was found that the lack of calibration when measuring the body temperature of 50 university visitors with an IR thermometer is the cause of gross systematic error, which needs to be corrected by correcting. To increase the reliability of measurements, it is necessary to develop and test a simple and effective method of calibrating IR thermometers, suitable in normal operating conditions.

Therefore, it is necessary to calibrate the IR thermometer before the measurements, which eliminates the systematic measurement error.

The practical significance of the study is to determine the optimal conditions for the use of the device for non-contact temperature screening in a pandemic. The results of the work will be useful both for further study of increasing the reliability of the results of remote temperature measurement, and may be useful in the learning process.

Keywords: *non-contact temperature measurement, reliability, COVID-19.*