

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt218.04.074>

ЄРМАКОВА І.Й., д-р біол. наук, проф.,
голов. наук. співроб. відд. комплексних досліджень інформаційних технологій
<https://orcid.org/0000-0002-9417-1120>, irena.yermakova@gmail.com

ГРИЦАЮК О.В.,
молодш. наук. співроб. відд. комплексних досліджень інформаційних технологій
<https://orcid.org/0000-0002-9019-4894>, olegva11@gmail.com

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних
технологій та систем НАН та МОН України,
відділ комплексних досліджень інформаційних технологій,
пр. Акад. Глушкова 40, м. Київ, 03187, Україна

СМАРТГОДИННИК ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЛЮДИНИ ЗА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВ СЕРЕДОВИЩА

Вступ. Глобальне потепління, зростання кількості населення Землі та урбанізація, яка супроводжується збільшенням щільності забудови, створюють для людини умови підвищеної небезпеки. Навіть адаптовані до зміни клімату люди можуть виявитися не готовими до раптових хвиль спеки, які негативно впливають на здоров'я.

Зараз існує чимало застосунків для смартгодинників, які можуть оцінювати тепловий комфорт людини в різних умовах середовища. Однак, бракує технології, яка б попереджала людину про небезпеку спекотного середовища завчасно.

Метою статті є розроблення застосунку для смартгодинника з метою оцінювання стану людини у спекотних умовах середовища.

Результати. Розроблено застосунок, який дає змогу прогнозувати тепловий стан людини в спекотних умовах середовища. Застосунок враховує умови навколишнього середовища, одяг і рівень фізичного навантаження.

Висновки. Смартгодинник поєднує математичні моделі терморегуляції людини та сучасні мобільні технології. Це дає змогу прогнозувати термофізіологічний стан людини в екстремальних умовах середовища. Розроблений підхід дає змогу запобігти пошкодження здоров'я людини в різних умовах середовища та рівня фізичної активності людини.

Ключові слова: модель, терморегуляція людини, смартгодинник, спека, фізична активність, захисний одяг.

ВСТУП

Глобальне потепління, зростання кількості населення Землі [1] та урбанізація [2], яка супроводжується збільшенням щільності забудови, створюють для людини умови підвищеної небезпеки. Навіть адаптовані до зміни

© ВД «Академперіодика» НАН України, 2024. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

клімату люди можуть виявитися не готовими до раптових хвиль спеки, які негативно впливають на здоров'я [3].

В Індії влітку 2024 р. було зареєстровано рекордні хвилі спеки [4]. В червні температура в деяких регіонах країни сягала 47 °С, що призвело до трагічних наслідків: загинуло щонайменше 44 людини, а сотні отримали теплові удари. Аномальна спека поставила під загрозу проведення виборів, тому влада прийняла рішення перенести всі етапи виборчого процесу на ранкові та вечірні години, коли температура повітря була нижчою.

Аномальна спека в Саудівській Аравії, Йорданії, Тунісі та Пакистані [5] збіглася з проведенням щорічного хаджу (релігійного свята), що призвело до масової загибелі учасників. За офіційними даними, загинуло близько 450 паломників у Саудівській Аравії, 75 у Йорданії та 49 у Тунісі. Ці трагічні події підкреслюють необхідність розроблення індивідуальних стратегій захисту від теплового стресу.

З метою мінімізації ризиків, пов'язаних з впливом екстремальної температури на організм людини, активно розробляються математичні методи оперативного прогнозування та оцінювання фізіологічного стану людини. До них можна віднести індекси та математичні моделі, які враховують умови середовища, фізичну активність та одяг. Доступність цих методів, реалізованих як мобільні та вебзастосунки, дає змогу своєчасно вживати необхідних заходів для запобігання тепловим стресам.

Перспективним напрямком є розроблення застосунків на базі моделей терморегуляції людини для носимих пристроїв, які надають можливість отримувати оперативну інформацію про зміни умов середовища і пов'язаний з ними стан теплового комфорту користувача. Впровадження цих застосунків дає змогу підвищити обізнаність населення про ризики, пов'язані з екстремальними температурами середовища.

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОГО СТАНУ ЛЮДИНИ

Для оцінювання теплового стану людини та його стандартизації розроблено теплові індекси: UTCI, WBGT, WBTD, TSI, де вхідними даними є умови навколишнього середовища [6]. Індекс WBGT був розроблений в 1950-х роках і він досі є досить популярним для спрощеного оцінювання теплового комфорту [7]. WBTD індекс часто використовується в поєднанні з WBGT [8] для точнішого оцінювання умов середовища. UTCI індекс розроблено для оцінювання теплового комфорту людини також. Він враховує додаткові параметри: температуру і вологість повітря, швидкість вітру та радіаційне випромінювання [9]. Тропічний літній індекс (TSI) розроблено для оцінювання теплового комфорту людини в спекотних регіонах. Він враховує температуру та вологість навколишнього середовища [10].

Розроблення математичних моделей термофізіологічного стану людини, це новий крок оцінки теплового стресу в різних умовах середовища. Моделі за стандартами ISO [11] є дієвим інструментом, який забезпечує прогнозування теплових реакцій людини в екстремальних умовах середовища. Математичні моделі дають змогу відстежувати динаміку температур і регуляторних реакцій людини.

На основі індексів теплового комфорту та моделей прогнозу теплових реакцій людини розроблено застосунки, які надають користувачу можливість опе-

ративно оцінити загрозу для його здоров'я. Вони спрощують роботу з індексами та математичними моделями, надаючи можливість задавати різні умови перебування користувача, вибирати одяг та фізичне навантаження. До таких відносяться мобільні застосунки ClimApp [12], PHS та вебзастосунок Hutas [14].

Одночасно з розробленням мобільних застосунків активно розвиваються смартгодинники, зокрема Apple Watch, Google Watch, Samsung Watch та Garmin. В корпус смартгодинників вмонтовані датчики, що щільно прилягають до тіла користувача. Вони забезпечують постійний збір даних: частоти серцевих скорочень, рівня кисню в крові, водного балансу тощо [15]. Отримані дані використовуються для оцінювання та інформування користувача про поточний фізіологічний стан його організму.

Виробники розробляють спеціалізовані версії смартгодинників. Наприклад для бігу, занурення, велосипедного спорту тощо [16]. Ці версії можуть містити додаткові датчики та сенсори. Наприклад, спеціалізовані для бігу смартгодинники додатково можуть містити такий функціонал: час відновлення організму, теплову та висотну акліматизацію, аналіз ландшафту на біговій дистанції, стрестест варіабельності серцевого ритму (HRV), використання більшої кількості кисню деякий час після тренування та кількість лактози в крові.

Функціонал смартгодинників можна розширити, встановивши спеціалізоване програмне забезпечення, яке охоплює математичні моделі прогнозу стану людини. Це дає змогу оцінювати й прогнозувати реакції організму в різних умовах, що робить такі пристрої ефективним інструментом для запобігання можливим ризикам здоров'я.

Проект Coolbit для смартгодинників дає змогу оцінити тепловий комфорт людини в режимі реального часу [17]. Автори пропонують додатково обладнати смартгодинники компактною метеостанцією, яка буде збиратиме дані про температуру та вологість повітря. Годинник також накопичує дані про частоту серцевих скорочень, температуру та вологість шкіри і записує GPS координати користувача в поточний момент. Періодично на екрані смартгодинника з'являється опитування щодо самопочуття. На основі зібраних даних, з допомогою запропонованої математичної моделі [18–19] смартгодинник чи є стан користувача безпечним у поточний момент.

HeatWatch — програмне забезпечення [20], розроблене для смартгодинника Microsoft Band3. HeatWatch використовує дані з датчиків про серцевий ритм та фізичну активність для прогнозування стану людини в вибраних умовах середовища. Передбачене автоматичне внесення даних про кількість випитої води на основі визначеного алгоритму рухів руки. Дані передаються з допомогою технології блютуз до смартфона, після чого відбуваються обчислення в двовузловій моделі Gagge [21]. Результатом обчислення є внутрішня температура людини, за якою визначають можливий ризик теплового удару. HeatWatch об'єднує прогнозовану температуру тіла людини та кількість спожитої води в комбінований індекс теплового удару.

Розглянуті застосунки використовують інформацію з датчиків смартгодинника. Інформація передається в математичні моделі, які обчислюють рівень небезпеки людини під час перебування в вибраних умовах середовища. Даний підхід дає змогу попередити користувача безпосередньо під час перебування в екстремальних умовах середовища.

Актуальним є розроблення застосунку, який міг би попередити про небезпеку для здоров'я ще до того, як людина опиниться в небезпечних умовах. Робота такого застосунку може базуватися на заданій користувачем інформації про фізичну активність, умови навколишнього середовища та одяг.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Для розроблення програмного забезпечення, яке поєднує математичну модель прогнозування стану людини в спекотних умовах середовища та зручний інтерфейс користувача, необхідно було вирішити декілька завдань:

- Розробити застосунок під годинник (під операційну систему: Wear OS);
- Розробити математичну модель прогнозування стану людини в спекотних умовах для годинника (має обмежені ресурси, тому потрібна оптимізація);
- Визначити та розробити дружній інтерфейс користувача.

РОЗРОБЛЕННЯ ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ СМАРТГОДИННИКА

Застосунок створено на основі математичної моделі терморегуляції людини, яка була розроблена І. Єрмаковою [22–25]. Модель дає змогу прогнозувати теплові реакції людини в різних умовах середовища, враховуючи рівень фізичної активності та властивості одягу людини.

Математичну модель адаптовано для імплементації у смартгодинник з можливістю використання офлайн, без підключення до інтернету.

Тіло людини апроксимовано набором багат шарових циліндрів, відповідно до частин та органів тіла людини.

Математичний опис процесів терморегуляції людини складається з двох частин. До першої належать процеси утворення тепла, його переносу та теплообміну з навколишнім середовищем.

Рівняння має вигляд:

$$c_{ij}m_{ij} \frac{dT_{ij}}{dt} = M_{ij} + M_{ij}^a + Q_{ij-1}^k - Q_{ij}^k - Q_{ij}^b - Q^{rw} \pm C \pm R - E \Big|_{i=1, \bar{N}; j=1, \bar{n}}, \quad (1)$$

Динаміка температури крові описана рівнянням:

$$V_b \rho_b c_b \frac{dT_b}{dt} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n w_{ij} \rho_b c_b T_{ij} - W \rho_b c_b T_b - \tilde{V} \rho_{air} r (y_{ex} - y_{in}) - \tilde{V} \rho_{air} c_{air} (T_b - T_{air}), \quad (2)$$

де T – температура, °C; t – години; c – питома теплоємність, ккал/(кг·°C); m – маса, кг; M – метаболізм, Вт; Q – тепловий потік, Вт; V – об'єм, л; ρ – густина, кг/м³; w – кровотік, л/год; W – серцевий викид, л/год; C – конвекція, Вт; R – випромінювання, Вт; E – випаровування, Вт; \tilde{V} – швидкість легеневої вентиляції, л/год; r – питома теплота пароутворення, ккал/кг; y – вологовміст (масова кількість водяної пари в повітрі, віднесена до маси сухого повітря). Індекси: b – кров; a – фізична активність; k – кондукція; air – повітря; rw – теплові втрати дихання; ex – повітря, яке видихають; in – повітря, яке вдихають; i – номер частини тіла; j – номер компартмента; N – кількість циліндрів; n – кількість шарів у циліндрі.

Чисельність рівнянь залежить від апроксимації [рівняння 1].

Другою частиною моделі є опис терморегуляційних реакцій людини, направлених на підтримання температури тіла.

До них належать підвищення кровотоку в шкірі та посилення випаровування поту з поверхні тіла людини [рівняння 3–4].

Об'ємна швидкість крові в шкірі людини:

$$W_s = W_s^* - k_{br}^w (T_{br}^* - T_{br}) - k_s^w (T_s^* - T_s), \quad (3)$$

Швидкість випаровування поту з поверхні тіла описується як:

$$E = E^* - k_{br}^e (T_{br}^* - T_{br}) - k_s^e (T_s^* - T_s), \text{ if } T_{br} \geq T_{th}, \quad (4)$$

де W – кровотік, л/год; k – коефіцієнт чутливості центру терморегуляції до зміни температури мозку і шкіри; E – випаровування рідини з поверхні тіла, Вт; T_{th} – поріг терморегуляційного центру, який в моделі прийнято 37.3 °С. Індокси: * – початкове значення; w – кровотік; e – випаровування; br – мозок; s – шкіра.

Адекватність математичних моделей теплових реакцій людини доведена в роботі порівняння моделей HRP з HSDA з реальними вимірами на військових [23].

Математичні моделі були імплементовані в комп'ютерну програму та мобільний застосунок. За допомогою комп'ютерної програми було проведено оцінювання небезпеки виникнення теплового удару робітників скляної промисловості [25]. Мобільний застосунок було використано для аналізу впливу військового захисного одягу на теплове навантаження під час виконання бойових завдань [26]. Наступним кроком є розроблення застосунку для смартгодинника, що розширить можливості використання моделі у сфері моніторингу теплового навантаження в реальному часі.

Для розроблення застосунку для смартгодинника було використано середовище розроблення Android Studio, мова програмування Kotlin в поєднанні з Jetpack Compose. Проєкт було розроблено під операційну систему Wear OS. При проєктуванні застосунку використано архітектуру M-VVM (Model–view–viewmodel).

ЗАСТОСУНОК ДЛЯ СМАРТГОДИННИКА

Інтерфейс застосунку (Рис. 1) дає змогу задавати параметри навколишнього середовища (Air), такі як температуру, вологість і швидкість вітру. Вибирати тип одягу (Clothing): спортивний, звичайний або військовий. Задавати параметри фізичної активності (Activity), зокрема інтенсивність та тривалість. На основі введених даних застосунок прогнозує внутрішню температуру тіла користувача (core temperature) та оцінює втрати вологи організмом (water loss).

Вхідні умови. Інтерфейс розробленого застосунку дає змогу задавати умови, в яких перебуває людина, включно з параметрами навколишнього середовища, типом одягу, рівнем та тривалістю фізичного навантаження.

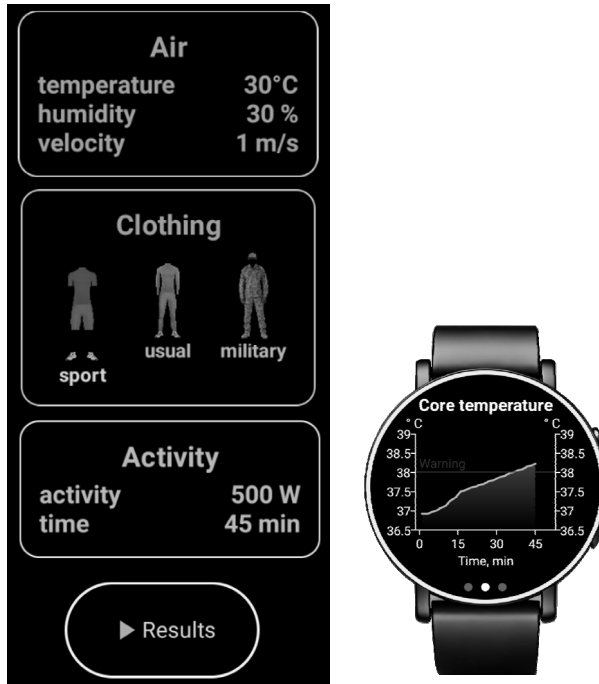


Рис. 1. Загальний вигляд інтерфейсу застосунку

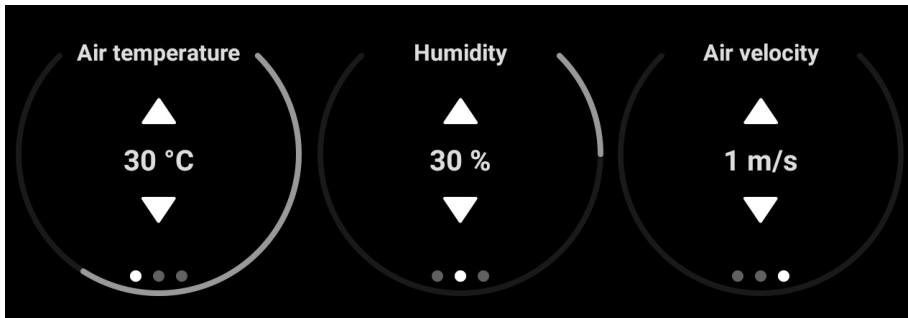


Рис. 2. Інтерфейс для введення умов навколишнього середовища

Застосунок забезпечує можливість прогнозування фізіологічного стану людини в широкому діапазоні умов навколишнього середовища: температури повітря 12–41°C, відносної вологості 20–80%, швидкості вітру 1–2 м/с, та за різних варіантів одягу (Рис. 2).

Доступні 3 комплекти одягу (Рис. 3). Характеристики одягу (Табл. 1) вибрано з даних ISO 7933 (2018) [31]. Комплекти Sport та Usual мають одностаровий трикотаж, який складається з віскози (30%) і бавовни (70%). Комплект одягу Military є захисним військовим / рятувальним спорядженням [27]. Одяг подано двома характеристиками: тепловим опором — RF, [м²·°C/W] та випаровувальним опором — REF, [м²·кПа/W].

Табл. 1. Характеристики комплектів одягу, доступних в застосунку

Одяг		Спортивний (sport)	Повсякденний (usual)	Військовий (military)
Вкрито тіла		68 %	87 %	95 %
RF (теплоізоляція тканини) [m ² ·°C/W]	Одяг	0,02	0,02	0,273
	Взуття	0,087	0,087	0,083
REF (випаровувальний опір) [m ² ·kPa/W]	Одяг	0,0012	0,0012	0,0503
	Взуття	0,052	0,052	0,047



Рис. 3. Комплекти одягу в застосунку

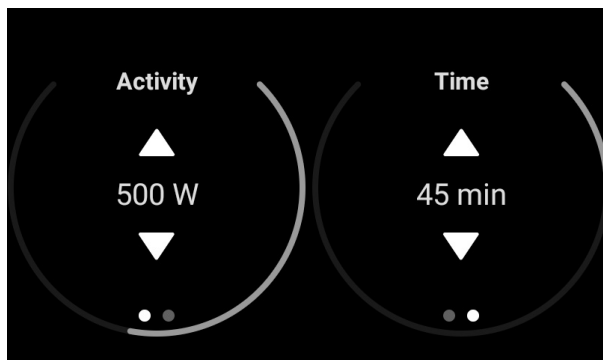


Рис. 4. Вибір фізичної активності в інтерфейсі смартгодинника

Інтенсивність фізичного навантаження задається в діапазоні 150–800 W, час фізичного навантаження від 30–120 хвилин (Рис. 4).

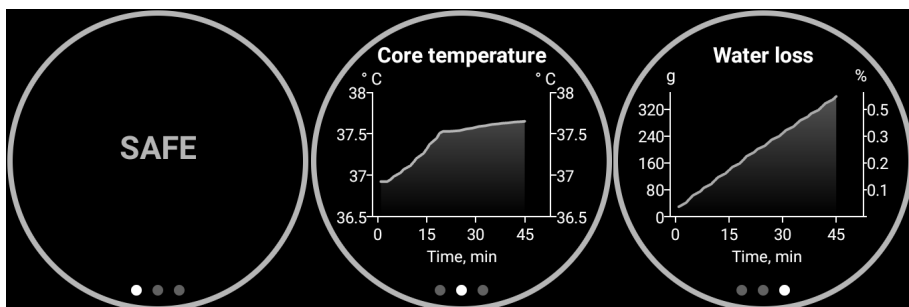


Рис. 5. Прогноз стану людини в спортивному одязі в умовах середовища: з температурою повітря — 30 °С, вологістю повітря — 30 % та швидкістю вітру 1 м/с, за фізичної активності 500 W протягом 45 хвилин.

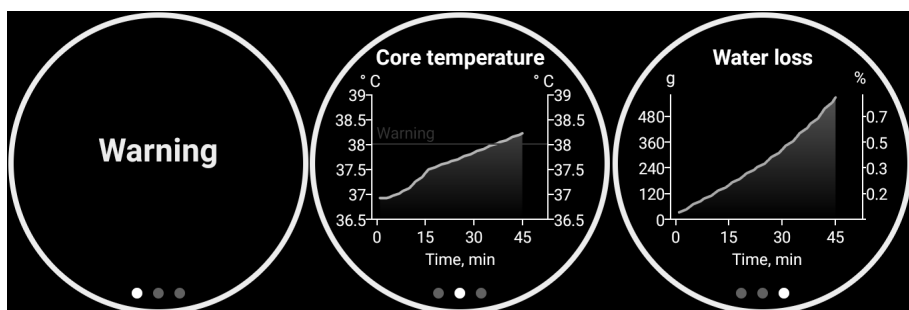


Рис. 6. Прогноз стану людини в військовому одязі, в умовах середовища: з температурою повітря — 30 °С, вологістю повітря — 30 % та швидкістю вітру 1 м/с, за фізичної активності 500 W протягом 45 хвилин.

Результати використання застосунку.

Проведено дослідження впливу одягу на термофізіологічний стан людини в таких умовах середовища: температура повітря 30 °С, вологість повітря 30 % та швидкість вітру 1 м/с. Умови вибрано згідно метеоданих, які були в Україні в районі Одеси в липні 2024 року. Проведено порівняння впливу звичайного та військового одягу на людину в однакових умовах навколишнього середовища і за однакового рівня фізичного навантаження. Інтенсивність фізичного навантаження складала 500 W протягом 45 хвилин.

Перебування людини в звичайному одязі.

Виконання фізичної активності 500 W протягом 45 хвилин в спортивному одязі є безпечним для людини (Рис. 5). Температура внутрішніх органів не перевищила 37,6 °С і загальні втрати води організмом, за рахунок потовиділення становлять 350 мл, що становить 0,6 % від маси тіла людини.

Вплив військового одягу на стан людини.

Під час другого експерименту застосунок попередив про можливу небезпеку для здоров'я, відобразивши це на екрані (Рис. 6). Температура людини перевищила небезпечний поріг життєдіяльності і становила 38 °С. Зазвичай гіпертермію визначають у межах від 37,7 до 39 градусів, тоді як тепловий удар — при температурі вище 39 градусів [28–29]. При такій температурі людина знаходиться в тепловому стресі і під загрозою теплового удару. Втрати вологи через потовиділення склали 500 мл, що становить 0,7 % від маси тіла людини.

Отже, виконання навантаження 500 W протягом 45 хвилин в одягнутому військовому захисному одязі є небезпечним. Безпечний час перебування людини в такому разі, можна визначити за графіком Core temperature.

ВИСНОВКИ

Смартгодинник поєднує математичні моделі терморегуляції людини та сучасні мобільні технології. Це дає змогу прогнозувати термофізіологічний стан людини в екстремальних умовах середовища. Розроблений підхід дає змогу запобігти пошкодження здоров'я людини в різних умовах середовища та рівня фізичної активності людини.

REFERENCES

1. Klein T., Anderegg W. R. L. A vast increase in heat exposure in the 21st century is driven by global warming and urban population growth. *Sustainable Cities and Society*, 2021, Vol. 73, 103098. ISSN 2210-6707. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103098>
2. Helbling M., Meierrieks D. Global warming and urbanization. *Journal of Population Economics*, 2023, Vol. 36, No. 3, pp. 1187–1223. <https://doi.org/10.1007/s00148-022-00924-y>
3. Kumar P., Sharma A. Study on importance, procedure, and scope of outdoor thermal comfort — A review. *Sustainable Cities and Society*, 2020, Vol. 61, 102297. ISSN 2210-6707. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102297>
4. Indian voters battle extreme temperatures as intense heat wave hits region <https://edition.cnn.com/2024/04/25/india/india-election-heat-wave-climate-intl-hnk/index.html>
5. Indian voters battle extreme temperatures as intense heat wave hits region <https://www.nytimes.com/2024/06/21/world/middleeast/saudi-arabia-hajj-pilgrimage-heat-death.html>
6. Zare S., Shirvan H. E., Hemmatjo R., Nadri F., Jahani Y., Jamshidzadeh K., Paydar P. A comparison of the correlation between heat stress indices (UTCI, WBGT, WBGT, TSI) and physiological parameters of workers in Iran. *Weather and Climate Extremes*, 2019, Vol. 26, 100213. ISSN 2212-0947. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100213>
7. Kamal A.S.M.M., Fahim A.K.F., Shahid S. Changes in wet bulb globe temperature and risk to heat-related hazards in Bangladesh. *Scientific Reports*, 2024, Vol. 14, 10417. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61138-8>
8. Coronato T., Carril A.F., Zaninelli P.G. et al. Exploring warm extremes in South America: insights into regional climate change projections through dry-bulb and wet-bulb temperatures. *Climate Dynamics*, 2024, Vol. 62, pp. 4391–4410. <https://doi.org/10.1007/s00382-024-07140-2>
9. UTCI Universal Thermal Climate Index <https://www.utci.org/>
10. Chindapol S., Blair J., Osmond P., Prasad D. A Suitable Thermal Stress Index for the Elderly in Summer Tropical Climates. *Procedia Engineering*, 2017, Vol. 180, pp. 932–943. ISSN 1877-7058. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.253>
11. Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of heat stress using the predicted heat strain model (ISO/DIS 7933:2018).
12. Folkerts M. A., Boshuizen A. W., Gosselink G., Gerrett N., Daanen H.A. M., Gao C., Toftum J., Nybo L., Kingma B. R. M. (2021). Predicted and user perceived heat strain using the ClimApp mobile tool for individualized alert and advice. *Climate Risk Management*, 34, 100381 <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100381>
13. The Predicted Heat Strain Mobile Application. Available At: <https://www.thethermalenvironment.com/the-predicted-heat-strain-mobile-application/>
14. Human Thermal Audit Simulator. Available At: <https://www.nicholasravanelli.ca/hutas/>

15. Garmin Health Science. Available At: <https://www.garmin.com/en-US/garmin-technology/health-science/>
16. Best Hiking And Outdoor Watches For Adventurers And Ultra Runners. Available At: <https://www.wareable.com/smartwatches/best-outdoor-watches-2236>
17. Nazarian N., Liu S., Kohler M., Lee J. K. W., Miller C., Chow W. T. L., Alhadad S. B., Martilli A., Quintana M., Sunden L. Project Coolbit: can your watch predict heat stress and thermal comfort sensation? *Environmental Research Letters*, 2021, Vol. 16, No. 3, 034031. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd130>
18. Kim J., Schiavon S., Brager G. Personal comfort models - A new paradigm in thermal comfort for occupant-centric environmental control. *Building and Environment*, 2018, Vol. 132, pp. 114–124. ISSN 0360-1323. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.023>
19. Jayathissa P., Quintana M., Sood T., Nazarian N., Miller C. Is your clock-face cozie? A smartwatch methodology for the in-situ collection of occupant comfort data. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, Vol. 1343, 012145. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1343/1/012145>
20. Hamatani T., Uchiyama A., Higashino T. HeatWatch: Preventing heatstroke using a smart watch. In 2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), Kona, HI, USA, 2017, pp. 661–666. <https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2017.7917642>
21. Gagge A. P., Stolwijk J. A. J., Nishi Y. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Hokkaido University*, 1972, Vol. 13(Suppl), pp. 21–36. https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/37901/1/13Suppl_21-36.pdf
22. Yermakova I., Nikolaienko A., Grigorian A. (2013). Dynamic model for evaluation of risk factors during work in hot environment. *Journal of Physical Science and Application*, David Publishing Company, USA, 3 (4), 238–243. <http://www.davidpublisher.org/Article/index?id=38225.html>
23. Potter A.W., Yermakova I.I., Hunt A.P., Hancock J.W., Oliveira A.V.M., Looney D.P., Montgomery L.D. (2021). Comparison of two mathematical models for predicted human thermal responses to hot and humid environments. *Journal of Thermal Biology*. 97, 102902. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102902>
24. Yermakova I.I., Ntoumani M., Potter A.W. "Modeling thermophysiological responses during head-in and head-out whole-body water immersion." *Journal of Sport and Human Performance* 2024; 12(1):32-43.
25. Yermakova I.I., Potter A.W., Raimundo A.M., Xu X., Hancock J.W, Oliveira A.V.M. "Use of thermoregulatory models to evaluate heat stress in industrial environments." *Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, vol. 19 (13), 7950. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137950>
26. Yermakova I., Nikolaienko A., Hrytsaiuk O., Tadeieva J., Kravchenko P. Use a smart-phone app for predicting human thermal responses in hot environment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024, 2(128): 39–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300784>
27. ISO 7933 (2018) Ergonomics Of The Thermal Environment -Analytical Determination And Interpretation Of Heat Stress Using The Predicted Heat Strain Model. International Standard Organization, Geneva.
28. Casa DJ, Almquist J, Anderson S. Inter-association task force on exertional heat illnesses consensus statement. *NATA News*. 2003;6:24-29.
29. Gagnon D, Lemire BB, Casa DJ, Kenny GP. Cold-water immersion and the treatment of hyperthermia: using 38.6 degrees C as a safe rectal temperature cooling limit. *J Athl Train*. 2010;45(5):439-444. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.5.439>

Received: 13.09.2024

Yermakova I.I., DSc (Biology), Professor,
Leading Researcher of the Department of Complex Research
of Information Technologies
<https://orcid.org/0000-0002-9417-1120>, e-mail: irena.yermakova@gmail.com
Hrytsaiuk O.V., Junior Researcher of the Department of Complex Research
of Information Technologies
<https://orcid.org/0000-0002-9019-4894>, e-mail: olegval1@gmail.com

International Research and Training Center for Information
Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine
and the Ministry of Education and Science of Ukraine,
40, Acad. Glushkov av., 03187, Kyiv, Ukraine

SMARTWATCH FOR PREDICTING HUMAN CONDITION UNDER EXTREME ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Introduction. *Global warming, population growth, and urbanization—with increasing building density — create high risk conditions for humans. Even those adapted to climate change may be unprepared for sudden heat waves, which have adverse health effects. Currently, there are several smartwatch applications available that assess human thermal comfort in various environmental conditions. However, there is a lack of technology that can provide early warnings about the dangers of hot environments.*

The purpose of the paper is to develop a smartwatch application designed to assess the condition of individuals in hot environmental conditions.

Results. *A smartwatch application has been developed to predict human thermal status in hot environmental conditions. The application takes into account environmental conditions, clothing, and physical activity levels.*

Conclusions. *The smartwatch integrates mathematical models of human thermoregulation with modern mobile technologies. This allows for predicting a person's thermophysiological state in extreme environmental conditions. The developed approach enables the prevention of health damage under various environmental conditions and levels of physical activity.*

Keywords: *model, human thermoregulation, smartwatch, heat, physical activity, protective clothing.*