



Прийнято 15.04.2026. Прорецензовано 30.04.2026. Опубліковано 30.05.2026.

УДК 536.5

DOI: 10.31471/1993-9981-2026-1(56)-229-236

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС НОРМАЛІЗАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ ОРГАНІЗМУ ПРАЦІВНИКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ ВИРОБНИЦТВА

Чуйко М. М. *

Кандидат технічних наук, доцент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4998-7585>
e-mail: myroslava.chuiko@nung.edu.ua

Витвицька Л. А.

Кандидат технічних наук, доцент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8491-1239>
e-mail: l.vytvytska@gmail.com

Піндус Н. М.

Кандидат технічних наук, доцент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9755-4824>
e-mail: natalyapindus@gmail.com

Біліщук В. Б.

Кандидат технічних наук, доцент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0196-412X>
e-mail: viktor.bilishchuk@nung.edu.ua

Запропоноване посилання: Чуйко, М. М., Витвицька, Л. А., Піндус, Н. М., Біліщук, В. Б. & Витвицький, З. Я. (2026). Інформаційно-вимірювальний комплекс нормалізації температурного стану організму працівників для підвищення надійності та якості виробництва. *Методи та прилади контролю якості*, 1(56), 229-236. doi: 10.31471/1993-9981-2026-1(56)-229-236

* Відповідальний автор



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Витвицький З. Я.

Кандидат медичних наук, доцент

Івано-Франківський національний медичний університет

76000, вул. Галицька, 2, м. Івано-Франківськ, Україна

<https://orcid.org/0009-0006-6094-112X>

e-mail: l.vytyvska@gmail.com

Анотація. У статті розглянуто актуальну проблему створення інноваційного індивідуального пристрою для ефективного зниження температури тіла працівника шляхом внутрішнього охолодження. В основі розробки лежать фундаментальні дослідження терморегуляційних процесів у тілі людини, зокрема відкриття артеріо-венозних анастомозів (АВА) – спеціалізованих судинних структур, які відповідають за регулювання тепловіддачі. Було встановлено, що венозні сплетіння, розташовані в області долонь, підшов і обличчя, відіграють ключову роль у процесах теплового обміну організму з навколишнім середовищем. Запропонований пристрій використовує фізіологічно обґрунтований підхід до охолодження організму через долоні, де концентрація терморегуляторних судин найбільша. Система передбачає застосування герметичних камер із контролем зниження тиску (до 35–45 мм рт. ст.) у поєднанні з теплообмінником, що забезпечує ефективний контакт холодоагенту з шкірою. Зниження тиску активізує кровообіг у терморегуляторних судинах, посилюючи тепловіддачу та сприяючи швидкому охолодженню організму. Пристрій оснащено мікропроцесорним блоком управління, датчиками температури та кровотоку, що забезпечують автоматичне регулювання параметрів системи у режимі реального часу. Описано конструктивні рішення, які забезпечують портативність, зручність у використанні та мінімальний вплив на природні фізіологічні процеси. Проведено функціональне обґрунтування вибраних технічних рішень відповідно до ключових критеріїв: ефективність охолодження, безпека, ергономіка. Визначено, що розроблений пристрій здатен забезпечити тривале зниження температурного навантаження на організм працівника без шкоди для його здоров'я. Отримані результати мають значну практичну цінність і можуть бути застосовані у промисловості, зокрема в умовах металургійних, енергетичних, машинобудівних виробництв, а також у сфері медицини праці та ергономіки. Розроблений пристрій має потенціал до серійного виробництва та широкого впровадження з метою підвищення безпеки та комфорту праці в умовах дії високих температур.

Ключові слова: тепловий стан організму, пристрій температурної регуляції, теплообмін, долоні рук, потік крові, венозні сплетіння давачі температури і тиску.

Вступ

На сьогоднішній день теплоенергетичні установки набули широкого поширення у різних галузях діяльності людини, у тому числі й у промисловості.

Це стосується і металургійної галузі: доменні, мартенівські, сталеплавильні, нагрівальні прокатні печі, і машинобудівної: ливарні, нагрівальні, ковальські, термічні установки, печі для випалу керамічних виробів та інші. При цьому використанням такого обладнання супроводжується значними виділеннями тепла, яке має значний вплив на мікроклімат виробничих приміщень, а отже і на тепловий стан організму обслуговуючого персоналу. Високі температури викликають погіршення самопочуття працівника, швидку стомлюваність, зниження продуктивності праці, якості та надійності виконуваних робіт а інколи і зумовлюють патологічні зміни в організмі, що можуть привести до захворювань.

Для забезпечення сприятливих умов праці та запобігання появі професійних

захворювань виникає необхідність у розробленні захисних заходів для послаблення або часткової компенсації впливів шкідливих високих температур на організм людини.

Мета роботи – розроблення удосконаленого індивідуального пристрою для зниження температури тіла працюючого в умовах високих температур промислових приміщень, зумовлених технологічними процесами виробництва.

Аналіз існуючих досліджень та публікацій

На виробництвах, що супроводжуються надлишковим виділенням теплової енергії, часто передбачені спеціальні приміщення для короткочасного відпочинку працівників з метою нормалізації їхнього теплового стану. Крім того, залежно від інтенсивності теплового опромінення та від умов праці, на робочих місцях або в приміщеннях відпочинку передбачають

пристрої для охолодження (напівдуші, кабіни або поверхні радіаційного охолодження). Але зазначені традиційні способи зниження температури тіла відзначаються низькою ефективністю і нетривалою дією. Це пояснюється впливом тільки на поверхню шкіри, і холод важко проникає всередину організму через шкіру, жировий прошарок та м'язи, які відзначаються високими теплоізоляційними властивостями. Тому, щоб охолодження було ефективнішим необхідно, щоб , внутрішні органи та м'язи, охолоджувалися зсередини.

Дана проблематика впливу температурних умов на різноманітні аспекти функціонування людського організму та продуктивність виконання різноманітних задач вивчалася багатьма вченими різних країн, зокрема біологами Стенфордського університету Х. Крейгом Хеллером (H. Craig Heller) та Деннісом Греном (Dennis Grahn) [1, 2]. Ними було теоретично та експериментально підтверджено, що всі ссавці мають закладені в організмі терморегулятори – ділянки тіла, в яких є щільна судинна мережа, котра розташована близько до шкірного покриву [3, 4]. Ця мережа призначена не для живлення шкіри, а для розсіювання надлишкового тепла, утвореного в організмі. Ці судини мають змінний кровотік, котрий реагує на мінімальні зміни температури тіла. Було встановлено, що діапазон зміни кровотоку може досягати до 60% всього серцевого викиду при високих температурах навколишнього середовища або під впливом значного фізичного навантаження [5-7]. У тілі людини ефективними механізмами для розсіювання тепла при підвищенні температури є венозні сплетіння, котрі знаходяться близько до поверхні долонь рук, підшов ніг і певних ділянок обличчя [8, 9].

Основна частина

Дослідження, спрямовані на пошук ефективних способів боротьби з гіпертермією показали, що традиційні методи охолодження зниження температури тіла малоефективні і надають нетривалу дію. Для того, щоб охолодження було ефективним, внутрішні органи та м'язи, що інтенсивно

працюють, повинні охолоджуватися зсередини. У людей ефективними механізмами для розсіювання тепла при підвищенні температури тіла є венозні сплетіння, розташовані під шкірним покривом долонь рук, підшов ніг і деяких ділянок обличчя.

Загальний аналіз методів та пристроїв нормалізації температурного стану шкіри дозволив зробити такі висновки:

- знайдені документи зареєстровані за кордоном, а саме в США, що свідчить про слабкий розвиток досліджень у цьому напрямі у нашій країні;

- розглянуті об'єкти можна розділити на дві групи: комплексні системи, здатні впливати на різні частини тіла і надавати не тільки охолоджувальну, а й зігріваючу дію та компактні пристрої, що закріплюються на певній частині тіла і здатні лише здійснювати місцевий охолоджувальний вплив.

До переваг комплексних систем температурної нормалізації можна віднести:

- більш широкі функціональні можливості: здатність не тільки знижувати, а й підвищувати температуру тіла людини;
- можливість впливу на різні частини тіла;
- наявність давачів та контрольно-вимірювальних приладів, що дозволяє контролювати параметри процесу охолодження або нагрівання та керувати ними.

Недоліки комплексних систем:

- складність конструкції, що ускладнює практичну реалізацію та експлуатацію;
- наявність сполучних проводів та шлангів негативно позначається на надійності та ергономічності устаткування;
- складність конструкції та велика кількість функціональних частин негативно позначаються на його портативності.

До переваг портативних пристроїв температурної нормалізації можна віднести:

- компактні розміри та невелика вага;
- відсутність потреби в джерелі живлення, що дозволяє їх автономне використання;
- відсутність з'єднувальних проводів та шлангів.

Недоліки портативних пристроїв:

- здійснюють вплив лише на певну частину тіла;
- необхідність заміни або повторного заморожування холодоагенту через певні проміжки часу.

Отже, обґрунтовано вибір основних напрямків досліджень на основі сучасних вимог щодо безпеки виконання різноманітних технологічних операцій із дотриманням температурних режимів організму працівника.

Встановлено, що найбільш ефективним методом охолодження організму людини, яка працює в умовах підвищеної температури виробничого середовища є, на відміну від традиційних методів зовнішнього охолодження, розсіювання тепла всередині організму людини шляхом охолодження венозних сплетінь.

Регулювання потоків крові у приповерхневих венозних сплетіннях здійснюється судинними структурами, котрі називаються артеріовенозними анастомозами (АВА). Вони представляють собою пряме з'єднання артерії і вени та пропускають, потоки крові у вену, при цьому оминають капілярну сітку (рис. 1). Судинні сплетіння та АВА становлять єдину судинну мережу, що бере участь у теплообміні.

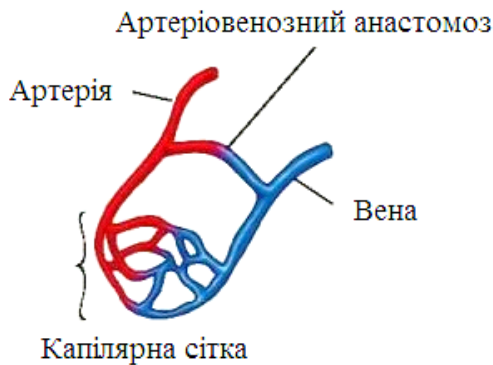


Рисунок 1 – Модель судинної мережі організму

В умовах низьких температур кровопотік у мікросудинах шкіри різко знижується, тобто кров іде через анастомоз. При зростанні температури тіла здійснюється перерозподіл кров'яних потоків, і значні обсяги гарячої крові від головного мозку і м'язів, спрямовуються до зовнішніх покривів тіла для посилення тепловіддачі, оскі-

льки підвищується кровопотік у шкірних судинах. Цей механізм терморегуляції не розглядався у раніше створюваних моделях, в яких не враховувалися процеси активації внутрішнього охолодження організму при його зовнішньому нагріві.

Врахування впливу судинних терморегулюючих структур на механізм нормалізації температурного стану організму дозволяє зробити моделювання корекції температури більш відповідним до реальних процесів теплопередачі, що використано при розробленні пристрою для зниження шкідливого дії на організм людини високих температур зовнішнього середовища.

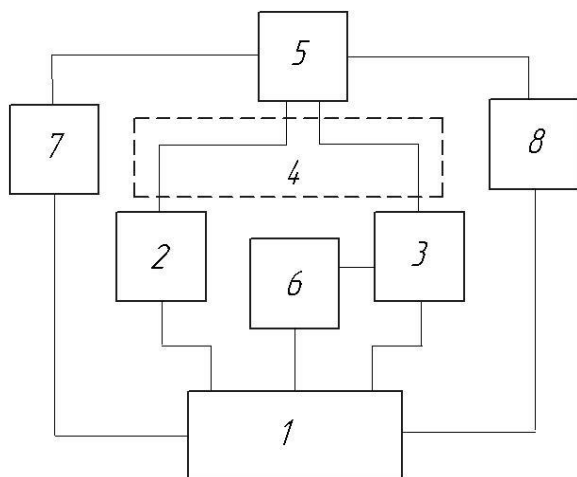
З вищенаведених місць локалізації впливу на термічний стан організму було вибрано долоню, як найбільш зручне і оптимальне місце для активації анастомозу з метою нормалізації температурного стану людини у виробничих умовах. Тому було розроблено технологію для посилення теплообмінної здатності судинних структур за рахунок розширення просвіту судин шляхом застосування локального тиску нижче атмосферного (35 - 45 мм рт. ст.), що приводить до збільшення об'єму циркулюючої крові у місцях тепловідведення.

Основними критеріями конструктивних рішень при розробленні пристрою охолодження організму людини в умовах високих температур та значного фізичного навантаження є:

- посилення теплообміну шляхом створенням пониженого тиску у місцях теплопередачі;
- максимальне використання фізіологічних процесів у розробленому пристрої;
- зручність при використанні у виробничих приміщеннях.

Для реалізації запропонованого методу з урахуванням даних критеріїв було розроблено пристрій, структурна схема якого подана на рис. 2.

Керуючим елементом системи розробленого пристрою є блок 1, що представляє собою мікропроцесор для отримання, опрацювання та передачі сигналів до усіх компонентів, для забезпечення узгодженої роботи структурних блоків пристрою. Теплообмінник 3 здійснює охолодження тепло-



1 – блок керування; 2 – блок зниження і вимірювання значення тиску; 3 – теплообмінник; 6 – блок керування роботою теплообмінника 3; 5 – герметичні камери для рук, що складаються з корпусу і провідника, який, служить для контакту рук з теплообмінним середовищем холодоагента; 4 - гідравлічні та електричні з'єднання; 7 – давач стану кровотоку; 8 – давач температури тіла

Рисунок 2 – Структурна схема пристрою теплопередачі через поверхню долоні людини

обмінного середовища, де в якості холодоносія використовується рідина (вода, олія тощо). Блок зниження і вимірювання тиску 2 створює розрідження в герметичних камерах 5 через гідравлічне і електричне з'єднання 4. Терморегулюючий блок керування 6 використовується для управління терморегуляційною реакцією людини шляхом впливу на її терморецептори. Він представляє собою пристрій передачі температурних подразників до контрольованих ділянок тіла, тобто долонь. Для моніторингу теплового стану організму використовуються контролер кровотоку 7 та давач температури тіла 8, сигнали від яких передаються на блок керування 1.

Кожна герметична камера для рук складається з корпусу, що включає камеру зниженого тиску, теплообмінника та м'якого ущільнювача, підтримуваного каркасними елементами. Камера зниженого тиску, що представляє собою простір між теплообмінним елементом та кришкою корпусу, виконана таким чином, щоб відповідати руці людини будь-якого розміру. Теплооб-

мінна поверхня, що служить для прийому теплового навантаження від користувача, також є частиною камери зниженого тиску. Теплообмінний елемент виготовляється з алюмінію або іншого матеріалу, що добре проводить тепло. Для забезпечення більшої температурної різниці додатково можна використати у конструкції камери елемент Пельтьє для інтенсифікації тепловідведення.

Апаратна реалізація розробленого пристрою для нормалізації температури людського організму передбачає використання:

- вакуум-насоса моделі Pentax DP80 для циркуляції холодоносія від теплообмінника до герметичних корпусів для рук, що реалізує процес відведення тепла та підтримки невеликого вакууму;

- тонких плівкових термісторів NTC MF5B-103F-3950, що було обрано для вимірювання температури рук та охолоджуючого робочого середовища;

- модуля пульсоксиметра МАХ30102 для дослідження швидкості кровотоку людського організму, що дозволяє реалізувати вимірювання пульсу і вмісту кисню в крові.

Методика використання пристрою полягає в наступному: верхні кінцівки людини в області кисті розміщуються у герметичних камерах, де здійснюється охолодження долонь шляхом контактування з холодоагентом. Інтенсифікація теплообміну здійснюється за рахунок зниження тиску у камері за допомогою вакуум-насосу. При цьому кров, що рухається по кровоносних судинах долонь і а тоді циркулює по всій кровоносній системі охолоджує весь організм зсередини, приводячи людину до комфортного температурного стану.

Таким чином, функціонування пристрою ґрунтується на природних процесах, що відбуваються в організмі без шкідливого впливу на людину. Відповідність конструктивних рішень розробленого пристрою вищенаведеним критеріям подано у табл. 1.

Отже, розроблений пристрій здатний виводити надлишкове тепло з людського

Таблиця 1 – Відповідність конструктивних рішень розробленого пристрою заявленим критеріям

№	Критерій	Конструктивне рішення
1	Зручність у користуванні пристроєм	1. Компактність (моноблочне виконання) 2. Простота конструкції пристрою, який містить три функціональні системи: керуючу, охолоджувальну та вакуумну для створення і підтримки легкого вакууму всередині герметичних камер пристрою
2	Мінімальне втручання у функціонування організму	Діапазони температури та розрідження, що створюються всередині камер пристрою, підібрані таким чином, щоб не завдавати шкоди організму людини, і не порушувати нормальний перебіг фізіологічних процесів та не викликати дискомфортних відчуттів.
3	Максимальне використання фізіологічних процесів	Робота пристрою базується на механізмі судинної регуляції термічного стану людини.

організму, відзначається компактністю, простотою у виготовленні, портативністю, зручністю у використанні та керуванні температурним режимом.

Таким чином, напрямки досліджень терморегуляції організму людини є досить перспективними, а наукові розробки можуть бути впровадженими не лише в сфері теплоенергетики, а й в інших галузях промисловості, пов'язаних із перебуванням людини в умовах підвищених температур навколишнього середовища.

Висновки

1. У статті обґрунтовано необхідність розроблення індивідуального пристрою для охолодження організму людини в умовах дії високих температур, що характерні для ряду промислових виробництв (металургія, машинобудування, енергетика тощо).

2. При розробленні пристрою нормалізації температурного стану організму було враховано фізіологічні механізми терморегуляції, зокрема – роль артеріовенозних анастомозів та венозних сплетінь, локалізованих в області долонь, як ефективних зон тепловіддачі.

3. Запропоновано конструктивне рішення пристрою, що забезпечує охолодження тіла шляхом посиленого теплообміну через судинну мережу долонь із використанням контрольованого вакууму та холодореагенту. Такий підхід дозволяє ак-

тивізувати циркуляцію крові у зонах тепловідведення, сприяючи ефективному охолодженню всього організму зсередини.

4. Розроблений пристрій має низку переваг: компактність, безпечність, простота у використанні, автоматизоване управління режимами охолодження на основі зворотного зв'язку з давачами температури та кровотоку, що дозволяє підтримувати оптимальний тепловий стан працівника в режимі реального часу.

5. Отримані результати дослідження можуть бути використані для подальшого вдосконалення засобів індивідуального захисту працівників у гарячих цехах, що зменшить теплове навантаження на їх організм та сприятиме профілактиці професійних захворювань і підвищенню надійності та якості виконуваних робіт.

Подяки

Відсутні.

Конфлікт інтересів

Відсутній.

Список використаних джерел / References

1. Grahn, D. A., Cao, V. H., & Heller, H. C. (2005). Heat extraction through the palm of one hand improves aerobic exercise endurance in a hot environment. *Journal of Applied Physiology*, 99(3), 972–978. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00093.2005>
2. Heller, H. C., & Grahn, D. A. (2012). Enhancing thermal exchange in humans and practical applications. *Disruptive Science and Technology*, 1(1), 11–19. <https://doi.org/10.1089/dst.2012.0004>
3. Grahn, D. A., & Heller, H. C. (2003). *Methods and devices for extracting thermal energy from the body core of a mammal* (U.S. Patent No. 6,656,208). U.S. Patent and Trademark Office.
4. Grahn, D. A., & Heller, H. C. (2011). *Controlled heat transfer with mammalian bodies* (U.S. Patent No. 7,947,068). U.S. Patent and Trademark Office.
5. Warner, B. W., & Warner, A. E. (2014). *Device and method for extracting heat from the palm of a hand* (U.S. Patent No. 8,641,745). U.S. Patent and Trademark Office.
6. Kostopoulos, T. J. (1998). *Apparatus for providing cooling to a human body* (U.S. Patent No. 5,766,235). U.S. Patent and Trademark Office.
7. Yeager, B. (2004). *Cooling bracelet* (U.S. Patent No. 6,772,445). U.S. Patent and Trademark Office.
8. Filimonov, V., Sukhomlinova, I., Tykhanovska, M., & Basarab, H., et al. (2015). *Termorehuliatyia: navchalnyi posibnyk* [Thermoregulation: Educational manual]. Zaporizhzhia State Medical University. (in Ukrainian)
9. Shutka, B. V. (Ed.). (2004). *Anatomiia liudyny: posibnyk* [Human anatomy: Manual]. Ivano-Frankivsk. (in Ukrainian)

INFORMATION AND MEASUREMENT COMPLEX FOR THE TEMPERATURE STATE NORMALIZATION OF WORKERS' ORGANISM TO IMPROVE THE PRODUCTION RELIABILITY AND QUALITY

Chuiko M. M.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
76019, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4998-7585>
e-mail: myroslava.chuiko@nung.edu.ua

Vytvytska L. A.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
76019, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4998-7585>
e-mail: l.vytvytska@gmail.com

Pindus N. M.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
76019, Karpatska St., 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9755-4824>
e-mail: natalyapindus@gmail.com

Bilishchuk V. B.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
76019, Karpatska St., 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0196-412X>
e-mail:viktor.bilishchuk@nung.edu.ua

Vytvytskyi Z. Ya.

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor
Ivano-Frankivsk National Medical University
76000, 2 Halytska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0006-6094-112X>
e-mail:l.vytvytska@gmail.com

Abstract. The article addresses the current issue of creating an innovative individual device for effectively lowering the body temperature of workers through internal cooling. The development is based on fundamental studies of thermoregulation processes in the human body, particularly the discovery of arteriovenous anastomoses (AVAs) – specialized vascular structures responsible for regulating heat dissipation. It has been established that venous plexuses, located in the palms, soles, and face, play a key role in the body's heat exchange with the surrounding environment. The proposed device uses a physiologically grounded approach to cooling the body through the palms, where the concentration of thermoregulatory vessels is highest. The system involves the use of sealed chambers with controlled pressure reduction (to 35-45 mm Hg) in combination with a heat exchanger, ensuring effective contact of the coolant with the skin. The pressure reduction activates blood circulation in the thermoregulatory vessels, enhancing heat dissipation and promoting rapid cooling of the body. The device is equipped with a microprocessor control unit, temperature, and blood flow sensors, ensuring automatic regulation of the system's parameters in real-time. Constructive solutions that ensure portability, ease of use, and minimal impact on natural physiological processes are described. Functional justification of the selected technical solutions has been made in accordance with key criteria: cooling efficiency, safety, and ergonomics. It has been determined that the developed device can ensure prolonged reduction of thermal load on the worker's body without harm to their health. The obtained results have significant practical value and can be applied in industry, particularly in metallurgical, energy, and mechanical engineering production, as well as in occupational medicine and ergonomics. The developed device has the potential for mass production and widespread implementation to improve safety and comfort in working conditions with high temperatures.

Keywords: the body thermal state, temperature regulation device, heat exchange, palms of the hands, blood flow, venous plexuses, temperature and pressure sensors.