
DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt213.03.020>

CC BY-NC

ЄРМАКОВА І.Й.¹, д-р біол. наук, проф.,
провід. наук. співроб.,
<https://orcid.org/0000-0002-9417-1120>, e-mail: irena.yermakova@gmail.com

НІКОЛАЄНКО А.Ю.², канд. техн. наук,
асистент кафедри програмних систем і
технологій факультету інформаційних технологій
<https://orcid.org/0000-0002-2402-2947>, e-mail: n_nastja@ukr.net

ГРИЦАЮК О.В.¹, аспірант,
молодш. наук. співроб.,
<https://orcid.org/0000-0002-9019-4894>, e-mail: olegval1@gmail.com

КРАВЧЕНКО П.М.¹,
провід. інженер,
<https://orcid.org/0000-0001-8137-5063>, e-mail: paul.kravchenko@gmail.com

ДОРОШ О.І.¹,
наук. співроб.,
<https://orcid.org/0000-0003-2488-0500>, e-mail: olehdd@gmail.com

¹ Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України, відділ комплексних досліджень інформаційних технологій, пр. Акад. Глушкова, 40, м. Київ, 03187, Україна

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033, Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕРМОФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ У ХОЛОДНІЙ ВОДІ

***Вступ.** Холодна вода є екстремальним середовищем для людини, що пов'язано з великою теплопровідністю та теплосмістю води. На ризик переохолодження наражаються люди, чия діяльність пов'язана з тривалим перебуванням у воді температурою нижче за 25 °С. Середня температура поверхневого шару океанських вод коливається від 15 °С до 17 °С. Тож про ризик переохолодження варто інформувати усіх людей, які працюють, подорожують, займаються спортом або відпочивають на морі, озері або річці в будь-якому регіоні земної кулі.*

На сьогоднішній день є велика кількість мобільних застосунків у сфері охорони здоров'я, однак бракує технології, здатної завчасно попередити людину про несприятливі умови водного середовища та надати відповідні рекомендації.

***Метою роботи** є оцінювання безпеки перебування людини у холодній воді за допомогою мобільних технологій та математичних моделей фізіологічних систем людини.*

***Результати.** Розроблена інформаційна технологія прогнозування термофізіологічного стану людини у холодній воді має клієнт-серверну архітектуру. Ключовою особливістю цієї технології є розташовані на сервері сучасні математичні*

© ВД «Академперіодика» НАН України, 2023

20 ISSN 2663-2586 (Online), ISSN 2663-2578 (Print). Cyb. and Comp. Eng. 2023. № 3 (213)

моделі терморегуляції і теплообміну у людини, які дають змогу врахувати характеристики середовища, фізичної активності і захисного одягу, рівень занурення та тривалість перебування людини у воді.

Висновки. Запропонована інформаційна технологія дає змогу завчасно виявити можливі ризики переохолодження і надати рекомендації щодо збереження здоров'я людини під час перебування у холодній воді. Використання розробленої інформаційної технології може бути корисним у сфері охорони здоров'я для оцінювання фізіологічних резервів організму і визначення безпечного часу перебування людини у холодній воді.

Ключові слова: інформаційна технологія, математична модель терморегуляції людини, ризики погіршення здоров'я, мобільні застосунки, водне середовище, фізична активність, захисний одяг.

ВСТУП

Холодна вода є екстремальним середовищем для людини, що пов'язано з великою теплопровідністю та теплоємністю води. Швидкість охолодження залежить від температури води, швидкості течії, швидкості руху тіла відносно води та індивідуальних характеристик людини [1]. На ризик переохолодження наражаються люди, чия діяльність пов'язана з тривалим перебуванням у воді температурою нижче за 25 °C [2], наприклад, моряки, берегова охорона, військові, працівники рятувальних служб, працівники рибного промислу, працівники на морських платформах з видобутку нафти і газу тощо.

Останнім часом у світі спостерігається збільшення інтересу населення до лікувально-оздоровчого туризму. Для зміцнення здоров'я людини рекомендують морські купання у воді температурою понад 18 °C. Температура верхніх шарів води Світового океану біля екватора становить 28 ± 1 °C, а середня температура поверхневого шару океанських вод коливається від +15 °C до +17 °C [3]. Тож про ризик переохолодження варто інформувати усіх людей, які подорожують, займаються спортом або відпочивають на морі, озері або річці в будь-якому регіоні земної кулі. Уряд і громадські організації намагаються знизити кількість небезпечних випадків на воді шляхом встановлення табличок з температурою води на пляжах, попереджувальних знаків і загороджень в небезпечних місцях узбережжя.

Розвиток і популяризація здорового способу життя сприяє збільшенню кількості людей, які займаються водними видами спорту. В спортивних басейнах рекомендовано підтримувати температуру води 23 ± 1 °C. Згідно з правилами Міжнародної федерації плавання World Aquatics змагання з плавання у відкритих водоймах за температури води 18 °C і вище проводять без застосування гідрокостюмів, а за температури води нижче 18 °C застосування гідрокостюму є обов'язковим [4].

Стрімкий розвиток мобільних платформ і значне поширення мобільних пристроїв робить доцільним розроблення та впровадження мобільних застосунків у сфері охорони здоров'я [5, 6, 7]. Різноманітні фітнес-браслети та розумні годинники в поєднанні з m-health застосунками стимулюють заняття спортом і дають змогу:

- підібрати програму спортивних занять і стежити за досягненнями;
- відстежувати показники пульсу та артеріального тиску;
- відслідковувати швидкість переміщення користувача;
- регулювати інтенсивність спортивних вправ і підвищувати ефективність різноманітних тренувань;

– дотримуватися принципів здорового харчування, слідкувати за калорійністю їжі, за водним балансом тощо.

Водночас серед сучасних персоніфікованих мобільних технологій контролю здорового способу життя бракує технології, яка б могла завчасно попередити людину про несприятливі для занять спортом умови навколишнього середовища, оцінити пов'язані з цим ризики та надати відповідні рекомендації [8].

Основна ідея досліджень полягає в створенні технології, яка поєднає інновації у сфері мобільних засобів та сучасні математичні моделі фізіологічних систем людини, зокрема, терморегуляції у водному середовищі, що дасть змогу користувачу завчасно виявити можливі ризики переохолодження та отримати рекомендації щодо збереження його здоров'я під час перебування у воді. Мобільний застосунок може стати дієвим інструментом для підтримки здорового способу життя в суспільстві, що, в свою чергу, надасть можливість зменшити витрати на лікування.

АНАЛІЗ НАЯВНИХ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ

Виконано аналіз інформації з популярних наукових журналів та рейтингів спеціальних платформ app store і play market щодо мобільних застосунків, що можуть бути корисними людям, які взаємодіють з водним середовищем. Більшість знайдених застосунків дають змогу користувачу стежити за своїми спортивними показниками. Вони зазвичай орієнтовані на закриті басейни та не враховують умови навколишнього середовища. В США та Австралії популярними є застосунки, які забезпечують моніторинг погоди біля відкритих водойм.

Мобільний застосунок «Beach Safety» [9] від австралійської компанії Surf Life Saving Australia надає попередній аналіз пляжів, розташованих неподалік від користувача (Рис. 1). Для кожного пляжу застосунок надає погодні характеристики (температуру повітря, силу вітру, температуру води, час приливу, індекс ультрафіолетового випромінювання) та перелік небезпечних характеристик узбережжя (крутий обрив, небезпечні піски, гостре чи слизьке каміння). Застосунок дає змогу користувачу вибрати найбезпечніший з наявних пляжів ще на етапі планування відпочинку.

Компанія Shearwater випустила технологію для професійних дайверів, яка складається зі спеціального пристрою, що кріпиться як годинник на зап'ястя (Рис. 2), і програмного забезпечення для аналізу даних з пристрою. Пристрій дає змогу налаштувати таймер та попередження. Під час занурення на пристрої можна переглянути температуру води, глибину занурення, тривалість активності та залишок кисню в балоні [10]. Всі дані, отримані під час занурення, зберігаються в пам'яті пристрою. Потім ці дані можна переглянути більш детально на комп'ютері за допомогою спеціального застосунку.

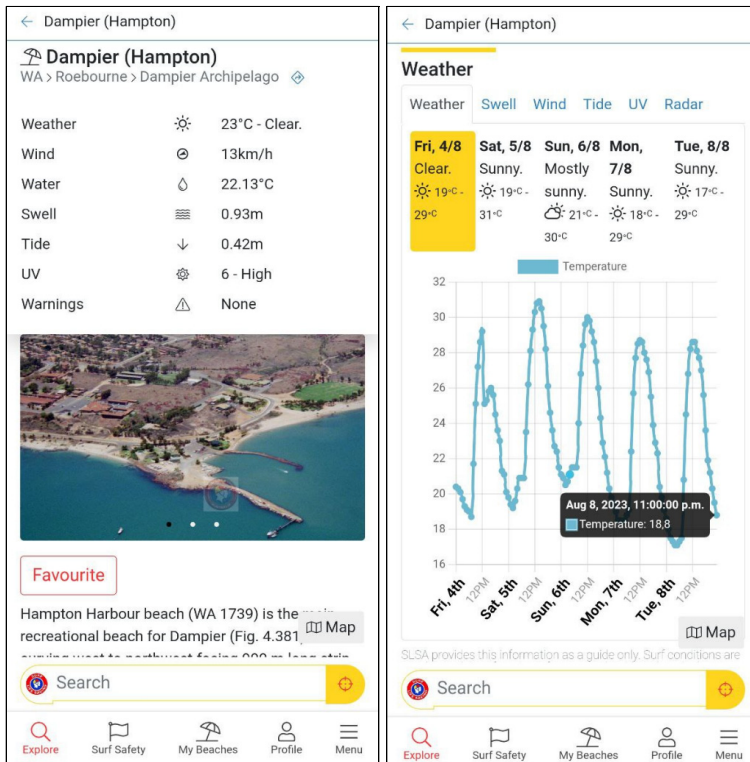


Рис. 1. Скріншоти мобільного застосунку «Beach Safety»

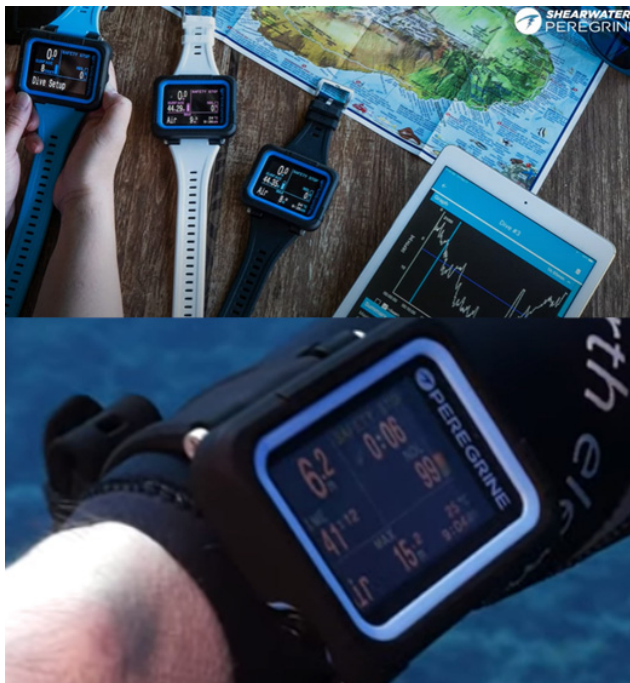


Рис. 2. Пристрій для професійних дайверів від компанії Shearwater

Технологія компанії Shearwater допомагає контролювати ситуацію під час занурення в режимі реального часу, проте вона не дає змогу виявити можливу небезпеку на етапі його планування. Тривале охолодження виснажує організм і може завдати шкоди здоров'ю людини, тому важливим є визначення часу до настання переохолодження. Наявні на ринку застосунки не можуть оцінити ризики переохолодження людини у холодній воді. Саме тому розроблення інформаційної технології з використанням моделей прогнозування стану людини у холодній воді є надзвичайно актуальними.

АРХІТЕКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Інформаційна технологія прогнозування термофізіологічного стану людини у холодній воді має клієнт-серверну архітектуру (Рис. 3). Мобільний застосунок — клієнтська частина цієї технології — дає змогу вводити, первинно контролювати та передавати дані на сервер, а потім приймати та відображати результати на екрані смартфона. Розташована в хмарі серверна частина технології складається з програми керування потоками даних, комплексу математичних моделей та бази даних.

Мобільний застосунок розроблено для операційної системи Android OS, яка активно розвивається і є найпоширенішою серед різних виробників смартфонів. Згідно сайту статистики 70% користувачів вибрали мобільні девайси на Android [11]. З метою полегшення масштабованості та подальшої підтримки застосунку використано патерн MVVM (model–view–viewmodel), який дає змогу розділити логіку програми та елементи керування інтерфейсом користувача [12]. Користувач може переглянути значення фізіологічних показників і графік зміни вибраного показника в динаміці, що дає змогу відстежувати перехідні процеси та безпечний час перебування в заданих умовах.

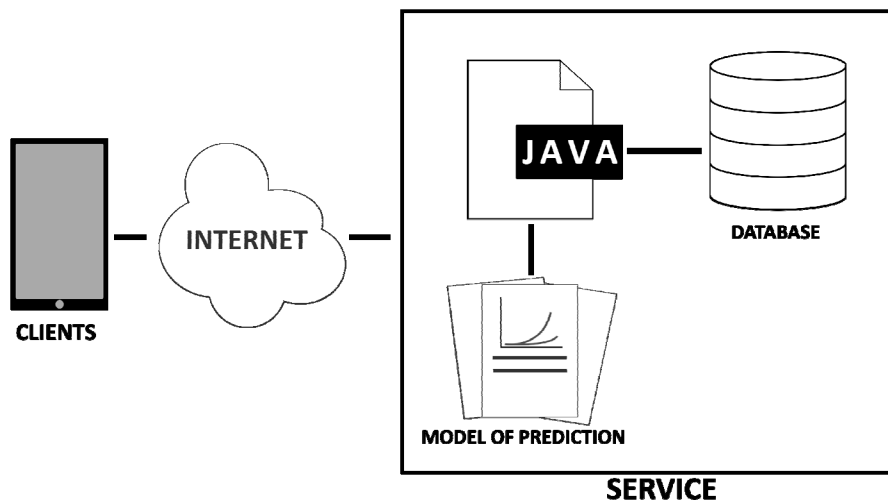


Рис. 3. Структурна схема інформаційної технології

Серверну частину інформаційної технології написано за допомогою мови програмування Java. Сервер займається обробленням даних, які надходять з застосунку-клієнта, а саме процесом авторизації, збереженням змін персональних даних, моделюванням та збереженням результатів прогнозування. Взаємодія між клієнтом і сервером здійснюється через телекомунікаційну мережу за допомогою мережевого сокета на серверній частині.

Для передачі даних використовується протокол TCP (transport control protocol), який забезпечує перевірку надійності передачі даних від помилок, а також паралельну та асинхронну роботу з клієнтами. TCP забезпечує надійну передачу даних від хоста-відправника до хоста-отримувача, для цього встановлюється логічний зв'язок між хостами [13].

Для підвищення безпеки використовується шифрування повідомлень між клієнтом та сервером методом AES 128 Symmetric Encryption. AES (Advanced Encryption Standard) є стандартом шифрування, який розроблено Національним Інститутом Стандартів та Технологій США (NIST). Він використовується для захисту конфіденційності та цілісності даних, переданих через мережу [14]. AES 128 використовує метод симетричного шифрування блоків даних розміром 128 біт за допомогою 128-бітного ключа [15]. Цей ключ однаковий і для шифрування, і для розшифрування повідомлень.

Сервер допускає одночасне обслуговування значної кількості клієнтів. База клієнтів застосовує MySQL і Firebase для забезпечення аутентифікації та авторизації. Для встановлення особи використовується шифрування асинхронного типу (RSA) з довжиною ключа в 4096 біт. Для підтвердження достовірності зашифрованих даних використовується SHA-256. SHA-256 (Secure Hash Algorithm 256) — це криптографічний хеш-алгоритм, який використовується для створення унікального хеш-коду фіксованої довжини (256 бітів) з будь-якого вхідного повідомлення [16]. Реалізовано обмеження користування математичними моделями, якщо ключі мобільного застосунку та сервера не співпадають.

Після успішної авторизації сервер надає клієнтам доступ до своїх ресурсів. Процес авторизації відбувається в трьох сутностях — користувач, мобільний застосунок та сервер. Користувач виконує введення даних для авторизації або вибір облікового запису, за допомогою якого можна авторизуватися. Сутність мобільного застосунку відповідає за процес оброблення даних та взаємодію з користувачем і з сервером в ролі посередника. Сутність сервера виконує роль отримання даних, їх оброблення, обчислення результатів та повернення даних в мобільний застосунок (Рис. 4).

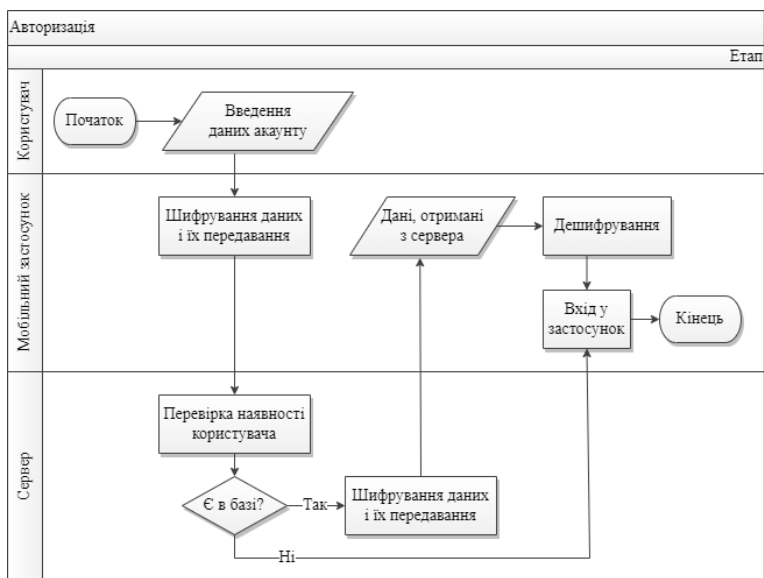


Рис. 4. UML-діаграма процесу авторизації

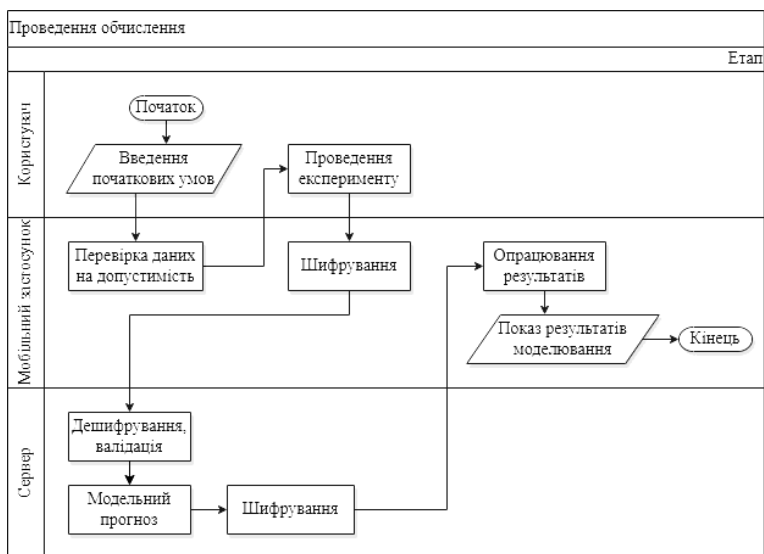


Рис. 5. UML-діаграма проведення модельних обчислень

Процес проведення обчислень також відбувається в трьох сутностях — користувач, мобільний застосунок та сервер. Користувач виконує введення початкових умов для моделювання, після чого мобільний застосунок перевіряє ці дані. Після підтвердження валідності даних користувач має змогу провести модельний експеримент. Мобільний застосунок шифрує дані та передає на сервер, де розміщено комплекс математичних моделей. Сервер дешифрує дані, проводить модельні обчислення, шифрує та передає результати мобільному застосунку (Рис. 5). Мобільний застосунок опрацьовує результати прогнозування і дає змогу користувачу переглянути

динаміку термofізіологічного стану людини у воді (система пропонує користувачу перелік прогнозованих даних).

Серверний застосунок прослуховує Socket фізичного сервера та реагує на JSON-запити клієнтів. Реалізовано чотири типи таких запитів: перевірка зв'язку клієнта з сервером, авторизація чи реєстрація користувача, зміна персональних даних і вхідні дані для моделювання. Залежно від типу запитів передбачено такі типи JSON-відповіді: сервер доступний, успішність/неуспішність авторизації чи реєстрації користувача, успішність/неуспішність змін персональних даних і результат моделювання. У разі закінчення роботи клієнта з'єднання завершується до наступного запиту на вхід у систему.

КОМПЛЕКС МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕРМОРЕГУЛЯЦІЇ ТА ТЕПЛООБМІНУ ЛЮДИНИ З НАВКОЛИШНІМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Комплекс математичних моделей терморегуляції і теплообміну людини з навколишнім середовищем є ключовою особливістю розробленої технології. Моделі враховують індивідуальні характеристики людини, параметри середовища, рівень занурення людини у воду, тривалість, інтенсивність і вид фізичної активності [17]. Математично описано метаболізм і перерозподіл тепла в організмі людини та її теплообмін з навколишнім середовищем. Моделі надають прогноз таких показників термofізіологічного стану людини, як температуру, метаболізм, теплові потоки, серцево-судинні показники, терморегуляторні реакції тощо [18].

Для побудови мультикомпаратментальних моделей вважаємо, що тіло людини складається з 39 компартментів, якими зокрема є мозок, внутрішні органи, а також м'язи, підшкірний жир і шкіра різних частин тіла. Процеси утворення та перенесення тепла в організмі людини описують системою з 39 рівнянь для обчислення динаміки температури всіх компартментів, з яких складається тіло людини [1, 18]. Універсальний запис рівняння динаміки температури для будь-якого компартмента має вигляд:

$$c_{ij} m_{ij} \frac{dT_{ij}}{dt} = M_{ij}^* + M_{ij}^{ph} + M_{ij}^{sh} + Q_{ij-1}^K - Q_{ij}^K - Q_{ij}^b - Q_{ij}^{air} - Q_{ij}^{water} \quad \left| \begin{array}{l} i = \overline{1, N}; \\ j = \overline{1, Z}, \end{array} \right. \quad (1)$$

де T — температура, °C; t — час, год; c — питома теплоємність, ккал/(кг·°C); m — маса, кг; M — метаболізм, ккал/год; Q — тепловий потік, ккал/год. Індокси: * — початкове значення; b — кров; ph — фізична активність; sh — холодове тремтіння скелетних м'язів; K — кондукція; air — повітря; $water$ — вода. i — номер частини тіла; j — номер компартмента; N — кількість сегментів; Z — кількість компартментів у частині тіла.

Теплообмін людини у воді є можливим лише за допомогою конвекції:

$$Q_{i,sk}^{water} = h_{i,sk}^{water} A_{i,sk} (T_{i,sk} - T_i^{water}), \quad (2)$$

$$h_{i,sk}^{water} = \frac{K^{water} \cdot Nu}{d_{i,sk}},$$

де h^{water} — коефіцієнт теплообміну конвекцією у воді, ккал/(м²·°С·год); A — площа поверхні тіла, м²; K^{water} — коефіцієнт теплопровідності води, ккал/(м·°С·год); Nu — число Нуссельта, $Nu \geq 1$; d — діаметр компартмента, м. Індокси: sk — шкіра.

С. Boutelier та співавтори [19] провели дослідження залежності коефіцієнта теплообміну конвекцією від швидкості та температури води. У воді, температура якої нижча за термонеутральну (від 33 до 35 °С), встановлено таку емпіричну залежність:

$$\begin{aligned} \text{Для вільної конвекції } h^{water} &= 589,97 \cdot v + 53,07, \\ \text{Для вимушеної конвекції } h^{water} &= 497,13 \cdot v^{0,65}. \end{aligned} \quad (3)$$

де h^{water} — коефіцієнт теплообміну конвекцією у воді, Вт/(м²·°С); v — швидкість руху води відносно людини, м/с.

АДЕКВАТНІСТЬ МОДЕЛЕЙ

Адекватність моделей доведено шляхом порівняння результатів прогнозування до даних, отриманих К.А. Rostomily та співавторами під час спостережень на людях [20]. У їх дослідженні взяли участь 10 волонтерів — шість чоловіків і чотири жінки — із середнім (\pm SD) віком 26 (\pm 6) років, зростом 1,70 (\pm 0,12) м, вагою 73,4 (\pm 13,3) кг та індексом маси тіла 24,9 (\pm 3,0) кг·м². Учасники дослідження, вдягнені в шорти або суцільний купальник, були занурені до середини груднини у воду температурою 10 °С в великому пластиковому резервуарі. Температура навколишнього середовища під час вимірів становила 23 °С. Збір даних виконувався кожні 5 хвилин зі шлунково-кишкового тракту за допомогою спеціального датчика-таблетки, який волонтери проковтнули за 6 годин до проведення дослідження. Тривалість спостереження — 90 хвилин.

Розроблена інформаційна технологія прогнозування термофізіологічного стану людини у холодній воді дає змогу максимально наближено відтворити умови дослідження, проведеного К. А. Rostomily та співавторами. Результати моделювання температури внутрішніх органів добре узгоджуються з вимірними даними температури шлунка людини, яка впродовж 90 хвилин занурена у воду температурою 10 °С (Рис. 6).

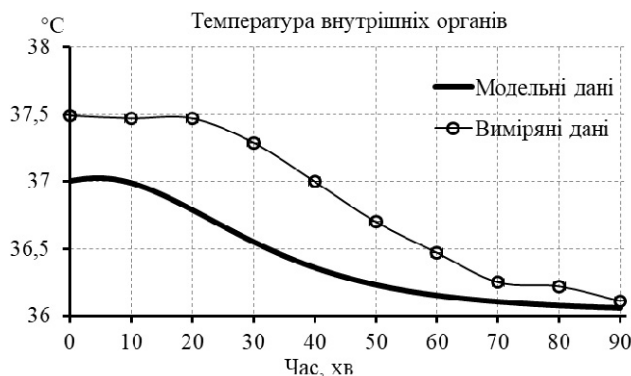


Рис. 6. Динаміка внутрішньої температури тіла людини у воді температурою 10 °С

Початкові показники внутрішньої температури тіла відрізняються на 0,5°C між спостереженнями на людях та результатами моделювання. Це пов'язано з тим, що вимірювання температури під час спостереження на людях відбувається у шлунку (початкове значення 37,5 °C), тоді як модель прогнозує усереднену температуру усіх внутрішніх органів (початкове значення 37,0 °C). Обидва показники внутрішньої температури однаково демонструють реакцію тіла людини на занурення в холодну воду. За півтори години перебування у холодній воді внутрішня температура тіла людини знизилася до 36,1 °C.

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСТОСУНКУ

У правилах Міжнародної федерації плавання до 5 липня 2023 року було прописано, що змагання у відкритих водоймах за температури води вище 20 °C мають проводитись без гідрокостюмів, а за температури води від 18 °C до 20 °C застосування гідрокостюму можливе за бажанням спортсменів. Але нещодавно вийшли оновлені правила, за якими учасникам змагань вже не можна використовувати гідрокостюм за температури води 18 °C і вище. Щодо температури води нижче 18 °C, то тут правила не змінились — застосування гідрокостюму є обов'язковим [4].

Розроблена інформаційна технологія прогнозування термофізіологічного стану людини у холодній воді дає змогу заздалегідь перевірити умови змагань, виявити можливі ризики погіршення функціонального стану людини, визначити необхідність захисного спорядження і вибрати характеристики гідрокостюмів. Для перевірки доцільності використання гідрокостюму за граничних умов, наведених у правилах Міжнародної федерації плавання для змагань у відкритих водоймах, проведено дослідження з використанням розробленої інформаційної технології. Умови модельних експериментів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Вхідні дані модельних експериментів

| Умови | Експ. 1 | Експ. 2 | Експ. 3 | Експ. 4 |
|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Температура води | 18 °C | 18 °C | 17 °C | 17 °C |
| Температура повітря | 22 °C | 22 °C | 22 °C | 22 °C |
| Швидкість вітру | 1 м/с | 1 м/с | 1 м/с | 1 м/с |
| Вологість | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Гідрокостюм | Відсутній | Відсутній | Довгий | Довгий |
| Активність | Стояти (150 W) | Пливти (1000 W) | Стояти (150 W) | Пливти (1000 W) |
| Час активності | 60 хв | 60 хв | 60 хв | 60 хв |
| Рівень занурення | По шию | По шию | По шию | По шию |

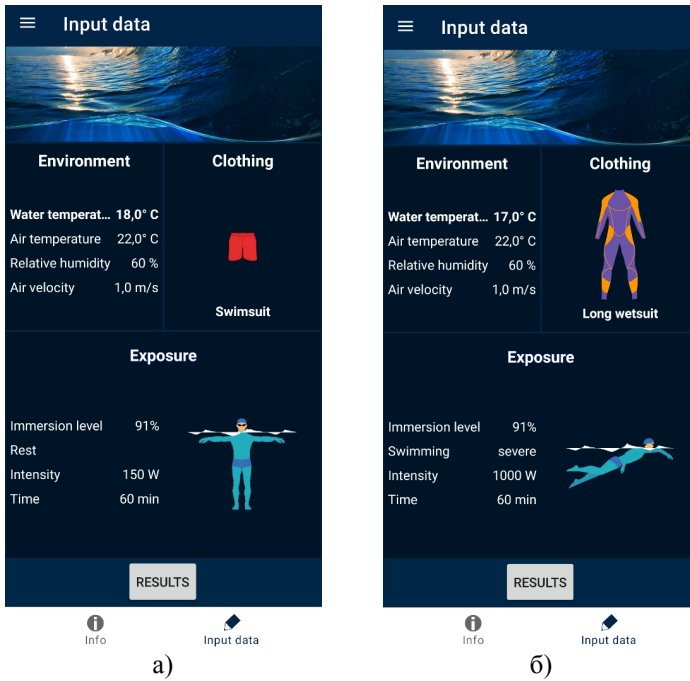


Рис. 7. Екранні форми застосунку користувача для введення вхідних даних: експеримент 1 (а) та експеримент 4 (б)

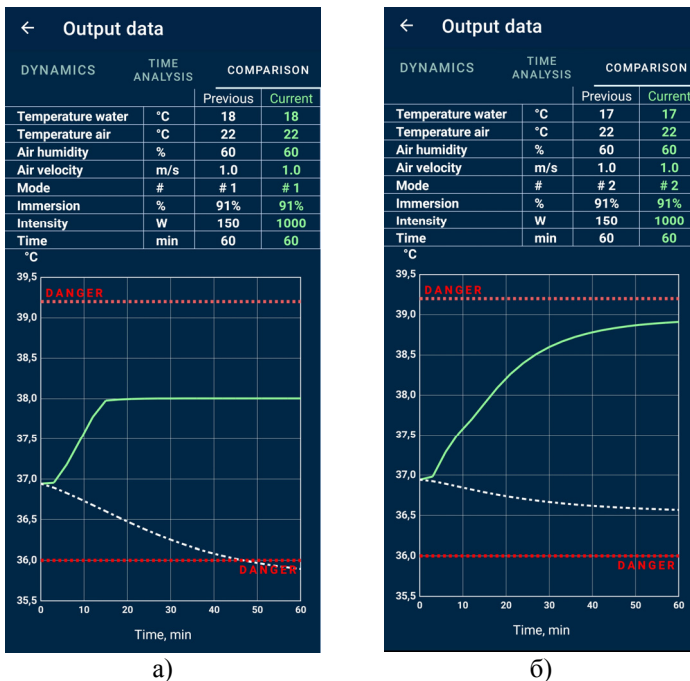


Рис. 8. Екранна форма застосунку користувача для відображення порівняння внутрішньої температури тіла людини з двох експериментів: експериментів 1 і 2 (а) — без гідрокостюма, та експериментів 3 і 4 (б) — у гідрокостюмі

Графічний інтерфейс мобільного застосунку складається з вікон для введення даних і відображення результатів на екрані смартфона. Вікно введення вихідних даних розділене на області: умови середовища, рівень занурення людини у воду, захисний одяг і фізична активність (Рис. 7). Екранна форма мобільного застосунку для зміни характеристик середовища дає змогу вибрати температуру води та характеристики повітряного середовища в разі неповного занурення. Щодо рівня занурення, то тут йдеться про повне занурення людини з головою у воду, по шию, по пояс тощо. Надано можливість вибрати вид фізичної активності: плавання, ходіння у воді або стан спокою.

Попередній прогноз стану людини автоматично аналізується, виявляються чинники ризику погіршення здоров'я та відображаються на екрані вибрані користувачем показники. Після проведення моделювання відкривається вікно результатів, де виводяться попередження про характер ризиків (якщо їх виявлено), практичні рекомендації, спрямовані на запобігання екстремальним впливам, а також динаміка фізіологічних показників (Рис. 8).

На рис. 8(а) показано, як змінюється внутрішня температура тіла людини впродовж плавання з інтенсивністю 1000 Вт порівнянно зі спокійним перебуванням (150 Вт) у воді за температури 18 °С без гідрокостюма. За 46 хв спокійного перебування у воді температура внутрішніх органів знизилась до 36 °С (пунктирна лінія). За допомогою конвекції вода забирає тепло зі швидкістю 377 ккал/год. Щоб компенсувати втрати тепла, в організмі людини запускається терморегуляторна реакція — холодове тремтіння, інтенсивність якого досягає 264 ккал/год. Проте цього недостатньо для стабілізації температури, і подальше перебування людини за таких умов є небезпечним для її здоров'я. Під час інтенсивного плавання внутрішня температура тіла людини вже через 15 хв. виходить на усталений режим 38 °С (суцільна лінія).

На рис. 8(б) показано аналогічне порівняння результатів двох експериментів, але за температури води 17 °С і людина вже в гідрокостюмі. Завдяки теплоізоляційним властивостям гідрокостюму за годину перебування людини у холодній воді у стані спокою температура внутрішніх органів знизилась лише на 0,3 °С — з 36,9 °С до 36,6 °С (пунктирна лінія). Плавання в гідрокостюмі з інтенсивністю 1000 Вт спричинює стрімке зростання внутрішньої температури, яка за годину досягає значення 38,9 °С (суцільна лінія). Щоб відвести надлишок тепла, об'ємна швидкість крові у судинах шкіри зростає до 267 л/год. Для постачання кисню скелетним м'язам під час фізичної роботи швидкість крові у м'язах зростає до 315 л/год. Серцевий викид збільшився до 863 л/год. Результати моделювання показали, що година інтенсивного плавання за таких умов не несе загрози життю людини, проте вона почуває себе дуже некомфортно.

Запропонована інформаційна технологія дала змогу проаналізувати кількісні показники термофізіологічного стану плавців і перевірити доцільність використання гідрокостюмів залежно від температури води, тривалості та інтенсивності плавання. Інтенсивне плавання за температури води 18 °С без гідрокостюму впродовж години не наражає людину на небезпеку. А от за низької фізичної активності людині варто обмежити свій час перебування у холодній воді або вдягнути захисний одяг.

ВИСНОВКИ

Розроблена інформаційна технологія прогнозування термofізіологічного стану людини у холодній воді поєднує мобільні технології та сучасні математичні моделі фізіологічних систем людини. Застосування розробленої інформаційної технології може бути корисним у сфері охорони здоров'я для оцінювання фізіологічних резервів організму, попередження про ризики переохолодження та визначення безпечного часу перебування людини у воді залежно від характеристик середовища, фізичної активності і захисного одягу, рівень занурення та тривалість перебування людини у воді. Мобільний застосунок дасть змогу користувачу завчасно виявити можливі ризики переохолодження та отримати рекомендації щодо збереження свого здоров'я під час перебування у холодній воді.

ЛІТЕРАТУРА

1. Yermakova I., Montgomery L. Predictive Simulation of Physiological Responses for Swimmers in Cold Water. *2018 IEEE 38th International scientific conference electronics and nanotechnology (ELNANO)*. Kiev. April 24–26. 2018. P. 292–297. <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2018.8477523>.
2. Tipton M.J., Brooks C.J. The Dangers of Sudden Immersion in Cold Water. *Survival at Sea for Mariners, Aviators and Search and Rescue Personnel*. Brussels, Belgium. 2008. Chapter 3. P. 1–10. ISBN 978-92-837-0084.
3. Locarnini M.M., Mishonov A.V., Baranova O.K., Boyer T.P., Zweng M.M., Garcia H.E., ... & Smolyar I. *World Ocean Atlas 2018. NOAA Atlas NESDIS 81*. 2018. Vol. 1: Temperature. 52 p.
4. Competition Regulations. *World Aquatics*. Version in force of 5th July 2023, 543 p. <https://www.worldaquatics.com/swimming/rules>
5. Dorosh N.V., Boyko O.V., Ilkanych K.I., Zayachkivska O.S., Basalkevych O.Y., Yermakova I.I., Dorosh O.I. M-health technology for personalized medicine. Development and modernization of medical science and practice: experience of Poland and prospects of Ukraine: Collective monograph. Vol.1. Lublin: Izdavnictvo «Baltija Publishing», 2017. P. 66–85.
6. Гриценко В.І., Єрмакова І.Й., Богатьонкова А.І., Дорош О.І. ІТ-інфраструктура для персоналізованого мобільного здоров'я. *Вісник НАН України*. 2016. № 2. С. 87–90. <https://doi.org/10.15407/visn2016.02.087>.
7. Raimundo D. W. SwitP: Mobile Application for Real-Time Swimming Analysis. *Distributed Computing Group*. 2020. 22 p.
8. Єрмакова І.Й., Богатьонкова А.І., Ніколаєнко А.Ю., Тадєєва Ю.П., Грицаюк О.В., Солопчук Ю.М. M-health технологія для прогнозування стану людини в екстремальних умовах середовища. *Cybernetics and Computer Engineering*. Київ. 2021. № 3 (205). С. 84–97. <https://doi.org/10.15407/kvt205.03.084>
9. Beachsafe Website & App. <https://www.surflifesaving.com.au/beach-safety/beachsafe-website/>
10. Shearwater Cloud Version 2.2.0 for Desktop and Mobile. <https://www.shearwater.com/announcements/shearwater-cloud-version-2-2-0-for-desktop-and-mobile-is-now-available/>
11. Mobile operating systems' market share worldwide from 1st quarter 2009 to 2nd quarter 2023 <https://www.statista.com/statistics/272698/global-market-share-held-by-mobile-operating-systems-since-2009/>
12. Android Developers. Guide to app architecture <https://developer.android.com/topic/architecture>

13. Kostiuk Y. Shestak Y. The transport layer of the ISO/OSI model in computer networks. *Commodities and markets*. 2021. Vol. 40 (4). P. 49–58. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021\(40\)05](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021(40)05)
14. Heron S. Advanced encryption standard (AES). *Network Security*. 2009. Vol. 2009 (12). P. 8–12. [https://doi.org/10.1016/S1353-4858\(10\)70006-4](https://doi.org/10.1016/S1353-4858(10)70006-4)
15. Andriani R., Wijayanti S.E., Wibowo F.W. Comparison of AES 128, 192 and 256 bit algorithm for encryption and description file. In *2018 3rd International Conference on Information Technology, Information System and Electrical Engineering (ICITISEE)*. Yogyakarta, Indonesia. November 13–14. 2018. P. 120–124. <https://doi.org/10.1109/ICITISEE.2018.8720983>
16. Sury O. Use of the SHA-256 Algorithm With RSA, Digital Signature Algorithm (DSA), and Elliptic Curve DSA (ECDSA) in SSHFP Resource Records. *Request for Comments*. 2012. Vol. 6594. 9 p.
17. Yermakova I.I., Montgomery L.D., Potter A.W. Mathematical model of human responses to open air and water immersion: Modeling human thermoregulatory responses. *Journal of Sport and Human Performance*. 2022. Vol. 10(1). P. 30–45. <https://doi.org/10.12922/jshp.v10i1.187>
18. Єрмакова І.Й., Ніколаєнко А.Ю., Богатьонкова А.І., Тадєєва Ю.П., Мультифункціональна інформаційна система моделювання термofізіологічного стану людини за екстремальних умов. *Cybernetics and Computer Engineering*. Київ. 2022, № 1 (207). С. 32–45. <https://doi.org/10.15407/kvt207.01.032>
19. Boutelier C., Bougues L., Timbal J. Experimental study of convective heat transfer coefficient for the human body in water. *Journal of Applied Physiology*. 1977. Vol. 42, No 1. P. 93–100.
20. Rostomily K.A., Jones D.M., Pautz C.M., Ito D.W., Buono M.J. Haemoconcentration, not decreased blood temperature, increases blood viscosity during cold water immersion. *Diving Hyperb Med*. 2020. Vol. 50(1). P. 24–27. <https://doi.org/10.28920/dhm50.1.24-27>

Отримано 26.06.2023

REFERENCES

1. Yermakova I., Montgomery L. Predictive Simulation of Physiological Responses for Swimmers in Cold Water. *2018 IEEE 38th International scientific conference electronics and nanotechnology (ELNANO)*. Kyiv, April 24–26, 2018, pp. 292–297. <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2018.8477523>.
2. Tipton M.J., Brooks C.J. The Dangers of Sudden Immersion in Cold Water. *Survival at Sea for Mariners, Aviators and Search and Rescue Personnel*. Brussels, Belgium. 2008. Chapter 3, pp. 1–10. ISBN 978-92-837-0084.
3. Locarnini M.M., Mishonov A.V., Baranova O.K., Boyer T.P., Zweng M.M., Garcia H.E., Smolyar I. World Ocean Atlas 2018. *NOAA Atlas NESDIS 81*. 2018, Vol. 1: Temperature, 52 p.
4. Competition Regulations. *World Aquatics*. Version in force of 5th July 2023, 543 p. URL: <https://www.worldaquatics.com/swimming/rules>
5. Dorosh N.V., Boyko O.V., Ilkanych K.I., Zayachkivska O.S., Basalkevych O.Y., Yermakova I.I., Dorosh O.I. M-health technology for personalized medicine. Development and modernization of medical science and practice: experience of Poland and prospects of Ukraine: Collective monograph. Vol.1. Lublin: Izdavnictvo «Baltija Publishing», 2017, pp. 66–855.
6. Gritsenko V.I., Yermakova I.I., Bogationkova A.I., Dorosh O.I. Information Technologies For Personalized m-Health. *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2016, № 2, pp. 87–90. (in Ukrainian).
7. Raimundo D. W. SwitP: Mobile Application for Real-Time Swimming Analysis. *Distributed Computing Group*. 2020, 22 p.
8. Yermakova I.I., Bogatonkova A.I., Nikolaienko A.Yu., Tadeeva J.P., Hrytsaiuk O.V., Solopchuk J.M. M-Health Technology for the Forecast of the Human Condition in Extreme Environmental Conditions. *Cybernetics and Computer Engineering*. Kyiv. 2021, № 3 (205), pp. 84–97. <https://doi.org/10.15407/kvt205.03.084> (in Ukrainian).

9. Beachsafe Website & App. URL: <https://www.surflifesaving.com.au/beach-safety/beachsafe-website/>
10. Shearwater Cloud Version 2.2.0 for Desktop and Mobile. URL: <https://www.shearwater.com/announcements/shearwater-cloud-version-2-2-0-for-desktop-and-mobile-is-now-available/>
11. Mobile operating systems' market share worldwide from 1st quarter 2009 to 2nd quarter 2023. URL: <https://www.statista.com/statistics/272698/global-market-share-held-by-mobile-operating-systems-since-2009/>
12. Android Developers. Guide to app architecture. URL: <https://developer.android.com/topic/architecture>
13. Kostiuk Y. Shestak Y. The transport layer of the ISO/OSI model in computer networks. *Commodities and markets*. 2021, Vol. 40 (4), pp. 49–58. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021\(4\)05](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021(4)05)
14. Heron S. Advanced encryption standard (AES). *Network Security*. 2009, Vol. 2009 (12), pp. 8–12. [https://doi.org/10.1016/S1353-4858\(10\)70006-4](https://doi.org/10.1016/S1353-4858(10)70006-4)
15. Andriani R., Wijayanti S.E., Wibowo F.W. Comparison of AES 128, 192 and 256 bit algorithm for encryption and decryption file. In *2018 3rd International Conference on Information Technology, Information System and Electrical Engineering (ICITISEE)*. Yogyakarta, Indonesia. November 13-14, 2018, pp. 120–124. <https://doi.org/10.1109/ICITISEE.2018.8720983>
16. Sury O. Use of the SHA-256 Algorithm With RSA, Digital Signature Algorithm (DSA), and Elliptic Curve DSA (ECDSA) in SSHFP Resource Records. *Request for Comments*. 2012, Vol. 6594, 9 p.
17. Yermakova I.I., Montgomery L.D., Potter A.W. Mathematical model of human responses to open air and water immersion: Modeling human thermoregulatory responses. *Journal of Sport and Human Performance*. 2022, Vol. 10(1), pp. 30–45. <https://doi.org/10.12922/jshp.v10i1.187>
18. Yermakova I.I., Nikolaienko A.Yu., Bogatonkova A.I., Tadeeva J.P. Multifunctional Information System for Modeling of Human Thermophysiological State in Extreme Environments. *Cybernetics and Computer Engineering*. Kyiv, 2022, № 1 (207), pp. 32–45. <https://doi.org/10.15407/kvt207.01.032> (in Ukrainian).
19. Boutelier C., Bougues L., Timbal J. Experimental study of convective heat transfer coefficient for the human body in water. *Journal of Applied Physiology*. 1977, Vol. 42, No 1, pp. 93–100.
21. Rostomily K.A., Jones D.M., Pautz C.M., Ito D.W., Buono M.J. Haemoconcentration, not decreased blood temperature, increases blood viscosity during cold water immersion. *Diving Hyperb Med*. 2020, Vol. 50(1), pp. 24–27. <https://doi.org/10.28920/dhm50.1.24-27>

Received 26.06.2023

Yermakova I.I.¹, 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

Nikolaienko A.Yu.², PhD (Engineering),

Assistant of the Department of Software Systems and Technologies
of the Faculty of Information Technology,

<https://orcid.org/0000-0002-2402-2947>, e-mail: n_nastja@ukr.net

Hrytsaiuk O.V.¹, PhD Student,

Junior Researcher of the Department of Complex Research of Information Technologies,

<https://orcid.org/0000-0002-9019-4894>, e-mail: olegval1@gmail.com

Kravchenko P.M.¹,

Senior Engineer of the Department of Complex Research of Information Technologies,

<https://orcid.org/0000-0001-8137-5063>, e-mail: paul.kravchenko@gmail.com

Dorosh O.I.¹,

Researcher of the Department of Complex Research of Information Technologies,

<https://orcid.org/0000-0003-2488-0500>, e-mail: olehdd@gmail.com

¹ 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. Glushkova av., Kyiv, 03187, Ukraine

² Taras Shevchenko National University of Kyiv,

60, Volodymyrska str., Kyiv, 01033, Ukraine

INFORMATION TECHNOLOGY FOR PREDICTING OF HUMAN THERMOPHYSIOLOGICAL STATE IN COLD WATER

Introduction. Cold water is extreme environment for humans, which is attributed to the high thermal conductivity and heat capacity of water. People whose activities involve prolonged exposure to water with a temperature below 25 °C are at risk of hypothermia. The average temperature of the ocean's surface waters fluctuates between 15 °C and 17 °C. Therefore, it's important to inform all individuals who work, travel, engage in sports or relax by the sea, lakes or rivers in any region of the world about the risk of hypothermia.

As of today, there are numerous mobile applications in the field of healthcare, but there is a lack of technology capable of preemptively alerting individuals to adverse conditions in water environments and providing appropriate recommendations.

The purpose of the paper is to assess the safety of human presence in cold water using mobile technologies and mathematical models of human physiological systems.

Results. An informational technology for predicting of human thermophysiological state in cold water has been developed with a client-server architecture. A key feature of this technology is the inclusion of modern mathematical models of human thermoregulation and heat exchange on server, which enable the consideration of environmental characteristics, physical activity, protective clothing, immersion level, and duration of human exposure to water.

Conclusions. The proposed informational technology allows for the early detection of potential risks of hypothermia and provides recommendations for maintaining human health during cold water exposure. The utilization of the developed informational technology can prove valuable in the realm of healthcare for evaluating physiological reserves of the body and determining a safe duration for human presence in cold water.

Keywords: informational technology, human thermoregulation model, risks of health, mobile applications, water environment, physical activity, protective clothing.