
DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt200.02.027>

УДК 004.942:001.57+004.03+519.85+612.5

ЄРМАКОВА І.Й., проф., д-р біол. наук,
пров. наук. співроб. відд. комплексних досліджень інформаційних технологій,
керівник тематичної групи «Мобільне здоров'я. Методи та засоби»
e-mail: irena.yermakova@gmail.com

НИКОЛАЄНКО А.Ю., канд. техн. наук,
наук. співроб. відд. комплексних досліджень інформаційних технологій.
e-mail: n_nastja@ukr.net

БОГАТЬОНКОВА А.І., канд. техн. наук,
старш. наук. співроб. відд. комплексних досліджень інформаційних технологій
e-mail: bogatonkova@gmail.com

ГРИЦАЮК О.В.,
молодш. наук. співроб.,
відд. комплексних досліджень інформаційних технологій
e-mail: olegval1@gmail.com

КРАВЧЕНКО П.М.,
пров. інженер відд. комплексних досліджень інформаційних технологій
e-mail: paul.kravchenko@gmail.com

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

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЛЮДИНИ ЗА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВ

***Вступ.** Перебування людини в холодній воді належить до екстремальних впливів. Через високу теплопровідність і теплоємність вода є екстремальним фактором швидкого охолодження організму. Для безпечного плавання і роботи людини у холодній воді використовують спеціальне захисне спорядження — гідрокостюми. Метод математичного моделювання дає змогу дослідити процеси теплообміну між людиною і водним середовищем з урахуванням умов довкілля, рівня фізичної активності та характеристик гідрокостюма.*

***Метою статті** є розроблення інформаційної технології оцінювання та прогнозування термофізіологічного стану людини для безпечного перебування у водному середовищі. Для цього було розроблено комп'ютерний модуль впливу захисного одягу на тепловий стан людини.*

***Результати.** Запропоновано інформаційну технологію прогнозування стану людини за екстремальних умов у воді. Розроблено комп'ютерний модуль прогнозування та оцінювання термофізіологічного стану людини у гідрокостюмі. Модуль побудовано на основі комплексу математичних моделей фізіологічних процесів терморегуляції людини в екстремальних умовах середовища. Доведено адекватність математичних моделей шляхом порівняння результатів моделювання зі спостереженнями на людях. Це дає змогу стверджувати, що розроблена з використанням цих моделей інформаційна технологія, а та-*

© ЄРМАКОВА І.Й., НИКОЛАЄНКО А.Ю., БОГАТЬОНКОВА А.І., ГРИЦАЮК О.В., КРАВЧЕНКО П.М., 2020

ISSN 2663-2586 (Online), ISSN 2663-2578 (Print). Сyb. and comp. eng. 2020. № 2 (200)

27

коже комп'ютерний модуль можуть бути застосовані для виконання теоретичних і практичних завдань, пов'язаних з забезпеченням здоров'я людини у холодній воді.

За допомогою розробленого комп'ютерного модуля проведено модельні дослідження впливу конструкції гідрокостюма на терморегуляцію людини у воді. Було досліджено два гідрокостюми: з короткими рукавами і короткими штанинами та з довгими рукавами і довгими штанинами. Отримано прогноз і проведено аналіз термофізіологічного стану людини, яка протягом години пливе зі швидкістю 1 м/с у воді температурою від 10 °С до 26 °С.

Висновки. Інформаційна технологія прогнозування термофізіологічного стану людини дає змогу дослідити вплив захисного костюма різної конструкції на терморегуляцію людини. Показано, що вибір гідрокостюма можливо робити тільки з одночасним урахуванням температури води та запланованого фізичного навантаження, в іншому разі можливі помилки, які призведуть до порушення теплового комфорту у разі перебування людини у воді.

Ключові слова: модель терморегуляції людини, інформаційна технологія, комп'ютерний модуль, екстремальні впливи, водне середовище, гідрокостюм.

ВСТУП

Перебування людини в холодній воді належить до екстремальних впливів. Через високу теплопровідність і теплоємність вода є екстремальним фактором швидкого охолодження організму. Тому раптове потрапляння в холодну воду небезпечно для життя і здоров'я людини. За умови несподіваного потрапляння в холодну воду, коли потерпілим необхідно дочекатися рятувальних служб, рекомендують зберігати спокій, не рухатись (якщо в цьому немає крайньої потреби) і прийняти таке положення тіла, щоб якомога менша його площа контактувала з водою [1]. Холодна вода є також небезпечним фактором ризику для плавців, незважаючи на інтенсивність фізичної активності. У разі тривалого перебування людини без спеціального захисного одягу у воді, температура якої нижче за 25 °С, є загроза переохолодження [2]. Падіння температури ядра тіла нижче за 35 °С є небезпечним для здоров'я людини і визначається як переохолодження.

Для безпечного плавання і роботи людини у холодній воді використовуються спеціальне захисне спорядження — гідрокостюми. Під час проведення змагань з плавання у відкритих водоймах для уникнення можливого переохолодження спортсменів зобов'язують використовувати гідрокостюми [3, 4]. Залежно від температури води, виду діяльності і запланованого часу перебування людини у воді використовують гідрокостюми мокрого чи сухого типу. Найбільш поширеними гідрокостюмами є гідрокостюми мокрого типу. Вони виготовляються зі спеціального матеріалу — неопрену. Щодо конструкції, то зазвичай їх виготовляють з рукавами і штанинами різної довжини [5].

На сьогоднішній день розроблено і продовжується створення математичних моделей терморегуляції людини [6, 7, 8]. Проте більшість з них описують теплообмін людини з повітряним середовищем і лише незначна кількість моделей може бути використана для занурення людини у воду. Нестача фізіологічних експериментальних даних, недостатньо вивчені процеси теплообміну людини з водою і процеси утворення додаткового тепла за рахунок холодового тремтіння скелетних м'язів є важливими проблемами у розробленні, налаштуванні та доказуванні адекватності математичних моделей терморегуляції людини у воді.

Вперше математичну модель терморегуляції людини у воді запропонував L.D. Montgomery [9]. В цій моделі шкіра людини повністю захищена гідрокостюмом, математично описано кондуктивну передачу тепла від шкіри до гідрокостюма і кондуктивно-конвективне відведення тепла з поверхні гідрокостюма у воду. В моделі L.D. Montgomery не враховано можливість контактування шкіри безпосередньо з водою і можливість часткового занурення тіла людини у воду. N.C. Miller і R.C. Seagrave розробили також модель терморегуляції людини під час занурення у ванну з водою [10]. Автори не враховували підшкірний жировий шар у тілі людини і не врахували захисний одяг. P. Tikuisis та співавтори розробили модель прогнозування фізіологічних реакцій людини під час занурення в холодну воду [11, 12]. Ця модель розраховує температуру тіла людини, збільшення теплопродукції за рахунок холодового тремтіння скелетних м'язів та конвективні втрати тепла з поверхні тіла людини. В цій моделі враховано товщину жирового шару у тілі людини, захисний гідрокостюм не враховано.

Метою статті є розроблення інформаційної технології оцінювання та прогнозування термофізіологічного стану людини для безпечного перебування у водному середовищі. Для цього розроблено комп'ютерний модуль впливу захисного одягу на тепловий стан людини.

КОМП'ЮТЕРНИЙ МОДУЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ НА ТЕПЛОВИЙ СТАН ЛЮДИНИ

В основу інформаційної технології та розробленого модуля прогнозування термофізіологічного стану людини у воді покладено комплекс математичних моделей терморегуляції людини під час занурення у воду. Моделі описують процеси теплопродукції, передачу тепла між тканинами і органами, участь системи кровообігу в процесах перенесення тепла в організмі людини, теплообмін людини з повітряним і водним середовищами, процеси адаптації до зміни умов навколишнього середовища і рівня фізичної активності та вплив одягу/захисного спорядження на теплообмін з довкіллям [13].

Розроблено програмне забезпечення (software) для проведення модельних досліджень термофізіологічного стану людини у воді. На рис. 1 надано інтерфейс розробленого модуля для вибору умов перебування людини у водному середовищі. Модуль враховує: температуру води, тривалість перебування, коефіцієнт теплообміну конвекцією у воді, потужність і вид фізичної активності людини, рівень занурення людини у воду і, як наслідок, характеристики повітряного середовища у разі неповного занурення, характеристики та конструкцію гідрокостюма.

Видом фізичної активності людини у воді може бути стан спокою, утримання тіла на поверхні води, ходіння по пояс у воді і плавання. Фізична діяльність задається ефективністю роботи і коефіцієнтами пропорційності, які відображають відносну участь груп скелетних м'язів тіла. Передбачено можливість вибору стилю плавання, наприклад, вільний стиль, брас, кроль, батерфляй, на спині.

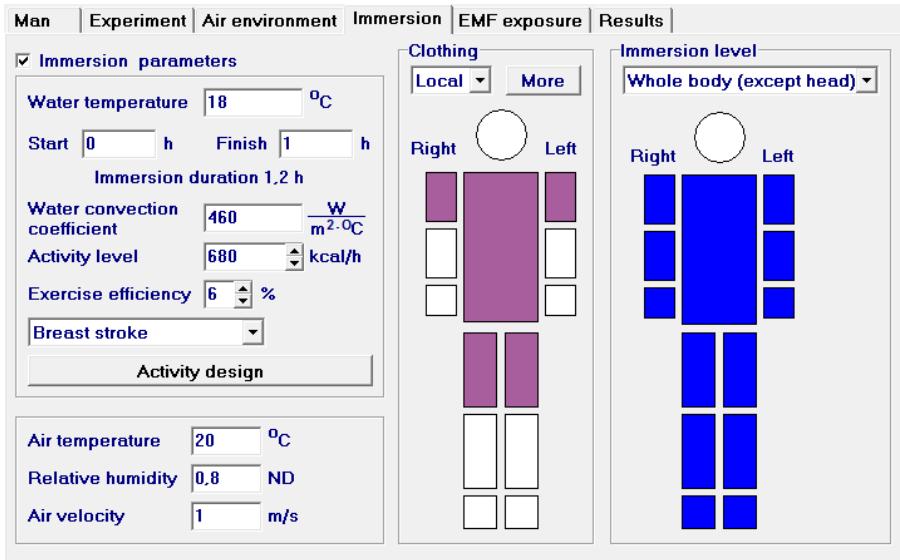


Рис. 1. Інтерфейс модуля для вибору умов перебування людини у воді

Розроблений модуль надає можливість оцінити термофізіологічний стан людини та надати безпечний термін перебування у воді в заданих умовах. Вихідними даними модельних досліджень є характеристики термофізіологічного стану людини — динамічні зміни температур органів і крові людини, об’ємна швидкість крові всіх частин тіла, швидкість метаболічних процесів, теплові потоки, потовиділення, серцевий викид, частота серцевих скорочень, ударний об’єм крові тощо. Модельні дослідження дають змогу заздалегідь оцінити безпечність вибраних умов і попередити ризики порушення стану здоров’я людини.

АНАЛІЗ АДЕКВАТНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕРМОРЕГУЛЯТОРНИХ РЕАКЦІЙ ЛЮДИНИ У ВОДІ

Необхідним кроком у розробленні та використанні математичних моделей є доказ адекватності. Результати нашої роботи було порівняно і скориговано з результатами спостережень на людях, отриманими Н. Wakabayashi та співавторами [14]. Вони у своєму дослідженні оцінювали вплив гідрокостюма порівнянно зі звичайними плавками на метаболічні процеси та температуру тіла людини. Протягом усього часу перебування людини у воді авторами було здійснено моніторинг внутрішньої температури та температури шкіри. Внутрішню температуру тіла вимірювали за допомогою термісторного зонду у стравоході людини, а температуру шкіри за допомогою терморезисторних сенсорів, які кріпилися до грудної клітини, стегна, гомілки, плеча та передпліччя. Середню температуру шкіри (\bar{T}_{sk}) за температурами п’яти вказаних ділянок розраховували за формулою [15]:

$$\bar{T}_{sk} = 0,28 \cdot T_{chest} + 0,28 \cdot T_{thigh} + 0,22 \cdot T_{calf} + 0,14 \cdot T_{forearm} + 0,08 \cdot T_{arm},$$

де: T — температура, °С; індекси: sk — шкіра, $chest$ — грудна клітина, $thigh$ — стегно, $calf$ — гомілка, $forearm$ — плече, arm — передпліччя.

У дослідженні [14] брали участь 10 молодих та здорових чоловіків, середні фізіологічні характеристики яких: вік 24 роки, зріст 173 см, маса 66 кг, співвідношення жиру (%BF) 17 % від загальної маси тіла, загальна площа поверхні шкіри 1,79 м². Спочатку людина, одягнена тільки у плавки, 10 хвилин перебувала у спокої на повітрі, а потім 60 хвилин сиділа на стільці в спеціальному резервуарі по шию у воді. Швидкість циркулювання води в резервуарі 50 л/хв. Температуру води і температуру повітря підтримували близько 26 °С, відносна вологість повітря ≈ 66 %.

Порівнювали зміни термofізіологічного стану людини у разі використання двох видів одягу: людина перебувала у воді в плавках або в гідрокостюмі. Плавки, зроблені з дуже тонкої тканини, прикривали лише близько 5 % поверхні, тому їхніми термоізоляційними властивостями можна знехтувати. Гідрокостюм надягався безпосередньо перед входженням у воду. Використовувався гідрокостюм «мокрого» типу, матеріал — неопрен, покритий нейлоном, товщиною 2 мм. Ансамбль складався з куртки з короткими рукавами та штанів з короткими штанинами, гідрокостюм покривав приблизно 61 % шкіри людини.

Проведено порівняння результатів дослідження за допомогою розробленого комплексу моделей зі спостереженнями на людях. Динаміка температури внутрішніх органів людини у воді, отримана за розробленими моделями, узгоджується з виміряними даними температури в стравоході людини, які отримано Н. Wakabayashi та співавторами [14], для обох умов (Табл. 1, Рис. 2).

Усталене значення середньої температури шкіри людини у воді, розраховане за розробленими моделями терморегуляції людини, збігається з виміряними даними, які отримано Н. Wakabayashi та співавторами [14], для обох умов (Табл. 1, Рис. 3).

Таблиця 1. Порівняння модельних результатів зі спостереженнями на людях

	Середньоквадратичне відхилення, °С	
	в гідрокостюмі	в плавках
За температурою внутрішніх органів	0,100	0,064
За середньою температурою шкіри	0,378	0,162

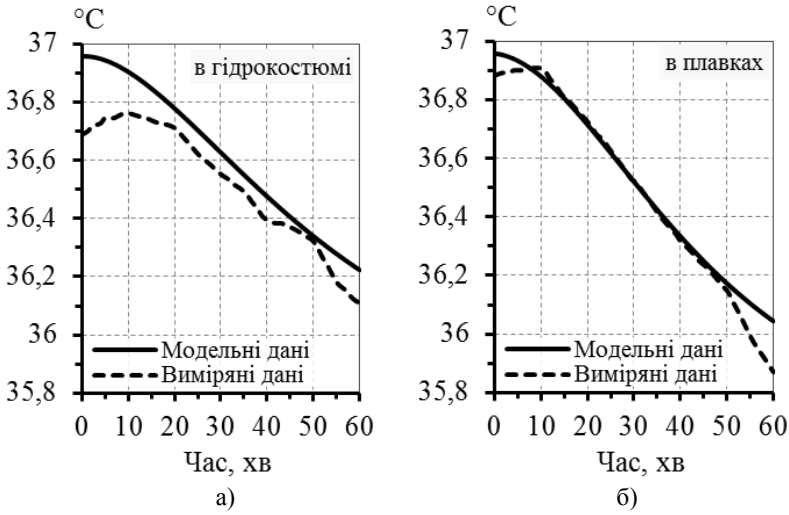


Рис. 2. Динаміка температури внутрішніх органів людини у воді в гідрокостюмі (а) і в плавках (б)

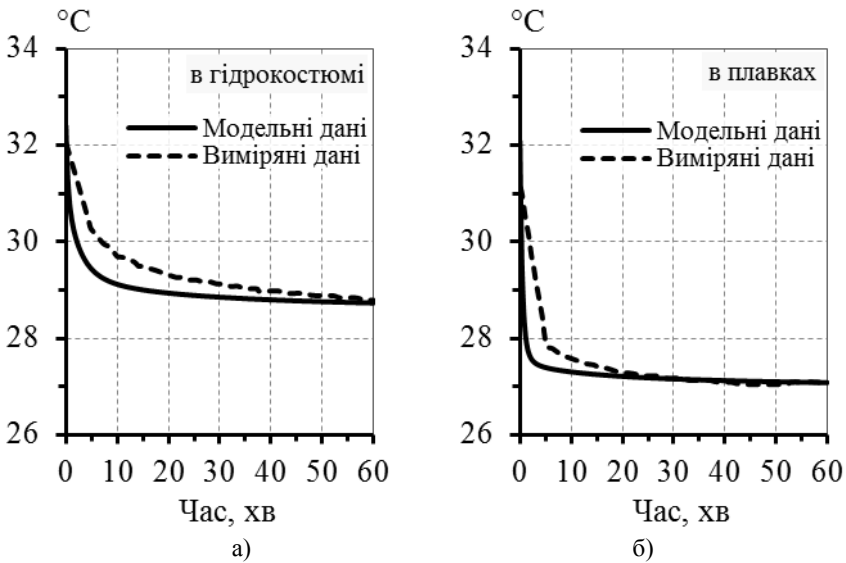


Рис. 3. Динаміка середньої температури шкіри людини у воді в гідрокостюмі (а) і в плавках (б)

Узгодженість результатів моделювання з вимірюваннями на людях підтверджує адекватність математичних моделей. Це дає змогу стверджувати, що розроблений комп'ютерний модуль прогнозування термофізіологічного стану людини у воді може бути застосовано для виконання теоретичних і практичних завдань, пов'язаних з прогнозуванням змін стану людини у холодній воді [16].

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведено модельні дослідження впливу гідрокостюма на термофізіологічний стан людини. Умови: людина в гідрокостюмі пливе зі швидкістю 1 м/с, утримуючи голову над водою. Інтенсивність фізичної активності 680 ккал/год, ефективність роботи 6 %, тривалість плавання 1 година. Температура води $10\text{ }^{\circ}\text{C}\div 26\text{ }^{\circ}\text{C}$; коефіцієнт теплообміну конвекцією у воді $460\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$. Характеристики повітря: температура $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, відносна вологість 80 %, швидкість руху повітря 0,1 м/с. Характеристики людини: чоловік, 25 років, маса 70 кг, зріст 170 см, площа поверхні тіла $1,79\text{ м}^2$, співвідношення жиру (%BF) 15 % від загальної маси тіла. Характеристики гідрокостюма: склад 100 % неопрен, товщина 3 мм, щільність $170\text{ кг}/\text{м}^3$, теплоізоляція матеріалу $0,058\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. Було досліджено два гідрокостюми: з короткими рукавами і короткими штанинами (короткий) та з довгими рукавами і довгими штанинами (довгий). Маса короткого гідрокостюма 0,58 кг, площа $1,14\text{ м}^2$, маса довгого гідрокостюма 0,76 кг, площа поверхні $1,49\text{ м}^2$. Під час плавання людини в «короткому» гідрокостюмі площа шкіри, яка контактує з водою, складає $0,54\text{ м}^2$, а в «довгому» гідрокостюмі – $0,2\text{ м}^2$, що в 2,7 рази менше.

Аналіз середньої температури шкіри людини за годину плавання зі швидкістю 1 м/с за температури води від $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ показав, що за температури води $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище людині комфортніше в «короткому» гідрокостюмі, а за температури води нижче за $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ — у «довгому» (Рис. 4).

Після входження у воду організм людини миттєво реагує на холод звуженням кровоносних судин у шкірі і терморегуляторним тонусом або тремтінням у скелетних м'язах тіла. Найбільше тремтіння на початку плавання спостерігається за температури води $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ у людини в «короткому» гідрокостюмі, коли холодова теплопродукція зростає до 77 ккал/год, але вже через 22 хвилини тремтіння припиняється, холодова теплопродукція за рахунок тонусу м'язів стає менше 20 ккал/год (Рис. 5).

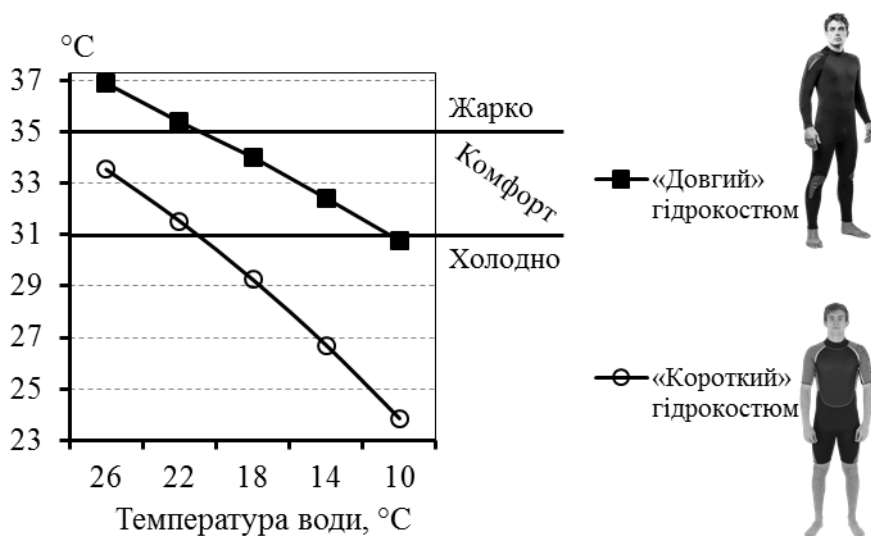


Рис. 4. Середня температура шкіри людини через годину плавання у «короткому» і «довгому» гідрокостюмі залежно від температури води

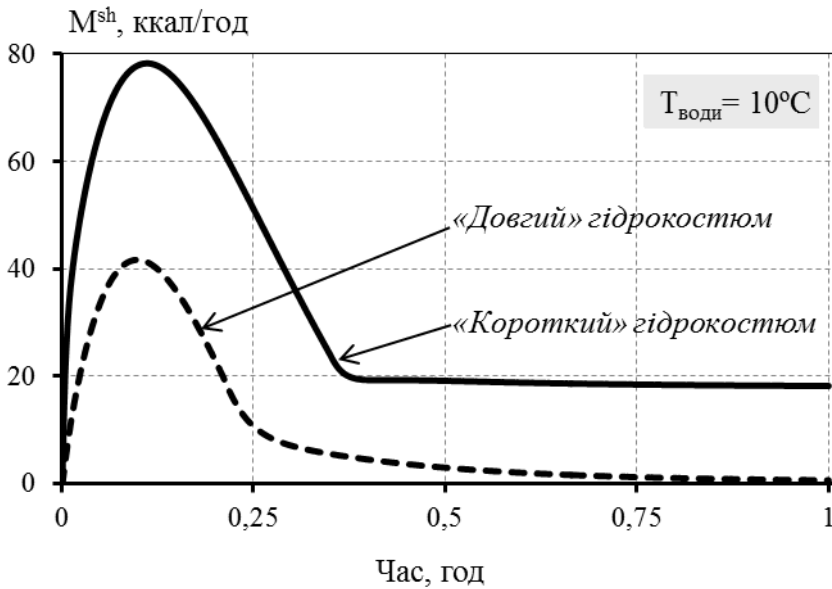


Рис. 5. Динаміка холодового тремтіння скелетних м'язів людини під час плавання у «короткому» та «довгому» гідрокостюмах

Слабко виражена терморегуляторна реакція пояснюється тим, що під час плавання в організмі людини виробляється тепло, яке компенсує втрати тепла шляхом конвекції у воду. Об'ємна швидкість крові у судинах шкіри, яка спочатку падає до 1 л/год, починає збільшуватись, щоб відвести надлишок тепла (Рис. 6). Найменша у заданих умовах об'ємна швидкість крові у судинах шкіри спостерігається за температури води 10°C у людини в «короткому» гідрокостюмі, що лише через 22 хвилини після початку плавання відновлюється до базової 11 л/год і тримається на одному рівні до закінчення плавання. У «довгому» гідрокостюмі об'ємна швидкість крові у судинах шкіри відновлюється до базової через 13 хвилин після початку плавання і поступово зростає до 56 л/год до закінчення плавання (Рис. 6а).

За температури води 26°C у людини в «короткому» гідрокостюмі об'ємна швидкість крові у судинах шкіри відновлюється до базової через 8 хвилин після початку плавання і поступово зростає до 113 л/год до закінчення плавання (Рис. 6б). У «довгому» гідрокостюмі об'ємна швидкість крові у судинах шкіри відновлюється до базової через 7 хвилин після початку плавання і стрімко зростає до максимальної 280 л/год, що спричиняє додаткове навантаження на серце. За температури води 26°C у людини в «довгому» гідрокостюмі частота серцевих скорочень (ЧСС) на 27 уд/хв більше, а серцевий викид (СВ) на 2,7 л/хв більше, ніж у «короткому» (Табл. 2).

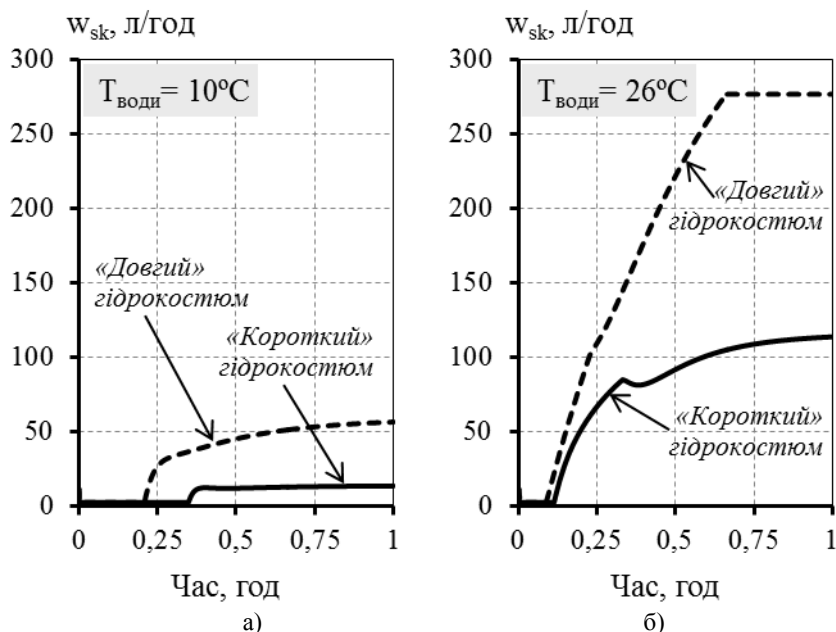


Рис. 6. Динаміка об'ємної швидкості крові у судинах шкіри людини під час плавання в «короткому» та «довгому» гідрокостюмі для температури води 10°C (а) і 26°C (б)

Таблиця 2. Температура ядра тіла ($T_{\text{ядра}}$), частота серцевих скорочень (ЧСС) та серцевий викид (СВ) людини через годину плавання в «короткому» і «довгому» гідрокостюмі залежно від температури води

	Гідрокостюм	10°C	14°C	18°C	22°C	26°C
$T_{\text{ядра}}, ^\circ\text{C}$.	«короткий»	37,8	37,8	37,7	37,7	37,9
	«довгий»	37,7	37,9	38,1	38,5	39,2
ЧСС, уд/хв.	«короткий»	159	157	156	157	161
	«довгий»	156	160	164	171	188
СВ, л/хв.	«короткий»	9,1	9,3	9,5	9,9	10,7
	«довгий»	9,8	10,2	11,1	12,3	13,4

У «довгому» гідрокостюмі протягом години плавання зі швидкістю 1 м/с людина не відчуває холоду. Внутрішня температура тіла людини (Табл. 2, $T_{\text{ядра}}$) збільшується протягом всього перебування у воді для всього діапазону температур, крім температури води 10°C , за якої температура внутрішніх органів людини через 14 хвилин виходить на усталений режим $37,7^\circ\text{C}$ (Рис. 7а).

В «короткому» гідрокостюмі температура ядра тіла людини за півгодини виходить на усталений режим $37,7\text{--}37,8^\circ\text{C}$ (Табл. 2) для всього діапазону температур, крім температури води 26°C , за якої внутрішня температура зростає повільніше і виходить на усталений режим $37,9^\circ\text{C}$ ближче до завершення плавання (Рис. 7б).

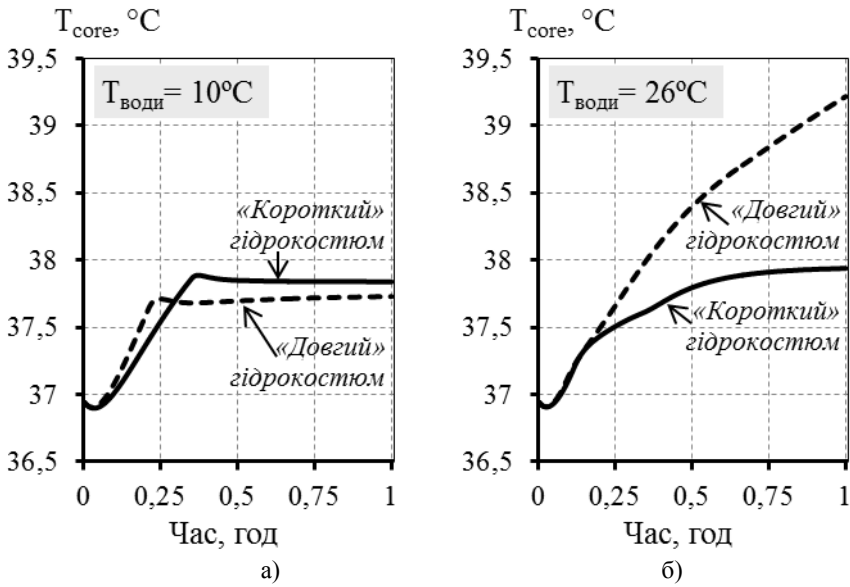


Рис. 7. Динаміка температури внутрішніх органів людини під час плавання у «короткому» та «довгому» гідрокостюмі для температури води 10°C (а) і 26°C (б)

За допомогою розробленого комп'ютерного модуля можливо отримати попередній прогноз термофізіологічного стану плавця залежно від температури води і конструкції гідрокостюма. За температури води 22°C і вище у людини через годину плавання зі швидкістю 1 м/с у «довгому» гідрокостюмі виникає загроза перегрівання, за таких умов рекомендується використовувати «короткий» гідрокостюм або зменшити час та швидкість плавання. За температури води 18°C і нижче рекомендується використовувати гідрокостюм з довгими рукавами і довгими штанинами.

ВИСНОВКИ

Інформаційна технологія прогнозування термофізіологічного стану людини дає змогу дослідити вплив захисного костюма різної конструкції на терморегуляцію людини. Показано, що вибір гідрокостюма можливо робити тільки з одночасним урахуванням температури води та запланованого фізичного навантаження, в іншому разі можливі помилки, які призведуть до порушення теплового комфорту у разі перебування людини у воді.

Доведена адекватність математичних моделей терморегуляції людини у воді дає змогу стверджувати, що розроблена з їх використанням інформаційна технологія та комп'ютерний модуль прогнозування термофізіологічного стану людини у воді можуть бути застосовані для виконання практичних завдань.

ЛІТЕРАТУРА

1. American Red Cross. *Swimming and Water Safety*, 3rd ed. 2009. Chapter 3. P. 43–64. ISBN 978-1-58480-446-8.
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. Tipton M., Bradford C. Moving in extreme environments: open water swimming in cold and warm water. *Extreme physiology & medicine*. 2014. Vol. 3, № 1. P. 12.
4. Yermakova I., Montgomery L. Predictive Simulation of Physiological Responses for Swimmers in Cold Water. *Proceedings of the 38th International scientific conference electronics and nanotechnology*. Institute of Electrical and Electronics Engineers. (24–26th of Apr, 2018, Kyiv). Kyiv, Ukraine. 2018. P. 292–297.
5. Гаврилова О.Е., Никитина Л.Л. Выбор конструктивных решений и полимерных материалов для одежды, используемой в водной среде. *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18, № 13. С. 153–155.
6. Гриценко В.И., Ермакова И.И., Духновская К.К., Тадеева Ю.П. Динамические модели и информационные технологии для прогноза жизнедеятельности человека. *Управляющие Системы и Машины*. 2004. Вып 2. С. 56–60.
7. Enescu D. Models and Indicators to Assess Thermal Sensation Under Steady-State and Transient Conditions. *Energies*. 2019. Vol. 12, Iss. 5, № 841. P. 1–43.
8. Parsons K. Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance. CRC press. 2002. Second Edition. 560 p.
9. Montgomery L.D. A model of heat transfer in immersed man. *Annals of biomedical engineering*. 1974. Vol. 2, № 1. P. 19–46.
10. Miller N.C., Seagrave R.C. A model of human thermoregulation during water immersion. *Computers in biology and medicine*. 1974. Vol. 4, № 2. P. 165–182.
11. Tikuisis P., Gonzalez R.R., Pandolf K.B. Thermoregulatory model for immersion of humans in cold water. *Journal of Applied Physiology*. 1988. Vol. 64, № 2. P. 719–727.
12. Tikuisis P., Gonzalez R.R., Pandolf K.B. Prediction of human thermoregulatory responses and endurance time in water at 20 and 24 degrees C. *Aviation, space, and environmental medicine*. 1988. Vol. 59, № 8. P. 742–748.
13. Ермакова И.И., Солопчук Ю.Н. Компьютерная модель терморегуляции человека при погружении в воду. Кибернетика и вычислительная техника. Вып. 172. — Киев, 2013, с. 39–48. ISSN 0452-9910.
14. Wakabayashi H., Hanai A., Yokoyama S., Nomura T. Thermal insulation and body temperature wearing a thermal swimsuit during water immersion. *Journal of physiological anthropology*. 2006. Vol. 25, № 5. P. 331–338.
15. Toner M. M., Sawka M. N., Holden W. L., Pandolf K. B. Comparison of thermal responses between rest and leg exercise in water. *Journal of Applied Physiology*. 1985. Vol. 59, № 1. P. 248–253.
16. Yermakova I., Nikolaienko A., Tadeieva J., Montgomery L. Protective effect of wetsuits for swimmers in cold water: modelling results. *Proceedings of the 7th European conference on protective clothing (ECPC 2016)*. Izmir, Turkey. May 23-25, 2016. P. 57–58.

Отримано 13.02.2020

REFERENCES

1. American Red Cross. *Swimming and Water Safety*, 3rd ed. 2009. Chapter 3. P. 43–64. ISBN 978-1-58480-446-8
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. Tipton M., Bradford C. Moving in extreme environments: open water swimming in cold and warm water. *Extreme physiology & medicine*. 2014. Vol. 3, № 1. P. 12.

4. Yermakova I., Montgomery L. Predictive Simulation of Physiological Responses for Swimmers in Cold Water. *Proceedings of the 38th International scientific conference electronics and nanotechnology*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, (24–26th of Apr, 2018, Kyiv). Kyiv, Ukraine, 2018, pp. 292–297.
5. Gavrilova O.E., Nikitina L.L. The choice of constructive decisions and polymeric materials for clothing used in the water. *Vestnik of the Kazan Technological University*. 2015. Vol. 18, № 13. P. 153–155. (in Russian)
6. Gritsenko V., Yermakova I., Dukhnovskaya K., Tadejeva J. Dynamic models and information technologies for prediction of human vital functions. *Control Systems and Computers*, 2004, vol. 2, pp. 56–60. (in Russian)
7. Enescu D. Models and Indicators to Assess Thermal Sensation Under Steady-State and Transient Conditions. *Energies*. 2019. Vol. 12, Iss. 5, № 841. P. 1–43.
8. Parsons K. Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance. CRC press. 2002. Second Edition. 560 p.
9. Montgomery L.D. A model of heat transfer in immersed man. *Annals of biomedical engineering*. 1974. Vol. 2, № 1. P. 19–46.
10. Miller N.C., Seagrave R.C. A model of human thermoregulation during water immersion. *Computers in biology and medicine*. 1974. Vol. 4, № 2. P. 165–182.
11. Tikuisis P., Gonzalez R.R., Pandolf K.B. Thermoregulatory model for immersion of humans in cold water. *Journal of Applied Physiology*. 1988. Vol. 64, № 2. P. 719–727.
12. Tikuisis P., Gonzalez R.R., Pandolf K.B. Prediction of human thermoregulatory responses and endurance time in water at 20 and 24 degrees C. *Aviation, space, and environmental medicine*. 1988. Vol. 59, № 8. P. 742–748.
13. Yermakova I., Solopchuk Y. Computer model of human thermoregulation during water immersion. *Kibernetika i vyčislitelnaâ tehnika*. 2013. Vol. 172. pp. 39–48. (in Russian).
14. Wakabayashi H., Hanai A., Yokoyama S., Nomura T. Thermal insulation and body temperature wearing a thermal swimsuit during water immersion. *Journal of physiological anthropology*. 2006. Vol. 25, № 5. P. 331–338.
15. Toner M. M., Sawka M. N., Holden W. L., Pandolf K. B. Comparison of thermal responses between rest and leg exercise in water. *Journal of Applied Physiology*. 1985. Vol. 59, № 1. P. 248–253.
16. Yermakova I., Nikolaienko A., Tadeieva J., Montgomery L. Protective effect of wetsuits for swimmers in cold water: modelling results. *Proceedings of the 7th European conference on protective clothing (ECPC 2016)*. Izmir, Turkey. May 23-25, 2016. P. 57–58.

Received 13.02.2020

Yermakova I.I., DSc (Biology), Professor
Leading Researcher of Complex Research of Information Technologies Department
e-mail: irena.yermakova@gmail.com

Nikolaienko A.Y., Ph.D. (Engineering),
Researcher of Complex Research of Information Technologies Department
e-mail: n_nastja@ukr.net

Bogatonkova A.I., Ph.D. (Engineering),
Senior Researcher of Complex Research of Information Technologies Department
e-mail: bogatonkova@gmail.com

Hrytsaiuk O.V.,
Junior Researcher of Complex Research of Information Technologies Department
e-mail: olegval1@gmail.com

Kravchenko P.M.,
Senior Engineer of Complex Research of Information Technologies Department
e-mail: paul.kravchenko@gmail.com

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

INFORMATION TECHNOLOGY FOR PREDICTION OF HUMAN STATE IN EXTREME ENVIRONMENTS

Introduction. Being in cold water refers to extreme effects. Due to its high thermal conductivity and heat capacity, water is an extreme factor for rapid cooling of the body. For the safe swimming and working of a man in cold water special protective equipment — wetsuits is used. The method of mathematical modeling makes it possible to study the processes of heat exchange between human and water environment, taking into account environmental conditions, level of physical activity and wetsuit characteristics.

The purpose of the paper is to develop information technology for evaluation and prediction of human thermophysiological state for safe staying in the water. As a result computer module for influence of protective clothing on human thermal state has been developed.

Results. The information technology for prediction of human state in extreme conditions in water is proposed. The computer module for prediction and evaluation of human thermophysiological state in a wetsuit has been developed. This module is based on a complex of mathematical models of human thermoregulation in extreme environments. The adequacy of mathematical models is proved by comparing the modeling results with observations on people. This suggests that the information technology and computer module can be applied to perform theoretical and practical tasks related to human health in cold water.

With the help of the developed computer module modeling experiments of influence of the design of a wetsuit on the thermoregulation of person in water were held. Two wetsuits were researched: short sleeves and short trousers and long sleeves and long trousers. Were obtained the forecast and the analysis of thermophysiological state of swimming man, duration was one hour, speed was 1 m/s, temperature of water from 10 °C to 26 °C.

Conclusions. The information technology for predicting thermophysiological state of a man allows to investigate the influence of a protective suit of different design on the thermoregulation of a human body. It's shown that the choice of wetsuit can be made only in combination with temperature of water and planned physical activity, otherwise mistakes can lead to a violation of thermal comfort in the case of human' being in water.

Keywords: *model of human thermoregulation, information technology, computer module, extreme conditions, water environment, wetsuit.*

Єрмакова І.І., проф., д-р. биол. наук.,

вед. науч. сотр. отд. комплексных исследований информационных технологий

e-mail: irena.yermakova@gmail.com

Николаєнко А.Ю., канд.техн. наук,

науч. сотр. отд. комплексных исследований информационных технологий

e-mail: n_nastja@ukr.net

Богатёнкова А.І., канд.техн. наук,

старш. науч. сотр. отд. комплексных исследований информационных технологий

e-mail: bogatonkova@gmail.com

Грицаюк О.В.,

младш. науч. сотр. отд. комплексных исследований информационных технологий

e-mail: olegval1@gmail.com

Кравченко П.Н.,

вед. инженер отд. комплексных исследований информационных технологий

e-mail: paul.kravchenko@gmail.com

Международный научно-учебный центр информационных

технологий и систем НАН Украины и МОН Украины,

пр. Акад. Глушкова, 40, 03187, г. Киев, Украина

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Предложена информационная технология прогноза состояния человека в экстремальных условиях в воде. Разработан компьютерный модуль прогноза и оценки термофизиологического состояния человека в гидрокостюме. Модуль построен на базе комплекса математических моделей физиологических процессов терморегуляции человека в экстремальных условиях среды. Доказана адекватность математических моделей путем сравнения результатов моделирования с наблюдениями на людях. Информационная технология позволяет предсказать изменение функционального состояния человека, рассчитать безопасный срок пребывания человека в воде, предварительно проверить условия будущих соревнований, определить необходимость применения защитного костюма и выбрать его характеристики и конструкцию для исследуемых условий.

Ключевые слова: модель терморегуляции человека, информационная технология, компьютерный модуль, экстремальные воздействия, водная среда, гидрокостюм.