

УДК 614.842.86

<https://doi.org/10.31474/1999-981X-2026-1-74-83>

О.А. Гаврилко  
Ю.Ю. Дендаренко  
Ю.М. Сенчихін  
Д.С. Федоренко

## ЕНЕРГЕТИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА РЯТУВАЛЬНИКІВ ПРИ ВЕДЕННІ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ

**Мета.** Дослідити параметри енергетичних навантажень на тіло пожежника-рятувальника при веденні пожежно-рятувальних робіт при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій; проаналізувати види і параметри енергетичних навантажень на тіло рятувальника; дослідити енергетичні процеси в організмі людини при екстремальних роботах; визначити енерговитрати організму рятувальників (членів ланок ГДЗС) при русі з вантажем на місцевості; встановити математичну залежність між масою вантажу, що переноситься, і енерговитратами при русі людини по горизонтальній поверхні.

**Методи.** Методи математичної обробки статистичних даних з використанням програми «Статистика».

**Результати.** Встановлено залежності енерговитрат членів ланок підрозділів від факторів, що впливають при різних енергетичних навантаженнях у вигляді рівнянь з подальшим автоматизованим обліком результатів в програмі «Термоерг». Встановлено, що за рахунок більшої тривалого часу роботи пожежників-рятувальників в захисному костюмі у них відзначалися менші швидкості приросту температури тіла за використанням пакету охолодження, середньої температури тіла рятувальника, теплонакопичення, середньозваженої температури шкіри, вологовтрати. Отримані дані величин швидкості зміни теплового стану організму свідчать про покращення теплової стійкості рятувальників за допомогою регулярних тренувань у теплодимокамері та на свіжому у захисному костюмі. Завдяки раціональному функціонуванню механізмів терморегуляції за допомогою охолоджуючих контейнерів значно підвищується час роботи в умовах гіпертермії.

**Наукова новизна.** Вперше розроблена комп'ютерна модель ефективного та безпечного ведення робіт підрозділами ДПРЧ-ДПРЗ ДСНС в екстремальних мікрокліматичних умовах на командному пункті; визначено тривалість роботи, основою якої є тепловий баланс системи «довкілля-захисний одяг-людина-енерговитрати», заздалегідь знаючи параметри енергетичних навантажень.

**Практична значимість.** Полягає у реалізації та впровадженні результатів роботи на об'єктах різного призначення при оцінюванні ефективності роботи підрозділів ДСНС України в екстремальних теплових умовах та під час ведення бойових дій.

**Ключові слова:** рятувальник, ергономічні навантаження, процес тепломасообміну, температура тіла, вологість.

### Вступ.

В умовах військового стану, при проведенні пожежно-рятувальних робіт, підрозділами Оперативно-рятувальної служби ДСНС України, в результаті нанесення ракетно-бомбових ударів виникають небезпечні енергетичні навантаження на тіло рятувальників в екстремальних мікрокліматичних умовах (підвищена до граничної температура, підвищена і понижена вологість, швидкість руху повітря, загазованість, інтенсивне задимлення).

Проведення пожежно-рятувальних робіт на пожежах та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій і аварій вимагають від особового складу Оперативно-рятувальної служби ДСНС швидкого реагування на аварійні ситуації, прийняття ефективних технічних рішень, високого

професіоналізму, яке пов'язане з високими фізичними та психоемоційними навантаженнями на пожежника-рятувальника [1].

Одним із ефективнішим заходом, який спрямований на збереження здоров'я і життя рятувальників в цих умовах, буде обґрунтування параметрів енергетичних навантажень, чому й присвячена дана стаття, яка підготовлена на підставі результатів тривалих наукових досліджень з пожежної безпеки, охорони праці пожежника-рятувальника.

Згідно із Законом України «Про охорону праці», «Правилами безпеки праці в органах і підрозділах Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи» та ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату

виробничих приміщень, тоді коли рятувальники постійно (впродовж чергової зміни) знаходяться при впливі енергетичних навантажень, показник допустимої температури повітря не повинен перевищувати 26°C [2; 3; 4].

У статті надано результати експериментальних досліджень параметрів енергетичних навантажень на тіло рятувальника та теплового стану організму пожежників.

Основними складовими енергетичних навантажень, від яких залежить тривалість роботи рятувальника, буде показник його внутрішньої енергії, що виробляється організмом - теплопродукція організму, яка в свою чергу, залежить від величини витрат кількості енергії, і зовнішня енергія, яка проникає ззовні за допомогою променисто-конвективного випромінювання. При цьому зовнішня енергія, як правило, не залежить від втручання людини, а внутрішня енергія буде залежати від багатьох параметрів, які розглядаються у даній статті.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Відповідно положень Конституції України, Закону України «Про охорону праці» та Постанови Кабінету Міністрів України від 21 серпня 2019 р. № 771 «Про затвердження Технічного регламенту засобів індивідуального захисту» захист життя і здоров'я рятувальників ДСНС є пріоритетом держави.

Тому засобам захисту працівників Оперативно-рятувальної служби ДСНС приділяється велика увага. Одним із напрямів є встановлення особливих вимог до конструкції захисного одягу для виконання пожежно-рятувальних робіт при ліквідації наслідків ракетно-бомбових ударів по інфраструктурі і житловому секторі України.

Великий вклад в розробку, створення і впровадження засобів індивідуального протигазотеплового захисту пожежників-рятувальників, внесли вчені та конструктори: Пашковський П.С., Землянський І.Я., Клименко Т.В., Карпекін В.В., Марійчук І.П., Онасенко А.А., які виконували роботи на цій тематиці на ранній стадії вирішення проблеми протитеплового захисту пожежників-рятувальників та удосконалення

конструкцій захисного одягу рятувальників і т.ін.

В подальшому наукові дослідження і їх результати публікувались у наукових статтях Гаврилко О.А., Дендаренко Ю.Ю. «Процеси тепломасопереносу у газотеплозахисному костюмі з водольодяними акумуляторами холоду» (2018 р.), Гаврилко О.А., Дендаренко Ю.Ю. «Експериментальні дослідження енерговитрат і теплового стану організму пожежників в захисному одязі» (2023 р.).

#### **Мета статті.**

Дослідити параметри енергетичних навантажень на тіло пожежника-рятувальника при веденні пожежно-рятувальних робіт при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій; проаналізувати види і параметри енергетичних навантажень на тіло рятувальника; дослідити енергетичні процеси в організмі людини при екстремальних роботах; визначити енерговитрати організму рятувальників (членів ланок ГДЗС) при русі з вантажем на місцевості; встановити математичну залежність між масою вантажу, що переноситься, і енерговитратами при русі людини по горизонтальній поверхні.

#### **Методи дослідження.**

Методи математичної обробки статистичних даних з використанням програми «Статистика».

#### **Виклад основного матеріалу.**

Ефективність та безпечність ведення робіт підрозділами ДПРЧ-ДПРЗ ДСНС в екстремальних мікрокліматичних умовах можливо забезпечити при оперативному використанні на командному пункті комп'ютерної програми «Термоерг», призначеної для визначення тривалості роботи, основою якої є тепловий баланс системи «довкілля-захисний одяг-людина-енерговитрати», заздалегідь знаючи параметри енергетичних навантажень.

Однією з основних складових теплового балансу, від якого залежить допустима тривалість роботи підрозділів при будь-яких ергономічних навантаженнях, є внутрішня енергія, що виробляється

організмом людини при виконанні різного виду робіт [10].

Ця енергія (енерговитрати) залежить від багатьох чинників: швидкості пересування, кута нахилу і висоти де працює рятувальник, маси вантажу, що переноситься. У той же час швидкість пересування ланок підрозділів залежить від стану навколишнього середовища: придатної або непридатної для дихання атмосфери, видимості, задимленості та температури. Від того, наскільки швидко будуть враховані ці фактори, залежить оперативність використання програми «Термоерг», за допомогою якої визначається тривалість роботи рятувальників у складі ланок ліквідації НС, прийняття правильного рішення щодо виконання ними завдання, а, отже, життя і здоров'я рятувальників, матеріальні збитки від впливу небезпечних факторів пожежі.

Так, до прикладу у Статуті Державної воєнізованої гірничорятувальної служби (ДВРС) наведені п'ять таблиць з визначення швидкості пересування відділень в придатній, непридатній для дихання атмосфері при повній видимості, поправочні коефіцієнти залежно від середнього навантаження в респіраторі, пройденої відстані, температури повітря і видимості у виробітці, а також витрати кисню в непридатній для дихання атмосфері на 100 м шляху в залежності від виконуваної роботи. Механічний облік вищенаведених факторів, особливо при великих кількостях маршрутів пересування підрозділів і виконанні різного роду робіт, знижує оперативність ведення пожежно-рятувальних робіт, а іноді призводить до прийняття помилкових рішень на командному пункті. У зв'язку з цим, необхідно встановити залежності енерговитрат членів ланок підрозділів від факторів, що впливають при різних енергетичних навантаженнях у вигляді рівнянь з подальшим автоматизованим обліком результатів в програмі «Термоерг».

Визначимо енерговитрати організму рятувальників (членів ланок ДВРС) при русі із вантажем.

Маса спорядження (вантажу, що переноситься членами ланок пожежно-рятувальних підрозділів), має великий вплив на їх працездатність і на енерговитрати

організму. Для оцінки цього впливу і орієнтовних ергономічних розрахунків необхідно встановити математичну залежність між масою вантажу, що переноситься, і енерговитратами при русі людини по горизонтальній поверхні.

Енергетичні процеси в організмі людини базуються на споживанні нею кисню, яке для досліджуваного процесу можна представити у вигляді [13]:

$$q_r = q_t + q_d, \quad (1)$$

де  $q_r$  – загальне споживання кисню людиною при ходьбі з вантажем, л/хв ;

$q_t$  – споживання кисню людиною при ходьбі без вантажу, л/хв ;

$q_d$  – додаткове споживання кисню людиною за рахунок перенесення вантажу, л/хв .

Тут мається на увазі, що ходьба з перенесенням вантажу і без вантажу відбувається з однієї і тієї ж швидкістю, в одному і тому ж місці.

Переходячи до питомих величин і використовуючи вираз (1), отримуємо відповідно:

$$q_{dy} = q_d / m_g, \quad q_{ty} / m_t, \quad (2)$$

де  $q_{dy}$ ,  $q_{ty}$  – питома і додаткове споживання кисню людиною за рахунок вантажу, л/(хв · кг) ;

$m_g$ ,  $m_t$  – маса вантажу і тіла людини, кг.

Введемо умовну безрозмірну величину  $\Phi_p$  – коефіцієнт споживання кисню при перенесенні вантажу:

$$\Phi_p = q_{dy} / q_{ty}, \quad (3)$$

Коефіцієнт  $\Phi_1$  показує, у скільки разів додаткове споживання кисню на 1 кг вантажу, що переноситься більше (або менше), ніж споживання кисню на 1 кг тіла людини при пересуванні в тому ж темпі без вантажу.

Використовуючи формули (1-3), вираз (4) набуває вигляду:

$$\Phi_p = m_t (q_r - q_t) / (q_t \cdot m_g), \quad (4)$$

Звідси, отримуємо:

$$q_r / q_t = (1 + \varphi_p \cdot m_g / m_t), \quad (5)$$

Оскільки енерговитрати людини еквівалентні та пропорційні до споживання кисню, то відношення величин споживання кисню у виразі (5) можна замінити відношенням відповідних енерговитрат, Вт:

$$Q_M / Q_f = (1 + \varphi_p m_g / m_t), \quad (6)$$

де  $Q_M, Q_f$  – енерговитрати людини при русі з вантажем і без вантажу (фонове навантаження), Вт.

Звідси отримуємо:

$$Q_M = Q_f (1 + m_g / m_t), \quad (7)$$

відповідно:

$$\varphi_p = m_t (Q_M - Q_f) / (Q_f m_g), \quad (8)$$

На підставі отриманих раніше експериментальних даних розраховано коефіцієнт споживання кисню при перенесенні вантажу, середнє значення якого  $\varphi_p = 2,3$  може бути використано для подальших розрахунків за наведеними вище формулами.

Додаткова питома потужність, що розвивається людиною на перенесення 1 кг вантажу  $P_m$ , Вт/кг, визначається виразом:

$$P_m = (Q_M - Q_f) / m_g, \quad (9)$$

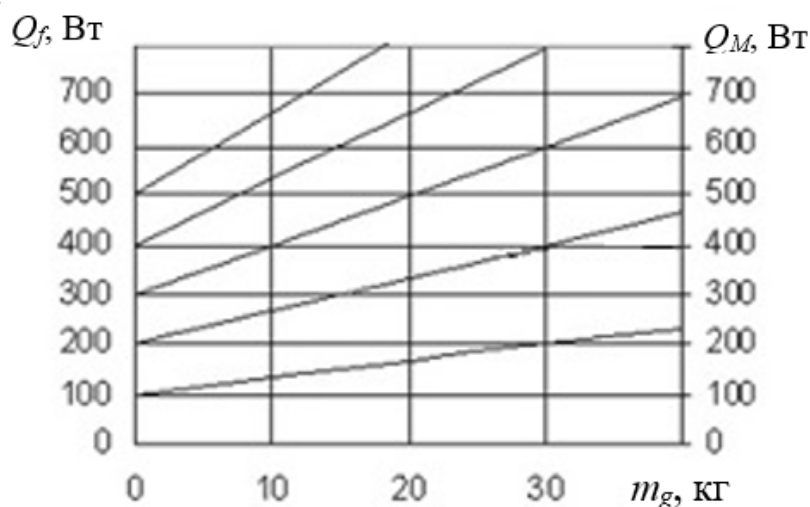
За формулою (7) розраховані енерговитрати людини в залежності від маси вантажу, що переноситься, при різному фоновій навантаженні  $Q_f$  при постійних значеннях  $\varphi_p = 2,3$ ,  $m_t = 70$  кг. Результати розрахунку наведені на рис. 1.

Приклад користування результатами приведено на рисунку 1.

Припустимо, ми приймаємо фонове навантаження  $Q_f = 200$  Вт, що відповідає енерговитратам при ходьбі без вантажу зі швидкістю приблизно 2,7 км/год, і відзначаємо відповідну точку на осі ординат. Від цієї точки (200 Вт) прямуємо по похилій лінії графіка до перетину з ординатою заданого значення вантажу, що переноситься, до прикладу, 30 кг. Ордината цієї точки показує на правій осі значення енерговитрат при ходьбі з вантажем  $Q_M = 400$  Вт.

За формулами (7) і (9) розраховані дані, наведені в таблиці 1.

Для підтвердження результатів вищезазначених залежностей енерговитрат від маси вантажу, що переноситься, а також визначення енерговитрат залежно від інших параметрів, для яких неможливо отримати вирази аналітично, використовуємо методи математичної обробки статистичних даних з використанням програми «Статистика».



**Рисунок 1.** Залежність енерговитрат людини від маси вантажу, що переноситься, при різному фоновому навантаженні.

**Таблиця 1** – Енергетичні показники організму людини при ходьбі з вантажем.

Вихідні дані		Розрахункові дані	
$Q_f$ , Вт	$m_g$ , кг	$Q_M$ , Вт	$P_m$ , Вт/кг
200	10	266	6,6
200	20	331	6,6
200	30	397	6,6
300	10	399	9,8
300	20	497	9,8
300	30	596	9,8
400	10	531	19,1
400	20	663	19,1
400	30	794	19,1

В результаті обробки цих даних отримані апроксимуючі рівняння для визначення швидкості  $V$ , (м/хв) переміщення членів підрозділів ланок ГДЗС ДСНС, забезпечених основним екіпуванням, що включає респіратор і необхідне спорядження – додатковий вантаж 10, 20 або 40 кг, який необхідний при русі в розвідку, на аварію або перенесення потерпілого відповідно, в залежності від кута нахилу  $\alpha$ , (...°) і висоти  $h_0$ , (м). Вирази, які мають вигляд:

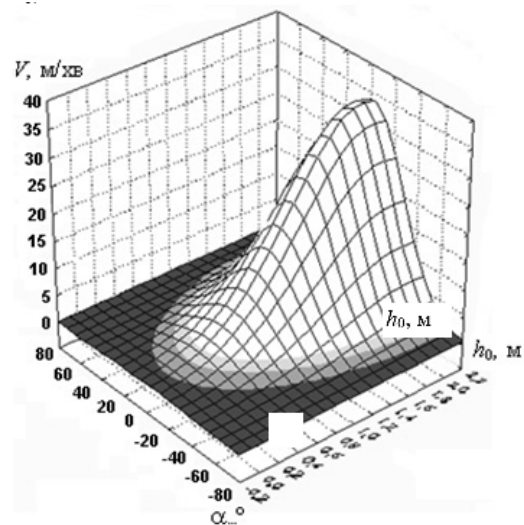
$$\begin{aligned}
 V_{10} &= \exp(-0,00076867\alpha^2 - 0,003275\alpha - 0,843385h_0^2 + 3,58941h_0) R = 0,9622 \\
 V_{20} &= \exp(-0,00079448\alpha^2 - 0,003640\alpha - 0,716702h_0^2 + 3,069085h_0) R = 0,9643 \\
 V_{40} &= \exp(-0,00092755\alpha^2 - 0,005712\alpha - 0,538569h_0^2 + 2,505677h_0) R = 0,9596
 \end{aligned}
 \quad (10)$$

У рівняннях (10) індекси означають масу вантажу, що переноситься.

Зміна швидкості переміщення членів підрозділів при русі, зокрема, в розвідку, наведено на рисунку 2, звідки випливає, що максимальна швидкість відповідає руху по горизонтальній поверхні, а при русі по похилій поверхні (вгору або вниз) швидкість експоненціально знижується.

В нормативних документах, до прикладу, ДСН 3.3.6.042-99 наведені дані, що відповідають умовам роботи в респіраторі при повній видимості та температурі навколишнього середовища не вище 27°C [4; 5]. У разі, якщо умови відрізняються, при розрахунку швидкості руху використовуємо поправочний коефіцієнт, який є добутком трьох часткових коефіцієнтів:

$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ . Ці ж поправочні коефіцієнти використовували при розрахунку витрат кисню в респіраторі при русі, оскільки даний параметр прямо пропорційний швидкості пересування. При необхідності, значення швидкості пересування або витрати кисню слід помножити на коефіцієнт [9; 13].



**Рисунок 2.** Зміна швидкості переміщення рятувальників членів ланок ГДЗС при русі в розвідку в залежності від висоти і кута нахилу поверхні на місці роботи

Перший коефіцієнт, що враховує необхідність використання респіатора при русі в непридатному для дихання атмосфері, приймається рівним одиниці, а при русі в придатній для дихання атмосфері  $K=1,2$ .

Другий коефіцієнт дозволяє врахувати зменшення швидкості руху при задимленні

при роботі на пожежі в зонах задимлення:  $K_2 = 0,1l_0$ , де  $l_0$  – відстань прямої видимості при задимленні, м.

Тут вводяться наступні обмеження: якщо  $l_0 \leq 2$  м, то  $K_2 = 0,2$ , а якщо  $l_0 \geq 10$  м, то  $K_2 = 1,0$ .

Третій коефіцієнт враховує зменшення швидкості руху при підвищеній температурі повітря в зоні горіння:

$$K_3 = 1 - 0,08(t_b - 27) \quad (11)$$

Тут також вводяться обмеження: якщо  $t_b \leq 27$  °С, то  $K_3 = 1,0$ , а якщо  $t_b \geq 50$  °С, то  $K_3 = 0,882$ .

У Статуті ДВГРС наведені дані про витрату кисню на шляху, а при визначенні енерговитрат використовується значення витрати в л/хв. Цю величину розраховують з урахуванням раніше отриманих даних і швидкості руху газодимозахисника  $V_a$  за залежністю:

$$q_r = q_{100} \cdot V_a / 100 \quad (12)$$

де  $q_{100}$  – витрата кисню на 100 м шляху, л.

Витрата кисню в респіраторі визначається для тих же умов, що й швидкість, апроксимуючими рівняннями.

$$q_{r10} = (0,000048\alpha^2 + 0,000999\alpha - 0,231377)h_0 + 1,998705 R = 0,9107$$

$$q_{r20} = (0,000051\alpha^2 + 0,000961\alpha - 0,223095)h_0 + 2,047465 R = 0,9680 \quad (13)$$

$$q_{r40} = (0,000042\alpha^2 + 0,000557\alpha + 0,221836)h_0 + 2,089761 R = 0,9654$$

В ізолюючому регенеративному апараті з комбінованою подачею кисню (постійною і легенево-автоматичною) частина кисню поглинається людиною, а його надлишок виходить через надлишковий клапан в навколишнє середовище, що забезпечує продувку дихальної системи респіратора від заазотування. Взаємозв'язок споживання кисню людиною і його витрати визначається емпіричною залежністю:

$$q_p = 1,437 \cdot q_r - 1,099, \quad (14)$$

де  $q_p$  – споживання кисню організмом людини, л/хв.

Енерговитрати людини характеризують ступінь важкості фізичного навантаження і можуть бути визначені за формулою:

$$Q_M = q_p \cdot K_K / 60, \quad (15)$$

де  $K_K$  – калорійний еквівалент споживання кисню, Дж/л.

Якщо значення і приймаються при нормальних умовах (температура 20°С і тиск 101,3 кПа), то  $K_K = 19,457 \cdot 10^3$  Дж/л. В цьому випадку:

$$Q_M = 324,28 q_p, \quad (16)$$

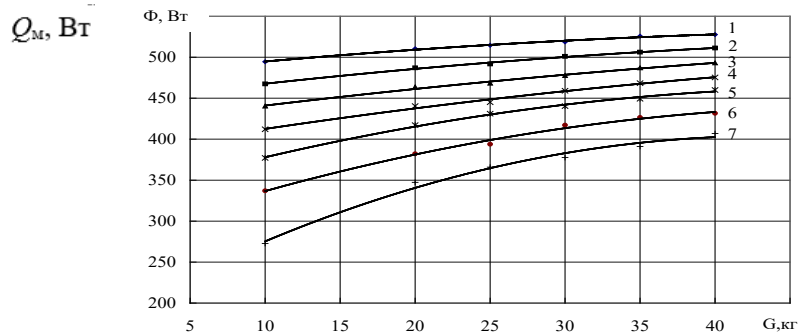
З урахуванням (15) вираз (16) набуде вигляду:

$$Q_M = 324,28(1,437q_r - 1,099) \quad (17)$$

Дані, отримані на основі цих формул, узагальнені в апроксимуючих рівняннях, що відповідають умовам, прийнятим для рівнянь (13):

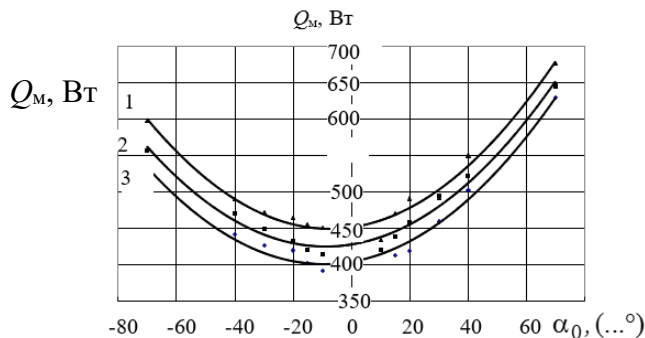
$$\begin{aligned} Q_{M10} &= (0,022\alpha^2 + 0,466\alpha - 107,819)h_0 + 574,993 R = \\ &= 0,9107325 Q_{M20} = (0,025\alpha^2 + 0,489\alpha - 100,993)h_0 + 592,804 R \\ &= 0,96844742 \\ Q_{M40} &= (0,021\alpha^2 + 0,322\alpha - 104,983)h_0 + 621,509 R \\ &= 0,93074316 \end{aligned} \quad (18)$$

Зміна енерговитрат рятувальників (членів ланок ГДЗС) від маси вантажу, що переноситься, і висоти виробітки при русі по горизонтальній поверхні показано на рисунку 3, де точки графіка відображають раніше отримані дані та результати експериментів. Залежність енерговитрат членів підрозділів ДСНС при перенесенні вантажу різної маси із місця завалу або висоти 1,7 м від кута нахилу наведена на рисунку 4. При цьому прийнято, що негативні значення кута відповідають спуску, а позитивні – підйому.



**Рисунок 3.** Енергозатрати рятувальників (членів ланок) при русі по горизонтальній місцевості в залежності від маси вантажу, що переноситься, та різної висоти проходу: 1-7 – висота проходу на місці завалу відповідно 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,7; 2,0 м.

На підставі аналізу енергоємності різних видів конкретної роботи членів ланок на місці складена таблиця 2. Вона не охоплює всі можливі види робіт, що зустрічаються на практиці, однак при експрес-розрахунку орієнтовно дозволяє враховувати тяжкість і енергоємність роботи [8; 12].



**Рисунок 4.** Енерговитрати рятувальників (членів ланок) при перенесенні вантажу на місцевості з різними кутами нахилу і висотою 1,7 м: 1-3 – маса вантажу відповідно 40; 20; 10 кг.

### Обговорення результатів.

Мета роботи досягалася шляхом проведення необхідних розрахунків з метою досягнення певних теоретичних результатів на підставі емпіричної складової прикладних знань і наукових досліджень. Результати роботи можуть у подальшому бути застосовані при складанні планів ліквідації пожеж і аварій при високих енерготермічних навантаженнях. Крім того, результати досліджень сприятимуть підвищенню якості прогнозування швидкості пересування рятувальників у складі ланок ГЗДС по заданому маршруту з різними умовами та рельєфом місцевості. Це, у свою чергу, надасть можливість проводити розрахунки витрат кисню (повітря) респіратору рятувальника, який знаходиться в умовах термічного впливу на його організм, його енерговитрат та інших параметрів, які впливають на концентрацію уваги та психологічний стан в умовах невизначеності.

**Таблиця 2** – Енергоємність основних видів робіт, виконуваних на місці.

Виконувана робота, Вт	Енерговитрати, Вт
Відпочинок в респіраторі стоячи	160
Легка робота, надання допомоги потерпілим	240
Зведення дощатої перемички, опалубки для гіпсової перемички, робота відбійним молотком, домкратом	320
Зведення цегляної перемички, кріплення, робота кайлом, лопатою, приготування глиняного розчину	400
Зведення чуракової, шлакоблочної перемичок, приготування цементного розчину, завантаження гірської маси у вагонетку	480
Розбирання завалу в місці падіння бомби (Кабу), балістичних ракети	560
Швидке розбирання завалу під час порятунку людей	640

### Висновки.

Наведені в даній статті математичні залежності дозволяють проводити необхідні розрахунки при складанні планів гасіння пожеж, ліквідації аварій, прогнозувати швидкість пересування рятувальників (членів ланок ГДЗС) і по заданому маршруту з різними енергетичними навантаженнями, час проходження заданого маршруту, витрата кисню респіратору і енерговитрати їх організму.

Це дозволяє оперативно і безпомилково проводити багато розрахунків за програмою «Термоерг», приймати правильне рішення, що забезпечить ефективно і безпечно проведення пожежно-рятувальних робіт в екстремальних мікрокліматичних умовах [2; 4; 14].

Результати показують істотний вплив енерговитрат на тіло пожежника-рятувальника, на допустиму тривалість роботи, причому при роботі в небезпечних мікробіологічних умовах.

### Список літератури

1. Наказ МНС України від 26.04.2018 року № 340 «Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж», 2018. 209 с.
2. Закон України „Про охорону праці”.
3. Наказ МНС України від 07.05.2007 р. № 312 „Про затвердження Правил безпеки праці в органах і підрозділах Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи”, 2007. 282 с.
4. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
5. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва, 2007. 25 с.
6. Постанова Кабінету Міністрів України від 21 серпня 2019 р. № 771 „Про затвердження Технічного регламенту засобів індивідуального захисту”.
7. Кліменко Ю.В. Методи і засоби індивідуального захисту гірничорятувальників в екстремальних умовах.: дис. канд. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охорона праці» / Гірничий інститут. Дніпропетровськ, 2003. – 189 с.

8. Визначення теплової стійкості гірничорятувальників  
Определение тепловой устойчивости горноспасателей у повітро- та паронепроникному костюмі / І.Ф. Марійчук, О.С. Чумак, В.І. Макарцев, М.М. Величко, Ю.В. Кліменко // Галузевий стандарт України, ДСТУ 33.1.04675545.005. 17с.
9. Гаврилко О.А, к.т.н., м. Львів, НУ «Львівська політехніка», доцент кафедри будівельної конструкції та мости «Математична модель тепломасопереносу в газотеплозахисному костюмі з водольодяними акумуляторами холоду». Вісник «НУ ЛП» №627. 2008 р. «Теорія та практика будівництва». С. 38-41.
10. Гаврилко О.А. Математичне моделювання нестационарного переносу тепла в захисному одязі пожежних і рятувальників з водольодяною системою охолодження// Пожежна безпека: Зб.наук. праць, ЛПБ; УкрНДІПБ МНС України. Львів, 2002. № 3. С. 76-82.
11. Havrylko A., Bilinskiy B., Dendarenko Y. Processes of heat and mass transfer in gas and heat protective suit with ice-water cold-storage accumulators // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Теорія і практика будівництва, 2018. № 888. С. 43-51.
12. Standard: PN EN 14605. Title: Protective clothing against liquid chemicals - Performance requirements for clothing with liquid-tight (Type 3) or spray-tight (Type 4) connections, including items providing protection to parts of the body only (Types PB and PB ) (includes Amendment A1:2009).
13. Онасенко А.А., Вольський В.А., Карпекін В.В. Енерговитрати людини в екстремальних мікрокліматичних умовах / Онасенко А.А., В.А Вольський., В.В. Карпекін // Вугілля України, 2005. № 9. С. 38-39.
14. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва, 2007. 25 с.

### References

1. Order of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine dated 04/26/2018 No. 340 „On approval of the Charter of actions in emergency situations of management bodies and units of the Operational and Rescue Service of Civil Protection and the Charter of actions of management bodies and units of the Operational and Rescue Service of Civil Protection during fire extinguishing”, 2018. 209 p.
2. Law of Ukraine „On Labor Protection”.
3. Order of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine dated 05/07/2007 No. 312 “On approval of the Rules of labor safety in bodies and units of the Ministry of Ukraine for Emergencies and for the Protection of the Population from the Consequences of the Chernobyl Disaster”, 2007. 282 p.
4. DSN 3.3.6.042-99 Sanitary standards of the microclimate of industrial premises.

5. DSTU-N B A 3.2-1:2007 System of occupational safety standards. Guidelines for determining hazardous and harmful factors and protection against their influence in the production of building materials and products and their use in the process of construction and operation of construction facilities, 2007. 25 p.
6. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 21, 2019 No. 771 „On approval of the Technical Regulations for personal protective equipment”.
7. Klimenko Yu.V. Methods and means of individual protection of mountain rescuers in extreme microclimatic conditions.: Dissertation candidate of technical sciences: spec. 05.26.01 “Labor protection” / Mining Institute. Dnepropetrovsk, 2003. 189 p.
8. Determination of thermal stability of mountain rescuers in air- and vapor-tight suits / I.F. Marychuk, A.S. Chumak, V.I. Makartsev, M.M. Velichko, Yu.V. Klymenko // Industry standard of Ukraine, GSTU 33.1.04675545.005. 17p.
9. Gavrylko O.A., Ph.D., Lviv, National University "Lviv Polytechnic", Associate Professor of the Department of Building Structures and Bridges «Mathematical model of heat and mass transfer in a gas-heat protective suit with water-ice cold accumulators». Bulletin «NU LP» No. 627. 2008. «Theory and practice of construction». P. 38-41.
10. Gavrylko O.A. Mathematical modeling of non-stationary heat transfer in protective clothing of firefighters and mountain rescuers with a water-ice cooling system// Fire safety: Collection of scientific works, LIPB; UkrNIIPB Ministry of Emergency Situations of Ukraine. Lviv, 2002. No. 3. P. 76-82.
11. Havrylko A., Bilinskiy B., Dendarenko Y. Processes of heat and mass transfer in gas and heat protective suit with ice-water cold-storage accumulators // Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic». Series: Theory and practice of construction, 2018. No. 888. P. 43-51.
12. Standard: PH EN 14605. Title: Protective clothing against liquid chemicals - Performance requirements for clothing with liquid-tight (Type 3) or spray-tight (Type 4) connections, including items providing protection to parts of the body only (Types PB and PB ) (includes Amendment A1:2009).
13. Onasenko, A.A., Volskyi, V.A., Karpekin, V.V. (2005). Human energy expenditure under extreme microclimatic conditions. Vuhillia Ukrainy (Coal of Ukraine), No. 9, pp. 38–39.
14. DSTU-N B A 3.2-1:2007 (2007). Occupational Safety Standards System. Guidelines for the identification of hazardous and harmful factors and protection against their effects in the production of building materials and products and their use during the construction and operation of buildings. 25 p.

**Гаврилко Олександр Андрійович** - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри БКМ ІБІБ кафедра БКМ ІБІБ НУ «Львівська політехніка» (вул. Старосольських, 6, 79013, Львів; 2-й корпус, кабінет 208 +38-068-654-19-85)

E-mail: [Oleksandr.A.Havrylko@lpnu.ua](mailto:Oleksandr.A.Havrylko@lpnu.ua)

ORCID [http://wiki.lp.edu.ua/wiki/Гаврилко\\_Олександр\\_Андрійович](http://wiki.lp.edu.ua/wiki/Гаврилко_Олександр_Андрійович)

**Дендаренко Юрій Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт навчально-наукового інституту оперативно-рятувальних сил Національного університету цивільного захисту України, (м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8 +38-067-775-8993)

E-mail: [dendarenko\\_yurii@nuczu.edu.ua](mailto:dendarenko_yurii@nuczu.edu.ua)

ORCID [http://wiki.lp.edu.ua/wiki/Дендаренко\\_Юрій\\_Юрійович](http://wiki.lp.edu.ua/wiki/Дендаренко_Юрій_Юрійович)

**Федоренко Дмитро Сергійович** – кандидат історичних наук, доцент кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт навчально-наукового інституту оперативно-рятувальних сил Національного університету цивільного захисту України (м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8 +380973155580)

E-mail: [fedorenko\\_dmytro@nuczu.edu.ua](mailto:fedorenko_dmytro@nuczu.edu.ua)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2069-7760>

## ENERGY LOAD ON RESCUERS DURING FIRE AND RESCUE OPERATIONS

**Purpose.** To investigate the parameters of energy loads on the body of a firefighter-rescuer during fire and rescue operations in the liquidation of emergency consequences; to analyze the types and parameters of energy loads affecting the rescuer's body; to study energy processes in the human body during extreme work; to determine the energy expenditure of rescuers (members of gas and smoke protection service units) while moving with a load in the field; and to establish a mathematical relationship between the mass of the carried load and energy expenditure during human movement on a horizontal surface.

**Methods.** Methods of mathematical processing of statistical data using the “Statistica” software package.

**Results.** The dependences of energy expenditure of unit members on influencing factors under various energy loads were established in the form of equations, with subsequent automated processing of the results in the “Termoerg” software program. It was found that due to longer working time of firefighter-rescuers in protective suits, lower rates of increase in body temperature were observed when using a cooling pack, as well as lower rates of increase in average body temperature, heat accumulation, mean weighted skin temperature, and moisture loss. The obtained data on the rate of change in the body's thermal state indicate improved thermal resistance of rescuers through regular training in a heat and smoke chamber and outdoors while wearing protective clothing. Owing to the rational functioning of thermoregulation mechanisms with the use of cooling containers, the working time under hyperthermia conditions significantly increases.

**Scientific novelty.** For the first time, a computer model for effective and safe operation of fire and rescue units of the State Emergency Service of Ukraine in extreme microclimatic conditions at the command post has been developed. The

*permissible duration of work was determined based on the thermal balance of the “environment–protective clothing–human–energy expenditure” system, provided that the parameters of energy loads are known in advance.*

**Practical significance.** *The practical significance lies in the implementation and application of the research results at facilities of various purposes when assessing the effectiveness of SES units of Ukraine in extreme thermal conditions and during combat operations.*

**Keywords:** *rescuer, energy loads, heat and mass transfer process, body temperature, humidity.*

**Oleksandr Havrylko** – Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of the Department of BKM, Institute of Civil Engineering and Building (ICIB), Lviv Polytechnic National University (6 Starosolskykh St., 79013, Lviv; Building 2, Room 208; +38-068-654-19-85)

E-mail: [Oleksandr.A.Havrylko@lpnu.ua](mailto:Oleksandr.A.Havrylko@lpnu.ua)

ORCID: [http://wiki.lp.edu.ua/wiki/Гаврилко\\_Олександр\\_Андрійович](http://wiki.lp.edu.ua/wiki/Гаврилко_Олександр_Андрійович)

**Yurii Dendarenko** – Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fire Tactics and Emergency Rescue Operations, Educational and Scientific Institute of Operational Rescue Forces, National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienka St., Cherkasy; +38-067-775-8993)

E-mail: [dendarenko\\_yurii@nuczu.edu.ua](mailto:dendarenko_yurii@nuczu.edu.ua)

ORCID: [http://wiki.lp.edu.ua/wiki/Дендаренко\\_Юрій\\_Юрійович](http://wiki.lp.edu.ua/wiki/Дендаренко_Юрій_Юрійович)

**Dmytro Fedorenko** – Candidate of Historical Sciences (PhD), Associate Professor of the Department of Fire Tactics and Emergency Rescue Operations, Educational and Scientific Institute of Operational Rescue Forces, National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienka St., Cherkasy; +380973155580)

E-mail: [fedorenko\\_dmytro@nuczu.edu.ua](mailto:fedorenko_dmytro@nuczu.edu.ua)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2069-7760>