



МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ УКРАЇНСЬКОЮ,
АНГЛІЙСЬКОЮ, НІМЕЦЬКОЮ
ТА ПОЛЬСЬКОЮ
МОВАМИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

**ПОЖЕЖНА
БЕЗПЕКА**

ЛДУ БЖД

№ 31, 2017

заснований у 2002 році

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

- д-р пед. наук **Козяр М.М.** – головний редактор
д-р с-г. наук **Кузик А.Д.** – заступник головного редактора
д-р техн. наук **Семерак М.М.** – науковий редактор
д-р техн. наук **Ковалишин В.В.** – заступник наукового редактора
д-р техн. наук **Антонов А.В.**
д-р інж. **Єжи Волянін**
д-р інж. **Даріуш Врублевський**
д-р техн. наук **Гащук П.М.**
д-р техн. наук **Гуліда Е.М.**
д-р техн. наук **Демчина Б.Г.**
д-р техн. наук **Костенко В.К.**
д-р техн. наук **Круковський П.Г.**
д-р хім. наук **Михалічко Б.М.**
д-р техн. наук **Пашковський П.С.**
д-р техн. наук **Сидорчук О.В.**
д-р фіз.-мат. наук **Тацій Р.М.**
канд. техн. наук **Баланюк В.М.**
канд. пед. наук **Коваль М.С.**
канд. техн. наук **Лозинський Р.Я.**

ISSN 2078-6662

ЗАСНОВНИК ТА ВИКОНАВЕЦЬ Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності (ЛДУ БЖД)

ЗАРЕЄСТРОВАНО Державною реєстраційною службою України
14. 07. 2014 р. Серія КВ №20916-10716 ПР

ВНЕСЕНО ДО ПЕРЕЛІКУ НАУКОВИХ ФАХОВИХ ВИДАНЬ УКРАЇНИ

Наказ МОН України від 06.11. 2014 року № 1279)

**ВНЕСЕНО ДО БІБЛОГРАФІЧНОЇ БАЗИ ДАНИХ
«ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY»**

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ЛДУ БЖД
(*Протокол № 5 від 27. 12. 2017 р.*)

Літературний редактор Падик Г.М.

Редактор англійської мови Хлевной О.В.

Технічний редактор Сорочич М.П.

Комп'ютерна верстка Хлевной О.В.

Відповідальний за друк Фльорко М.Я.

Друк на різнографі Трачук О.В.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ: ЛДУ БЖД, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007

Контактні телефони: (032) 233-24-79, тел/факс 233-00-88

E-mail: mail@ubgd.lviv.ua, pb_zbirnyk@i.ua

Збірник наукових праць "Пожежна безпека" видається з 2002 року. Запланована періодичність 2 рази на рік. Тематична спрямованість: оригінальні та оглядові праці в галузі технічних наук з напрямку пожежна безпека.

Здано в набір 28. 12. 2017. Підписано до друку 29. 12. 2017.

Формат 60x84^{1/3}. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 10,8.

Гарнітура Times New Roman. Друк на різнографі.

Наклад 100.

Друк: ЛДУ БЖД

вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

- О.І. Башинський, М.З. Пелешко, О.Ю. Пазен, Т.Г. Березжанський**
ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ПОЖЕЖ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ **6**
- А.Ф. Гаврилюк, А.С. Лин**
ПРОТИПОЖЕЖНИЙ ЗАХИСТ КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА ШЛЯХИ ЙОГО ПІДВИЩЕННЯ **11**
- Х.Ш. Гасанов, Ю.П. Ключка**
ВПЛИВ УМОВ ТЕПЛООБМІНУ ВСЕРЕДИНИ ТА ЗОВНІ ПРИМІЩЕННЯ НА МОЖЛИВІСТЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОЖЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕПЛОВІЗОРА **17**
- Е.М. Гуліда**
ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПТИЧНОЇ ГУСТИНИ ДИМУ ВІД ОБ'ЄМУ ПРИМІЩЕННЯ, ВИДІВ ПОЖЕЖНОГО НАВАНТАЖЕННЯ, ФОРМИ ПЛОЩІ ПОЖЕЖІ ТА ЇЇ ТРИВАЛОСТІ **24**
- Е.М. Гуліда, Д.П. Войтович, І.О. Мовчан**
ПОТІК ПОЖЕЖ ТА ЇХ ОДНОЧАСНІСТЬ У МІСТАХ **30**
- І.Ф. Дадашов, О.О. Кіреєв**
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШАРУ ГРАНУЛЬОВАНОГО ПІНОСКЛА НА ГОРІННЯ БЕНЗИНУ **36**
- А.Я. Калиновський, Р.І. Коваленко**
РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ РЕАГУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ ФОРМУВАНЬ НА ЛОКАЛЬНІ НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ **43**
- В.В. Ковалишин, Я.Б. Кирилів, Б.М. Гусар, Т.М. Войтович, Вол.В. Ковалишин, А.О. Корнієнко, В.В. Чернецький**
ПЕРСПЕКТИВИ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ ВОДОПІННИМИ ВОГНЕГАСНИКАМИ **49**
- О.І. Bashynskiy, M.Z. Peleshko, O.Yu. Pazen, T.H. Berezhanskyi**
THE INFLUENCE OF TEMPERATURE MODES OF FIRE ON FLEXIBILITY OF BUILDING CONSTRUCTIONS **6**
- A. Gavrilyk, A. Lyn**
FIRE PROTECTION OF WHEELED VEHICLES: ANALYSIS AND WAYS OF ITS IMPROVEMENT **11**
- H.Sh. Hasanov, Yu.P. Klyuchka**
INFLUENCE OF HEAT EXCHANGE CONDITIONS INDOORS AND OUTDOORS OF THE ROOM ON THE FIRE IDENTIFICATION BY INFRARED IMAGER **17**
- E.M. Hulida**
DEPENDENCE OF THE SMOKE OPTICAL DENSITY ON THE ROOM DIMENSIONS, FIRE LOAD TYPES, FORMS OF FIRE AND ITS DURATION **24**
- E.M. Hulida, D.P. Voitovich, I.O. Movchan**
THE FLIGHT OF THE FIRE AND THEIR ONE-LIFE IN THE CITY **30**
- I.F. Dadashov, A.A. Kireev**
EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF A GRANULATED FOAMED GLASS LAYER ON THE BURNING OF GASOLINE **36**
- A.Ya. Kalinovsky, R.I. Kovalenko**
DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE RESPONSE TIME OF EMERGENCY-RESCUE UNITS ON LOCAL EMERGENCY SITUATIONS **43**
- V. V. Kovalyshyn, Ya. B. Kyryliv, B.M. Gusar, T.M. Voitovych, Vol.V. Kovalyshyn, A.O. Korniyenko, V.V. Chernetsky**
PROSPECTS OF FIRE EXTINGUISHING WITH WATER FIRE EXTINGUISHERS **49**

- Т.В. Костенко, С.М. Александров, О.В. Костирка, А.І. Березовський**
ЗОВНІШНЄ ТЕПЛОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА РЯТУВАЛЬНИКІВ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖ НА ВІДКРИТІЙ МІСЦЕВОСТІ
- Т. Kostenko, S. Aleksandrov, O. Kostyrka, A. Berezovs'kyi**
EXTERNAL THERMAL LOAD FOR RESCUERS DURING FIRE EXTINGUISHING AT THE OPEN LOCATION
- А. Д. Кузык, В. І. Товарянський**
ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАЛУЧЕННЯ СИЛ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ СОСНОВИХ МОЛОДНЯКІВ
- A. D. Kuzyk, V. I. Tovaryansky**
EXPEDIENCY FOR USE OF FORCES AND MEANS TO EXTINGUISHING FIRES OF YOUNG PINE STANDS
- А. П. Кушнір, І. П. Кравець, О. В. Шаповалов**
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ПОЖЕЖНИЙ СПОВІЩУВАЧ ПОЛУМ'Я З ДОДАТКОВИМ КАНАЛОМ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ВІДЕОАНАЛІТИКИ ТА БЛОКОМ НЕЧІТКОЇ КОРЕКЦІЇ
- A. P. Kushnir, I. P. Kravets, O. V. Shapovalov**
INTELLECTUAL FLAME DETECTOR WITH ADDITIONAL INFORMATION CHANNEL ON BASIS OF VIDEO ANALYTICS AND FUZZY CORRECTION BLOCK
- А. П. Кушнір, В. М. Оксентюк, Т. Я. Дзьоба**
ВИБІР СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ПОВОРОТУ ЛЮЛЬКИ ПОЖЕЖНОГО АВТОПІДЙМАЧА ДЛЯ СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ
- A. P. Kushnir, V. M. Oksentyuk, T. J. Dzjoba**
CHOICE OF THE SPEED CONTROL SYSTEM USED FOR TURNING THE ARTICULATED BOOM AERIAL PLATFORM DURING STAND TESTS
- В.І. Луц, В.Б. Лоїк, Н.О. Штангрет**
РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ З ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ ПОЖЕЖІ В ОБ'ЄМАХ ПРИМІЩЕНЬ
- V.I. Lushch, V.B. Loik, N.O. Shtangret**
METHODOLOGY FOR DETERMINING PARAMETERS OF DANGEROUS FACTORS OF COMPARTMENT FIRES
- І.Г. Маладыка, І.М. Шкарабура**
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬ ЗІ СТАЛЕВИМ КАРКАСОМ
- I.H. Maladyka, I.M. Shkarabura**
PROVIDING OF FIRE-RESISTANCE OF STEEL-FRAMED BUILDINGS
- М.В. Новожилова, І.А. Чуб, О.А. Тарасенко**
МОДЕЛЮВАННЯ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ З ВИКИДОМ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ХІМІЧНОЇ РЕЧОВИНИ ЗАСОБАМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
- M.V. Novozhilova, I.A. Chub, O.A. Tarasenko**
MODELING OF THE EXTRAORDINARY SITUATION WITH THE FLOW OF DANGEROUS CHEMICAL SUBSTANCES USING GEOINFORMATIONAL TECHNOLOGIES
- Д.І. Савельєв, М.А. Чиркіна**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ДІЇ ГЕЛЕУТВОРЮВАЛЬНОГО СКЛАДУ НА ХВОЙНІЙ ЛІСОВІЙ ПІДСТИЛЦІ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ
- D. Saveliev, M. Chyrkina**
THE FIRE-RETARDANT ACTION OF THE GEL-FORMING COMPOSITION APPLIED TO CONIFEROUS FOREST LITTER: A LABORATORY-BASED STUDY

*М.М. Семерак, О.В. Некора,
Д.В. Харишин*
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ
СТАН ТРУБОБЕТОННОЇ КОЛОНИ
В УМОВАХ ТЕРМОСИЛОВОГО
ВПЛИВУ ПОЖЕЖІ

115

*M. M. Semerak, O. V. Nekora,
D. V. Kharyshyn*
STRESS-STRAIN STATE OF STEEL
TUBE CONFINED CONCRETE
PILLARS UNDER THE THERMAL
POWER INFLUENCE OF FIRE

Н.О. Ференц, С.Я. Вовк, О.В. Міллер
АНАЛІЗ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ І
АВАРІЙ В РЕЗЕРВУАРНИХ ПАРКАХ
СКЛАДІВ НАФТИ ТА
НАФТОПРОДУКТІВ

125

N. O. Ferents, S.Ya. Vovk, O.V. Miller
ANALYSIS OF EMERGENCY
SITUATIONS AND ACCIDENTS IN
RESERVOIR PARKS OF OIL AND OIL
COMPOUNDS

*Т.В. Костенко¹, канд. техн. наук, С.М. Александров¹, д-р техн. наук, професор,
О.В. Костирка², канд. техн. наук, А.І. Березовський², канд. техн. наук, доцент*
(¹Донецький національний технічний університет МОН України,
²Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України)

ЗОВНІШНЄ ТЕПЛОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА РЯТУВАЛЬНИКІВ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖ НА ВІДКРИТІЙ МІСЦЕВОСТІ

Доповнено рівняння балансу теплового навантаження на організм рятувальника компонентами, які обумовлені впливом прямих та відбитих сонячних променів, що отримані на підставі аналізу джерел енергетичної обстановки під час гасіння пожеж на відкритій місцевості. Теоретично обґрунтовано вираз для розрахунку екстремальних рівнів прямих та відбитих сонячних променів, що впливають на рятувальників. Ці дані необхідні для оперативної оцінки впливу сонячної радіації на особовий склад рятувальних підрозділів та для прийняття рішень про використання засобів захисту від теплового впливу.

Ключові слова: ліквідація пожеж, теплові ураження, теплові потоки, сонячна енергія, рятувальник, теплозахисні засоби

T. Kostenko, S. Aleksandrov, O. Kostyrka, A. Berezovs'kyu

EXTERNAL THERMAL LOAD FOR RESCUERS DURING FIRE EXTINGUISHING AT THE OPEN LOCATION

Balance equation for the heat influence on the rescuers body was updated with components caused by direct and reflected sun rays. These components are based on analysis of the energy sources during extinguishing fires in open areas. Theoretical justification of the expressions for calculating extreme levels of direct and reflected sun rays acting on rescuers were obtained. These data are necessary for the rapid assessment of the impact of solar radiation on fire-fighters and decision-making on the use of thermal protection. Such investigations open the prospects of managing external factors to ensure the safety of rescuers and increasing the effectiveness of operational activities.

Keywords: liquidation of fires, thermal damage, heat flow, solar radiation, rescuer, thermal protection

Постановка проблеми. Під час ліквідації пожеж на відкритій місцевості часто пожежники-рятувальники отримують теплові ураження (опіки, перегрів організму, втрата свідомості, теплові удари), які іноді призводять до летальних випадків [1]. В даний час в нормативних документах відсутні рекомендації щодо врахування впливу сонячної енергії на оперативний склад рятувальних підрозділів, хоча сонячне випромінювання робить сильний негативно впливає навіть на людей, що просто перебувають на відкритій місцевості, погіршуючи функціонування центральної нервової, серцево-судинної та інших систем організму. Тому вдосконалення нормативних документів в частині прийняття рішень щодо встановлення режиму роботи і застосування засобів індивідуального та групового захисту особового складу від дії тепла є актуальним завданням. Основою для вибору шляхів підвищення захисту рятувальників, на думку авторів, є розкриття механізму зовнішнього теплового навантаження на рятувальника під час гасіння пожеж на відкритій місцевості.

Аналіз досліджень та публікацій. НВО «Респіратор» Мінпаливенерго України [2] провело фундаментальні дослідження впливу тепла на організм рятувальника під час гасіння підземних пожеж. Розглянуто такі аспекти, як вплив зовнішнього нагрівання, дія гарячого повітря (конвективне нагрівання), враховано вплив порівняно невеликих в підземних умовах променевих потоків. Однак зазначено, що застосування розроблених нормативних і програмних засобів оцінки теплового впливу можливе за відсутності джерел інтенсивного випромінювання. В авторитетному джерелі [3] докладно розглянуто фізіологічні особливості теплообміну організму людини із зовнішнім середовищем, а також кліматичні особливості окремих районів Європи та Азії для проектування та виготовлення теплозахисного одягу.

Дуже небезпечною для рятувальників є дія на них високої температури продуктів горіння не лише у обмеженому просторі, де відбувається пожежа, але й на відкритій місцевості. Перевищення температури нагрітих газів над температурою людського тіла в таких умовах призводить до теплового удару, втрати свідомості, больових відчуттів. Не менш небезпечною ніж висока температура, є дія теплового випромінювання на відкриті поверхні тіла людини. Так, теплове опромінювання інтенсивністю $1,1-1,4 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ викликає у людини ті ж відчуття, що і температура $42-46 \text{ }^\circ\text{C}$. Критичною ж інтенсивністю опромінювання вважають інтенсивність, що дорівнює $4,2 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ [4].

У більшості робіт, присвячених дослідженню зовнішнього теплового навантаження на пожежників, враховано лише дію прямих теплових променів від вогнища горіння. Це призводить до заниження результатів, недооцінки впливу конвективного нагрівання і відбитих променів.

Узагальнюючи інформацію можна зробити висновок, що відомі методики не враховують повною мірою всі види теплового впливу на рятувальника в процесі гасіння пожежі на відкритій місцевості. У цих умовах діють паралельно три основних види зовнішнього теплового впливу, а саме: прямі потоки теплових променів (радіація) від основних джерел випромінювання (пожежа і сонце), обдування тіла струменями гарячих газів (конвекція), теплота передача при дотику до нагрітих твердих предметів (кондукція) [5].

У будівельних нормах [6] наведені дані про середню і максимальну величину сумарної (прямої і розсіяної) сонячної енергії (табл. 1). Однак керуватися ними можна тільки в тих випадках, коли відсутні прямі теплові промені від пожежі, наприклад при гасінні торфовищ. В іншому випадку необхідно додатково враховувати прямі і відбиті теплові потоки, що генеруються осередком горіння.

З наведених в табл. 1 даних видно, що величина сонячної радіації істотно залежить від орієнтації опромінюваного майданчика. Найбільший рівень сонячної енергії надходить на горизонтальні ділянки, а також орієнтовані в напрямку схід-захід вертикальні. Опромінення фігури рятувальника також відбувається нерівномірно через рухи людини і переміщення світила по небу.

Ліквідація більшості надзвичайних ситуацій відбувається в умовах дефіциту часу на її ліквідацію, а також інформації про аварійну обстановку. Після прибуття на об'єкт керівникам гасіння пожежі, як правило, відомі основні параметри вогнища горіння, такі як: вид горючого, розміри фронту полум'я, кліматичні умови (температура повітря, його вологість, напрямки і швидкість вітру, хмарність тощо). Виходячи з цих відомостей, з урахуванням наявних сил і засобів, керівники повинні оцінити обстановку, визначити величину негативних факторів впливу пожежі на рятувальників і розробити не лише тактику впливу на осередок горіння, а й заходи безпеки особового складу.

Таблиця 1

Кількість сумарної (прямої і розсіяної) сонячної радіації ($\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$), що падає на різноорієнтовані поверхні в червні при безхмарному небі [5]

Поверхні і їх орієнтація щодо сторін світу	Позначення	Географічна широта, град			
		40	45	50	55
Горизонтальна	$q_{сер}$	345,4	344	344	343
	$q_{макс}$	945,5	900	883	785
Вертикальна (південна)	$q_{сер}$	79	101	122	139,5
	$q_{макс}$	309	273	448	512
Вертикальна (східна і західна)	$q_{сер}$	151	160	169	177
	$q_{макс}$	652	655	675	686
Вертикальна (північна)	$q_{сер}$	54,6	58	60,5	65
	$q_{макс}$	207	211	221	238

Мета роботи – обґрунтування основ оперативного обліку комплексу зовнішніх термодинамічних факторів для вибору засобів і способів протитеплого захисту рятувальників під час гасіння пожеж на відкритій місцевості.

Виклад основного матеріалу. Як відомо, основним джерелом теплового випромінювання є місце, де відбуваються окислювальні реакції – фронт горіння. Теплові промені, що потрапляють на тверду або рідку поверхню і частково поглинаються нею, передають молекулам речовини частину своєї енергії, змушуючи їх інтенсивно коливатися, нагріваючись при цьому. Інша енергія відбивається від поверхонь, розсіюючись в просторі. Чинні нормативні документи дають змогу об'єктивно оцінити величину теплової радіації вогнища горіння.

Ще одне джерело нагріву – сонячна радіація. Її дія на рятувальника подібна до дії пожежного випромінювання. Вона істотно залежить від кліматичних факторів, однак в ясну погоду вплив пожежі і вплив сонця можуть виявитися співрозмірними. Дія обох джерел незалежна, тому при дослідженні їх дії можна застосувати принцип суперпозиції.

На рятувальника діють як прямі, так і відбиті промені, що слід враховувати при визначенні допустимого часу перебування його в зоні теплового ураження.

Таким чином, зовнішнє теплове навантаження (Q_{wr}) на поверхню тіла або теплозахисного пристрою, що використовується рятувальниками при гасінні пожеж, складається з таких основних складових (рис.1):

- прямі теплові потоки від пожежі (Q_{fd}) і Сонця (Q_{sd}), дія яких має векторну спрямованість;
- відбиті ($Q_{fr}+Q_{sr}$) від ґрунту і стінок променеві потоки, що мають дзеркальний і дифузний характер;
- конвективні потоки нагрітих газів (Q_k), що обумовлені нагріванням поверхні або вітрового перенесення гарячих продуктів горіння;
- кондуктивний (Q_c) нагрів від зіткнення з нагрітими поверхнями, іскрами або полум'ям.

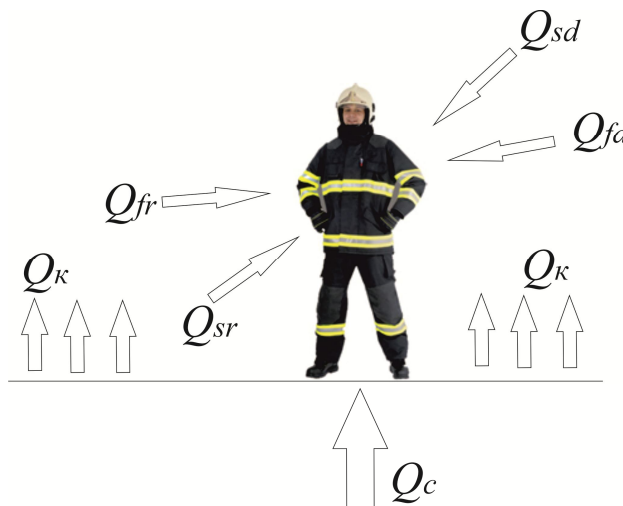


Рисунок 1 – Схема впливу на рятувальника зовнішніх теплових потоків: прямі промені від фронту горіння (Q_{fd}) і сонця (Q_{sd}); відображені – пожежні (Q_{fr}) і сонячні (Q_{sr}); конвективні (Q_k); кондуктивні (Q_c)

Слід зазначити, що крім зовнішнього, присутнє внутрішнє теплове навантаження, що обумовлено тепловіддачею при роботі м'язів людини (Q_{mb}) і функціонуванням регенеративної дихальної системи (Q_{ar}). Фактори, що визначають внутрішню теплогенерацію, яку вироблено організмом рятувальника, управляються шляхом вибору режимів роботи рятувальників, диспозицією підрозділів, застосуванням засобів механізації тощо. Тому вплив зовнішніх факторів є превалюючим, об'єктивно обумовленим і важко регулюється.

Загальну кількість теплоти, що надходить і генерується в системі «людина – теплозахисний одяг – зовнішнє середовище» (ЛТЗ), можна виразити рівнянням [7]:

$$(Q_{wt}) = Q_{sd} + Q_{fd} + Q_{fr} + Q_{sr} + Q_{\kappa} + Q_{mb} + Q_{ar} + Q_c \quad (1)$$

Дослідження внутрішнього теплового навантаження, що потребують застосування спеціальної апаратури, значного числа експериментів і участі в них піддослідних, були виконані [2], і відтворювати їх для визначення величин (Q_{mb} і Q_{ar}) немає необхідності. Дана робота передбачає спробу визначити закономірності впливу на рятувальників сонячних прямих (Q_{sd}) і відображених (Q_{sr}) потоків тепла.

Величина сонячної радіації є вельми нестабільною через вплив значного числа кліматичних динамічно мінливих чинників: висоти світила над горизонтом, хмарності, а також запиленості та задимленості повітря. Протягом доби величина сонячної радіації може істотно змінюватися, бути відсутньою вночі і досягати максимуму в середині дня. Тому має сенс оцінити можливе екстремальне теплове навантаження на організм від впливу сонячних променів, і доцільність її врахування при плануванні оперативних дій під час гасіння пожеж на відкритій місцевості.

Сонячна енергія, що дійшла до атмосфери у вигляді сонячних променів $q_{sdo}=1367 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ [8, с.178], має назву прямої сонячної радіації, вона частково розсіюється молекулами повітря і завислими у ньому частинками, деяка частина відбивається хмарами. Розсіювання помітно послаблює сонячну радіацію, що дійшла до поверхні землі $q_{sd}=k_{ocл}\cdot q_{sdo}$. Вплив водяної пари і особливо пилових частинок послаблює радіацію приблизно на 15%. У великих містах і пустельних областях, де запиленість повітря найбільша, розсіювання послаблює силу сонячних променів ще на 30 ... 45%. Відповідно сумарний коефіцієнт ослаблення сонячного променевого потоку може змінюватися в діапазоні:

$$0,85 > k_{ocл} > 0,47. \quad (2)$$

Величина сонячної радіації q_{sd} також істотно залежить від кута падіння променів на поверхню землі. При стрімкому їх падінні, коли кут між вектором проміння і нормаллю до поверхні дорівнює 0° , вона максимальна і становить близько 100%, при збільшенні цього кута до 90° відбувається її зменшення до 25% і менше (рис. 2).

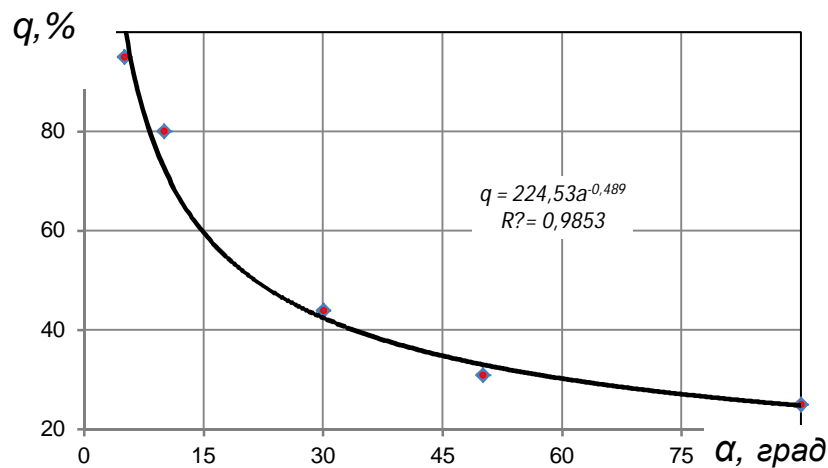


Рисунок 2 – Ослаблення сонячної радіації (%) при різних кутах (α) між вектором променя і нормаллю до поверхні

Визначення висоти сонця над горизонтом не становить труднощів в сучасних умовах, коли в інтернеті є «Астрономічні калькулятори» [9], в яких вхідними даними є дата, час доби, а також географічні координати. Деякі варіанти калькуляторів пропонують використовувати базу координат міст (назва найближчого міста) і час доби. Результатом розрахунку в будь-яких пристроях є значення в градусах азимута і кута висоти світила над горизонтом.

Залежно від параметрів падіння променів змінюється не тільки кількість променів, але також і їх якість. У період, коли сонце перебуває у зеніті, на ультрафіолетові промені припадає 4%, на видимі – 44% і інфрачервоні – 52%. При положенні сонця на горизонті ультрафіолетових променів зовсім немає, видимих – 28%, а інфрачервоних – 72%. Нагрівальну здатність мають інфрачервоні промені, що становлять в середньому близько 62% потоку. Ослаблення нагрівання прямою сонячною енергією визначається не тільки кутом α , а й спектральними характеристиками. Орієнтовно коефіцієнт спектрального зміни потоку (k_{ci}) можна прийняти у вигляді:

$$k_{ci} = 0,72 - 0,0022 \alpha \quad (3)$$

Таким чином, несприятливий прогноз теплового навантаження від дії прямих сонячних променів можна уявити як потік, що надходить від сонця, ослаблений атмосферою, що має усереднену частку нагрівального спектра, і залежить від розташування світила відносно поверхні. Вираз для його розрахунку можна представити у такому вигляді:

$$q_{sd} = 1367 \cdot k_{ocn} \cdot k_{ci} \cdot q = 1367 (0,47 \dots 0,85) \cdot (0,72 - 0,0022 \alpha) \cdot 2,24 \cdot \alpha^{-0,489}, \text{ Вт м}^{-2} \quad (4)$$

Орієнтовний розрахунок показує, що в ясну безвітряну погоду нагрів прямими сонячними променями, що падають під кутом $40 \dots 50^\circ$, може становити $q_{sd} = 150 \dots 270 \text{ Вт м}^{-2}$, що, за вирахуванням відбитої енергії, приблизно відповідає даним табл.1 для горизонтальних поверхонь. Ця величина у порівнянні із тепловим навантаженням від джерела горіння [4] не є дуже вагомою, але її слід обов'язково враховувати до загального теплового балансу рятувальника (див. (1)) для планування тривалості аварійних робіт в зонах ураження нагрівального мікроклімату. Крім того, коли рятувальник вже одягнений в захисний одяг на відкритій місцевості, але ще не зайшов у зону теплового ураження, то він вже знаходиться під впливом теплової енергії сонця.

При гасінні пожежі без використання засобів захисту від тепла, сонячне нагрівання слід враховувати навіть у відносно сприятливих умовах. З огляду на нерівномірність освітлення постаті, а також рухи рятувальника в процесі виконання оперативних дій, максимальну величину $Q_{sd} + Q_{rd}$ пропонується визначати як множину площі поверхні людського тіла на середньоарифметичне по стовпцю табл.1 для відповідної географічної широти значення $q_{сер}$. Цей показник дає змогу вжити заходів щодо зниження стомлюваності особового складу та підвищення ефективності роботи рятувальників шляхом обливання водою, забезпечення прохолодним вітамінним питвом, більш частими змінами при виконанні особливо напружених операцій тощо.

Відношення величини сонячної радіації, відбитої цією поверхнею, до величини потоку променевої енергії, що падає на цю поверхню, називається альбедо. Альбедо для площ виражається у відсотках (табл. 2); доцільно використовувати коефіцієнт відображення (k_o) в частках, що характеризує відбивну здатність цієї поверхні.

Альбедо залежить від характеру поверхні (властивості ґрунту, наявності снігу, рослинності, води тощо) і від величини кута падіння променів сонця на поверхню землі. Приклади альбедо з табл.2 відносяться до тих випадків, коли висота сонця над горизонтом дорівнює 45° (найбільш поширена ситуація). При зменшенні ж цього кута здатність відбиття збільшується [10].

Таблиця 2

Альбедо і коефіцієнт відображення різних поверхонь

Поверхня	Альбедо, %	k_o
Сніг свіжий	85	0,85
Пісок	30	0,3
Ліс	10...18	0,1...0,18*
Трава зелена	26	0,26*
Трава суха	19	0,19*
Вода	2...5	0,02...0,7**
Оksamит чорний	0,5	0,005
Алюміній	80...90	0,8...0,9

* – умовно прийнято тотожним альбедо

** – залежить від кута падіння світла

Так, наприклад, при висоті сонця $\alpha = 90^\circ$ вода відображає тільки 2%, при 50° – 4%, при 20° – 12%, при 5° – 35 ... 70% (залежно від стану водної поверхні) (рис.3). Цю властивість водної поверхні слід враховувати, тому що позиція, з якої здійснюються гасіння пожежі, часто покрита шаром води або піною, яка віддзеркалює так само, як сніг.

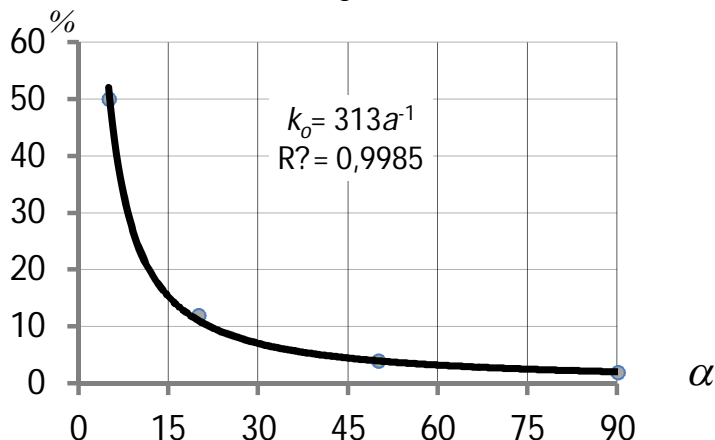


Рисунок 3 – Відбивна здатність водної поверхні (%) залежно від кута α між вектором променів і нормаллю до поверхні

Сумарний прямий, і відбитий, тепловий потік сонячної енергії можна оцінити з виразу:

$$q_{ss} = q_{sd} + q_{sr} = q_{sd}(1 + k_o) \quad (5)$$

Як впливає з виразу (3), на деяких поверхнях (сніг, піна, вода, метал), на рятувальників може впливати тепловий потік в 1,5 ... 1,8 разів більший, ніж прямий сонячний через наявність відбитих променів. Щільність потоку відбитих від майданчика променів обернено пропорційна квадратів відстані до об'єкта, що опромінюється, тому основна їхня дія позначається на близько розташовані частини тіла. Найбільш уразливими місцями є гомілки і ступні ніг.

Решта, поглинена поверхнею, частина сонячних променів витрачається на її розігрів і формування, потім конвективних повітряних потоків.

Відомо, що земля, отримуючи сонячну енергію, нагрівається і сама стає джерелом випромінювання тепла у простір. Однак промені, що випускаються поверхнею, якісно відрізняються від сонячних променів. Земля випромінює лише довгохвильові ($\lambda = 8 \dots 14$?) невидимі інфрачервоні (теплові) промені. Енергія, яку випромінює земна поверхня, називається земною радіацією. Слід зазначити, що величина земної радіації, на відміну від сонячної, не залежить від часу доби, а визначається величиною нагрівання поверхні. Вона істотно залежить від тривалості прогріву поверхні пожежею і сонцем. У тому випадку, коли розглядається спільна дія сонця і пожежі, максимальна земна радіація визначається як результат нагріву поверхні цими двома джерелами енергії:

$$q_{sr}^1 = C \cdot \left(\frac{T_s}{100}\right)^4 \quad (6)$$

де q_{sr}^1 – кількість випроміненої з поверхні енергії, $\text{МДж м}^{-2}\text{год}^{-1}$; C – коефіцієнт випромінювання тіла, $\text{МДж м}^{-2}\text{год}^{-1}\text{К}^4$; F – площа опроміненої поверхні, м^2 ; T_s – температура поверхні, К .

Оцінити температуру T_s можна, безпосереднім вимірюванням, або використовуючи запропонований А.М. Шкловером [11] вираз:

$$T_s = T_n + \frac{\rho \cdot (q_{sd} + q_{fd})}{\alpha_{om}}, \quad (7)$$

де T_n – температура зовнішнього повітря, К ; α_{om} – коефіцієнт тепловіддачі поверхні, $\text{МДж м}^{-2}\text{год}^{-1}$; ρ – коефіцієнт поглинання сонячної радіації поверхнею; q_{sd} , q_{fd} – кількість прямої, відповідно, сонячної та пожежної радіації, $\text{МДж м}^{-2}\text{год}^{-1}$.

Слід зазначити, що температура нагрітої поверхні T_s визначає не лише рівень випромінювання, але і величину кондуктивного нагрівання стоп рятувальника Q_c (рис. 1).

Після підстановки виразу (7) в (6) він набуде такого вигляду:

$$Q_{sr}^1 = 100^{-4} \cdot C \cdot F \cdot \left[T_n + \frac{\rho \cdot (q_{sd} + q_{fd})}{\alpha_{om}} \right]^4, \text{ МДж год}^{-1} \quad (8)$$

Аналіз виразу (8) показав, що характерні для більшості реальних пожеж умови визначають настільки малу величину вторинного випромінювання q_{sr}^1 , що нею можна знехтувати. При цьому поверхня може нагріватися до 100°C і більше, що визначає необхідність захисту рятувальників від ураження теплопереносом кондуктивного характеру.

Напрошується практичний висновок про те, що для зниження рівня відбитого опромінення пожежників слід штучно зменшувати значення коефіцієнта відбиття поверхні, досягти цього можна, наприклад, посипаючи місця розташування рятувальників піском і зрошуючи його водою (див. табл. 2). У цьому випадку значна частина променевої енергії буде поглинатися, зменшуючи відбуння, а потім витратитися на фазові перетворення вологи і приводити до скорочення конвективного нагріву повітря.

Висновки. В результаті виконаної роботи для випадку гасіння пожеж на відкритій місцевості рівняння балансу теплового навантаження на організм рятувальника доповнено компонентами, зумовленими впливом прямих і відбитих сонячних променів. Дію сонячної енергії слід враховувати не тільки під час безпосереднього гасіння пожеж, але й в період, коли рятувальник в захисному одязі ще не увійшов у зону теплового ураження, для розрахунку часу виконання аварійно-рятувальних робіт.

Були теоретично обґрунтовані вирази для розрахунку екстремальних рівнів прямих і відбитих сонячних променів, що діють на рятувальників. Вони придатні для оперативної оцінки впливу сонячної радіації на особовий склад підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій і прийняття рішення про використання засобів захисту від тепла.

Перспективним питанням є управління зовнішніми факторами для безпеки рятувальників і підвищення ефективності ведення оперативних дій на підставі аналізу розвитку механізму впливу обстановки в районі пожежі на організм людини.

Список літератури:

1. **Костенко Т. В.** Особливості травматизму рятувальників в Україні / Т. В. Костенко // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукр. наук.-техн. журнал. – 2017. – №1 (40). – С. 165–169.
2. **Клименко Ю. В.** Воздействие лучистого потока на человека при тушении подземного пожара / Ю.В. Клименко, И.Ф. Марийчук // Науковий вісник НГА України. – Дніпропетровськ, 2002. – №1. – С.46-49.
3. **Колесников П. А.** Теплозащитные свойства одежды. – М. : Легкая индустрия, 1965. – 346 с.
4. **Болібрux Б. В.** Развитие научных основ створення високоефективних засобів індивідуального захисту пожежника: дис. ... доктора техн. наук : 05.26.01 / Болібрux Борис Васильович. – Покровськ, 2017. – 542 с.
5. **Костенко Т. В.** Можливості захисту рятувальників від теплового впливу / Т. В. Костенко // Пожежна безпека: теорія і практика: збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2015. – №20. – С. 53-60.
6. **Будівельна кліматологія:** ДСТУ-Н Б В.1.1–27: 2010.– [Дата введення 2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
7. **Zhurbinskiy D. A., Kostenko T. V., Kostenko V. K.** Evaluation of radial component of thermal load at workplaces in hot shops/Metallurgical and Mining Industry No.9 — 2016.– Pp. 20 – 26.
8. **Николайкин Н. И.** Экология / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова / учебник 3-е изд., стереотип. – М., 2004. – С 178.

9. **Азимут и высота (положение) Солнца по городам** [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <http://mapgroup.com.ua/glavnaya/astronomicheskie-kalkulyatory/1005-azimut-i-vysota-polozhenie-solntsa-po-gorodam>

10. **Половинкин А. А.** Основы общего землеведения: Учебник для педагогических институтов. – М.: Учпедгиз, 1958. – 556 с.

11. **Шкловер А. М.** Теплопередача при периодических тепловых воздействиях / Шкловер А.М. – М.: Энергоиздат, 1961. – 350 с.

References:

1. **Kostenko T. V.** (2017) “Features injury rescuers in Ukraine” [“Osoblyvosti travmatyzmu ryatuvальnykiv v Ukrayini”], *Visti Donets'koho hirnychoho instytutu: Vseukrayins'kyi naukovo-tekhnichnyy zhurnal*, No.1 (40), pp.165-169 (in Ukr.).

2. **Klimenko, Yu. V., Mariychuk, I. F.**, (2002), “The impact of the radiant flux per person to extinguish underground fire” [“Vozdeystvie luchistogo potoka na cheloveka pri tushenii podzemnogo pozhara”], *Naukovyy visnyk NHA Ukrayiny*, No.1, pp.46-49 (in Russ.).

3. **Kolesnikov P. A.** (1965) “Heat-protective properties of clothing” [“Teplozashchitnyye svoystva odezhdy”], *Legkaya industriya – Moscow* – 346 p. (in Russ.).

4. **Bolibrukh B. V.** (2017) “Development of Scientific Bases of Creation of Highly Effective Personal Protective Equipment of Fire-fighters” [“Razvitiye nauchnykh osnov ozdaniya vysokoeffektivnykh sredstv individual'noy zashchity pozharnogo”], Thesis of the doctor engineering science: 05.26.01, *Pokrovs'k* – 542 p.

5. **Kostenko, T. V.** (2015), “Possibilities of protection rescuers from thermal effects” [“Mozhlyvosti zakhystu ryatuvальnykiv vid teplovoho vplyvu”], “Fire safety: theory and practice”: scientific research journal, No. 20, pp. 53-60 (in Ukr.).

6. **Budivel'na klimatolohiya: DSTU-N B V.1.1–27: 2010.–** [Data vvedennya 2011-11-01]. / *Minrehionbud Ukrayiny*. – K.: Ukrarkhbudininform, 2011. – 123 p (in Ukr.).

7. **Zhurbinskiy D. A., Kostenko T. V., Kostenko V. K.** (2016), Evaluation of radial component of thermal load at workplaces in hot shops/Metallurgical and Mining Industry No.9, Pp. 20 – 26 (in Eng.).

8. **Nikolaykin N. I., Nikolaykina N. E., Melehova O. P.** (2004) “Ecology” Textbook 3rd ed., “Stereotip” – Moscow, 624 p (in Russ.).

9. **Azimuth and altitude (position) of the Sun by cities.** Retrieved from <http://mapgroup.com.ua/glavnaya/astronomicheskie-kalkulyatory/1005-azimut-i-vysota-polozhenie-solntsa-po-gorodam> (in Russ.).

10. **Polovinkin A. A.** (1958), “Fundamentals of General Geography” [“Osnovy obshego zemlevedeniya”] Textbook for Pedagogical Institutes, Moscow, 556 p (in Russ.).

11. **Shklover A. M.** (1961), “Heat transfer at periodic thermal influences” [“Teploperedacha pri periodicheskikh teplovykh vozdeystviyakh”] “Energoizdat” - Moscow – 350 p (in Russ.).

