

УДК 614.89:331.45

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА СПАСАТЕЛЕЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ОТКРЫТОЙ МЕСТНОСТИ

Костенко Т.В.

IMPACT ASSESSMENT OF SOLAR RADIATION ON RESCUERS WORKING IN THE OPEN AREA

Kostenko T.

В статье уравнение баланса тепловой нагрузки на организм спасателя дополнено компонентами, обусловленными воздействием прямых и отраженных солнечных лучей, полученными на основании анализа источников энергетической обстановки при тушении пожаров на открытой местности. Теоретически обоснованы выражения для расчета экстремальных уровней прямых и отраженных солнечных лучей, действующих на спасателей. Эти данные необходимы для оперативной оценки влияния солнечной радиации на личный состав подразделений службы чрезвычайных ситуаций и принятия решения об использовании средств защиты от теплового воздействия.

Ключевые слова: тепловые потоки, солнечная энергия, спасатель, теплозащитные средства

Введение. Тушение пожаров на нефтехранилищах, лесных массивах, транспортных средствах, таких как железнодорожные и автомобильные цистерны, конвейеры, в угольных разрезах проводят на открытой местности. Среди видов травматизма личного состава при ликвидации такого рода пожаров, часты тепловые поражения, а именно ожоги, перегрев организма, потеря сознания, тепловые удары, а иногда – летальные исходы. В настоящее время в нормативных документах отсутствуют рекомендации по учету влияния солнечной энергии на оперативный состав спасательных подразделений. Хотя солнечное излучение оказывает сильное негативное воздействие даже на людей просто находящихся на открытой местности, ухудшая функционирование центральной нервной, сердечно-сосудистой и других систем организма. Поэтому совершенствование нормативных документов в части выработки решения по установлению режима работы и применению средств индивидуальной и групповой защиты личного состава от действия тепла является актуальной задачей. Основой для выбора путей повышения защиты спасателей, по мнению авторов, является раскрытие механизма внешней тепловой нагрузки на

спасателя при тушении пожаров на открытой местности.

В настоящее время известны фундаментальные исследования влияния тепла на организм горноспасателя при тушении подземных пожаров выполненные в НПО «Респиратор» Минтопэнерго Украины [1]. Рассмотрены такие аспекты как влияние внешнего нагрева как действие горячего воздуха (конвективное нагревание), учтено влияние сравнительно небольших в подземных условиях лучевых потоков. Однако, указано, что применение разработанных нормативных и программных средств оценки теплового влияния возможно при отсутствии источников интенсивного излучения.

В большинстве работ, посвященных исследованию внешней тепловой нагрузки на пожарных, учитывают только действие прямых тепловых лучей от очага горения. Это приводит к занижению результатов, недооценке влияния конвективного нагрева и отраженных лучей.

Обобщая информацию, можно сделать вывод, что известные методики не учитывают в полной мере все виды теплового воздействия на спасателя в процессе тушения пожара на открытой местности. В этих условиях действуют параллельно три основных вида внешнего теплового воздействия, а именно: прямые потоки тепловых лучей (радиация) от основных источников излучения (пожар и Солнце), обдувающие тела струями горячих газов (конвекция), теплопередача при прикосновении к нагретым твердым предметам (кондукция) [2].

В строительных нормах [3] приведены данные о средней и максимальной величине суммарной (прямой и рассеянной) солнечной энергии (табл.1). Однако руководствоваться ими можно только в тех случаях, когда отсутствуют прямые тепловые лучи от пожара, например при тушении торфяников. В противном случае необходимо дополнительно учи-

тивать прямые и отраженные тепловые потоки генерируемые очагом горения.

Таблица 1
Количество суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации ($Вт \cdot м^2$), падающей на различно ориентированные поверхности в июне при безоблачном небе [3]

Поверхности и их ориентация по странам света	Обозначение	Географическая широта, град			
		40	45	50	55
Горизонтальная	$q_{ср}$	345,4	344	344	343
	$q_{макс}$	945,5	900	883	785
Вертикальная (южная)	$q_{ср}$	79	101	122	139,5
	$q_{макс}$	309	273	448	512
Вертикальная (восточная и западная)	$q_{ср}$	151	160	169	177
	$q_{макс}$	652	655	675	686
Вертикальная (северная)	$q_{ср}$	54,6	58	60,5	65
	$q_{макс}$	207	211	221	238

Из приведенных в табл.1 данных видно, что величина солнечной радиации существенно зависит от ориентации облучаемой площадки. Наибольший уровень солнечной энергии поступает на горизонтальные участки, а также ориентированные в направлении восток-запад вертикальные. Облучение фигуры спасателя также происходит неравномерно из-за движения человека и перемещения светила по небосводу.

Ликвидация большинства чрезвычайных ситуаций происходит в условиях дефицита времени на ее ликвидацию, а также информации об аварийной обстановке. После прибытия на объект руководителям тушения пожара, как правило, известны основные параметры очага горения, такие как вид горящих материалов, размеры фронта пламени, климатические условия, а именно, температура воздуха, его влажность, направление и скорость ветра, облачность и другие. Исходя из этих сведений, с учетом располагаемых сил и средств, руководители должны оценить обстановку, определить величину негативных факторов воздействия пожара на спасателей, и выработать не только тактику воздействия на очаг горения, но и меры безопасности личного состава.

Целью работы является обоснование основ оперативного учета комплекса внешних термодинамических факторов для выбора средств и способов противотепловой защиты спасателей при тушении пожаров на открытой местности.

Изложение основного материала. Как известно, основным источником теплового излучения является место, где происходят окислительные реакции – фронт горения. Тепловые лучи, попадая на твердую или жидкую поверхность и частично поглощаясь ею, передают молекулам вещества часть своей энергии, заставляя их интенсивно колебаться, нагреваясь при этом. Остальная энергия отражается от поверхностей, рассеиваясь в пространстве. Действующие нормативные документы позволяют объ-

ективно оценить величину тепловой радиации очага горения.

Еще один источник нагрева – солнечная радиация. Ее действие на спасателя подобно действию пожарного излучения. Она существенно зависит от климатических факторов, однако, в ясную погоду действие пожара и Солнца может оказаться соизмеримым. Действие обоих источников независимо, поэтому при исследовании их действия применим принцип суперпозиции.

На спасателя действуют как прямые, так и отраженные лучи, что следует учитывать при определении допустимого времени пребывания его в зоне теплового поражения.

Таким образом, внешняя тепловая нагрузка (Q_{wt}) на поверхность тела или теплозащитного устройства, используемого спасателями при тушении пожаров, складывается из следующих основных составляющих (рис.1):

- прямые тепловые потоки от пожара (Q_{fd}) и Солнца (Q_{sd}), действие которых имеет векторную направленность;
- отраженные ($Q_{fr}+Q_{sr}$) от грунта и стенок лучевые потоки, имеющие зеркальный и диффузный характер.
- конвективные потоки нагретых газов (Q_k), обусловленные нагревом поверхности или ветрового переноса горячих продуктов горения;
- кондуктивный (Q_c) нагрев от соприкосновения с нагретыми поверхностями, искрами или пламенем.

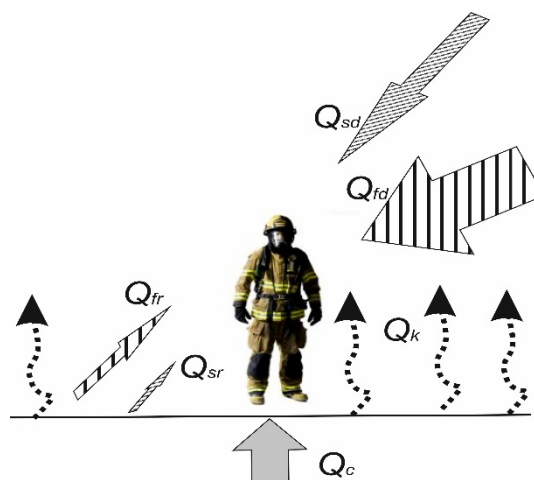


Рис. 1. Схема воздействия на спасателя внешних тепловых потоков: прямые лучи от фронта горения (Q_{fd}) и солнца (Q_{sd}); отраженные - пожарные (Q_{fr}) и солнечные (Q_{sr}); конвективные (Q_k); кондуктивные (Q_c)

Следует отметить, что кроме внешней, присутствует внутренняя тепловая нагрузка обусловленная: тепловыделением при работе мышц человека (Q_{mb}) и функционированием регенеративной дыхательной системы (Q_{ar}). Факторы, определяющие вырабатываемую организмом спасателя внутреннюю теплогенерацию, являются управляемыми путем выбора режимов работы спасателей, диспозицией

подразделений, применением средств механизации и другими способами. Поэтому воздействие внешних факторов является преобладающим, объективно обусловленным и труднорегулируемым.

Общее количество поступающей и генерируемой в системе «человек – теплозащитная одежда – внешняя среда» (ЧТС) теплоты можно выразить уравнением [4]:

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

Фундаментальные, требующие применения специальной аппаратуры, значительного числа экспериментов и участвующих в них испытуемых, исследования внутренней тепловой нагрузки выполнены в НПО «Респиратор» [1] и воспроизводить их для определения величин (Q_{mb} и Q_{ar}) нет необходимости. В данной работе имеет место попытка определить закономерности воздействия на спасателей солнечных прямых (Q_{sd}) и отраженных (Q_{sr}) потоков тепла.

Величина солнечной радиации является весьма нестабильной в силу влияния значительного числа климатических динамично меняющихся факторов, она зависит от высоты светила над горизонтом, облачности, а также запыленности и задымленности воздуха. В течение суток величина солнечной радиации может существенно изменяться, отсутствовать ночью и достигать максимума в середине дня. Поэтому имеет смысл оценить возможную экстремальную тепловую нагрузку на организм от влияния солнечных лучей, и целесообразность ее учета при планировании оперативных действия при тушении пожаров на открытой местности.

Солнечная энергия, дошедшая до атмосферы Земли в виде лучей Солнца $q_{sdo} = 1367, \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ [5], носит название прямой солнечной радиации, она частично рассеивается молекулами воздуха и взвешенными в нем частичками, некоторая часть отра-

жается облаками. Рассеивание заметно ослабляет дошедшую до поверхности земли солнечную радиацию $q_{sd} = k_{ocл} \cdot q_{sdo}$. Влияние водяных паров и особенно пылевых частиц ослабляет радиацию примерно на 15%. В больших городах и пустынных областях, где запыленность воздуха наибольшая, рассеивание ослабляет силу солнечных лучей еще на 30...45%. Соответственно суммарный коэффициент ослабления солнечного лучевого потока может изменяться в диапазоне:

$$0,85 > k_{ocл} > 0,47. \quad (2)$$

Величина солнечной радиации q_{sd} также существенно зависит от угла падения лучей на поверхность Земли. При отвесном их падении, когда угол между вектором луча и нормалью к поверхности равен 0° , она максимальна и составляет около 100%, при увеличении этого угла до 90° происходит ее уменьшение до 25% и менее (рис.2).

Определение высоты Солнца над горизонтом не представляет труда в современных условиях, когда в интернете имеются «Астрономические калькуляторы» [6], в которых входными данными являются дата, время суток, а также географические координаты. Некоторые варианты калькуляторов предлагают использовать базу координат городов (название ближайшего города) и время суток. Результатом расчета в любых устройствах является значение в градусах азимута и угла высоты светила над горизонтом.

В зависимости от параметров падения лучей изменяется не только количество лучей, но также и их качество. В период, когда Солнце находится в зените, на ультрафиолетовые лучи приходится 4%, на видимые - 44% и инфракрасные - 52%. При положении Солнца у горизонта ультрафиолетовых лучей совсем нет, видимых 28%, а инфракрасных 72%.

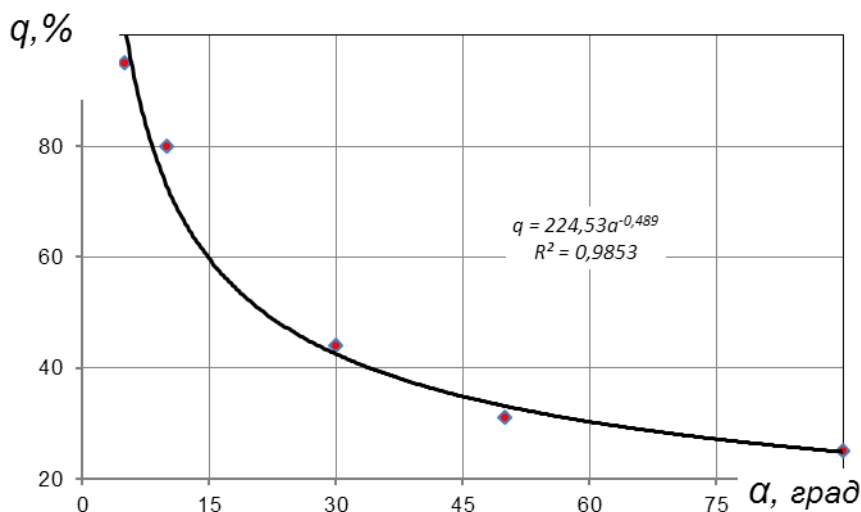


Рис. 2. Ослабление солнечной радиации (%) при различных углах (α) между вектором луча и нормалью к поверхности

Нагревающей способностью обладают инфракрасные лучи, составляющие, в среднем, около 62% потока. Ослабление нагрева прямой солнечной энергией определяется не только углом α , но и спектральными характеристиками. Ориентировочно коэффициент спектрального изменения потока (k_{cu}) можно принять в виде:

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

Таким образом, неблагоприятный прогноз тепловой нагрузки от действия прямых солнечных лучей можно представить, как поступающий от Солнца поток, ослабленный атмосферой, имеющий усредненную долю нагревающего спектра, и зависящий от расположения светила относительно поверхности. Выражение для его расчета можно представить в следующем виде:

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

Ориентировочный расчет показывает, что в ясную безветренную погоду нагрев прямыми солнечными лучами, падающими под углом $40 \dots 50^\circ$, может составлять $q_{sd} = 150 \dots 270, \text{ Вт м}^{-2}$, что, за вычетом отраженной энергии, примерно соответствует данным табл.1 для горизонтальных поверхностей. Такая величина является весомой добавкой в общий тепловой баланс спасателя (см. (1)), ее следует обязательно учитывать для планирования продолжительности аварийных работ в зонах нагревающего микроклимата.

При тушении пожара без использования средств защиты от тепла, солнечный нагрев следует учитывать даже в относительно благоприятных условиях. Учитывая неравномерность освещения фигуры, а также движение спасателя в процессе выполнения оперативных действий, максимальную величину $Q_{sd} + Q_{rd}$ предлагается определять как произведение площади поверхности человеческого тела на среднестатистический по столбцу табл.1 для соответствующей географической широты значение q_{cp} . Этот показатель позволяет принять меры по снижению утомляемости личного состава и повышению эффективности работы спасателей путем обливания водой, обеспечения прохладным витаминным питьем, более частыми сменами при выполнении особенно напряженных операций и т.д.

Отношение величины солнечной радиации, отраженной данной поверхностью, к величине потока лучистой энергии, падающей на эту поверхность, называется альбедо. Альбедо для площадей выражается в процентах (табл.2), целесообразно использовать коэффициент отражения (k_o) в долях, характеризующий отражательную способность данной поверхности.

Альбедо зависит от характера поверхности (свойства почвы, наличия снега, растительности, воды и т.д.) и от величины угла падения лучей Солнца

на поверхность Земли. Примеры альбедо из табл.2 относятся к тем случаям, когда высота Солнца над горизонтом равна 45° (наиболее распространенная ситуация). При уменьшении же этого угла отражающая способность увеличивается [7].

Таблица 2

Альбедо и коэффициент отражения различных поверхностей

Поверхность	Альбедо, %	k_o
Снег свежий	85	0,85
Песок	30	0,3
Лес	10...18	0,1...0,18*
Трава зеленая	26	0,26*
Трава сухая	19	0,19*
Вода	2...5	0,02...0,07**
Бархат черный	0,5	0,005
Алюминий	80...90	0,8...0,9

* - условно принято тождественным альбедо

** - зависит от угла падения света

Так, например, при высоте Солнца $\alpha = 90^\circ$ вода отражает только 2%, при 50° - 4%, при 20° - 12%, при 5° - 35...70% (в зависимости от состояния водной поверхности) (рис.3). Это свойство водной поверхности следует учитывать, так как позиция, с которой осуществляют тушение пожара, часто покрыта слоем воды или распадающейся пены, которая отражает подобно снегу.

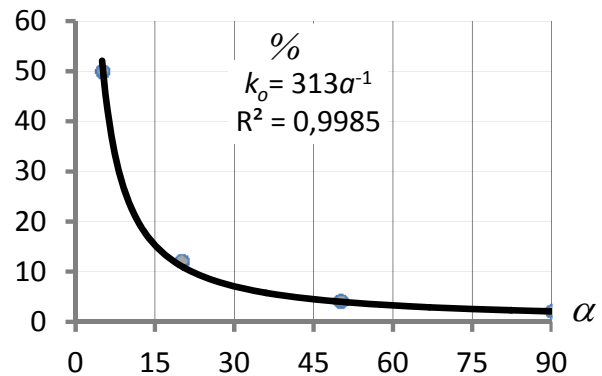


Рис. 3. Отражательная способность водной поверхности (%) в зависимости от угла (α) между вектором лучей и нормалью к поверхности

Суммарный прямой, и отраженный, тепловой поток солнечной энергии можно оценить из выражения:

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

Как следует из выражения (3), на некоторых поверхностях (снег, пена, вода, металл), на спасателей может воздействовать тепловой поток в $1,5 \dots 1,8$ раз больший, чем прямой солнечный из-за наличия отраженных лучей. Плотность потока отраженных от площадки лучей обратно пропорциональна квадрату расстояния до облучаемого объекта, поэтому основное их воздействие сказывается на близко рас-

положенные части тела. Наиболее уязвимыми местами являются голени и ступни ног.

Остальная, поглощенная поверхностью, часть солнечных лучей расходуется на ее разогрев и формирование, в дальнейшем, конвективных воздушных потоков.

Известно, что Земля, получая солнечную энергию, нагревается и сама становится источником излучения тепла в мировое пространство. Однако лучи, испускаемые поверхностью, качественно отличаются от солнечных лучей. Земля излучает лишь длинноволновые ($\lambda = 8...14\mu$) невидимые инфракрасные (тепловые) лучи. Энергия, излучаемая земной поверхностью, называется *земной радиацией*. Следует отметить, что величина земной радиации, в отличие от солнечной, не зависит от времени суток, а определяется величиной нагрева поверхности. Она существенно зависит от продолжительности прогрева поверхности пожаром и Солнцем. В том случае, когда рассматривается совместное действие Солнца и пожара, максимальная земная радиация определяется как результат нагрева поверхности этими двумя источниками энергии:

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

где q_{sr}^1 - количество излученной с поверхности энергии, $МДж м^{-2}ч^{-1}$; C - коэффициент излучения тела, $МДж м^{-2}ч^{-1}К^{-4}$; F - площадь облученной поверхности, $м^2$; T_s - температура поверхности, $К$.

Оценить температуру T_s можно, непосредственным измерением, или используя предложенное А.М. Шкловером [8] выражение:

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

где T_n - температура наружного воздуха, $К$; α_{om} - коэффициент теплоотдачи поверхности, $МДж м^{-2}ч^{-1}$; ρ - коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью; q_{sd} , q_{fd} - количество прямой, соответственно, солнечной и пожарной радиации, $МДж м^{-2}ч^{-1}$.

Следует отметить, что температура нагретой поверхности T_s определяет не только уровень излучения, но и величину кондуктивного нагрева стоп спасателя Q_c (см.рис.1).

После подстановки выражения (7) в (6) оно примет следующий вид:

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

Анализ выражения (8) показал, что характерные для большинства реальных пожаров условия определяют пренебрежительно малую величину вторичного излучения q_{sr}^1 . При этом поверхность

может нагреваться до $100^{\circ}C$ и более, что определяет необходимость защиты спасателей от поражения теплопереносом кондуктивного характера.

Напрашивается практический вывод о том, что для снижения уровня отраженного облучения пожарных следует искусственно уменьшать значение коэффициента отражения поверхности, достичь этого можно, например, посыпая места расположения спасателей песком и орошая его водой (см. табл.2). В этом случае существенная часть лучевой энергии будет поглощаться, уменьшая отражение, а затем расходоваться на фазовые превращения влаги и приводить к сокращению конвективного нагрева воздуха.

Выводы. На основании анализа источников энергетической обстановки при тушении пожаров на открытой местности уравнение баланса тепловой нагрузки на организм спасателя дополнено компонентами, обусловленными воздействием прямых и отраженных солнечных лучей. При ясной погоде уровень воздействия Солнца на пожарного может быть сопоставим с лучевой нагрузкой от очага горения.

Теоретически обоснованы выражения для расчета экстремальных уровней прямых и отраженных действующих на спасателей солнечных лучей. Они пригодны для оперативной оценки влияния солнечной радиации на личный состав подразделений службы чрезвычайных ситуаций и принятия решения об использовании средств защиты от тепла.

В отличие от солнечной, земная радиация не зависит напрямую от времени суток, ее уровень зависит от продолжительности и уровня суммарной, пожарной и солнечной лучевой воздействия на грунт. Она определяет величину конвективного прогрева воздуха, а также угрозу теплового поражения при контакте с горячими поверхностями.

Развитие механизма воздействия обстановки в районе пожара на человеческий организм открывает перспективу управления внешними факторами для обеспечения безопасности спасателей и повышения эффективности ведения оперативных действий.

Л и т е р а т у р а

1. 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.
2. 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.
3. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27: 2010.– [Дата введення 2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
4. 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.

5. Николайкин Н.И. Экология / Н.И.Николайкин, Н.Е.Николайкина, О.П.Мелехова / учебник 3-е изд., стереотип. - М.: 2004. - 624 с.
6. <http://planetcalc.ru/318/?license=1>
7. Половинкин А.А. Основы общего землеведения: Учебник для педагогических институтов. — М.: Учпедгиз, 1958, –556 с.
8. Шкловер А.М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях / Шкловер А.М. – М.: Энергоиздат, 1961,-350с.

References

1. 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 požara”], Naukovyy visnyk NHA Ukrainy, No.1, pp.46-49.
2. Kostenko, T.V. (2015), “Possibilities of protection rescuers from thermal effects” [“Mozhlyvosti zakhystu ryatuvальnykh vid teplovoho vplyvu”], “Fire safety: theory and practice”: scientific research journal, No. 20, pp. 53-60
3. Budivel'na klimatolohiya: DSTU-N B V.1.1–27: 2010.– [Data vvedennya 2011-11-01]. / Minrehionbud Ukrainy. – К.: Ukrarkhbudinform, 2011. – 123 p.
4. 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.
5. .Nikolaykin N.I, Nikolaykina N.E., Melehova O.P. (2004) “Ecology” Textbook 3rd ed., “Stereoip” – Moscow, 624 p.
6. <http://planetcalc.ru/318/?license=1>
7. Polovinkin A.A. (1958), “Fundamentals of General Geography” [“Osnovyi obshchego zemlevedeniya”] Textbook for Pedagogical Institutes, Moscow, 556 p.
8. Shklover A.M. (1961), “Heat transfer at periodic thermal influences” [“Teploperedacha pri periodicheskikh teplovykh vozdeystviyakh”] “Energoizdat” - Moscow - - 350p.

Костенко Т.В., Оцінка впливу сонячної радіації на рятувальників, що діють на відкритій місцевості

В статті рівняння балансу теплового навантаження на організм рятувальника доповнено 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 підрозділів служби з надзвичайних ситуацій та для прийняття рішень про використання засобів захисту від теплового впливу.

Ключові слова: теплові потоки, сонячна енергія, рятувальник, теплозахисні засоби

Kostenko T. Impact assessment of solar radiation on rescuers working in the open area

In the article balance equation for the heat load on the rescuers body updated with components caused by direct and reflected sun rays that based on analysis of the energy sources of the situation for extinguishing fires in open areas. Established that in clear weather the level of sun exposure to rescuers can be comparable with the radiation dose from the combustion chamber. Theoretical justification of the expressions for calculating extreme levels of direct and reflected sun rays acting on rescuers. These data are necessary for the rapid assessment of the impact of solar radiation on the personnel departments emergency service and decision-making on the use of thermal protection. Mechanism development of the impact of situation in the fire area for human body opens the prospect of managing external factors to ensure the safety of rescuers and increasing the effectiveness of operational activities

Keywords: heat flow, solar radiation, rescuer, thermal protection

Костенко Т.В. – к.т.н., доцент кафедри автоматических систем безопасности и электроустановок Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины, tatiana.kostenko@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін В.О.**

Стаття подана 8.04.2017