

*Т.В. Костенко, канд. техн. наук, А.І. Березовський, канд. техн. наук, доцент,
О.В. Костирка, канд. техн. наук
(Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України)*

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛООВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА РЯТУВАЛЬНИКІВ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖ У РЕЗЕРВУАРАХ З НАФТОПРОДУКТАМИ

Розглянуто механізм теплового навантаження на рятувальників, який включає зовнішні шляхи нагрівання від вогнища горіння і від сонця, і внутрішні (тепловиділення організму, робота регенеративної дихальної системи). Встановлено, що для зовнішнього теплового навантаження переважаючими є променеві потоки енергії. Геометричні розміри резервуарів для зберігання нафтопродуктів зумовлюють величину енергії, що випромінюється під час пожежі. Обґрунтовано залежність для оперативної оцінки променевого теплового потоку і вираз для розрахунку безпечних для аварійних робіт зон поблизу палаючих в резервуарах нафтопродуктів.

Ключові слова: горіння нафтопродуктів, резервуар, теплове навантаження на рятувальника, променева енергія.

T. Kostenko, A. Berezovs'kyi, O. Kostyrka

FORECAST OF THERMAL LOAD ON RESCUERS DURING THE EXHAUSTION OF FIRE IN TANKS WITH PETROLEUM PRODUCTS

The article deals with the mechanism of the thermal load on the rescuer, that includes external heating paths (from the source of combustion and from the Sun), and inside (body heat, regenerating operation of respiratory system) sources. It is established that for the external heat load ray energy flows are prevalent. Geometrical dimensions of reservoirs for the storage of oil products predetermine the amount of energy radiated by fire. Substantiated dependence for operative estimation the radiant heat flow, and the expression for calculation of safe zones of conducting emergency works near the burning of oil products reservoirs are developed.

Keywords: burning of oil products, reservoir, heat load on rescuer, ray energy.

Постановка проблеми. Гасіння великих пожеж на нафтоосховищах, в лісових масивах, транспортних засобах, на вугільних розрізах і інші, проводять на відкритій місцевості. Серед видів травматизму особового складу під час ліквідації таких масштабних пожеж, найчастіше трапляються теплові ураження, а саме: опіки, перегрів організму, втрата свідомості, теплові удари. Причиною, яка визначає наявність цього роду травм, є недосконалість нормативних документів щодо оперативної оцінки зовнішнього теплового навантаження на рятувальників, і обмежений, на наш погляд, рівень захисної дії протитеплових засобів, якими оснащені рятувальні підрозділи. Тому вдосконалення нормативних документів в частині швидкого прийняття рішення щодо застосування засобів індивідуального та групового захисту особового складу від дії тепла є актуальним завданням. Одним із шляхів для вибору засобів і способів підвищення захисту рятувальників від теплових травм, на думку авторів, може бути методика оперативної оцінки зовнішнього теплового навантаження на рятувальника при гасінні масштабної пожежі, в першу чергу для палаючих резервуарів з нафтопродуктами.

Аналіз досліджень та публікацій. Слід визнати, що оцінці теплового впливу на організм людини при пожежах в резервуарних парках присвячено дуже мало праць. У більшості робіт, присвячених дослідженню зовнішнього теплового навантаження на пожежників та обґрунтуванню заходів з їх захисту, враховують лише дію прямих теплових променів [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Це призводить до заниження результатів, недооцінки впливу конвективного нагрівання і відбитих променів. Узагальнюючи інформацію, можна зробити висновок, що у відомих методиках не враховано повною мірою всі види теплового впливу на рятувальника в процесі гасіння пожежі на відкритій місцевості. В цих умовах діють паралельно три основних види зовнішнього теплового впливу, а саме: потоки теплових променів (радіація), обдуваючі струмені гарячих газів (конвекція), теплопередача при дотику до нагрітих твердих предметів (теплопередача) [7]. Актуальним є оперативне оцінювання величини дії зовнішніх чинників, що визначають тепловий вплив на пожежників, при веденні рятувальних робіт.

Після прибуття на об'єкт керівники гасіння пожежі обмежені інформацією і часом. Як правило, їм відомі параметри пожежі, такі як вид горючих матеріалів, розміри фронту горіння; кліматичні умови, а саме, температура повітря, його вологість, швидкість вітру, хмарність та інші. Виходячи з цих відомостей, з урахуванням наявних сил і засобів, керівники повинні оцінити обстановку і виробити не тільки тактику впливу на осередок горіння, а й заходи безпеки особового складу.

Метою досліджень, що проводять автори, є розробка основ методики оперативного прогнозу впливу зовнішніх факторів, що визначають теплове навантаження на рятувальника, для обґрунтування вибору протитеплових засобів, під час гасіння палаючих резервуарів з нафтопродуктами. У цій роботі подано початкові результати, що присвячені оцінці прямих інфрачервоних променів при горінні нафтопродуктів в резервуарі. Вони визначають в подальшому рівні відбитих та конвекційних променів, та, в значній мірі, теплову реакцію організму рятувальника. Вплив енергетично незалежного від пожежі джерела енергії – Сонця буде надано в окремій роботі.

Виклад основного матеріалу. Як відомо, основним джерелом зовнішнього випромінювання пожежі є місце, де відбуваються окислювальні реакції - фронт горіння. Теплові промені, потрапляючи на тверду або рідку поверхню і частково поглинаючись нею, передають молекулам речовини частину своєї енергії, змушуючи їх інтенсивно коливатися, нагріваючись при цьому. Також енергія відбивається від поверхонь, розсіюючись в просторі. На рятувальника діють як прямі, так і відбиті промені, що слід враховувати при визначенні допустимого часу перебування його в зоні теплового ураження (рис.1).

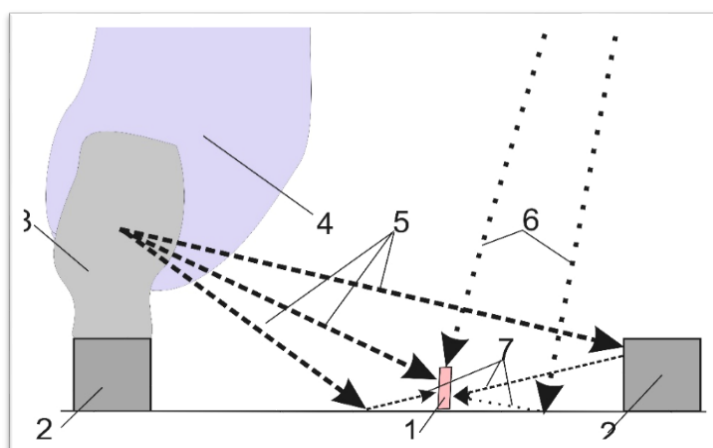


Рисунок 1 – Схема зовнішніх променевої потоків, що діють на розташований поблизу пожежі об'єкт: 1 – об'єкт; 2 – резервуари з пальним; 3 – факел горіння; 4 – шлейф продуктів горіння; 5 – прямі теплові потоки від пожежі; 6 – прямі сонячні теплові потоки; 7 – відбиті промені

Конвективні потоки виникають з двох причин. По-перше, це газоподібні продукти пожежі, які виділяються при горінні і термодеструкції горючих речовин. З огляду на це більшість горючих твердих, газоподібних і рідких речовин – органічні сполуки; основну частину продуктів становлять оксиди вуглецю, сірки, водяні пари, гази органічної природи, а також, при високих (понад 1500 °С) температурах горіння, – оксиди азоту повітря. Інша складова конвективних потоків – це повітря, що нагрівається при контакті з розігрітими поверхнями. Теплі гази мають щільність меншу, ніж повітря, і рухаються вгору під дією сили Архімеда. Вектор переміщення конвективних струменів визначається сумою цієї сили і вітру.

Контактне (кондуктивне) нагрівання відбувається при безпосередньому зіткненні пожежника з розжареними поверхнями або рідинами. Найчастіше такому типу теплового впливу піддаються ноги або тільки ступні пожежного. Крім того, контактне тепло у вигляді іскор або крапель палаючих рідин, впливає на шкірні покриви рятувальників і захисний одяг, викликаючи опіки або вигорання останнього. Важливо відзначити, що відбиття і конвективні потоки є вторинними, похідними від зовнішніх прямих променів.

Таким чином, теплове навантаження на рятувальника (Q_{wt}) складається з таких основних складових [8]:

1. Зовнішнє теплове навантаження:

– прямі теплові потоки від пожежі (Q_{fd}) і сонця (Q_{sd});

– відбиті ($Q_{fr}+Q_{sr}$) від ґрунту і стінок променеві потоки;

– конвективні потоки нагрітих газів (Q_k), що обумовлені нагрівом повітря від поверхні або дією гарячих продуктів горіння;

– кондуктивне (Q_c) нагрівання від дотику до нагрітих поверхонь, іскор чи полум'я.

2. Внутрішнє теплове навантаження рятувальника обумовлене:

– виділенням тепла при роботі м'язів людини (Q_{mb});

– функціонуванням регенеративної дихальної системи (Q_{ar}).

Ресурси охолоджувальної енергії, використаної в засобах протитеплового захисту, наприклад, крижаних брикетів і таке інше, у цій роботі не розглядаються.

Загальну кількість теплоти, що надходить і генерується в системі «людина – теплозахисний одяг – зовнішнє середовище», можна виразити рівнянням:

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

Оцінити складову виразу (1) (Q_{sd}) при гасінні відкритих пожеж на сховищах нафтогазопродуктів спробуємо виходячи з таких припущень і пропозицій.

Параметри резервуарів для зберігання нафти і продуктів її переробки характеризуються великою різноманітністю, що ускладнює оцінку теплового навантаження на рятувальників. Величина прямого теплового потоку (Q_{sd}) від пожежі в резервуарі може бути визначена виходячи з виду і обсягу згорання речовини, відстані до фронту горіння, прозорості повітря. Прийmemo допущення, що на відстані більше трьох розмірів фронту горіння можна, в першому наближенні, вважати, що вся енергія пожежі зосереджена в центрі фронту горіння.

Природний газ і нафта в основному складаються з вуглеводнів, які при горінні виділяють велику кількість тепла. Воно викликає значне підвищення температури повітря і ґрунту біля вогнища горіння. Питому кількість тепла, що випромінюється полум'яним факелом, яке припадає на одиничну площу поверхні, визначають, припустивши, що енергія зосереджена в центрі факела і розподіляється рівномірно в навколишній сферичний простір [8]. При відсутності вітру, кількість тепла обчислюють за формулою:

$$q = \frac{f \cdot Q'_n}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \quad (2)$$

де q – кількість тепла, що припадає на одиницю площі поверхні, що нагрівається, Bm/m^2 ;

Q'_n – приведена теплота пожежі, Bm ;

R – відстань до центра факела, m ;

f – коефіцієнт випромінювання факела, $f = 0,048 \cdot \sqrt{M}$;

де M – молекулярна маса пального, $кг/моль$.

Для метану f приймають – 0,2, для пропану – 0,33 і т.д.

Для обчислення f спочатку знаходять середню молекулярну масу цієї суміші палаючих вуглеводнів. Молекулярна маса для більшості видів нафти коливається в межах $220 \dots 300 \cdot 10^{-3} кг/моль$. Вона зростає, так само, як і щільність, для нафтових фракцій з підвищенням температури кипіння [9]. Усереднений показник для нафтопродуктів можна прийняти $f = 0,75$.

Наведена теплота пожежі Q'_n розраховується за формулою:

$$Q'_n = \beta_{nz} \cdot Q_n \cdot V_d \quad (3)$$

де β_{nz} – коефіцієнт повноти згоряння. У тиху погоду при горінні, наприклад, метанпропанової чи іншої низькомолекулярної суміші приблизно становить $\beta_{nz} = 0,8 \dots 0,9$. Для нафтопродуктів типу бензин, газ, мазут приймають $\beta_{nz} = 0,85$; Q_n – нижня теплота згоряння газів або їх сумішей, (наприклад, метан – $35,83 МДж/м^3$, пропан – $91,27 МДж/м^3$), для рідких вуглеводнів (наприклад, бензин – $41,87 МДж/кг$, газ – $43,54 МДж/кг$); V_d – об'ємна витрата пального, $м^3/год$.

При горінні бензину в резервуарі діаметром $10 м$, експериментально встановлено [8], що лінійна швидкість вигорання становить близько $15 мм/хв$, що відповідає об'ємній швидкості вигорання, приблизно, $1,5 м^3/хв$ або $90 м^3/год$.

В авторитетному джерелі [10] наведено огляд інформації про горіння рідин в резервуарах діаметром від 1 до $23 м$. Незважаючи на обмежені й не дуже точні відомості, зроблено деякі суттєві висновки. Встановлено, що швидкість вигорання рідин практично незмінна для резервуарів, що мають діаметри в зазначених інтервалах. Це дає змогу приймати незмінною лінійну швидкість вигорання нафтопродуктів $v = 15 мм/хв = 0,9 м/год$ в резервуарах місткістю до $5000 м^3$, і, з огляду на відсутність тенденції до збільшення або зниження, прийнято допущення про збереження цього показника в судинах більшої місткості. В такому випадку, обсяг згорання рідини буде пропорційний площі поперечного перерізу резервуара:

$$V = S \cdot v = \pi \cdot D^2 \cdot v / 4 = 0,706 D^2, м^3/год, \quad (4)$$

де D – діаметр резервуара, $м$.

Виконаємо розрахунок питомого теплового навантаження при стабільному горінні в резервуарі діаметром $10 м$ деяких поширених видів газоподібного і рідкого палива: бензину, газу, метану і пропану (рис. 2), при однаковій об'ємній витраті.

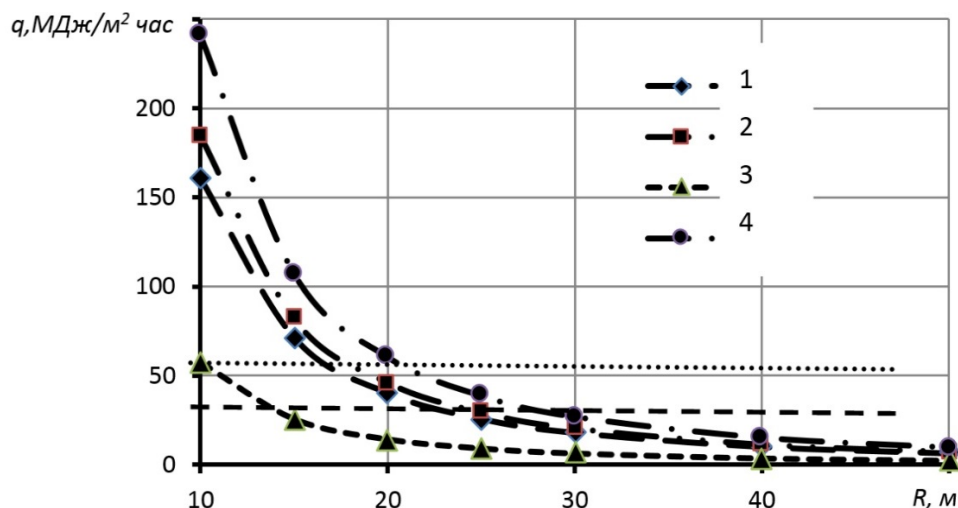


Рисунок 2 – Інтенсивність тепловиділення (q , $МДж/м^2 \cdot год$) на відстані (R , $м$) від центра факела палаючих вуглеводнів: 1 – бензин; 2 – газ; 3 – метан; 4 – пропан; лінії штрихова і пунктирна, відповідають рівням теплових потоків $5,6$ і 40 , $МДж/м^2 \cdot год$

Результати розрахунків дали змогу встановити, що з віддаленням від центра факела теплове навантаження зменшується в гіперболічній залежності. На віддаленні більше 15 м при горінні вуглеводнів з відносно високою молекулярною масою (бензин, газ, пропан) інтенсивності тепловиділення і відрізняються не більше ніж на 10 ... 15%. Горіння метану, що має невелику молекулярну масу і меншу теплоту згоряння, визначає деяке знижене теплове навантаження.

При розрахунках безпечної для особового складу, тобто такої, у можна необмежений час витримувати без спеціального захисту, приймають інтенсивність тепловиділення $q_{без} = 5,6, \text{ МДж/м}^2 \text{ год}$ [3]. Для вищенаведеної пожежі таке теплове навантаження існує на віддаленні понад 40 ... 50 м від факела (див.рис.2). Отже, оперативні дії на меншому віддаленні від факела необхідно виконувати з використанням засобів теплового захисту рятувальників.

Більшість протитеплових засобів, які перебувають на оснащенні рятувальних підрозділів України допускають захист організму рятувальника при інтенсивності випромінювання до 40 $\text{МДж/м}^2 \text{ год}$. У розглянутому випадку такі умови забезпечуються на віддаленні не менше 18 ... 21 м при горінні рідких нафтопродуктів і більше 15 м – при горінні метану. Ведення оперативних дій на менших дистанціях загрожує тепловими травмами.

Більшість засобів протитеплогового захисту рятувальників випробовують при інтенсивності нормально спрямованого променевого навантаження 40 $\text{Дж/м}^2 \cdot \text{год}$, яке найчастіше фігурує в нормативних документах [4-5]. При цьому допустима тривалість перебування в зоні теплового впливу з використанням засобів протитеплогового захисту обчислюється 120 с на відстані менше 25 ... 30 м, як це впливає з рис.2, що визначає недостатню ефективність придушення полум'я за допомогою сучасних засобів гасіння пожеж.

Ліквідація надзвичайних ситуацій завжди проходить в умовах дефіциту часу і інформації. Навіть використання обчислювальної техніки не дає змоги швидко оцінити теплову обстановку через відсутність необхідних вихідних даних. Наприклад, прийняття рішення про вибір безпечного кордону гасіння або застосуванні протитеплових засобів захисту особового складу має ґрунтуватися на якихось первинних прогнозах обстановки. В якості альтернативи слід застосовувати спрощені залежності, діаграми, таблиці, за допомогою яких можна швидко оцінити рівень теплових потоків. Пропонується наступний варіант попереднього експрес – розрахунку для палаючих резервуарів з нафтопродуктами.

Якщо розглядати пряме випромінювання палаючих нафтових продуктів, то можна використовувати такі відомі вихідні відомості [9]. Висота факела над палаючим резервуаром діаметром D , згідно з експериментальними даними, становить $H_{\phi} = (1 \dots 1,5)D$.

Схематично розподіл теплових потоків при горінні нафтопродуктів в резервуарі можна зобразити в такий спосіб (рис.3). Факел палаючих парів піднімається над зрізом резервуара на висоту $H_{\phi} = (1 \dots 1,5)D$. Позначивши висоту резервуара як H_p , центр факела знаходиться приблизно на висоті $H_{\psi} = (0,5 \dots 0,75)D + H_p$. Співвідношення між діаметром резервуара і його висотою є величиною постійною для конкретної споруди, позначимо: $D/H_p = k_p$.

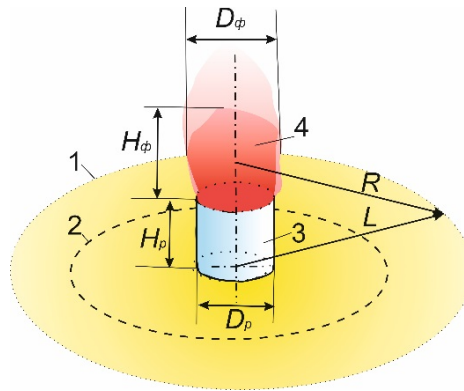


Рисунок 3 – Параметри обстановки при горінні нафтопродуктів в резервуарі:

1, 2 – відповідно межі зон безпечної роботи в спецодязі і з застосуванням протитеплових засобів; 3 – резервуар; 4 – факел пожежі; H_p , H_f , D_p , D_f – висоти і діаметри резервуара і факела горіння; R , – відстань до центра факела; L – відстань до центра резервуара

Тоді

$$H_u = (0,5 \dots 0,75) H_p k_p + H_p = [(0,5 \dots 0,75) k_p + 1] H_p. \quad (5)$$

Аналіз геометричних розмірів типоряду резервуарів для зберігання нафти і продуктів її переробки показав, що відношення висоти до діаметра для місткості до 3000 м^3 становить в середньому $k_p = 1,2$, для резервуарів більшого розміру її середня величина становить $k_p = 2,48$.

Величина висоти розташування центра факела, виходячи з виразу (5), становитиме:

– для резервуарів місткістю до 3000 м^3

$$H_u = [(0,5 \dots 0,75) / 1,2 + 1] H_p = (1,4 \dots 1,6) H_p; \quad (6)$$

– при місткості більше 3000 м^3

$$H_u = [(0,5 \dots 0,75) / 2,48 + 1] H_p = (1,2 \dots 1,3) H_p; \quad (7)$$

Відстань R від центра факела до рятувальника визначається з геометричних викладок

$$R^2 = L^2 + H_u^2,$$

де L – відстань по горизонталі від центра резервуара до пожежника, м.

Для наближеної оцінки впливу прямих теплових променів при горінні світлих нафтопродуктів вираз (2) можна спростити:

$$q = \frac{f \cdot Q_n}{4 \cdot \pi \cdot (L^2 + H_u^2)} = \frac{0,75 \cdot Q_n}{12,56 \cdot (L^2 + H_u^2)} = \frac{0,06 \cdot Q_n}{(L^2 + H_u^2)}. \quad (8)$$

Для нафтопродуктів типу бензин, газ, мазут приймають $\beta_{nz} = 0,85$. Q_n – нижня теплота згорання найбільш поширених рідких вуглеводнів (наприклад, бензин – $41,87$, газ – $43,54$, МДж/кг) в середньому становить $42,7$ МДж/кг, молекулярна маса в середньому $M = 260 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Для оперативних розрахунків зовнішнього теплового навантаження на рятувальника від палаючих в резервуарах нафтопродуктів, на основі виразу (8), рекомендована така наближена формула:

$$q \approx \frac{750 \cdot V}{(L^2 + H_u^2)}. \quad (9)$$

Мінімальна відстань, на якій можна проводити оперативні дії без застосування засобів протитеплого захисту, і де інтенсивність тепловиділення не перевищує $q_{без} = 5,6$ МДж/м²·год, підставляючи в (9) маємо

$$5,6 \approx \frac{750 \cdot \pi \cdot D^2}{(L^2 + H_u^2)},$$

$$L = \sqrt{100 \cdot D^2 - H\eta^2} \quad (10)$$

З виразу (10) випливає, що радіус безпечної зони L величина постійна, зумовлена геометричними параметрами резервуарів з продуктами переробки нафти. Ця зона може бути завчасно нанесена на плани нафтозховищ, позначена в оперативних документах. Доцільно заздалегідь позначити її на місцевості, що істотно убезпечить роботу молодшого командного і рядового складу частин служби надзвичайних ситуацій, особливо тих, які перебувають згідно з диспозицією.

При інженерному обладнанні резервуарних парків, крім обвалування, слід звести екрануючі споруди в місцях розташування внутрішньооб'єктної пожежної арматури: засувки, гідрантів, пожежних гайок тощо. При цьому слід ґрунтуватися на розрахункових значеннях інтенсивності і векторі теплового випромінювання вогнища горіння.

Висновки. В ході досліджень подальший розвиток отримав механізм теплового навантаження на рятувальника, що включає зовнішні шляхи нагрівання від вогнища горіння і від сонця (променеві, конвекційні і кондуктивні), і внутрішні (тепловиділення організму, робота регенеративної дихальної системи). Було встановлено, що у зовнішньому тепловому навантаженні переважають променеві потоки енергії, а решта, як правило, похідні від них та потребують подальшого вивчення.

В результаті виконаної роботи обґрунтовано залежність для оперативної оцінки променевого теплового потоку при горінні нафтопродуктів в резервуарах і вираз для розрахунку безпечних зон ведення аварійних робіт поблизу палаючих в резервуарах нафтопродуктів.

Список літератури:

1. Лин А. С. Анализ проблем створення та випробування термозахисних властивостей одягу пожежників / А. С. Лин // Пожежна безпека : Зб. наук. пр. – Л. : ЛППБ, 2004. – № 5. – С. 139-143.
2. Болибрух Б. В. Разработка и верификация расчетной модели теплового состояния теплозащитной одежды пожарного при различных видах испытаний / Б. В. Болибрух, М. Хмель // Technique and technology, - ВіТР, Vol. 38 Issue 2, 2015, pp. 53-61.
3. Боевая одежда и снаряжение пожарного / Д. В. Поповский, В. Ю. Охломенко / Метод. пособие под общей ред. В.А. Грачева/ Академия ГПС МЧС России – М., 2004. – 86 с.
4. ГОСТ Р 53264-2009 Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний.
5. ГОСТ ISO 11612-2014 Система стандартов безопасности труда. Одежда для защиты от тепла и пламени. Общие требования и эксплуатационные характеристики.
6. Textiles for protection. Edited by Richard A. Scott, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 2005.
7. 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.
8. Zhurbinskiy, D., Kostenko, T., Kostenko, V. "Evaluation of radial component of thermal load at workplaces in hot shops", Metallurgical and mining industry, No.9, 2016, pp.20-26.
9. Основи теорії розвитку та припинення горіння : підручник / Г. І. Елагін, М. Г. Шкарабура, М. А. Кришталь, О. М. Тіщенко. / Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля. Черкаси, 2013.– 460с.
10. Блинов В. И. Диффузионное горение гидкостей / Блинов В. И., Худяков Г. Н. – М. : Изд-во АН СССР, 1961, 207с.

References:

1. Lyn A.S. Analiz problem stvorennya ta vyprovuvannja termozahysnyh vlastyvostryj odjagu pozhezhnykiv [Analysis of problems creating and testing antitermal properties clothing firefighters]. Pozhezhna bezpeka: Zb. nauk. pr. Lviv, 2004. – No 5. – Pp. 139-143.
2. Bolybrukh B.V., Hmel' M. Development and Verification of a Mathematical Model Dealing with Thermal Protective Garments for Different Types of Tests. Technique and technology, – BiTP, Vol. 38 Issue 2, 2015, Pp. 53–61.
3. Popovskij D.V., Ohlomenko V.Ju. Boevaja odezhda i snarjazhenie pozharnogo [Fighting clothing and equipment firefighter]. Metod. posobie pod obshej red. V.A. Gracheva/ Akademija GPS MChS Rossii – Moscow: 2004. – 86 p.
4. Interstate Standard 53264-2009 Special'naja zashhitnaja odezhda pozharnogo. Obshhie tehicheskie trebovanija. Metody ispytanij [Special protective clothing firefighter. General technical requirements. Methods of testing].
5. Interstate Standard ISO 11612-2014 Sistema standartov bezopasnosti truda. Odezhda dlja zashhity ot tepla i plameni. Obshhie trebovanija i jekspluacionnye harakteristiki [Occupational safety standards system. Clothes for protection against heat and flame. General requirements and characteristics].
6. Textiles for protection. Edited by Richard A. Scott, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 2005.
7. Kostenko, T.V. Mozhlyvosti zakhystu ryatuvalnykiv vid teplovoho vplyvu [Possibilities of protection rescuers from thermal effects], “Fire safety: theory and practice”: scientific research journal, No. 20, Cherkasy: 2015, pp. 53-60.
8. Zhurbinskiy, D., Kostenko, T., Kostenko, V. “Evaluation of radial component of thermal load at workplaces in hot shops”, Metallurgical and mining industry, No.9, 2016, pp.20-26.
9. Elagin G.I., Shkarabura M.G., Kryshthal' M.A., Tishhenko O.M. Osnovy teorii' rozvytku ta prypynennja gorinnja [Basic theory of progress and stop burning]. Akademija pozhezhnoi' bezpeky im. Geroi'v Chornobylja. – 460p.
10. Blinov V.I., Hudyakov G.N. Diffuzionnoe gorenje zhidkostey [Diffusion combustion of liquids] Moscow: Publishing house Academy of Sciences of the USSR, 1961, 207p.

