

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

КОСТЕНКО ТЕТЯНА ВІКТОРІВНА

УДК 614.8.084

ДИСЕРТАЦІЯ

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ
РЯТУВАЛЬНИКІВ ПІД ЧАС ВЕДЕННЯ ОПЕРАТИВНИХ ДІЙ В
УМОВАХ НАГРІВНОГО МІКРОКЛІМАТУ**

05.26.01 – охорона праці

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Т.В. Костенко

Науковий консультант – Александров Сергій Миколайович, доктор технічних наук, професор.

Покровськ – 2018

АНОТАЦІЯ

Костенко Т.В. Розвиток наукових основ підвищення безпеки рятувальників під час ведення оперативних дій в умовах нагрівного мікроклімату. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.26.01. – охорона праці. Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет». - Покровськ, 2018.

Дисертацію присвячено розв’язанню актуальної науково-практичної проблеми підвищення безпеки рятувальників під час виконання аварійно-рятувальних робіт в умовах нагрівного мікроклімату за рахунок використання удосконалених засобів пожежогасіння для охолодження тіла рятувальника та оболонки засобів індивідуального протитеплого захисту.

Проведено аналіз виробничого травматизму в підрозділах ДСНС України, який виявив що 12 % постраждалих отримують термічні травми, що визначило актуальність роботи. Виконано якісну оцінку екстремальних небезпек під час ліквідації пожеж на основі аналізу системи «організм людини –джерело горіння – захисне обладнання– оточуюче середовище». Встановлено, що величини зон враження негативними факторами пожежі не є стабільними в часі і просторі, тому доцільно проводити регулярний моніторинг меж зон ураження. Результатом моніторингу є управління параметрами засобів захисту від дії тепла.

Вперше обґрунтовано, що відбиті ґрунтом промені можуть додавати до 30% до отриманих рятувальником прямих від джерела горіння. Уточнені шляхи потрапляння теплових променів до рятувальника під час ліквідації масштабної пожежі слід враховувати при визначенні теплового навантаження на організм. Теоретично встановлено залежність променевого теплового потоку при горінні нафтопродуктів від геометричних параметрів резервуарів, в яких вони містяться, а саме – від висоти й діаметру, що дозволяє завчасно

обґрунтувати межі зон використання протитеплових засобів. Баланс теплового навантаження на організм рятувальника вперше доповнено компонентами впливу прямих і відбитих сонячних променів, що діють під час проведення оперативних дій на відкритій місцевості. Теоретично обґрунтовано вирази для оперативної оцінки впливу сонячної радіації на особовий склад шляхом розрахунку рівнів прямих і відбитих сонячних променів.

Подальшого розвитку набуло уявлення про механізм терморегуляції організму рятувальника, в якому враховано вплив коефіцієнта теплообміну конвекцією в підодяговому просторі, коефіцієнта теплоізоляції одягу, парціального тиску водяної пари над поверхнею шкіри та у повітрі. Запропоновано та експериментально досліджено вплив вологопоглинаючих елементів з абсорбуючою речовиною на тепломасоперенесення у підодяговому просторі під час фізичних навантажень.

Запропоновано розрахункову схему математичного моделювання переносу тепла від джерела горіння до поверхні захисного одягу і далі до тіла рятувальника. Здійснено комп'ютерне моделювання теплового впливу на організм рятувальника під час ліквідації пожежі, що виникла у резервуарі з бензином, за допомогою середовища ANSYS Multiphysics. Отримано закономірності динаміки розподілення температури на поверхні захисного одягу та тіла рятувальника при горіння нафтопродуктів, це дозволило виявити найбільш вразливі місця, а саме – зону верхньої частини погруддя та зону стоп і гомілок.

Вперше доповнено систему «організм людини –джерело горіння – захисне обладнання– оточуюче середовище» під час перебування рятувальника в умовах нагрітого мікроклімату елементом «засоби пожежогасіння», що дозволило обґрунтувати і розвинути шляхи керування виносом тепла від організму людини та охолодження оболонки спеціального одягу. Подальшого розвитку набуло уявлення про ефективність проточної схеми охолодження організму рятувальника при використанні засобів

пожежогасіння у якості холодоагенту. Перевага плівкового захисту поверхні засобу індивідуального захисту перед крапельної завісою дозволила обґрунтувати напрям попередження термодеструкції тканини захисного одягу рятувальників. Розроблено конструктивні схеми й елементи конструкцій водяного та пінного охолоджуючих пристроїв. На макетних зразках експериментально підтверджено ефективність пристроїв для підвищення захисних властивостей і терміну служби спеціального одягу рятувальників. Експериментальні дослідження підтвердили, що наявність водяної плівки товщиною 100 мкм зменшує потрапляння інфрачервоного випромінювання на 85%, а плівка товщиною 200 мкм та більше дозволяє практично усю теплову енергію перенаправити у водяний потік. Удосконалено пристрій для захисту обличчя під час виконання аварійно-рятувальних робіт в умовах потужного теплового випромінювання. Вперше запропоновано автоматизацію захисту від теплового ураження під час початкової стадії ліквідації пожежі. Розроблено прилад автоматичний теплозахисний для захисту рятувальника та проведено його експериментальні дослідження; результати випробувань макетного зразка охолоджувального пристрою свідчать про його ефективність.

Ключові слова: рятувальник, аварійно-рятувальні роботи, виробничий травматизм, нагрітий мікроклімат, теплове навантаження, засоби протитеплового захисту, холодоагент, охолоджуючий пристрій, водяна плівка, математичне моделювання, автоматичний прилад

Список опублікованих праць за темою дисертації

Публікації у фахових виданнях

1. Костенко Т.В. Охолодження пожежників рятувальників шляхом удосконалення терморегуляції. Пожежна безпека: збірник наукових праць. Львів: ЛДУБЖД, 2016. № 29. С.77-86.

2. Костенко В.К., Завьялова О.Л., Костенко Т.В. Теплозащитный костюм с системой водяного охлаждения. Научный вестник: Гражданская защита и пожарная безопасность, 2016. №2 (2). С.38-43.
3. Костенко В.К., Завьялова О.Л., Костенко Т.В., Журбинский Д.А. Обоснование выбора материалов для изготовления специального защитного одеяла спасателей от повышенного теплового влияния. Вестник Донецкого горного института: Всеукраинский научно-технический журнал горного профиля. Покровск: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. № 2(39). С.87-97.
4. Костенко Т.В. Повышение безопасности и тактических возможностей спасателей при ликвидации пожаров с высоким тепловыделением. Вестник Приазовского государственного технического университета: сб. науч. работ (Технические науки). Мариуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2016. Вып. 33. С. 198-205. (*Index Copernicus*)
5. Костенко Т.В. Особенности травматизма спасателей в Украине. Вестник Донецкого горного института: Всеукраинский научно-технический журнал горного профиля. Покровск: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. № 1(40). С.165-169.
6. Костенко Т.В., Березовский А.И., Костирка О.В. Прогнозирование теплового нагружения на спасателей во время тушения пожаров в резервуарах с нефтепродуктами. Пожарная безопасность: сборник научных работ. Львов: ЛДУБЖД, 2017. № 30. С.91-98.
7. Поздеев С.В., Костенко Т.В., Костенко В.К., Зав'ялова О.Л. Моделирование внешнего теплового нагружения на пожарника-спасателя при пожаре в резервуаре с нефтепродуктами. Научный вестник: Гражданская защита и пожарная безопасность, 2017. №1 (3). С.48-56.
8. Костенко Т.В. Оценка воздействия солнечной радиации на спасателей, действующих на открытой местности. Вестник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2017. №5(235). С. 66-71.

9. Костенко Т.В., Александров С.М. Оцінка небезпек для рятувальників при гасінні пожеж. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. № 2(41). С. 124-131.

10. Костенко Т.В., Нуянзін О.М., Нестеренко А.А., Майборода А.О. Охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму пожежника-рятувальника. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2017. №2 (4). С.80-84.

11. Костенко Т.В., Александров С.М., Костирка О.В., Березовський А.І. Зовнішнє теплове навантаження на рятувальників під час гасіння пожеж на відкритій місцевості. Пожежна безпека: збірник наукових праць. Львів: ЛДУБЖД, 2017. № 31. С.59-66.

12. Костенко Т.В., Поздєєв С.В., Зав'ялова О.Л., Костенко В.К., Журбінський Д.А. Математичне моделювання зовнішнього теплового навантаження на пожежника-рятувальника при горінні рідких нафтопродуктів в резервуарах. Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: зб. наук. праць. Дніпро: ДВНЗ «Піднепр. держ. академія будівництва і архітектури», 2017. Вип. 99. С. 85-94.

13. Виноградов А.Г., Костенко Т.В., Костенко В.К., Зав'ялова О.Л. Застосування плівки води для захисту рятувальників від потужного теплового випромінювання. Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. Дніпро, 2017. Вип. 134. С. 196-210.

14. Костенко Т.В. Охолодження теплозахисного костюму рятувальника за допомогою пінного пристрою. Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. Дніпро, 2017. Вип. 137. С. 42-48.

15. Костенко Т.В., Костенко В.К., Александров С.Н. Совершенствование индивидуальных противотепловых средств защиты спасателей. Вісник Приазовського державного технічного університету: зб.

наук. праць (Технічні науки). Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2017. Вип. 35. С. 263-270. (*Index Copernicus*)

16. Костенко Т.В., Костирка О.В. Пропозиції щодо покращення теплового стану в піддежному просторі рятувальника. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2018. № 1(42). С. 53-60.

17. Костенко Т.В. Захист обличчя рятувальника від дії інтенсивного теплового випромінювання. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2018. №1 (5). С.45-49.

Публікації у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз

18. Kostenko V., Kostenko T., Zemlianskiy O., Maiboroda A., Kutsenko S. Automatization of individual anti-thermal protection of rescuers in the initial period of fire suppression. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. No. 5/10 (89). Pp. 4-11. (*Scopus, Index Copernicus*)

19. Zhurbinskiy D., Kostenko T., Kostenko V. Evaluation of radial component of thermal load at workplaces in hot shops. Metallurgical and mining industry. 2016. №9, Pp.20-26. (*Index Copernicus*)

Публікації у виданнях іноземних держав

20. Костенко В.К., Костенко Т.В. Разработка метода оперативного прогноза тепловой нагрузки на спасателей при тушении горящих резервуаров с нефтепродуктами. Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, 2017. Т. 1, № 1. С. 54-61.

21. Kostenko T., Pozdejew S., Kostenko W., Makejewa D. Modelowanie obciążenia cieplnego ratowników podczas pożaru w zbiorniku z produktami naftowymi. Zeszyty Naukowe SGSP. Warszawa, 2017. Nr 63/3/2017. S.91-107.

22. Костенко В.К., Костенко Т.В., Землянский О.Н., Куценко С.В., Майборода А.А. Автоматическое автономное теплозащитное устройство

Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, 2018. Т. 2, № 1. С. 40-44.

Публікації у яких додатково відображено зміст дисертації

23. Костенко Т.В. Возможности захисту рятувальників від теплового впливу. Пожежна безпека: теорія і практика: збірник наукових праць. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, 2015. № 20. С.53-61.

24. Костенко В.К., Костенко Т.В., Майборода А.О., Лактіонов І.С. Моделювання процесів переносу в протитепловому костюмі з відбором тепла. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. № 1(40). С.52-56.

25. Костенко Т.В., Покалюк В.М., Нуянзін О.М., Нестеренко А.А. Екстремальні мікрокліматичні умови професійної діяльності рятувальників. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» (Технічні науки), 2017. №3 (25), 1т.С.159-164. (*Index Copernicus*)

Патенти

26. Теплозахисний костюм: пат. на к.м. 109668 Україна. №201603119; заявл. 25.03.2016; опубл. 25.08.2016, Бюл.№ 16.

27. Пінний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму: пат. на к.м. 114109 Україна. №201609854; заявл. 26.09.2016; опубл. 27.02.2017, Бюл.№ 4.

28. Охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму: пат. на к.м. 115193 Україна. №201609849; заявл. 26.09.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл.№ 7.

29. Автономний теплозахисний пристрій: пат. на к.м. 119925 Україна. №201704971; заявл. 22.05.2017; опубл. 10.10.2017, Бюл.№ 19.

30. Пристрій для захисту обличчя рятувальника від дії тепла: пат. на к.м. 125065 Україна. №201712363; заявл. 13.12.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл.№ 8.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

31. Kostenko V., Kostenko T. Scoring method of radiation component of heat load on workers in hot productions. New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics. Series: Monografie. Czestochowa, 2017. Nr68. Pp. 414-421.

32. Kostenko T., Maiboroda A., Pokaliuk V., Nuianzin O., Nesterenko A. Modeling of transportation processes in thermal suits with heat extraction. New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics. Series: Monografie. Czestochowa, 2017. Nr68. Pp. 422-426.

33. Pozdeyev S.V., Kostenko T.V., Krasutska I.M., Kostenko V.K., Zavyalova O.L., Bolibruh B.V. Three-dimensional model of the thermal state of firefighter in the heat protective gear. Monograph Innovations in Protective and e-Textiles in balance with comfort and ecology: Monograph. Lodz, Poland, 2017. Pp.97-109.

34. Костенко Т.В., Костирка О.В. Визначення безпечних зон ведення аварійних робіт під час гасіння пожеж у резервуарах з нафтопродуктами. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 18-19 травня 2017. С.50-51.

35. Костенко В.К., Костенко Т.В., Майборода А.О. Дослідження процесів переносу в протитепловому костюмі з відбором тепла. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 18-19 травня 2017. С.199-200.

36. Костенко В.К., Костенко Т.В., Тараненко С.П. Вимоги до комфортного спеціального одягу рятувальників. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 19-20 травня 2016. С.66-67.

37. Костенко Т.В., Покалюк В.М., Майборода А.О., Нуянзін О.М., Нестеренко А.А. Особливості теплового впливу пожежі на теплозахисний костюм пожежника. Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м.Львів: ЛДУ БЖД, 2016. С.422-424.

38. Костенко Т.В., Покалюк В.М., Майборода А.О., Нуянзін О.М., Нестеренко А.А. Пропозиції щодо удосконалення засобів протитеплового захисту. Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м.Львів: ЛДУ БЖД, 2016. С. 486-488.

39. Bolibrukh B., Kostenko T. Krasutska I. Three-dimensional model of the thermal state of firefighter in the heat-protective clothing. 12th Joint International Conference Clotech2017: Book of abstracts, Lodz, Poland, October 11th-14th, 2017, P.24.

40. Костенко Т.В., Майборода А.О., Костирка О.В. Збільшення захисного ресурсу протитеплових засобів захисту рятувальників. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Черкаси, 20-21 жовтня 2017. С.35-36.

41. Костенко Т.В. Шляхи покращення термовологісного стану в підодежному просторі рятувальників. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Черкаси, 20-21 жовтня 2017. С. 91-93.

42. Костенко Т.В. Удосконалення протитеплового захисту рятувальників. Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: матеріали II Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції. м. Кривий Ріг, 14 грудня 2017. С.227.

43. Костенко Т.В. Оценка опасности спасателей при ликвидации пожаров. Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве:

сб. материалов IV международной заочной научно-практической конференции. г. Минск, 22 декабря 2017. С.68-73.

44. Костенко Т.В., Землянский О.Н., Майборода А.А., Костырка А.В. Автоматическое автономное теплозащитное устройство. Пожежна безпека: проблеми та перспективи: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, м.Харків, 1-2 березня 2018. С.221-223.

45. Костенко Т.В., Костырка О.В., Абдуллаєв А.А. Теплове навантаження на пожежних рятувальників під час аварійно-рятувальних робіт на відкритій місцевості. Стратегія реформування організації цивільного захисту. Том 1. Цивільний захист України: сучасний стан, здобутки, проблеми, перспективи розвитку: матеріали науково-практичної конференції. м.Київ, 16 травня 2018. С. 134-136.

46. Костенко Т.В. Визначення екстремальних небезпек під час гасіння пожеж. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 18-19 травня 2018. С.45-47.

Монографія

47. Костенко В.К., Зав'ялов Г.В., Костенко Т.В., Покалюк В.М., Зав'ялова О.Л., Майборода А.О., Нестеренко А.А., Нуянзін О.М., Гаврилко О.А. Захист рятувальників від впливу тепла. Монографія під загальною редакцією д.т.н., проф. В.К. Костенка, ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, Черкаси, 2017. 144с.

ABSTRACT

Kostenko T.V. Development of scientific bases for improving safety of rescuers during emergency rescue works under the conditions of heating microclimate. – Manuskript.

Thesis of the scientific degree of the Doctor of the Technical Sciences on specialty 05.26.01 - labor protection. - State Higher Education Institution "Donetsk National Technical University" Ministry of Education and Science of Ukraine, Pokrovsk, 2018.

The thesis is devoted to the solution of the pressing scientific and practical problem of improving safety of rescuers during the execution of emergency rescue works under the conditions of heating microclimate using the advanced fire extinguishing equipment to cool rescuer's body and surfaces of personal heat-protective equipment.

The analysis of the occupational traumatism carried out in the units of the State Emergency Service of Ukraine has shown that 12% of victims received thermal injuries – the fact that proves the urgency of the research. A qualitative assessment of extreme hazards during firefighting on the basis of the analysis of the "human body - the source of combustion - protective equipment - environment" system is carried out. It was established that the footprint of the damage areas caused by the negative factors of fire are not stable in time and space, therefore it is relevant to carry out regular monitoring of the boundaries of damage areas. The monitoring should result in the management of protection parameter against the effect of heat.

Ground-reflected rays have, for the first time, been proved to be able to add up to 30% to the already received direct rays from the source of combustion. The specified ways of heat rays contact with the rescuer during the elimination of a large-scale fire should be taken into account when determining the thermal load on the body. It was established that the dependence of the radiation heat flux during the combustion of petroleum products on the geometric parameters of the reservoirs they

are preserved in (namely, height and diameter) allows to determine in advance the boundaries of zones of the heat-protective equipment usage. The balance of the thermal load on the rescuer's body was for the first time complemented by the components of the influence of direct and reflected sunlight during emergency rescue works in the open air. The concept for the efficient estimation of the influence of solar radiation on the manpower by calculating the levels of direct and reflected sunlight is theorized.

The concept of the mechanism of rescuer's body thermoregulation, inclusive of the effect of the heat transfer coefficient by convection in underclothing space, thermal insulation coefficient of clothing, partial pressure of water vapor above the skin surface and in the air have been further developed. The influence of moisture absorbing elements with absorbent substance on the heat transfer in the underclothing area during physical activity is offered and empirically investigated.

The analytical model of mathematical modeling of heat transfer from the source of combustion to the surface of protective clothing and further to the body of the rescuer is offered. A computer simulation of the thermal impact on the body of the rescuer during the extinguishing of fire that arose in the tank with gas using ANSYS Multiphysics environment was made. The regularities of the temperature distribution on the surface of protective clothing and rescuer's body during the combustion of petroleum products were obtained, which allowed to identify the most vulnerable places, namely, the zone of the upper part of the bosom and the zone of feet and legs.

For the first time, the "environment - source of combustion - means of individual protection - human body" system under the conditions of heating microclimate was expanded with "fire extinguishing" element which allowed to theorize the ways of controlling thermal yield from human body and cooling the surface of special clothing. The concept of the efficiency of direct-flow body cooling model using fire extinguishing agents as a refrigerant has been further developed. The advantage of water film protection of the surface of the personal protective

equipment over the drip curtain allowed to prove the idea of preventing thermal destruction of rescuers' protective clothing fabric. Design schemes and elements of constructions of water and foam cooling devices have been developed. The efficiency of devices for increasing the protective properties and the life of special clothing of rescuers has been experimentally confirmed. Empirical research proved that the presence of 100 microns water film reduces the infiltration of infrared radiation by 85%, and a film of 200 microns or more allows virtually all heat energy to be redirected into the water stream. The device for face protection during emergency and rescue works under the conditions of high thermal radiation was improved. Automation of protection from thermal damage during the initial stage of fire liquidation was offered for the first time. An automatic thermal protection device for the protection of the rescuer was developed and experimentally researched; its efficiency is proved by the results of tests of the prototype sample of the cooling device.

Key words: a rescuer, emergency-rescue works, occupational traumatism, heating microclimate, thermal load, heat-protective equipment, coolant, cooling device, water film, mathematical modeling, automatic device

List of candidate publications on the topic of the dissertation

The publications in professional journals

1. Kostenko T. (2016) Cooling firefighters rescue by improving thermoregulation. *Fire safety: a collection of scientific works. Lviv: LSUofLS*, 29, 77-86.
2. Kostenko V., Zavyalova O., Kostenko T. (2016) Rescuer's heat protection suit with water cooling system. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 2 (2), 38-43.
3. Kostenko V., Zavyalova O., Kostenko T., Zhurbinsky D. (2016) Substantiation of the choice of materials for the manufacture of special protective

clothing of rescuers from the increased thermal influence. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 2 (39), 87-97.

4. Kostenko T. (2016) Increased safety and tactical abilities of rescuers in liquidation of fires with high heat release. *Reporter of the Priazovskyi State Technical University*, 33, 198-205. (*Index Copernicus*)

5. Kostenko T. (2017) Features of traumatism of rescuers in Ukraine. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 1 (40), 165-169.

6. Kostenko T., Berezovs'kyi A., Kostyrka O. (2017) Forecast of thermal load on rescuers during the exhaustion on fire in tanks with petroleum products. *Fire safety: a collection of scientific works. Lviv: LSUofLS*, 30, 91-98.

7. Pozdyeyev S., Kostenko T., Kostenko V., Zav'yalova O. (2017) Modeling of external thermal load on fire rescuers during a fire in a tank with oil products. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 1 (3), 48-56.

8. Kostenko T. (2017) Impact assessment of solar radiation on rescuers working in the open area. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 5(235), 66-71.

9. Kostenko T., Aleksandrov S. (2017) Estimation of hazard for rescuers at fire extinguishing. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 2 (41), 124-131.

10. Kostenko T., Nuianzin O., Nesterenko A., Maiboroda A. (2017) Colling device for rescuer's heat protection suit. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 2 (4), 80-84.

11. Kostenko T., Aleksandrov S., Kostyrka O., Berezovs'kyi A. (2017) External thermal load for rescuers during fire extinguishing at the open location. *Fire safety: a collection of scientific works. Lviv: LSUofLS*, 31, 59-66.

12. Kostenko T., Pozdyeyev S., Zav'yalova O., Kostenko V., Zhurbinskiy D. (2017) Mathematical modeling of external heat load on the fireman during combustion of liquid oil products in reservoirs. *Building, material science, mechanical engineering: a collection of scientific works*, 99, 85-94.

13. Vinogradov A., Kostenko T., Kostenko V., Zavyalova E. (2017) Water film used for rescuer protection against powerful thermal radiation. *Geo-Technical Mechanics*, 134, 196-210.

14. Kostenko T. (2017) Cooling of heat protective suit with the foam device. *Geo-Technical Mechanics*, 137, 42-48.

15. Kostenko T., Kostenko V., Aleksandrov S. (2017) Perfection of individual heat protective means of rescuers. *Reporter of the Priazovskyi State Technical University*, 35, 263-270. (*Index Copernicus*)

16. Kostenko T., Kostyrka O. (2018) Suggestions to improving the thermal condition in the under clothes space of rescuer. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 1 (42), 56-30.

17. Kostenko T. (2018) Rescuers face protection from the intensive heat radiation. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 1 (5), 45-49.

Publications in journals included in international databases scientometric

18. Kostenko V., Kostenko T., Zemlianskiy O., Maiboroda A., Kutsenko S. (2017) Automatization of individual anti-thermal protection of rescuers in the initial period of fire suppression. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/10 (89), 4-11. (*Scopus, Index Copernicus*)

19. Zhurbinskiy D., Kostenko T., Kostenko V. (2016) Evaluation of radial component of thermal load at workplaces in hot shops. *Metallurgical and mining industry*, 9, 20-26. (*Index Copernicus*)

Publications in periodicals of foreign countries

20. Kostenko V., Kostenko T. (2017) Development of methods for operational forecasts heat load on rescuers in fire fighting of burning reservoirs with oil products. *Vestnik of the University of Civil Protection of the MES of Belarus*, 1, 54-61.

21. Kostenko T., Pozejew S., Kostenko W., Makejewa D. (2017) Modeling of thermal load on rescuers during a fire in a tank with oil products. *Zeszyty Naukowe SGSP*, 63/3/2017, 91-107.

22. Kostenko V., Kostenko T., Zemlianskiy O., Maiboroda A., Kutsenko S. (2018) Automatic autonomous heat protective device. *Vestnik of the University of Civil Protection of the MES of Belarus*, 1, 40-44.

Publications that further reflect the content of the dissertation

23. Kostenko T. (2015) Possibilities of protection of rescuers from thermal influence. *Fire safety: theory and practice: a collection of scientific works. Cherkasy: ChIFS named after Heroes of Chernobyl NUCDU*, 20, 53-61.

24. Kostenko V., Kostenko T., Maiboroda A., Laktionov I. (2017) Modeling of transportation processes in thermal suits with heat extraction. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 1 (40), 52-56.

25. Pokalyuk V., Kostenko T., Nuianzin O., Nesterenko A. (2017) Extreme microclimatic conditions of professional activity of rescuers. International scientific journal "Internauka", 3(25), 159-164. (*Index Copernicus*)

Patents for utility model

26. Heat-protective suit. Pat. 109668 Ukraine. Claimed. 25.03.2016; Publ. 25.08.2016, Bul. No. 16.

27. Foam coolant with heat-shielding suit. Pat. 114109 Ukraine. Claimed. 26.09.2016; Publ. 27.02.2017, Bul. No. 4.

28. Cooling device for a heat-protective suit. Pat. 115193 Ukraine. Claimed. 26.09.2016; Publ. 10.04.2017, Bul. No. 7.

29. Autonomous heat protection device. Pat. 119925 Ukraine. Claimed. 22.05.2017; Publ. 10.10.2017, Bul. No. 19.

30. Device to protect the face of the rescuer from the effect of heat. Pat. 125065 Ukraine. Claimed. 13.12.2017; Publ. 25.04.2018, Bul. No. 8.

The publications that summarise the approbation of the dissertation

31. Kostenko V., Kostenko T. (2017) Scoring method of radiation component of heat load on workers in hot productions. *New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics. Series: Monografie. Czestochowa*, 68, 414-421.

32. Kostenko T., Maiboroda A., Pokaliuk V., Nuianzin O., Nesterenko A. (2017) Modeling of transportation processes in thermal suits with heat extraction. *New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics. Series: Monografie. Czestochowa*, 68, 422-426.

33. Pozdeyev S.V., Kostenko T.V., Krasutska I.M., Kostenko V.K., Zavyalova O.L., Bolibruh B.V. (2017) Three-dimensional model of the thermal state of firefighter in the heat protective gear. *Monograph Innovations in Protective and e-Textiles in balance with comfort and ecology: Monograph. Lodz, Poland*, 97-109.

34. Kostenko T., Kostyrka O. (2017) Determination of safe areas for emergency work during quenching of fires in tanks with oil products. *Theory and practice of extinguishing fires and eliminating emergencies: materials of the VIII International Scientific and Practical Conference, Cherkasy, 18-19 May 2017*, 50-51.

35. Kostenko V., Kostenko T., Maiboroda A. (2017) Investigation of transfer processes in an anti-warm clothing with heat selection. *Theory and practice of extinguishing fires and eliminating emergencies: materials of the VIII International Scientific and Practical Conference, Cherkasy, 18-19 May 2017*, 199-200.

36. Kostenko V., Kostenko T., Taranenko S. (2016) Requirements for comfortable special clothing rescuers. *Theory and practice of extinguishing fires and eliminating emergencies: materials of the VII International scientific and practical conference, Cherkasy, May 19-20, 2016*, 66-67.

37. Kostenko T., Pokalyuk V., Maiboroda A., Nuianzin O., Nesterenko A. (2016) Features of the thermal impact of the fire on the heat-protective suit of the firefighter. *Fire and technogenic safety. Theory, practice, innovations: materials of the International Scientific and Practical Conference, Lviv: LSUofLS*, 422-424.

38. Kostenko T., Pokalyuk V., Maiboroda A., Nuianzin O., Nesterenko A. (2016) Proposals for improvement of anti-thermal protection means. *Fire and technogenic safety. Fire and technogenic safety. Theory, practice, innovations:*

materials of the International Scientific and Practical Conference, Lviv: LSUofLS, 486-488.

39. Bolibrukh B., Kostenko T. Krasutska I. (2017) Three-dimensional model of the thermal state of firefighter in the heat-protective clothing. *12th Joint International Conference Clotech2017: Book of abstracts, Lodz, Poland, October 11th-14th, 2017, 24.*

40. Kostenko T., Maiboroda A., Kostyrka O. (2017) Increase of the protective resource of antimicrobial protection of rescuers. *Emergency situations: security and protection: materials of the 9th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation, Cherkasy, October 20-21, 2017, 35-36.*

41. Kostenko T. (2017) Ways to improve the thermo-humidity in the ward of the rescuers. *Emergency situations: security and protection: materials of the 9th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation, Cherkasy, October 20-21, 2017, 91-93.*

42. Kostenko T. (2017) Improvement of thermal protection of rescuers. *Innovative development of the mining industry: materials of the II International Scientific and Technical Internet Conference. Krivoy Rog, December 14, 2017, 227.*

43. Kostenko T. (2017) Assessment of the danger of rescuers during fire suppression. *Problems of safety of people in case of fire and explosion: Sat. materials of the IV International Correspondence Scientific and Practical Conference. Minsk, December 22, 2017, 68-73.*

44. Kostenko T., Zemlianskiy O., Maiboroda A., Kostyrka O. (2018) Automatic autonomous heat protective device. *Fire safety: problems and perspectives: materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference, Kharkiv, March 1-2, 2018, 221-223.*

45. Kostenko T., Kostyrka O., Abdullaev A. (2018) Thermal load on firefighters during emergency rescue work in the open air. *Strategy for civil defense organization reform. Volume 1. Civil defense of Ukraine: the current state,*

achievements, problems, prospects of development: materials of the scientific-practical conference. Kiev, May 16, 2018, 134-136.

46. Kostenko T. (2018) Determination of extreme hazards during extinguishing fires. *Theory and Practice of Fire Extinguishment and Elimination of Emergencies: Materials of the IX International Scientific and Practical Conference, Cherkasy, May 18-19, 2018, 45-47.*

Monograph

47. Kostenko V., Zavyalov G., Kostenko T., Pokaluk V., Zavyalova O., Maiboroda A., Nesterenko A., Nuianzin O., Gavrilko O. (2017) The protection of rescuers from the effects of heat. *Monograph under the general editorship of D.Sc., prof. V. Kostenko, ChIFS named after Heroes of Chernobyl NICDU, Cherkasy, 2017, 144p.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	25
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ НАУКОВОЇ ПРОБЛЕМИ.....	33
1.1. Стан виробничого травматизму під час виконання аварійно-рятувальних робіт особовим складом Державної служби України з надзвичайних ситуацій	33
1.2. Вплив небезпечних та шкідливих термічних факторів на рятувальників під час оперативно-рятувальних дій	39
1.3. Екстремальні мікрокліматичні умови роботи рятувальників.....	43
1.4. Оцінка небезпек під час аварійно-рятувальних робіт	50
1.5. Засоби індивідуального захисту від різних видів теплового враження	62
1.6. Випробування теплозахисного одягу рятувальників	84
1.7. Висновки по розділу, ідея роботи, мета та завдання.....	89
РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА РЯТУВАЛЬНИКІВ ПІД ЧАС АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ З ЛІКВІДАЦІЇ ПОЖЕЖ В РЕЗЕРВУАРАХ З НАФТОПРОДУКТАМИ ТА НА ВІДКРИТІЙ МІСЦЕВОСТІ	96
2.1 Оперативний прогноз теплового навантаження на рятувальників під час ліквідації пожеж у резервуарних парках	96
2.2 Дія сонячної радіації на рятувальників.....	111
2.3. Оцінка впливу сонячної енергії на рятувальника	116
2.4. Висновки.	124

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ПЕРСПЕКТИВНИХ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПРОТИТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ РЯТУВАЛЬНИКІВ	126
3.1 Фізіологічна дія тепла на рятувальника. Термовологісний стан в підодежному просторі.	126
3.1.1 Охолодження рятувальників шляхом удосконалення терморегуляції	126
3.1.2. Ескперименталіні дослідження	139
3.2 Дослідження процесу тепломасоперенесення в теплозахисних оболонках костюмів.....	142
3.2.1 Моделювання динаміки температури в підкостюмному просторі.	149
3.2.2. Теплообмінні процеси в системі «навколишнє середовище – система охолодження – організм людини»	155
3.3. Висновки	173
РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЮВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА РЯТУВАЛЬНИКА ПРИ ГОРІННІ РЕЗЕРВУАРУ З НАФТОПРОДУКТАМИ.....	175
4.1. Особливості моделі теплового впливу пожеж у резервуарах для зберігання нафтопродуктів на тіло рятувальника	175
4.2. Постановка задачі	177
4.3. Модель теплопередачі	184
4.4. Метод чисельного розв’язку задачі.....	187
4.5. Початкові дані	192
4.6. Результати математичного моделювання розподілень температури для випадку впливу пожежі над резервуаром на тіло рятувальника.....	197
4.7. Результати проведення повного факторного експерименту	209

4.8. Висновки.	219
РОЗДІЛ 5. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ	
РЯТУВАЛЬНИКІВ ВІД НЕГАТИВНОЇ ДІЇ ТЕПЛА	222
5.1. Системний підхід до проблеми удосконалення засобів протитеплого захисту рятувальників.....	222
5.2. Пропозиції щодо удосконалення засобів протитеплого захисту	228
5.3. Теплозахисний костюм з водяним охолодженням	230
5.4. Пристрої для охолодження теплозахисного костюму.....	236
5.4.1. Водяний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму.....	240
5.4.2. Застосування водяної плівки для захисту теплозахисного костюму	243
5.4.3. Пінний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму	258
5.4.4. Пристрій для захисту обличчя в теплозахисному костюмі	262
5.4.5. Експериментальне дослідження зниження теплового потоку плівкою води	265
5.5. Матеріали для спеціального захисного одягу рятувальників від підвищеного теплового впливу.....	268
5.6. Висновки.	284
РОЗДІЛ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗАСОБІВ ПРОТИТЕПЛОГО ЗАХИСТУ	
.....	287
6.1. Автономний автоматичний теплозахисний пристрій	287
6.2. Дослідження макетного зразка автоматичного автономного теплозахисного пристрою	291
6.3. Висновки	298
ВИСНОВКИ.....	300

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	304
ДОДАТОК А.....	334
ДОДАТОК Б	335
ДОДАТОК В.....	336
ДОДАТОК Г	337
ДОДАТОК Д.....	338
ДОДАТОК Е	339
ДОДАТОК Ж.....	340
ДОДАТОК З.....	347
ДОДАТОК К.....	355
ДОДАТОК Л.....	361

ВСТУП

Актуальність теми. Протягом останніх років спостерігається тенденція до збільшення щорічної кількості пожеж на території України. Попри це кількість людей, травмованих під час пожеж, скоротилася майже вдвічі, хоча число загиблих залишається стабільно високим (в 2017 році внаслідок пожеж загинуло 1 819 людей, 1 474 людини отримало травми) і перевищує цей показник в інших європейських країнах.

Особливістю діяльності рятувальних підрозділів є те, що усі виконувані роботи пов'язані з небезпекою травмування та ризиком для життя. Основними видами негативних чинників ураження є вибухи й обвали, обмежена видимість або повна її відсутність, екстремальні температурні умови, вологість повітря, загроза отримання електротравм, хімічного ураження тощо. На другому місці за видами уражень під час виконання аварійно-рятувальних робіт (АРР) залишаються термічні травми (12% від загальної кількості травм). Тепловим ураженням значною мірою піддаються рятувальники, які беруть безпосередню участь у ліквідації пожеж та їх наслідків, особливо на об'єктах підвищеної небезпеки (склади нафти та нафтопродуктів, кабельні тунелі тощо). Пожежі на таких об'єктах характеризуються значним тепловиділенням, наявністю токсичних речовин, інтенсивним теплообміном, що призводить до стрімкого підвищення температури та густини теплового потоку.

Найбільш ефективним засобом захисту рятувальників в таких умовах є використання спеціального протитеплогового одягу. Засоби захисту від теплового ураження, що є сьогодні на оснащенні підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) України, фізично і морально застарілі, не забезпечують надійний захист від теплових уражень, а також швидко виходять з ладу під дією високих температур та потужного теплового випромінювання. Зазначені недоліки суттєво знижують ефективність та безпеку роботи рятувальників в умовах нагрівного мікроклімату. Тому наукове обґрунтування та розробка пропозицій щодо удосконалення засобів

індивідуального протитеплого захисту дозволить підвищити безпеку аварійно-рятувальних робіт з ліквідації пожеж і є актуальною науково-практичною проблемою.

Вирішенню даної проблеми присвячені роботи Белікова А.С., Болібруха Б.В., Долженкова А.П., Касьянова М.О., Клименка Ю.В., Колеснікова П.А., Лина А.С., Марійчука І.П., Мичка А.А. та інших вітчизняних та закордонних вчених. Однак, в них не було враховано нерівномірність нагріву поверхні захисного одягу рятувальників, обмеженість ресурсу холоду в замкнутій системі «організм людини - засоби протитеплого захисту», вплив на рятувальника не тільки прямих, а й відбитих теплових променів тощо.

Науковою проблемою роботи є розкриття механізму формування теплового навантаження на організм рятувальника під час виконання оперативних дій в умовах нагрівного мікроклімату, що дозволить обґрунтувати шляхи удосконалення засобів протитеплого захисту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась у відповідності до Загальнодержавної соціальної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014-2018 роки (затверджена Законом України від 4 квітня 2013 року № 178-VII), Тематичного плану науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт ДСНС України на 2017-2018 роки, а також у відповідності до науково-дослідних робіт «Розробка науково-обґрунтованих технічних рішень щодо підвищення ефективності захисту рятувальників від інтенсивного теплового випромінювання» (№ ДР 0117U001091), «Оцінка зовнішнього теплового навантаження на пожежного-рятувальника при пожежі у резервуарі з нафтопродуктами» (№ ДР 0117U003956), у яких здобувач брала участь як відповідальний виконавець.

Мета дослідження - підвищення безпеки рятувальників під час аварійно-рятувальних робіт в умовах нагрівного мікроклімату шляхом удосконалення систем охолодження засобів індивідуального захисту.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Провести аналіз виробничого травматизму серед особового складу ДСНС України та виявити екстремальні небезпеки для рятувальників під час виконання аварійно-рятувальних робіт; провести критичний аналіз ефективності протитеплових засобів індивідуального захисту рятувальників, що використовуються під час гасіння пожеж;

- Визначити специфіку нагрівання організму рятувальника під час ліквідації масштабних пожеж та здійснити оцінку теплових параметрів навколо пожежі у резервуарах з нафтопродуктами;

- Оцінити вплив сонячної радіації на особовий склад під час виконання аварійно-рятувальних робіт на відкритій місцевості;

- Провести моделювання зовнішнього теплового навантаження на рятувальника під час горіння рідких нафтопродуктів в резервуарі;

- Дослідити термовологісну обстановку в підодежному просторі рятувальника під час виконання аварійно-рятувальних робіт та створити пропозиції щодо його покращення; провести експериментальні дослідження щодо впливу додаткових вологопоглинаючих елементів захисного одягу на стан організму людини;

- Визначити шляхи конструктивного удосконалення протитеплових засобів індивідуального захисту рятувальників в умовах нагрівного мікроклімату з метою охолодження тіла рятувальника та збереження цілісності захисної тепловідбивної оболонки костюмів;

- Розробити прилад автоматичний теплозахисний для рятувальника на початкових етапах проведення аварійно-рятувальних робіт та провести його лабораторні дослідження.

Ідея роботи полягає в підвищенні ефективності захисту рятувальника від впливу тепла шляхом інтенсифікації відводу тепла від організму до оточуючого середовища.

Об'єкт дослідження – процеси та чинники, що визначають негативний вплив тепла на організм рятувальника в процесі виконання аварійно-рятувальних робіт (гасіння пожеж).

Предмет дослідження – закономірності та параметри дії негативних факторів на організм рятувальника в процесі аварійно-рятувальних робіт.

Методи досліджень. При проведенні досліджень використовувалися теоретичні та експериментальні методи, математичне моделювання.

Наукові положення, які виносяться на захист:

1. Інтенсивність теплового потоку при горінні нафтопродуктів в резервуарах зростає за гіперболічною залежністю від діаметра і висоти резервуара, що обумовлює межі зон використання протитеплових засобів рятувальників, при цьому теплове навантаження рятувальників збільшується на 10...30% за рахунок відбитих теплових потоків від пожежі і сонячних променів, що обґрунтовує шляхи якісно нового підходу до захисту рятувальників.

2. Терморегуляція організму рятувальників під час виконання аварійно-рятувальних робіт залежить прямо пропорційно від коефіцієнту теплообміну конвекцією у підодяговому просторі, парціального тиску водяної пари над поверхнею шкіри та у повітрі і обернено пропорційно від коефіцієнту теплоізоляції одягу, що визначає термовологісний стан в підодяговому просторі рятувальника і створює основи для розробки додаткових елементів спеціального теплозахисного одягу.

3. Нагрів поверхні тіла рятувальника від пожежі в резервуарі відбувається нерівномірно: спочатку температура тіла рятувальника нижча від температури внутрішніх шарів захисного одягу, протягом 5...7 хв вона перевищує температуру внутрішніх шарів, але не досягає небезпечних значень

(40...50°C), в подальшому першочергово стає критичною температура у області верхньої частини погруддя та голови, а також у області передньої частини стоп, що створює основи для удосконалення індивідуального протитеплогового захисту рятувальників.

Наукова новизна отриманих результатів:

Вперше:

- теоретично встановлено залежність променевого теплового потоку при горінні нафтопродуктів в резервуарах від геометричних параметрів резервуарів, а саме – від співвідношення висоти і діаметру, що дозволило обґрунтувати межу безпечної зони ведення аварійних робіт;

- систему «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби індивідуального захисту – організм людини» під час перебування рятувальника в умовах нагрівного мікроклімату доповнено елементом «засоби пожежогасіння», що дозволило обґрунтувати якісно нові шляхи управління виносом тепла від організму людини та охолодження оболонки спеціального одягу;

- отримано закономірності динаміки розподілення температури на поверхні захисного одягу і тіла рятувальника під час горіння нафтопродуктів, що дозволило виявити найбільш вразливі місця та дозволяє обґрунтувати заходи забезпечення безпеки при виконанні аварійних робіт в умовах дії високих температур.

Набуло подальшого розвитку:

- дослідження впливу сонячної радіації на організм рятувальника, що дозволило вперше врахувати баланс теплового навантаження при використанні засобів захисту з урахуванням променевого теплового потоку від джерела горіння та екстремальних рівнів прямих і відбитих сонячних променів;

- вивчення впливу на рятувальника променевої радіації в частині додаткового, до 10...30%, теплового навантаження за рахунок відбитих від

грунту пожежних променів та ефективності застосування проточної схеми охолодження організму рятувальника при використанні водяних засобів пожежогасіння.

Наукове значення роботи полягає у розкритті механізму нагрівання тіла рятувальника та спеціального одягу в умовах нагрівного мікроклімату та розвитку шляхів удосконалення теплозахисних засобів, що дозволяє підвищити безпеку рятувальників під час ведення аварійно-рятувальних робіт.

Практичне значення отриманих результатів полягає в створенні основ для розробки нових, більш ефективних засобів протитеплого захисту та модернізації тих засобів, які є на оснащенні рятувальних підрозділів, що дозволить підвищити рівень безпеки рятувальників під час аварійно-рятувальних робіт та покращити оснащеність рятувальних підрозділів.

Розроблено конструктивні схеми й елементи конструкцій водяного та пінного охолоджуючих пристроїв та на макетних зразках експериментально підтверджено ефективність пристроїв для підвищення захисних властивостей і терміну придатності спеціального одягу рятувальників.

Запропоновано автоматизування захисту від теплового враження на початковій стадії ліквідації пожежі і експериментально підтверджено ефективність розробленого автономного пристрою

Розпочато конструкторське пророблення до випуску автоматичного теплозахисного приладу (Акт №11 від 15.11.2017, ТОВ «Електра» м. Черкаси), охолоджуючих пристроїв (Акт від 20.02.2018, ТОВ «Науково виробниче підприємство «Вогнеборець» м. Львів, акт №1 від 17.04.2018, ТОВ НВП «Талан-Пожтех» м. Бровари), пристрою для захисту обличчя (Акт №2 від 17.04.2018, ТОВ НВП «Талан-Пожтех» м. Бровари).

Наукові та практичні результати роботи використані у навчальному процесі ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» під час викладання дисциплін «Основи охорони праці», «Охорона праці в галузі», «Цивільний захист», а також впроваджені у курс лекцій з дисциплін

«Підготовка газодимозахисника» та «Пожежна тактика», що викладаються у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності, і дисципліни «Охорона праці» у Черкаському інституті пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні, узагальненні і вирішенні теоретичних та експериментальних завдань дисертаційної роботи.

Автором самостійно сформульовані наукова проблема, мета й завдання дослідження, ідея роботи, її основні наукові положення, висновки й рекомендації, програма лабораторних експериментів, розроблено методики й проаналізовані результати досліджень, обрані методи математичних досліджень. Автор брала безпосередню участь в організації й проведенні лабораторних експериментів. Як відповідальний виконавець автор брала безпосередню участь у виконанні НДР. Зміст дисертації викладений автором самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на наступних конференціях: Міжнародна науково-практична конференція «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації» (2016, Львів), VII, VIII, IX Міжнародні науково-практичні конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (2016, 2017, 2018, Черкаси), XVIII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics» (2017, Czestochowa), I Конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Будівництво, архітектура та безпека життя» (2017, Рівне), V Міжнародна науково-практична конференція «Технології і процеси в гірництві та будівництві» (2017, Покровськ), 12th Joint International Conference «Clotech 2017» (2017, Lodz, Poland), VII Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (2017, Черкаси), II Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція

«Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (2017, Кривий Ріг), IV Международная заочная научно-практическая конференция «Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве» (2017, Минск), XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Потураївські читання» (2018, Дніпро), Всеукраїнська науково-практична конференція «Пожежна безпека: проблеми та перспективи» (2018, Харків), Науково-практична конференція «Стратегія реформування організації цивільного захисту» (2018, Київ).

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано у 47 наукових публікаціях, з них 17 – у фахових виданнях, 2 – у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз, 3 – у періодичних виданнях іноземних держав, 3 – публікації, у яких додатково відображено зміст дисертації, 16 – публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації, 5 – патенти на корисну модель, 1 – монографія.

Мета і завдання визначили структуру дисертаційної роботи, яка складається з вступу, шести розділів, висновків, списку джерел з 259 найменувань, на 30 сторінках, містить 104 рисунки і 50 таблиць, сім додатків на 34 сторінках. Основний текст дисертації становить 280 сторінок, загальний обсяг - 367 сторінок.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ НАУКОВОЇ ПРОБЛЕМИ

1.1. Стан виробничого травматизму під час виконання аварійно-рятувальних робіт особовим складом Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Протягом останнього десятиріччя простежується тенденція до зростання щорічної кількості пожеж на території України [75, 239, 230, 240]. Проте кількість травмованих людей під час пожеж скоротилася майже вдвічі, хоча число загиблих залишається стабільно високим і перевищує цей показник у європейських країнах та США [13, 51, 123]. Специфічною особливістю діяльності рятувальних підрозділів є те, що всі виконувані роботи пов'язані з небезпекою травмування та ризиком для життя через можливість вибухів і обвалів, обмеження видимості або повної її відсутності, ненормальних температурних умов та вологості повітря, можливості отримати електротравми, хімічне ураження тощо.

Для оцінки стану травматизму в підрозділах Державної служби з надзвичайних ситуацій України (ДСНС України) було проведено аналіз показників виробничого травматизму за 2005-2016 рр [221]. Всього за 12 років на території України під час проведення оперативних дій сталося 877 нещасних випадків серед рятувальників, під час яких було травмовано 1034 особи (рис.1.1, 1.2).

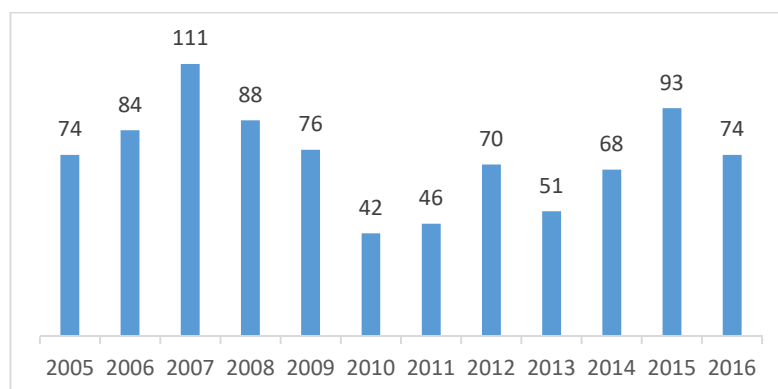


Рисунок 1.1 – Динаміка загальної кількості нещасних випадків серед особового складу ДСНС України [156]

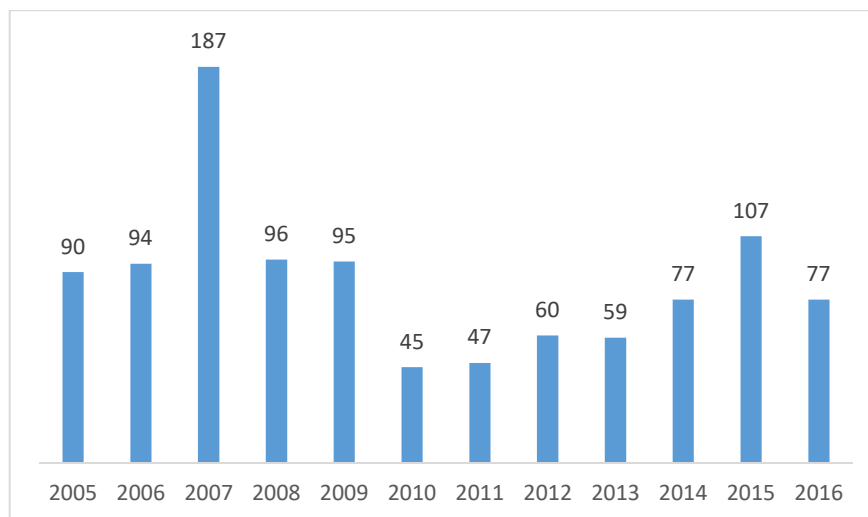


Рисунок 1.2 – Динаміка кількості постраждалих рятувальників під час виконання службових обов’язків [156]

Близько 7% від загальної кількості потерпілих за 12 років були травмовані смертельно, що проілюстровано на рисунку 1.3.

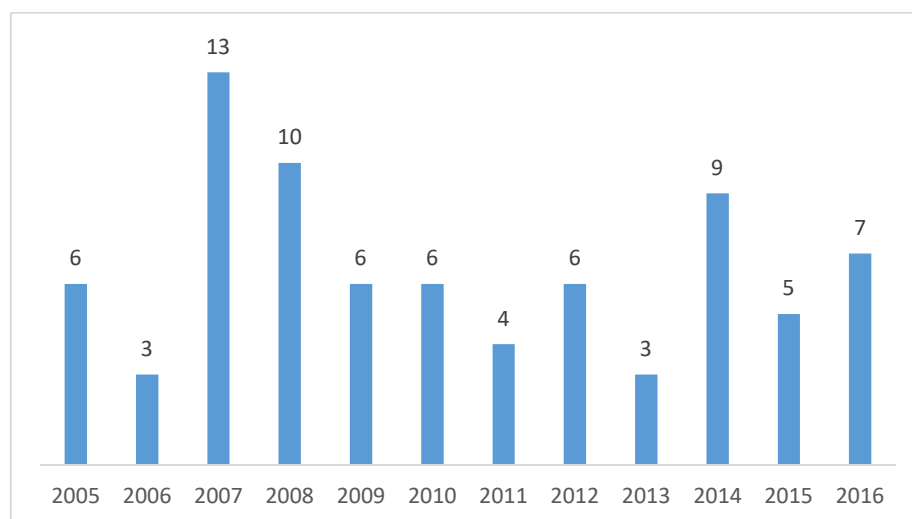


Рисунок 1.3 – Кількість смертельно травмованих рятувальників під час виконання службових обов’язків [156]

За видами небезпечних та шкідливих виробничих факторів (НШВФ), що впливають на рятувальників, травми умовно можна поділити на: термічні, хімічні, електричні, механічні[111, 131, 133, 229].

Аналізуючи результати розслідувань нещасних випадків було виявлено, що найбільша кількість осіб (464 особи) отримали різноманітні механічні травми, 79 осіб – теплові травми, 55 осіб – хімічні ураження, 11 осіб отримали електричні травми (рис.1.4) [228]. Протягом трьох останніх років серед загальної кількості постраждалих 16 осіб за офіційною статистикою отримали травми під час участі у антитерористичній операції на сході України. 45 рятувальників постраждали через дорожньо-транспортні пригоди, хвороби (ішемічна хвороба серця, набряк легенів, гостра коронарна недостатність), укуси комах, тварин тощо.

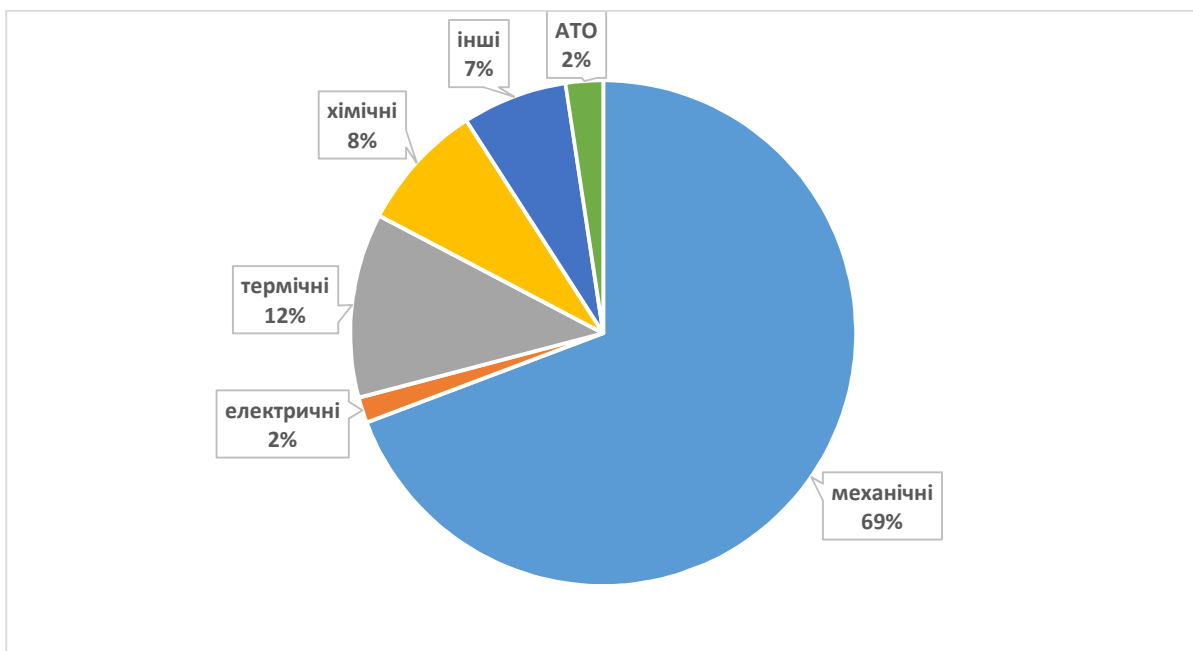


Рисунок 1.4 – Кількість травмованих протягом 2005-2016рр за різними видами травм [156]

Згідно із даними результатів розслідування нещасних випадків у ДСНС України [4, 156] найбільша кількість смертельних нещасних випадків (рис.1.5)

також сталася від механічних травм (14 постраждалих), а також травм, що сталися внаслідок раптових погіршень стану здоров'я (15 осіб). Внаслідок термічних, електричних та хімічних уражень загинуло відповідно 5, 2 та 1 особи. Під час виконання службових обов'язків за окреслений період в зоні проведення антитерористичної операції жоден рятувальник не загинув.

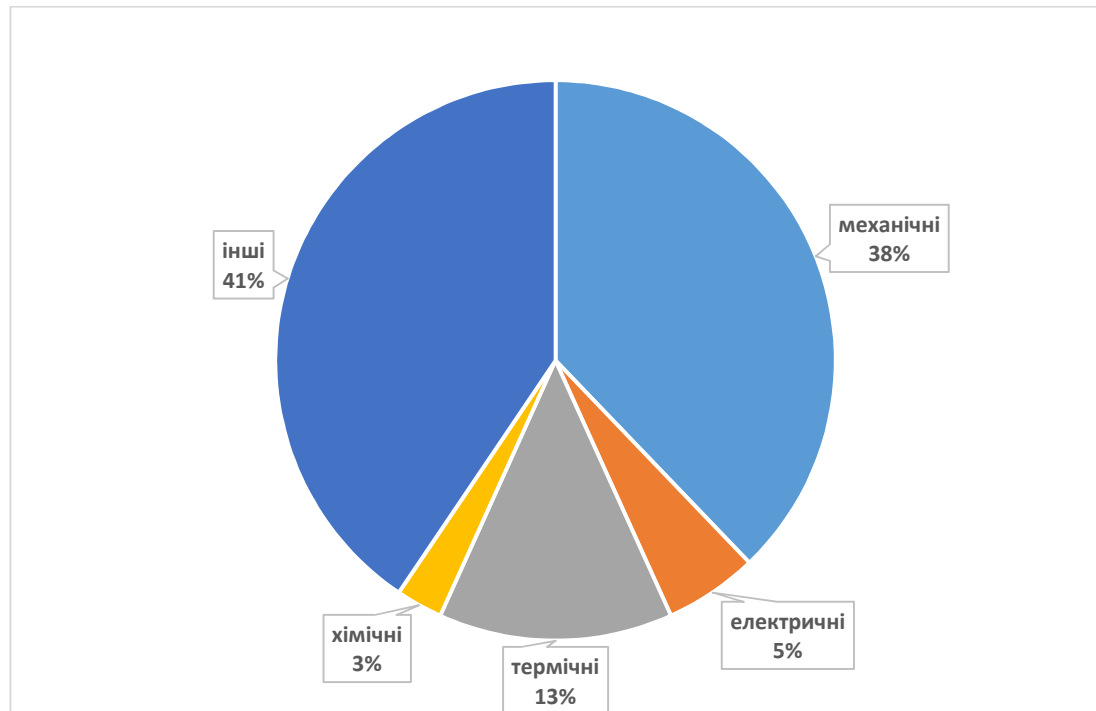


Рисунок 1.5 – Кількість смертельно травмованих протягом 2005-2016рр
за

різними видами травм [156]

Найбільш характерний випадок відбувся на території нафтобази ТОВ «Побутрембудматеріали» групи компаній «БРСМ». Наймасштабнішою пожежею за часів незалежності України, що призвела до значних людських і матеріальних втрат, була пожежа, яка виникла 08 червня 2015 року (рис.1.6-1.8) на одному з резервуарів з паливом на території нафтобази ТОВ «Побутрембудматеріали» групи компаній «БРСМ» у Васильківському районі Київської області, унаслідок якої загинуло п'ятеро людей, у тому числі

трьох рятувальників, 16 осіб отримали травми різного ступеню важкості [145]. Пожежа тривала майже два тижні, на її ліквідацію було задіяно значну кількість особового складу та техніки ДСНС України з декількох областей. Причиною пожежі став недолік конструкції та виробництва електроустановок, коротке замикання електромережі. Витрати на гасіння пожежі оцінили у 50 мільйонів гривень.

Рисунок 1.6 - Гасіння пожежі повітряно-механічною піною на території нафтобази ТОВ «Побутрембудматеріали» смт Глеваха Васильківського району Київської області 10.06.2015 12 год. 00 хв. [145]

Рисунок 1.7 - Гасіння пожежі повітряно-механічною піною на території нафтобази ТОВ «Побутрембудматеріали» смт Глеваха Васильківського району Київської області 10.06.2015 13 год. 00 хв [145].

Рисунок 1.8 - Гасіння пожежі повітряно-механічною піною на території нафтобази ТОВ «Побутрембудматеріали» смт Глеваха Васильківського району Київської області 12.06.2015 08 год. 15 хв [145].

Велика кількість механічних та термічних травм обумовлена тим, що оперативно-рятувальні дії часто проходять в умовах поганої видимості, високої температури і вологості повітря, у середовищі непридатному для дихання [78, 105]. Отже, під час виконання оперативних дій особовий склад ОРС ЦЗ ДСНС України повинен мати на оснащенні, крім ЗІЗОД, засоби індивідуального протитеплогового захисту. Наявність такого роду травм пов'язана із недостатнім, на наш погляд, рівнем захисної дії існуючих на оснащенні підрозділів протитеплових засобів (ПТЗ), які не дозволяють ефективно виконувати пошуково-рятувальні операції в зонах високих температур. Обмежені фінансові можливості держави не дають змоги закупити сучасні закордонні ПТЗ, тому потрібен пошук шляхів створення вітчизняних ефективних та відносно дешевих засобів.

1.2. Вплив небезпечних та шкідливих термічних факторів на рятувальників під час оперативно-рятувальних дій

Серед термічних травм особового складу ДСНС при ліквідації джерел горіння, є опіки, перегрів організму, втрата свідомості, теплові удари тощо.

Дальньою межею зони теплового впливу за інтенсивністю променистого теплового потоку запропоновано приймати таке віддалення від зони горіння, де променисте тепло, що впливає на незахищені частини тіла людини (обличчя, руки) викликають болюче відчуття не миттєво, а через проміжок часу, сумірний з оперативним часом, а саме часом, необхідним для активного впливу пожежного, що оснащений засобами гасіння, на основні параметри пожежі. Чисельну величину цього часу рекомендовано визначати експериментально на характерних реальних пожежах. При інтенсивності опромінення $560 \dots 1050 \text{ Вт/м}^2$ настає межа витримування [43-45, 145]. При зовнішніх пожежах (наприклад, горіння штабелів лісоматеріалів) така інтенсивність спостерігається на відстані 30...40 м. На більш близьких

відстанях (10...15 м), де ствольщикам необхідно працювати, інтенсивність випромінювання перевищує $4200\text{--}5600 \text{ Вт/м}^2$. У таких умовах рятувальник повинен використовувати індивідуальні засоби захисту від теплового випромінювання. Для будівель із внутрішніми пожежами при середній інтенсивності їх розвитку та сучасних засобах пожежогасіння (наприклад, тонкорозпилена вода з доданням змочувача) цей час умовно можна прийняти рівним 15с. Експериментальні дані свідчать, що за дальню межу зони теплового впливу запропоновано умовно прийняти інтенсивність променистого потоку приблизно 3500 Вт/м^2 .

Основні види оперативних дій в зонах теплового враження це: розвідка аварійного об'єкту та евакуація людей що застигнуті аварією; гасіння джерел горіння; локалізація пожеж і шляхом охолодження сусідніх об'єктів що нагріваються [98, 241]. Найчастіше ці дії виконують за допомогою засобів водяного або пінного пожежогасіння. Для виконання робіт з відключення пошкоджених апаратів і трубної арматури рятувальникам також доводиться входити в зону впливу високих температур. У ряді випадків для проведення рятувальних робіт, подачі засобів гасіння, управління процесами обміну повітря на пожежі необхідно проводити роботи з розкриття конструкцій. Тривалість такого виду робіт не може складати кілька секунд, як це зазначається в характеристиках на окремі види ПТЗ.

Створену на основі огляду відомих літературних джерел класифікацію видів негативного впливу пожежі на людину та можливих шляхів протидії їм зведено в таблицю 1.1 [15, 155].

Розглянемо критично деякі з вказаних шляхів впливу тепла на рятувальників.

Радіаційне (променеве) нагрівання. Для зменшення променевого теплового навантаження забезпечують відбиття променів шляхом надання зовнішньої поверхні ПТЗ низького коефіцієнту чорноти наближаючи її вид до дзеркального. При цьому спрямоване на рятувальника випромінювання

розсіюється в оточуючому середовищі, зменшуючи нагрівання системи «пожежа – ПТЗ – рятувальник».

Таблиця 1.1

Види теплового впливу пожежі на рятувальників
та основні засоби протидії їм [155]

Види теплового впливу на пожежних та їх основні характеристики		
Радіація (променисте нагрівання)	Термодинамічна конвекція	Кондукція
Шляхи протидії нагріву		
Відбиття теплового потоку	Теплова ізоляція від зовнішньої середовища	Застосування теплостійких матеріалів оболонок
Зменшення опромінюваної поверхні	Обдув поверхні що нагрівається	Використання охолоджуючих елементів
Зменшення експозиції	Зрошення поверхні що нагрівається	Застосування проточного холодоносія
Екранування	Випаровування рідини з поверхні	Використання кріогенних засобів

Якщо поверхня, на яку діють промені, розташована під кутом до вектора випромінювання, нормаль її площі зменшується відносно променевого потоку, це дозволяє зменшити нагрів рятувальника, розміщуючи його боком до джерела горіння.

Скорочення часу опромінювання поверхні, натурально, зменшує нагрів підверненої цьому поверхні ПТЗ, але це потребує використання додаткових людських сил ДСНС. Доцільно періодично розгортати рятувальника іншим боком до джерела горіння, що скорочує променеву експозицію і загальний нагрів системи.

Встановлення на шляху ІЧ променів додаткового екрану призводить до поглинання енергії цією перешкодою і захист від неї системи.

Термодинамічна конвекція. Розповсюдженням засобом є створення надійної теплоізоляції між зовнішнім середовищем та тілом рятувальника. При відносно невеликих променевих потоках від пожежі теплота, що утворюється на оболонці ПТЗ видаляється конвекційними потоками і не достає до тіла пожежного. Однак, інтенсивне випромінювання проникає крізь теплозахист, а також нагріває поверхневий шар оболонки ПТЗ до температури термодеструкції. Виконання операційних дій у несправних протитеплових засобах – заборонено.

Як вже було вказано, конвекційний теплообмін обумовлений різницею температур між поверхнею ПТЗ (зовнішню або внутрішньою) та оточуючого повітря. Тому дії, спрямовані на зниження температури поверхні, такі як обдув її охолодженим повітрям або водою, різко зменшують нагрівання системи за рахунок виносу тепла з поверхні.

Додатковий ефект охолодження отримують при використанні води для охолодження поверхонь, що нагріваються. За рахунок поглинання енергії в процесі випаровування (так звана скрита теплота пароутворення) існує затримка розігріву покритої рідиною поверхні.

Другий напрямок зменшення конвекційного процесу - це охолодження взаємодіючого з системою «ПТЗ – рятувальник» повітря. Це можна забезпечити шляхом охолодження водою або піною оточуючої рятувальника площі, яку нагрівають промені від пожежі. Охолодження зовнішнього середовища не стосується напряму питання що розглядаємо. Що стосується внутрішнього простору костюму, такі технічні питання розглянемо нижче.

Кондуктивний нагрів. При значних теплових навантаженнях, таких як безпосередній контакт з полум'ям, використовують для виготовлення зовнішніх оболонок ПТЗ матеріали, що мають високу температуру термодеструкції. Це дозволяє забезпечити цілісність протитеплого одягу при короткочасній дії фронту горіння, але не захищає від нагріву тіло пожежного.

Забезпечення комфортних умов роботи рятувальника досягають використовуючи охолоджуючі елементи (ОЕ) різного виду. Відомі хімічні елементи в яких низька температура досягається при ендотермічній реакції двох речовин, застосовуються розплави солей, що мають високу теплоємність, найбільш поширені водо-крижані ОЕ. Недоліком такого технічного рішення є малий ресурс холоду, що вимагає перезарядки ОЕ в процесі роботи. Однак, для цього потрібно мати холодильні установки, транспортні контейнери і термоси, резервну кількість елементів, що пов'язане з суттєвими витратами, в тому числі зайвих, в період коли пожеж немає.

На наш погляд, більш раціональним може бути шлях застосування охолоджуючих пристроїв з циркуляцією холодоносія. Автономні пристрої, в яких реалізується охолодження теплоносія за рахунок фазових перетворень, мають декілька більший ресурс для охолодження тіла рятувальника, але що до захищення поверхневих шарів ПТЗ цей ресурс недостатній внаслідок обмеження маси пристрою.

1.3. Екстремальні мікрокліматичні умови роботи рятувальників

Екстремальні мікрокліматичні умови – це поєднання параметрів повітря: температури, вологості, швидкості руху й теплового випромінювання, фізичних чинників [38, 113, 178, 179, 180], за яких змінюється теплообмін людини, що проявляється в накопиченні тепла в організмі ($> 2 \text{ Вт}$) і (чи) в підвищенні частки витрат тепла за рахунок випаровування вологи ($> 30 \%$), що в свою чергу призводить до погіршення стану здоров'я людини, зниження її працездатності й продуктивності праці.

За сприятливих мікрокліматичних умов організм людини віддає тепло в навколишнє середовище, в якому він зберігає теплову рівновагу під час виконання роботи середньої важкості. При цьому кількість тепла, що надходить зовні і яке виділяється в організмі, дорівнює кількості тепла, відведеному з організму в довкілля. Теплова рівновага підтримується завдяки

функціонуванню системи терморегуляції організму. Якщо теплопередавання в довкілля природним шляхом відбувається з перешкодами, то система терморегуляції організму починає виділяти піт на поверхню шкіри, випаровування якого сприяє інтенсивному тепловідведенню, тобто перенесенню тепла тіла назовні, що супроводжується посиленням серцевої діяльності, збільшенням частоти серцевих скорочень.

За посиленого теплового впливу довкілля система терморегуляції організму не може забезпечити тепловідведення для стабілізації теплової рівноваги. У цьому випадку організм людини починає нагріватися, спочатку до допустимого теплового стану, а потім до граничного теплового стану, після чого настає пряма загроза теплового удару. [54, 55, 79, 84, 85, 92, 94, 250]

Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту регламентує, що основним оперативним завданням особового складу пожежно-рятувальних підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту є рятування людей у разі виникнення загрози їх життю, ліквідування пожежі в тих розмірах, яких вона набула на момент прибуття пожежно-рятувального підрозділу, та надання допомоги в ліквідуванні наслідків аварій, катастроф і стихійного лиха [241, 225].

Специфічна особливість професійної діяльності рятувальників полягає в тому, що виконувані роботи пов'язані з небезпекою травмування й ризиком для життя через можливі вибухи та обвали, з обмеженою видимістю або повною її відсутністю, високою температурою, переважно великою вологістю повітря [79,88]. Працюючи в засобах індивідуального захисту органів дихання і зору, тепловідбивних та, особливо, теплозахисних костюмах, особовий склад піддається впливу значних фізичних навантажень, характерне суттєве напруження всіх функціональних систем організму, зокрема терморегуляції, навантаження на нервову систему.

Фізичні навантаження в ході ліквідації надзвичайних ситуацій та їх наслідків у цілому можна зарахувати до категорії важкої фізичної праці. Гасіння пожеж проводять здебільшого вручну (робота з пожежнотехнічним, аварійно-рятувальним обладнанням, розкриття та розбирання конструкцій, порятунок людей, евакуація майна та ін.) [225]. Обсяг використання, так званих, засобів малої механізації (бетоноломи, ножиці для різання арматури, пневматичні перфоратори, електробури, механічні пилки тощо) у низці робіт невеликий. До цього варто додати носіння засобу індивідуального захисту органів дихання та зору й робота в ньому, що збільшують витрати енергії людини приблизно на 25-27 % порівняно зі звичайними умовами. Характеристику деяких різних робіт рятувальників в залежності від ваги відповідно подано в табл. 1.2 [161, 175].

Робота в засобах індивідуального захисту органів дихання і зору (ЗІЗОД), якими оснащені пожежно-рятувальні підрозділи, посідає особливе місце в діяльності рятувальників, оскільки створює специфічні умови дихання і впливає на фізіологічні функції організму людини. Крім того, дихальна система даних засобів породжує додатковий опір диханню людини, маска апарату створює шкідливий простір. Негативно впливає на функціонування організму додаткова маса апарату та інструментів.

Під час виконання робіт із гасіння пожеж у різних погодних умовах організм рятувальників може зазнавати впливу різких і багаторазових перепадів зовнішньої температури. Поблизу вогнища пожежі на рятувальника діє суттєве теплове випромінювання, що зумовлює необхідність застосування засобів індивідуального захисту – теплоізоляційних і теплозахисних костюмів [227]. Разом із ЗІЗОД ці засоби значно підсилюють, ніж робота в захисному одязі, вплив фізичного навантаження на організм. Крім того, суттєво зростає психоемоційна напруженість рятувальника, оскільки в ході діяльності в захисних костюмах різко знижується огляд навколишнього простору, відсутній контроль за роботою дихального апарату, обмежується свобода

рухів. Залежно від умов виникнення й розвитку пожеж, їх характеру та особливостей об'єкта, робота рятувальників може проходити як у звичайній атмосфері, так і в сильно задимленому, загазованому, непридатному для дихання середовищі.

За останні десять років питома вага робіт у ЗІЗОД становила 40,6 %. Характер виконаних робіт, їх питома вага в загальному обсязі пожежно-рятувальних, аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт представлені в табл. 1.3.

Таблиця 1.2

Характеристика різних робіт, виконуваних рятувальниками під час пожежі, за ступенем тяжкості [145]

Види роботи	Ступінь важкості
1. Порятунок людей (винесення потерпілих)	Важка
2. Розвідка	Середня
3. Евакуація майна	Важка
4. Переміщення з рукавною лінією під напором води	Важка
5. Робота зі стволом	Середня
6. Робота з піногенератором	Важка
7. Розкриття конструкцій (вручну або механічним інструментом)	Важка
8. Перекриття вентилів апаратів і трубопроводів	Середня
9. Перекриття технологічних засувов під час роботи в теплозахистних костюмах	Важка

Згідно з даними таблиці, розвідка пожежі й роботи з гасіння пожеж становлять приблизно 67 % випадків, що за тривалістю дорівнює майже 70 %. Значно менша питома вага припадає на роботи з розкриття конструкцій і розбирання завалів – близько 20 %, евакуації матеріальних цінностей – 7,6 %. Останнє місце посідає порятунок людей (4,8 %).

Таблиця 1.3

Тривалість і кількість виконаних робіт під час гасіння пожеж в ЗІЗОД [145]

Вид робіт	Відсоток від загальної кількості робіт, %		Середня тривалість роботи, хв
	за частотою	по тривалості	
1.Розвідка	32,3	17,5	9,1
2.Порятунок людей	4,8	2,7	9,5
3.Робота з водяними	31,7	46,6	24,8
4.Робота з пінними стволами	3,3	5,1	26,0
5.Розкриття і розбирання	15,3	16,0	17,6
6.Розбирання завалів	5,0	4,9	16,0
7.Евакуація матер. цінностей	7,6	7,2	16,0

Середні величини, що характеризують кількість робіт, виконуваних рятувальниками в ЗІЗОД, у відсотках до загальної чисельності робіт на пожежах залежно від їхньої тривалості, а також розподіл робіт в залежності від їхньої тривалості за одноразового включення в ЗІЗОД представлено в табл. 1.4.

Як засвідчують зазначені дані, найбільшу частку робіт у ЗІЗОД (56,7 %) і за одноразового включення в засіб (41,2 %) виконували за тривалості робіт до 30 хв.

В організмі людини постійно утворюється тепло внаслідок окислювальних процесів під час розщеплення їжі й завдяки м'язовій діяльності. Теплотворність в організмі відіграє посутню роль. Інтенсивність обміну речовин в організмі людини у стані спокою рівна 87 Вт, у рятувальника, який виконує фізичну роботу в теплозахисному костюмі, вона може вирости до 700–800 Вт, при цьому близько 80–85 % перетворюється в тепло.

Таблиця 1.4

Відносна кількість робіт в ЗІЗОД і випадків одноразового включення в них залежно від тривалості роботи [145]

1	Тривалість роботи, хв	до 30	30-60	60-90	90-120	120-180	>180	-
	Кількість робіт в ЗІЗОД, %	56,7	30,8	5,3	3,7	0,9	2,6	-
2	Тривалість роботи, хв	до 15	15-30	30-45	45-60	60-90	90-120	>120
	Кількість випадків роботи за одноразового включення в ЗІЗОД	35,2	41,2	15,6	6,0	1,3	1,3	0,3

За нормальних і низьких температур навколишнього середовища, при температурі шкіри вищій від температури повітря, тепловіддача відбувається через конвекцію, теплопровідність і радіацію. Висока температура навколишнього середовища породжує нагрівання шкірних покривів [49, 52, 59, 98, 111, 132, 229]. Якщо температура шкіри нижча від температури повітря, то тепловіддача цими шляхами припиняється й здійснюється тільки через випаровування поту. Під час випаровування кожного граму рідини з поверхні шкіри організм віддає 2,43 кДж, однак інтенсивність випаровування поту залежить від різниці парціальних тисків водяної пари над поверхнею шкіри й у навколишньому повітрі. За відносної вологості 100 % випаровування, зазвичай, припиняється. У разі високої температури навколишнього середовища й важкого фізичного навантаження збільшення швидкості руху повітря не охолоджує організм, а, навпаки, збільшує нагрівальний ефект.

Вплив теплового випромінювання на організм людини має низку особливостей, порівняно з ефектом високої температури повітря. Насамперед це більш глибоке прогрівання, яке призводить до підвищення температури шкіри, тканин і внутрішніх органів. До найважливіших наслідків теплового

випромінювання необхідно віднести виникнення опіків. У разі використання спеціального одягу рятувальника велика частина теплового випромінювання затримується й не досягає шкіри протягом деякого часу. Відсутність спеціальної відбиваючої поверхні призводить до швидкого нагрівання одягу, сприяючи накопиченню тепла в організмі. У тепловідбивних і теплозахисних костюмах, що мають металізоване покриття, яке відбиває променисте тепло, організм рятувальника деякий час не перегрівається. Якщо щільність теплового потоку не перевищує $4,2 \text{ кВт/м}^2$, рятувальники можуть працювати в спеціальному одязі та касках із захисними лицьовими масками. За більш інтенсивного теплового променевого потоку роботу потрібно проводити в теплозахисних костюмах під прикриттям водяних розпиленних струменів від пожежних стволів, які частково перешкоджають проходженню променевого тепла.

Умови середовища на пожежах за ступенем небезпеки для особового складу рятувальних підрозділів можна умовно поділити на три зони [145, 161].

Перша зона – умови, що створюються на достатній відстані від фронту полум'я, температура не перевищує $60\text{--}70^\circ\text{C}$, тепла радіація $1,2\text{--}4,1 \text{ кВт/м}^2$.

Друга зона – небезпечні умови, що створюються усередині охопленого вогнем приміщення або поблизу фронту полум'я, верхня межа температури цієї зони близько 300°C , теплової радіації $4,2\text{--}10,0 \text{ кВт/м}^2$.

Третя зона – надзвичайно небезпечні умови, що виникають, наприклад, у разі загального спалаху в приміщенні або під час вибуху. За цих умов температура досягає 1000°C і більше, а радіація $100\text{--}200 \text{ кВт/м}^2$.

Під час роботи рятувальників у другій та третій зонах без використання ЗІЗОД та теплозахисного одягу можуть виникати ураження легень й опіки тіла, а також поверхневі ушкодження одягу. У всіх трьох зонах може мати місце теплове ураження рятувальників за досягнення ректальної температури тіла $38,6^\circ\text{C}$ і частоти серцевих скорочень – 170 хв^{-1} . За температури сухого повітря 150°C дихання стає надважким, температура 160°C породжує опік

сухої шкіри через 30с, а температура 180°C узагалі нестерпна. У разі радіації 2 кВт/м² опіки шкіри другого ступеня настають через 100 с, а за 10 кВт/м² – через 10 с. Температуру повітря вимірюють сухим і вологим термометром або психрометром, теплову радіацію – актинометром.

Отже, рятувальники виконують переважно роботи, що належать до категорії «важкі», в умовах високих температур (до 1000°C і більше) та теплової радіації (до 200кВт/м²). Середня тривалість таких робіт під час виконання оперативних завдань особовим складом рятувальних підрозділів складає 35 хв.

Однак під час оцінки теплового навантаження на людину під час виконання аварійно-рятувальних робіт враховують тільки температуру оточуючого середовища, потужність теплового випромінювання від джерел горіння, швидкість руху повітря, відносну вологість повітря [7, 46, 57]. В сучасних нормативних документах не враховується вплив на рятувальника відбитих пожежних променів від стінок будівель і технологічного обладнання, від ґрунту. Також на сьогоднішній день не здійснюється врахування впливу сонячних випромінювань під час виконання аварійно-рятувальних робіт на відкритій місцевості, що знижує загальну величину теплового навантаження на людський організм.

1.4. Оцінка небезпек під час аварійно-рятувальних робіт

Теоретичною підставою для розробки мір забезпечення безпеки співробітників рятувальних підрозділів в умовах ведення аварійно-рятувальних робіт (АРР) при дії небезпечно діючих факторів пожежі (НДФП) в першу чергу може бути попередня оцінка специфічних найбільш масштабних та вірогідних, так званих, екстремальних небезпек та ризиків.

В сучасній технічній літературі широко розповсюджено оцінювати загрози для людини в виробничому середовищі за допомогою поняття ризик [88, 110, 135, 118]. Вікіпедія дає поняття ризику як поєднання ймовірності та

наслідків настання несприятливих подій. При веденні АРР мінімальний наслідок негативної події M_c для рятувальника це неможливість виконання рятувальником оперативних дій, максимальний – тяжке травмування. Загальноприйнято оцінювати величину ризику R як результат множення вірогідності події P на її масштаб (наслідок) M_c :

$$R = P M_c$$

Екстремальний ризик R_e для рятувальника, в контексті даної роботи, такий ризик, що може привести до враження рятувальника, який знаходиться поблизу джерела полум'я.

Відомо декілька методичних підходів до оцінювання виробничих ризиків. Один з найбільш розповсюджених методів їх оцінки є врахування коефіцієнту частоти травмування відносного показника числа травмованих рятувальників n_{tr} за відрізок часу, наприклад, за рік, до їх загальної кількості з приведенням до тисячі працюючих N [233]. Але внаслідок нестабільного характеру виникнення пожеж, великого різноманіття надзвичайних ситуацій та умов їх розвитку цей метод може визначати велику помилку, тому не є адекватним до аварійних робіт.

Запропоновано показники ризику використати як інтегральний критерій оцінки ефективності використання засобів індивідуального захисту [247]. У дослідженнях кількісна оцінка ризиків охоплює аналіз імовірності їх настання, показники надійності, аналіз можливих наслідків та їх поєднання. На прикладі для восьми видів захисного одягу визначено чисельні характеристики імовірних значень ризику, які призначено до використання під час проектування базових конструкцій з подальшим впровадженням додаткових елементів у ході проектно-конструкторської розробки.

Деякі методи оцінки ризику, базуються на результатах економічних витрат через перебування постраждалих на лікарняних, інвалідності тощо [104]. Недоліком такого методу є можливість приховання травм, спотворення медичної статистики, її недосконалість тощо. Недостатньо дослідженою на

даний час є також можливість застосування стохастичних і імітаційних моделей, що аргументовано відображено у [32, 112].

Для оцінки надійності і безпеки експлуатації устаткування і виробничих процесів використовують метод «дерева відмов», основною характеристикою надійності є частка відмов, величина якої вміщує у собі дані про випадкове явище – час безвідмовної роботи [99]. «Дерево відмов» є топологічною моделлю надійності і безпеки оскільки воно враховує логіко - вірогіднісні взаємозв'язки між різними окремими випадковими вихідними подіями у вигляді експлуатаційних первинних або результуючих відмов, сукупність яких призводить до головної події – небезпечної, критичної або аварійної ситуації і, загалом, до нещасного випадку [246]. Однак, такі методи малопридатні для оперативної оцінки ризиків у реальних умовах ліквідації надзвичайних ситуацій внаслідок їх громіздкості і складності.

Фундаментальні дослідження в напрямку оцінки екстремальних ризиків при веденні АРР виконані під керівництвом професорів Белікова А.С. і Касьянова М.А [97, 194] де закладено методичні підходи до визначення ризику при проведенні аварійно-рятувальних робіт, в яких необхідно враховувати не тільки напрацювання на відмову технічних систем, які використовуються рятувальниками, а і імовірність безпомилкового виконання останніми виробничих функціональних дій. В якості прикладу наведено отримані за допомогою метода «дерева відмов» данні про імовірність подій що можуть привести до шкоди здоров'ю рятувальників (табл.1.5) [97]. Однак, велика кількість наведених в таблиці вірогідності подій одного порядку ($n \cdot 10^{-4}$), які можуть призвести до травмування рятувальника, ускладнюють виробку і прийняття рішень з забезпечення його безпеки в процесі роботи.

Таблиця 1.5.

Імовірність подій, що призводять до заподіяння шкоди здоров'ю
рятувальника [97]

№	Подія	Імовірність
1.	Дотик до струмопровідних елементів об'єкта	$5 \cdot 10^{-4}$
2.	Вихід з ладу електрозахисних засобів	$2 \cdot 10^{-4}$
3.	Травмування при використанні ручного електроінструмента	$2 \cdot 10^{-4}$
4.	Травмування при використанні ручного гідравлічного інструменту	$2 \cdot 10^{-4}$
5.	Травмування при використанні ручного пневматичного інструменту	$7,2 \cdot 10^{-4}$
6.	Травмування у результаті падіння при переміщенні на об'єкті	$3 \cdot 10^{-4}$
7.	Травмування внаслідок падіння (обвалу) будівельних конструкцій, елементів устаткування	$3 \cdot 10^{-4}$
8.	Забиття верхніх кінцівок при веденні АРР	$3 \cdot 10^{-4}$
9.	Забиття нижніх кінцівок при веденні АРР	$3 \cdot 10^{-4}$
10.	Травмування при визволенні з-під елементів об'єкта і обладнання постраждалих	$2 \cdot 10^{-4}$
11.	Травмування у процесі підготовки постраждалих до транспортування	$2 \cdot 10^{-4}$
12.	Травмування у процесі транспортування постраждалих	$3 \cdot 10^{-4}$
13.	Дотик до гострих і потрощених елементів конструкцій та устаткування	$3 \cdot 10^{-5}$
14.	Наявність умов для виникнення пожежі	$5 \cdot 10^{-4}$
15.	Наявність умов і джерел вибуху	$5 \cdot 10^{-4}$
16.	Попадання гарячих уламків будівельних конструкцій на засоби індивідуального захисту	$3 \cdot 10^{-5}$
17.	Перевищення ГДК шкідливих речовин у повітрі зони проведення АРР	$5 \cdot 10^{-4}$
18.	Порушення нормативних показників параметрів мікроклімату (високі: швидкість, вологість та температура повітря)	$4 \cdot 10^{-4}$
19.	Наявність джерел теплового опромінення	$4 \cdot 10^{-4}$
20.	Локалізація перевищеного теплового опромінення (ефект багаття)	$4 \cdot 10^{-4}$

Продовження табл.1.5

21.	Наявність підвищеного рівня шуму	$4 \cdot 10^{-4}$
22.	Порушення характеристик освітлення	$3 \cdot 10^{-4}$
23.	Надмірна фізична напруга з її наслідками	$2 \cdot 10^{-4}$
24.	Наявність психофізіологічних ШНВЧ (незручна робоча поза, монотонність, стрес генні ситуації, недостатня інформація для виконання АРР і т. ін.)	$4 \cdot 10^{-4}$
25.	Вихід з ладу захисного шолома	$3 \cdot 10^{-4}$
26.	Вихід з ладу захисного прозорого щитка для очей захисного шолому	$2 \cdot 10^{-4}$
27.	Порушення цілісності спецодягу	$4 \cdot 10^{-4}$
28.	Порушення цілісності спецвзуття	$2 \cdot 10^{-4}$
29.	Порушення цілісності захисних рукавиць	$2 \cdot 10^{-4}$
30.	Відмова захисних пристроїв і дихального	$4 \cdot 10^{-4}$

Важливою є психофізіологічна сторона праці рятувальників, а саме емоційне навантаження при зіткненні з травмами людей та дією екстремальних чинників пожежі або іншого виду надзвичайної ситуації, що потребує особливої уваги. Фізичний стан людини упродовж робочого часу змінюється у сторону погіршення якісного виконання розумових і фізичних навантажень. Таким чином, встановлено, що величина ризику травми внаслідок дії людського фактору не є постійною, а збільшується протягом виконання операцій рятувальником. Наприклад, відповідно до [86], імовірність безпомилкового виконання людиною операцій з прийняття інформації, її оцінки та приймання рішення змінюється від $P(t) = 0,783$ до $0,447$, а затримка у часі від 15 до 40 с, що свідчить про значну загрозу неадекватної дії рятувальника, особливо при швидкій зміні обстановки. На це вказують і результати дослідження [136], які акцентують увагу на проблемах, пов'язаних з невідповідністю психофізіологічної підготовки працівників вимогам певної трудової діяльності.

Відомий аналітичний підхід відносно поняття «виробнича система» [119], який дозволяє регулювати взаємодію між людиною, робочими матеріалами, засобами виробництва та навколишнім середовищем. Таке визначення ризику часто ускладняється через відсутність даних відносно елементів такої системи на аварійному об'єкті, при виникненні надзвичайної ситуації, оцінку стану об'єкта в такому стані можна здійснити тільки шляхом розвідки, наприклад, уточнюючи вірогідність витоків легкозаймистих газів та рідин або інших ускладнень.

Як показують результати аналізу літературних джерел, існуючі методи визначення виробничих ризиків при виконанні АРР не дають відповіді на питання стосовно того, яким чином небезпечні параметри надзвичайної ситуації визначають їх екстремальні величини. Цьому заважає безліч варіантів небезпечного впливу на рятувальника, що можуть скластись на конкретному об'єкті при виникненні надзвичайних ситуацій. В реальній аварійній обстановці, при дефіциті часу і інформації, доводиться керуватись доступними але обмеженими даними, які відображають конкретну ситуацію. Тому вдосконалення спрямованої на підвищення безпеки та ефективності праці рятувальників методології якісної оцінки екстремальних умов ведення аварійно-рятувальних робіт сприятиме вдосконаленню тактики ліквідації пожеж та модернізації засобів захисту.

Підґрунтям для створення основ методики оцінки екстремальних умов ведення АРР є ситуаційний аналіз, як новий варіант вивчення виробничої системи. Він передбачає аналіз небезпек в межах специфічної системи «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини» (рис.1.9), що виникають при ліквідації пожежі.

В загальному уявленні небезпекою вважають можливість виникнення обставин, за яких матерія, поле, інформація або їхнє поєднання впливають на складну систему, та призводять до погіршення або неможливості її функціонування [87]. У випадку ведення АРР з гасіння пожежі пропонується

окремо аналізувати небезпеки як об'єктивні реальності що утворюються в елементах системі «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини». Це пояснюється тим, що вихід з ладу одного з елементів призводить до фатальних наслідків в усій системі.

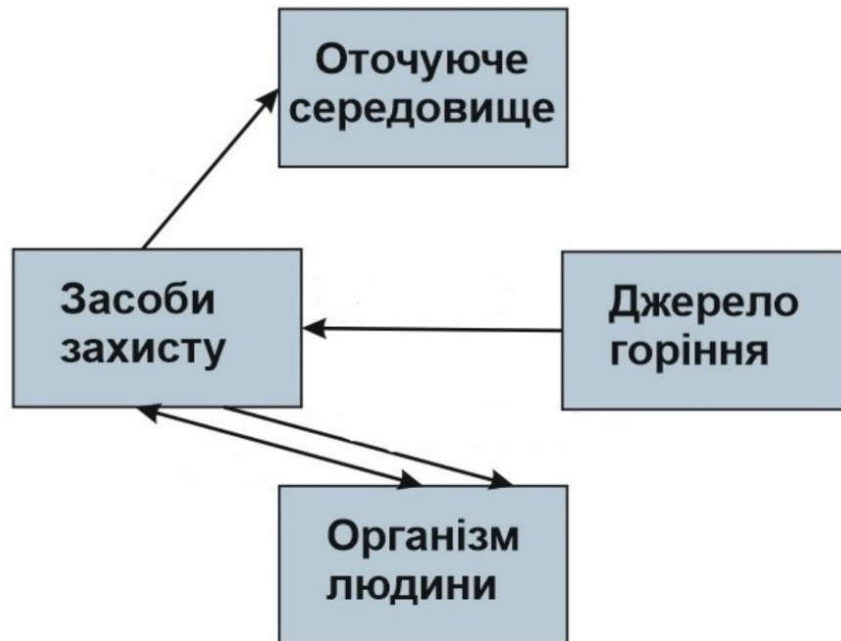


Рисунок 1.9 – Система «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини»

Розкриття механізму дії основних негативних чинників в кожному елементі означеної системи дозволить визначити шляхи мінімізації їх негативного впливу на хід АРР, запропонувати способи і засоби зниження екстремальних ризиків.

Нижче надано підсумки поелементного аналізу системи «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини» [122].

Елемент вказаної системи «оточуюче середовище» на аварійному об'єкті слід оцінювати виходячи з того, що в ньому небезпеки можна умовно розділити на три основні групи, а саме: кліматичні умови, топологія простору та стан протипожежного захисту аварійного об'єкту.

Основні кліматичні чинники це погодні умови: температура повітря, напрям та сила вітру, осаді (дощ, сніг, град), видимість (туман, пил), сонячна радіація, час доби (день, ніч). Вони можуть призвести до ускладнення організації та ведення аварійно-рятувальних робіт, це визначає певні види ризиків. Більшість з перелічених чинників враховано в нормативних документах, що використовують керівники рятувальних підрозділів, або досліджені в науковій літературі [164]. Наприклад дія негативних температур в широкому діапазоні від 0 до -40°C [91]. Слід звернути увагу на те, що в нормативних документах та науковій літературі відсутні рекомендації щодо забезпечення захисту від сонячної радіації при веденні робіт на відкритому просторі, таких як гасіння торф'яників, лісових пожеж тощо. Досвід показує, що вплив Сонця буває небезпечним для працюючих навіть при відсутності теплової дії джерела горіння. Такий вид ризику можна врахувати як екстремальний не постійно діючий, він потребує окремого докладного вивчення. Інша сторона впливу сонячної радіації полягає в тому, що її негативний вплив людина відчуває навіть не знаходячись в зоні впливу джерела горіння, а перебуваючи, наприклад, в резерві. Термін дії Сонця в такому випадку значно переверщує тривалість оперативних дій, і суттєво знижується ресурс теплостійкісного потенціалу рятувальника. Наступна його робота в зоні теплового враження від пожежі може бути не ефективною.

Топологія простору, рельєф місцевості, наявність або відсутність на аварійному об'єкті доріг з твердим покриттям, складні маршрути висунення та розгортання підрозділів ДСНС, особливо на промислових підприємствах, захащеність території – все це визначає певні ризики які, як правило, є практично незмінними протягом ліквідації пожежі. Іноді, при катастрофічних пожежах, що ускладнені вибухами, коли змінюється ситуація на підприємстві рівень такого виду ризику стрибкоподібно змінюється. Міри зниження такого роду небезпек полягають в виборі безпечних, незахищених маршрутів з достатньою видимістю робочих місць.

Законодавством України про пожежну безпеку [140] передбачено обмежене пожежне навантаження приміщень, забезпечення виробничих об'єктів пожежною сигналізацією, автоматичними установками, первинними, водними, пінними, порошковими, аерозольними, газовими засобами придушення вогню. Відсутність або неналежний стан цього обладнання також утворює значні труднощі та загрози для рятувальників.

Аналізуючи елемент системи «джерело горіння» характерною відзнакою екстремальної тобто неприпустимої небезпеки N_e є наявність зони враження – геометричного простору V_e , з розмірами які, як звичай, вимірюють по трьом висям ($L_{x\partial on}$, $L_{y\partial on}$, $L_{z\partial on}$), у якому дія негативного фактору пожежі сягає величини, яка є неприпустимою для нормального функціонування організму. В ній вірогідність, що рятувальник, який працює без спеціальних засобів захисту, постраждає, близька до одиниці $P(t) \sim 1$. Слід зазначити, що зона враження - це характеристика параметрів аварії (надзвичайної ситуації), а рівень небезпеки – можливий вплив на рятувальника. Рівень екстремальної небезпеки можна орієнтовно, в першому наближенні, визначити як [164]:

$$N_e = 1 - V_{\phi}/V_{\partial on},$$

або через лінійні її розміри:

$$\begin{aligned} N_e &= 1 - L_{x\phi}/L_{x\partial on} = 1 - L_{y\phi}/L_{y\partial on} = \\ &= 1 - L_{z\phi}/L_{z\partial on} = 1 - L_{i\phi}/L_{i\partial on}, \end{aligned}$$

де показники розміру з індексом $L_{i\phi}$ означають фактичну координату розташування рятувальника в зоні враження, а показники - з індексом $L_{i\partial on}$ – розмір границі зони враження в напрямку (i).

З цього виходить, що на границі зони враження рівень екстремальної небезпеки близький до нульового, а в центрі зони – максимальний і наближається до одиниці. При веденні АРР за результатами розвідки можна швидко і достатньо точно на даний час визначити межі (L_x , L_y , L_z) зони враження.

Основні негативні фактори пожежі, що формують екстремальні небезпеки, це тепловий вплив у вигляді інфрачервоного випромінювання $N_{ев}$, конвекційні потоки газів від нагрітих поверхонь $N_{ек}$; дія ударної хвилі при вибухах газових сумішей або інших речовин $N_{ев}$, хмара токсичних та ядушливих газів $N_{ея}$, механічна енергія у вигляді падаючих уламків або перешкод руху $N_{ем}$, механічна енергія у вигляді потоку розлитого пального $N_{ер}$, ураження електричним струмом від джерел що знаходяться під напругою $N_{ее}$ тощо. До негативного результату може призвести дія будь-якої однієї з сукупності небезпек. Тому зони враження визначають для кожного з означених негативних факторів, в якості прикладу схематично наведено ситуацію гасіння резервуару з паливом (рис.1.10а).

Слід відзначити, що протягом виконання аварійно-рятувальних робіт розміри зон враження можуть змінюватись, відповідно міняються величини екстремальних небезпек. Це може відбуватись як внаслідок розгоряння або наступного вигорання горючої речовини, так під дією засобів гасіння пожежі. В такому випадку величина зони враження є нестабільною в часі і просторі, а змінюється [160, 164]:

$$N_{енож} = f(t, A)$$

де t – час;

A – потужність засобів впливу на пожежу.

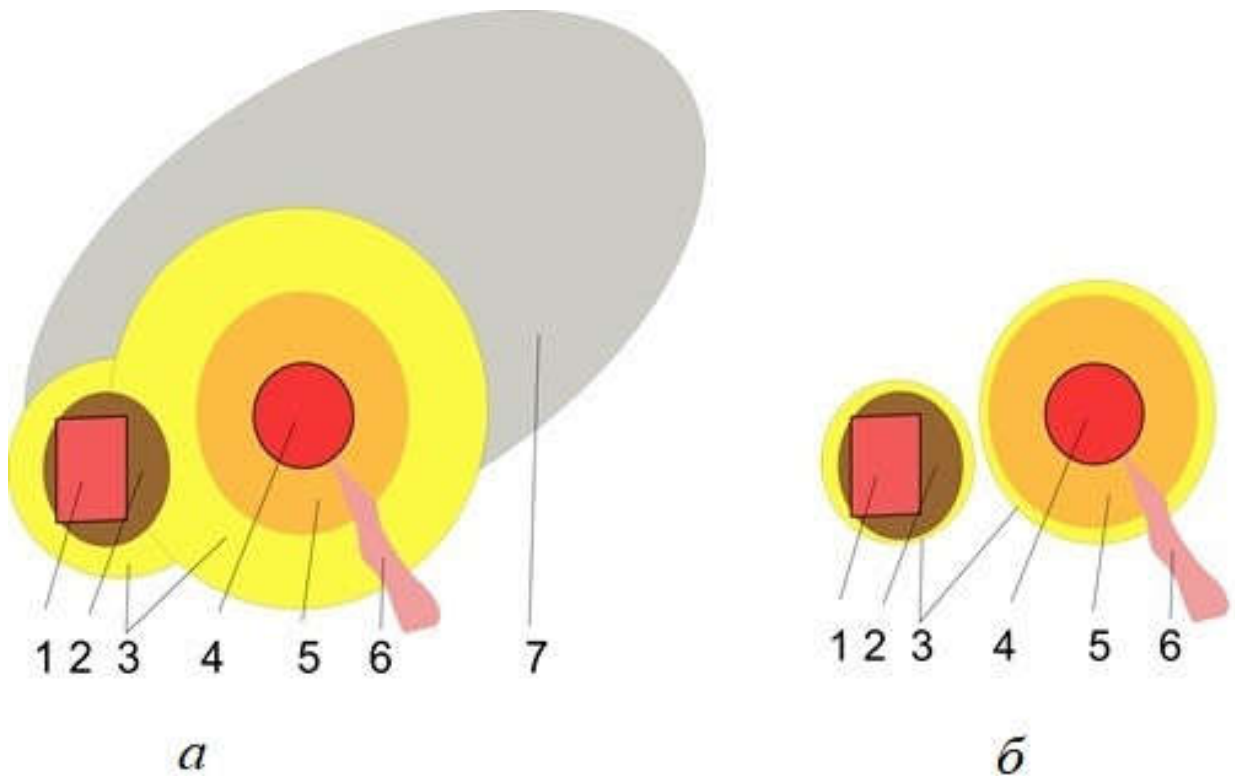


Рисунок 1.10 – Схеми розташування зон враження рятувальників при гасінні пожежі у резервуарі з рідким паливом а – без використання засобів індивідуального захисту від тепла та газів, б – з використанням засобів захисту: 1, 4 – джерела горіння, відповідно технологічна споруда та резервуар; 2,3,5,6,7 – зони враження, відповідно: падаючими уламками $N_{ем}$, тепловим випромінюванням $N_{ев}$, вибуховою хвилею або бризками при кипінні $N_{еу}$, витоками пального з резервуару $N_{ер}$, газоподібними продуктами горіння $N_{ея}$ [164]

Цю особливість слід враховувати в реальних умовах ліквідації пожежі, доцільно проводити регулярний моніторинг зон враження. Результатом моніторингу є рекомендації з коригування оперативних планів ведення АРР.

Сучасні пожежна наука і практика мають способи і засоби зниження впливу небезпечних чинників пожежі, але питання стоїть в тому, що параметри цих заходів іноді не дозволяють реалізувати безпечне та ефективне виконання АРР.

Розглянемо елемент системи «засоби захисту». Використання засобів захисту від тепла та органів дихання дозволяє штучно змінити картину дії небезпечних чинників пожежі на рятувальника, суттєво зменшивши розміри зон враження, обумовлених дією теплових, токсичних факторів надзвичайної ситуації (рис.1.10. б). При використанні протитеплових засобів та засобів захисту органів дихання під час АРР існує експлуатаційна вірогідність ($p = 2...4 \cdot (10^{-4}...10^{-5})$) відмови і виходу з ладу безпосередньо самих спорядження та апаратів (див. табл. 1.5). Вона характерна для всіх засобів такого роду та проявляється як при ліквідації пожежі, так і, наприклад, при тренуванні.

Особлива ситуація складається при використанні такої техніки в зонах враження інфрачервоним випромінюванням та конвекційними потоками газів. Виникає загроза рятувальникам, що працюють в апаратах регенеративного типу, коли зовнішня теплота додається до тієї, що утворюється в процесі хімічних реакцій екзогенного типу в патроні регенерації повітря. Це може призвести до підвищення температури газів, що вдихають, вище допустимої величини (42°C) і нагріву організму рятувальника внутрішнім шляхом до небезпечного рівня. Подібний процес нагріву може відбуватися при використанні апаратів на стисненому повітрі, бо існує небезпека зовнішнього нагріву балонів і дихального агенту в них, наприклад сонячним теплом. Однією з мір запобігання дії гарячого повітря є застосування крижаних холодильників для потоку повітря, що вдихають, а також у розміщенні апаратів в під костюмному просторі.

Аналогічна небезпека існує при експлуатації індивідуальних засобів протитеплого захисту. Під дією підвищених температур значно зменшуються межа міцності та модуль пружності тканинних та пластикових матеріалів з яких виготовлено засоби. Це може призвести до пошкодження захисних поверхонь одягу, після цього продовження ведення АРР може привести до теплової травми рятувальника. Працювати при несправності оболонок захисного засобу забороняється нормативними документами[225].

Слід зазначити, що величина теплової загрози також не є постійною, вона зростає пропорційно рівню теплового стану середовища, що оточує рятувальника, та тривалості роботи в ньому. Зниження небезпеки такого роду можливо, в першу чергу, шляхом вдосконалення систем охолодження засобів захисту і організму рятувальника.

Найбільш дискусійним є аналіз останньої складової системи «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини», а саме «організм людини». Цей елемент є об'єктом, який підлягає захисту, але існує зворотній зв'язок - реакція на прояв зовнішніх чинників у вигляді дій що призводять до зменшення їх негативного впливу [249]. Домінуючим є вплив на стан всієї системи суб'єктивного фактору, а саме здібність рятувальника адекватно і вчасно оцінювати обстановку, приймати раціональні рішення. Втома, нездоровий психофізичний стан, недостатні навички та тренуваність і інші обставини вирішують уповільнення реакції, прийняття невірних рішень та, відповідно, виконання неефективних дій. Це може призвести до нераціонального виконання АРР та, навіть, до фатальних наслідків.

Забезпечити надійне функціонування даного елементу системи можна, в основному, шляхом підвищення стану здоров'я рятувальників, їх навчання та тренування. Зменшити втому можливо за рахунок використання засобів механізації важких процесів роботи, а також залучаючи додаткові підрозділи для допомоги або частішої зміни працюючих. На наш погляд, в тому разі, коли можлива різка зміна зовнішньої обстановки, наприклад раптовий зріст температури при спалаху легкозаймистих речовин, і динаміка перевищує фізіологічні можливості реакції організму, захист рятувальника можуть забезпечити автоматичні засоби, які мають більшу швидкодію.

1.5. Засоби індивідуального захисту від різних видів теплового враження

Для створення безпечних умов праці під час ліквідації надзвичайних ситуацій та їх наслідків, під час пожежогасіння, тактико-спеціальних навчань,

навчально-тренувальних заходів, змагань особовий склад оперативно-рятувальних сил ДСНС України застосовує спеціальний одяг [28, 59, 126, 129, 188, 190, 204, 224, 238]. На сьогоднішній день підрозділи оперативно-рятувальних сил оснащені захисним одягом пожежників-рятувальників загального призначення (ЗОЗП) (89,2 %); теплозахисним одягом пожежників-рятувальників загального типу (ТЗОЗТ) (5,3 %); тепловідбивальним одягом легкого типу (4,3 %); газохімзахисним одягом (0,7 %); тепловідбивальним одягом важкого типу (0,5 %) [127, 129, 196-201, 257]

Відповідно до ДСТУ 4366:2009. Одяг пожежника захисний. Загальні технічні вимоги та методи випробування [129]:

- захисний одяг пожежника – спеціальний одяг, призначений для захисту пожежника від впливу небезпечних і шкідливих чинників під час гасіння пожежі та проведення пожежно-рятувальних робіт;

- захисний одяг пожежника загального призначення – захисний одяг пожежника, призначений для захисту шкірного покриву, за винятком голови, кистей рук та ступень ніг, і застосовний у діапазоні температур впливу на нього від мінус 40 °C до 185 °C, а також від дії теплового випромінювання з поверхневою густиною потоку до 7 кВт/м^2 та короткочасної дії відкритого полум'я тривалістю до 10 с, що відповідає першому рівню експлуатаційних властивостей;

- теплозахисний одяг пожежника загального типу – захисний одяг пожежника, призначений для захисту шкірного покриву, за винятком голови, кистей рук та ступень ніг, і застосовний у діапазоні температур впливу на нього від мінус 40 °C до 300 °C, а також від дії теплового випромінювання з поверхневою густиною потоку до 7 кВт/м^2 та короткочасної дії теплового випромінювання з поверхневою густиною потоку до 40 кВт/м^2 , помірної дії відкритого полум'я тривалістю до 15 с, що відповідає другому рівню експлуатаційних властивостей.

Відповідно до ДСТУ 2273:2006. Протипожежна техніка. Терміни та визначення основних понять [125]:

- захисний одяг пожежника спеціального призначення – захисний одяг пожежника, призначений для захисту тіла і застосовний у діапазоні температур впливу від мінус 40 °C до 200 °C або до 800 °C, а також від дії теплового випромінювання за поверхневої густини теплового потоку до 20 кВт/м^2 або до 40 кВт/м^2 і від дії відкритого полум'я тривалістю не менше ніж 15 с;

- тепловідбивний одяг пожежника – захисний одяг пожежника спеціального призначення, в якому захист від теплових впливів реалізується переважно завдяки здатності матеріалу верху відбивати інфрачервоне випромінювання;

- теплозахисний одяг пожежника – захисний одяг пожежника спеціального призначення, в якому захист від теплових впливів реалізується переважно завдяки здатності матеріалу верху витримувати тривалий контакт із відкритим полум'ям.

Захисний одяг особового складу оперативно-рятувальних сил ДСНС України від підвищених теплових впливів (ЗО ПТВ) у залежності від допустимого часу роботи за граничних значень теплових факторів пожежі поділяється на три типи [126-127, 259]: важкий (теплозахисний костюм – ТЗК), напівважкий (теповідбивний костюм – ТВК) та легкий (засіб локального захисту – ЗЛЗ) (таблиця 1.6).

В усіх типах ЗО ПТВ використовується принцип пасивного теплового захисту, який здійснюється шляхом застосування матеріалів з низькою теплопровідністю і високою теплоємністю без забезпечення знімання тепла холодоносіями з примусовою циркуляцією.

При показниках температури в підкостюмному просторі 50°C тіло людини неспроможне утримувати стабільну температуру, внаслідок чого вона

починає підвищуватись, що призводить до підвищення серцебиття, яке в умовах фізичних навантажень може сягати 170 ударів за хвилину [182].

Таблиця 1.6

Класифікація ЗО ПТВ за ступенем теплового захисту

Тип виконання ЗО ПТВ	Умови експлуатації				
	Газоповітряне середовище з температурою, °C	Час впливу, сек., не менше	Тепловий потік, кВт/м. кв.	Час впливу, сек., не більше	Допустимий час впливу відкритого полум'я, сек., не більше
ТВК	200	960	18,0	960	30
	800	20	25,0	240	
			40,0	120	
ТЗК	200	600	10,0	900	20
			14,0	720	
			18,0	600	
				60	
ЗЛЗ	200	480	10,00	480	15
			14,0	40	

Температурний інтервал підкостюмного простору, при якому підтримується баланс між виробництвом тепла в організмі й витратою теплової енергії на роботу, становить від 0 до +50°C. При перевищенні даної граничної температури відбувається інтенсивне потовиділення, яке може становити 4-6 літрів на годину. В результаті процесів тепломасопереносу пароповітряної суміші парціальний тиск в підкостюмному просторі зростає,

що призводить до накопичення тепла, яке підвищує температуру тіла, і як наслідок, отримання теплового удару.

ТВК призначений для захисту особового складу від теплового випромінювання до 14 кВт/м^2 під час виконання оперативних дій [145]. Він не є засобом захисту безпосереднього впливу палаючих газів, полум'я, його дозволяється використовувати для роботи безпосередньо біля поверхні полум'я, розпечених конструкцій будинків, споруд і матеріалів протягом 2–3 хв. До комплекту костюма входять куртка, штани з бахилами, капюшон із пелериною. У ході роботи в непридатному для дихання середовищі застосовують ЗІЗОД, який одягають поверх куртки під капюшон.

ТЗК складається з комбінезона, що має відсік для ЗІЗОД, капюшона, однопалих рукавиць і чобіт. Протитепловий захист відбувається завдяки використанню багат шарового пакета тканин та утеплювача. Зовнішній шар виготовлений із металізованої тканини. Для гасіння пожеж у зоні теплової радіації $4,2\text{--}14,0 \text{ кВт/м}^2$ використовують, як правило, ТВК, а понад 14 кВт/м^2 – ТЗК. Допустима тривалість роботи середньої важкості (розвідка пожежі, робота зі стволом та ін.) у ТВК за теплових потоків 10,5, 7,0 і $4,2 \text{ кВт/м}^2$ повинна бути рівною відповідно не більше як 10, 15 і 20 хв, а в разі важкої роботи (переміщення зі стволом, перенесення вантажу, розбирання конструкцій тощо) за цих же умов не більше від 8, 12 і 16 хв. Допустима тривалість роботи середньої важкості в ТЗК (ТК-800) у зоні з температурою середовища до $450\text{--}650^\circ\text{C}$ і тепловим потоком $35\text{--}59 \text{ кВт/м}^2$ повинна становити не більше як 15 хв., а тривалість важкої роботи в цих умовах – не більше від 9 хв. При цьому рятувальник повинен щохвилини змінювати свою орієнтацію стосовно фронту полум'я в межах 180° .

Допустимим є короткочасний контакт із полум'ям за температури 800°C і вище, теплового потоку $85\text{--}90 \text{ кВт/м}^2$. Дозволено знаходження в полум'ї до 15 с.

За менш жорстких теплових умов у зоні роботи, тобто $14\text{--}35 \text{ кВт/м}^2$, час роботи в ТЗК не повинен перевищувати 20 хв. У разі необхідності застосування ТЗК за високої температури не в зоні впливу теплової радіації допустимий час роботи обмежують: за температури $200\text{--}230^\circ\text{C}$ тривалість роботи не повинна перевищувати 15 хв., за $100\text{--}120^\circ\text{C}$ – не більше як 20 хв.

Користуючись таблицями про дані, що характеризують щільність теплового потоку залежно від площі горіння нафтопродуктів і відстані від фронту полум'я, а також послуговуючись аналогічними даними в ході горіння скрапленого газу, знаючи важкість виконаної роботи, керівник гасіння пожежі може орієнтовно розрахувати допустимий час роботи в ТВК і ТЗК для конкретних умов, визначити кількість необхідного резерву особового складу. Тривалість безперервної роботи рятувальників у ЗІЗОД та захисному одязі, що є допустимою за відсутності теплової радіації, залежить від температури навколишнього середовища, відносної вологості та швидкості руху повітря. Без урахування останнього чинника допустимий час роботи для найбільш типових умов, що створюються на пожежах у приміщеннях, за трьома діапазонами відносної вологості повітря подано в табл. 1.7 [145, 241].

Перший діапазон низької вологості $15\text{--}49 \%$ створюється під час проведення розвідки в умовах високої температури, другий діапазон підвищеної вологості $50\text{--}84 \%$ характерний для гасіння пожежі водою й піною в житлових і виробничих приміщеннях із високою температурою, третій діапазон високої вологості $85\text{--}100 \%$ виникає в ході проведення розвідки й роботи з водяними та пінними стволами в обмеженому просторі, наприклад, у тунелях, підземних галереях, каналах кабельних комунікацій, дуже великих підвалах, саунах та ін. Тривалість роботи рятувальників під час гасіння пожеж і ліквідації аварій у непридатному для дихання середовищі в умовах високої температури й теплової радіації повинна бути обмежена, але не регламентовано, до яких значень, при цьому до уваги не беруть швидкості руху повітря й енерговитрати особового складу.

Таблиця 1.7

Допустимий час роботи особового складу у найбільш типових умовах пожеж у приміщеннях (за трьома діапазонами відносної вологості повітря) [241]

Температура повітря, °C	Допустимий час, хв. за відносної вологості повітря, %		
	15–49	50–84	85–100
31	90	90	90
35	90	70	50
40	60	50	25
45	50	40	20
50	45	35	15
55	40	30	10
60	35	20	5
65	30	20	-
70	25	15	-

Для безпечного проведення розвідки в умовах високих температур і запобігання перегріванню організму рятувальника необхідно виконати розрахунок допустимого часу на рух особового складу до місця подачі вогнегасних речовин (виконання оперативних дій) та у зворотному напрямку. Під час руху по горизонтальній поверхні або підйому сходами чи трапами половина загального допустимого часу передбачена для пересування вперед, а половина – на рух назад. У разі спуску вниз по сходах або трапах на пересування вперед планують одну третину часу, а на підйом назад – дві третини. Після закінчення розрахункового часу на рух уперед особовий склад повинен негайно повертатись.

Теплозахисний одяг пожежників-рятувальників загального призначення (ТЗОЗП) (рис. 1.11, таблиця 1.8) використовується для захисту рятувальника від теплових впливів різної інтенсивності, можливих викидів полум'я при

роботі в екстремальних ситуаціях, що виникають під час гасіння пожежі, проведення розвідки та рятування людей.

Від впливу теплового випромінювання високої інтенсивності рятувальників захищають теплозахисні та тепловідбивні костюми, які дозволяють тривалий час знаходитися в безпосередній близькості від джерела горіння і з високою мірою мобільності і ефективності виконувати необхідні роботи по ліквідації аварійних ситуацій. Такі костюми (комбінезони) виготовляються декількома підприємствами в Україні, та мають різну стійкість до теплового впливу. Приклади тепловідбивного одягу наведені на рис. 1.12, 1.13.



Рисунок 1.11 – Теплозахисний одяг пожежників-рятувальників загального призначення (ЗОЗП) українських виробників «Талан» (а) і ТОВ НВП «Пірена» (б) [202]

Костюм «Індекс-3» (рис.1.12 а) застосовується під час ліквідації пожеж на промислових підприємствах, транспорті і інших об'єктах, під час проведення ремонтних робіт і обслуговування технологічних процесів, пов'язаних з виділенням великої кількості тепла. Костюм складається з напівкомбінезону, краг, бахил і куртки з капюшоном з оглядовим склом. Дихальний апарат розташований всередині виробу. Температурний діапазон використання даного типу костюму складає від -50 до $+400^{\circ}\text{C}$ (таблиця 1.8).



Рисунок 1.12 – Спеціальні термозахисні костюми «Індекс-3» (а) та «ТК-800» (б) [203]

Таблиця 1.8

Основні параметри та характеристики захисного одягу пожежників-
рятувальників загального призначення [145]

Найменування показника	ЗОЗП (тип БОП)	ТЗОЗТ	ТЗОЗТ «TALAN»
Міцність до впливу теплового випромінювання по поверхневої щільності теплового потоку, с, не менше: - 7 кВт/м^2 - 40 кВт/м^2	180 Не встан.	180 10	180 10
Міцність до впливу до відкритого полум'я: - Міцність залишкового горіння, с, не менше - Міцність залишкового тління, с, не менше	2 2	2 2	2 2
Міцність до впливу температури (теплостійкість), с, не менше: 185°C 400°C	300 Не встан.	Не встан. 300	Не встан. 300
Міцність до впливу розчинів ПАР, год, не менше	3	3	3
Коефіцієнт передачі тепла, не вище, %	Не встан.	60	20
Коефіцієнт відображення інфрачервоного випромінювання, %, не менше	x	x	96
Холодостійкість, $^\circ\text{C}$, не вище	-40	-40	-40

На оснащенні підрозділів ДСНС України наявні тепловідбивні й теплозахисні костюми, що є застарілими, мають достатньо обмежені терміни захисної дії, сферу застосування, звичайно, не відповідають сучасним вимогам до безпеки особового складу під час гасіння пожеж і проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах високих температур. На основі проведених

науково-виробничих досліджень розроблено термостійкий костюм «Індекс-1200», що за своїми технічними характеристиками не має аналогів у світі.

Таблиця 1.9

Технічні характеристики термозахисних костюмів «Індекс-3» [235]

Технічні характеристики	Показники
Температурний інтервал експлуатації, °C	-50 ... +400
Стійкість до дії теплового потоку, сек. не менше:	
при 40 кВт/м^2	30
при 18 кВт/м^2	900
при 10 кВт/м^2	1200
Тривалість роботи при температурі довкілля +200 °C і щільність теплового потоку 18 кВт/м^2 , сек. не менше	900
Тривалість контакту з відкритим полум'ям, сек. не менше	20
Стійкість до контакту з нагрітими до +400 °C твердими поверхнями, сек. не менше	5
Розривне навантаження матеріалу, Н не менше	500
Морозостійкість, °C	-50
Маса комплекту, кг, не більш	4,5

Костюм «Індекс-1200» (рис.1.13) призначений для використання при гасінні пожеж великої інтенсивності (на нафтосховищах, нафтових і газових фонтанах), включаючи прямий контакт і вхід у відкрите полум'я. У цьому костюмі рятувальник може знаходитися в епіцентрі вогню протягом, як мінімум, 5 хвилин. Матеріали і конструкція, які використовуються при

виробництві костюма, забезпечують його багаторазове використання при безпосередньому контакті з відкритим вогнем. Температурний діапазон використання даного типу костюму складає від -50 до $+1200^{\circ}\text{C}$ (таблиця 1.10). Костюм складається з комбінезона з капюшоном, жилета, що охолоджує, рукавиць з крагами, бахил.

Водночас розроблений термостійкий одяг має високі показники за теплофізичними характеристиками, однак вони отримані переважно в ході випробування матеріалу одягу без присутності людини, тобто без урахування санітарних норм теплофізичних процесів, які відбуваються в підкостюмному просторі внаслідок теплопередачі із зовнішнього середовища, виділення метаболічного тепла організмом людини й тепловідведення через випаровування поту, а отже, значення показників костюмів, є завищеними для нормативів допустимої тривалості роботи рятувальників.



Рисунок 1.13 – Спеціальний термозахисний костюм «Індекс-1200»

Підтвердженням є той факт, що під час показових випробувань костюмів «Індекс-1200» в умовах температури навколишнього середовища близько 40°C та впливу теплового випромінювання від полум'я пожежі за імітації закриття засувки нафтопроводу використовували заморожені водяні охолоджуючі елементи ОЕ-2.

Таблиця 1.10

Технічні характеристики термозахисних костюмів «Індекс-1200» [236]

Технічні характеристики	Показники
Температурний інтервал експлуатації, °C	-50 ... +1200
Стійкість до дії теплового потоку, сек. не менше:	
при 40кВт/м ²	600
при 20кВт/м ²	1200
Час захисної дії при температурі довкілля, сек. не менше	
при 1200 °C	300
при 200 °C	960
Тривалість контакту з відкритим полум'ям, сек. не менше	300
Надійність - сумарний час роботи, годин	10
Стійкість до контакту з нагрітими до 1200 °C твердими поверхнями	10
Маса комплекту, кг, не менше	12

Орієнтовні нормативи допустимої тривалості роботи рятувальників у ТВК і ТЗК залежно від категорії робіт такі: середньої важкості й важкості з початковою досить низькою температурою навколишнього середовища 15–

19°C отримані під час випробувань на семи добровольцях. Досліди в костюмах проводили поблизу полум'я на відстані 1–5 м із короткочасним заходженням у полум'я, на 10–15 с. Параметри полум'я: висота вогню 4–5 м, його площа 6–2 м². Тепловий променевий потік становив 3,5–6,9 кВт/м², а температура навколишнього середовища 50–650°C (у полум'ї понад 800°C). До початку й після досліджень у випробувачів визначали масу тіла, температуру в паховій западині, ректальну температуру, температуру шкіри в п'яти точках (лоб, груди, кисть, стегно, стопа ноги), частоту пульсу, артеріальний тиск, силу й витривалість. У підсумку отримано завищені значення тривалості роботи рятувальників, що в подальшому були зменшені, однак без наукового обґрунтування.

Проводячи дослідження, з'ясували, що вплив теплового променевого потоку й полум'я (особливо в разі потрапляння згорілого продукту з подальшим догоранням) призводить до зниження теплозахисних властивостей і нерідко до порушення цілісності тепловідбивних й теплозахисних властивостей костюмів (обгорання металізації, руйнування теплоізоляції, зміна кольору матеріалів, втрата механічної міцності). З огляду на виклад необхідно охарактеризувати закономірність нестационарних процесів теплообміну організму рятувальників та обґрунтувати на цій основі параметри захисного одягу, що сприятимуть безпеці проведення оперативних дій особовим складом оперативно-рятувальних сил ДСНС України.

При роботах з підвищеною температурою також може застосовуватися охолоджуючий жилет «Талан» (рис.1.14). Конструкція жилету передбачає його одягання під теплозахисний одяг для забезпечення максимального захисту від тепла і зайвого потовиділення.

Охолоджуючі властивості жилета забезпечується за рахунок використання елементів з РСМ (матеріал, що змінює фазовий стан), які вбудовані в охолоджуючий жилет. При температурі навколишнього середовища до 22 °C наповнювач РСМ елементів знаходиться в твердому

стані. При температурі навколишнього середовища вище 28°C вміст РСМ елементів переходить у рідкий стан, поглинаючи тим самим тепло. При більш високих температурах навколишнього середовища охолоджуючий жилет може зменшити підвищення температури тіла користувача приблизно на $3-4^{\circ}\text{C}$. В залежності від інтенсивності фізичної роботи і навколишньої температури, жилет можна використовувати до 3 годин. Після закінчення дії високих температур вміст РСМ елементів повертається в твердий стан приблизно за 0,5-2 години.



Рисунок 1.14 – Охолоджуючий жилет «Талан»

Дослідження у напрямі удосконалення спеціального одягу пожежних та засобів захисту від дії тепла активно проводяться у цілому світі. Увагу приділяють питанню обґрунтування раціональних термоізоляційних характеристик шарів матеріалу з якого виготовляють амуніцію рятувальника. При цьому захисний одяг або його фрагменти піддавали як конвекційному, так і променистому термостійкому тестуванню [61]. Встановлено, що конструктивні особливості та властивості тканини є ключовими факторами, що впливають на її теплозахисні властивості. Наявність більш товстого теплового вкладиша в багатошаровій тканинній системі призводить до підвищення теплопровідності. Багатошарова тканинна система, що містить

бар'єр вологи в зовнішньому шарі, показала найменшу провідність. Більш того, було продемонстровано, що вага, товщина і тепловий опір роблять значний вплив на робочі характеристики одягу [41]. Варіювали порядком та підбирали параметри шарів теплоізолюючих матеріалів в конструкціях захисного одягу з метою мінімізації теплової навантаги на пожежника. Для вимірювання ізоляційних властивостей, опору випаровуванню і загальних втрат тепла крізь оболонки при різних комбінаціях захисних шарів використовують манекени за допомогою яких моделюють пiтливiсть людини [47].

Для оцінки впливу вологи на теплозахисні властивості багат шарових тканинних систем захисного одягу пожежного змодельовані різні умови вологості для зовнішньої оболонки. Для цього застосовували тестер зі зміненою теплозахисною характеристикою [71]. Індивідуальне моделювання теплового захисту при різних швидкостях вітру, що проводили на манекені в натуральну величину. Тепловий потік на поверхні манекена зменшувався зі збільшенням швидкості вітру. Зменшення випромінювальної здатності було запропоновано в якості захисних стратегій [40].

Розглядалася поведінка пожежно-технічного обладнання при впливі підвищених температур [29]. Запропоновано використовувати для охолодження пожежників омивання тіла спеціальним складом, однак його використання передбачається після проведення рятувальних дій [70].

Також запропоновано костюм [242] для захисту від високих температур, що виконаний щонайменше з двох розташованих із зазором шарів матеріалу, а у верхній частині костюма розміщений принаймні один травлячий клапан. Шари матеріалу виконані водонепроникними, простір між шарами герметичний і заповнений рідиною. Обидва шари матеріалу з'єднані між собою по всій поверхні костюма переривчастими паралельними швами з утворенням вертикальних сполучених каналів. Один з верхніх швів костюма виконано ослабленим.

Конструкція костюма дозволяє використовувати тепло пожежі спочатку на нагрів рідини, а потім на випаровування рідини в атмосферу через запобіжні клапани, що значно подовжує час, коли тепло пожежі досягне внутрішнього обсягу костюма, а отже, просто, надійно, дешево і достатньо довго захищає людини від впливу високої температури. Переривчасті шви по всій поверхні костюма створюють мережу паралельних сполучених між собою каналів, що зберігає форму костюма, надає йому додаткову жорсткість, а ослаблений шов у верхній частині костюма виконує роль запобіжника в разі виходу з ладу запобіжних клапанів.

Костюм використовується наступним чином. Костюм одягається поверх бойового одягу пожежника, поверх охолоджуючого костюму одягається тепловідбивний вогнезахисний контур з шоломом, дихальним апаратом, термоізолювальними бахилами, рукавицями-крагами. Тепло, яке надходить до охолоджуючого костюму, витрачається спочатку на нагрів рідини до температури кипіння при тиску, на яку розраховані запобіжні клапани, потім тепло витрачається на випаровування рідини через запобіжні клапани. Припинення звуку роботи запобіжного клапана означає, що вся рідина випарувалася і що костюм може захистити ще 10-15 хв. Вибух оболонки костюма означає, що костюм вичерпав свої можливості термозахисту і потрібно негайно покинути зону пожежі.

Запропонований костюм спільно з бойовою одягом пожежного та тепловідбивним контуром захищає людину від впливу навколишнього середовища з температурою 200°C протягом 40 хв, 300°C - протягом 15 хв, безпосередньо повного контакту з полум'ям протягом 5 хв.

В минулому столітті були розроблені конструкції теплозахисних костюмів пожежників, що передбачали охолодження тіла за рахунок використання системи охолодження повітрям [212], але через те, що винос тепла у зовнішнє середовище відбувався в недостатньому обсязі та охолодження тіла здійснювалося тільки шляхом конвекції, ці конструкції не

отримали подальшого розвитку і використання. Такого роду охолоджуючі костюми мають досить обмежений час використання і недостатні захисні здібності.

В пожежно-рятувальних підрозділах світу широко використовуються електронні прилади безпеки особового складу. Фірма “VIKING Life-Saving Equipment” (Данія) виготовляє захисний одяг для пожежників-рятувальників, який забезпечується електронними пристроями для контролю температури [69] у підкостюмному просторі одягу і на його поверхні (рис.1.15). Теплові чутливі елементи для показу результатів вимірювання підключені до LED-дисплеїв за допомогою струмопровідних шин, що вшиті між шарами тканин та матеріалів захисного одягу. Індикацію пристрою максимально спрощено і вона включає три світлодіодні індикатори, що мерехтінням або постійним світінням попереджають про значення критичних температур.



Рисунок 1.15 – Розташування індикаторів фірми “VIKING”

Німецька фірма DRÄGER є розробником та виготовляє прилад безпеки Bodyguard 1000 [16]. За допомогою цього приладу (рис.1.16) визначають стан нерухомості, а також знаходження пожежника-рятувальника у зоні із критичним значенням температури. У випадку тривоги пристрій подає звукові та світлові сигнали.



Рисунок 1.16 – Зовнішній вигляд датчика втрати свідомості Bodyguard 1000

Фірмою VDI (Німеччина) створено текстильний матеріал, що проводить електричні сигнали, для виготовлення захисного одягу пожежників-рятувальників [53]. Одяг виготовлений з цього матеріалу містить мікродатчики та чутливі волокна, які реєструють частоту серцевих скорочень, температуру тіла рятувальника та наявність чадного газу в приміщеннях.

Вченими США було розроблено теплозахисний одяг із сенсорним приладом [65]. Це є теплозахисна куртка або плащ (рис.1.17), що виконано з пакету матеріалів та тканин. Матеріал верху (зовнішня оболонка) та тканина підклади (внутрішня оболонка) мають антипіренне вогнестійке просочування; матеріал верху та другий шар (теплоізолюючий) з'єднуються таким чином, щоб між ними утворювалися пустоти, які збільшують теплоізолювальні властивості одягу; матеріал верху виготовляється, як правило, з поліпарафінілін ізофталамид мета-арамідних полімерів, другий шар – як правило, з параарамідних полімерів; другий шар (теплоізолюючий) може

виготовлятися як з тканих, так й нетканих матеріалів; між матеріалом верху та теплоізолюючий шаром є водотривкий прошарок. Система має один датчик температури, що розташований на зовнішньому боці об'єкту, та містить термістор та термопару; другий датчик температури розташований на внутрішньому боці об'єкту та є термістором; перший світловий сповіщувач розташовано поруч з першим датчиком на зовнішньому боці об'єкту, другий світловий сповіщувач також розташований на зовнішнього боці об'єкту, але віддалено від першого датчика; електроживлення датчиків температури та світлових сповіщувачів здійснюється від блока живлення; електроз'єднання датчиків температури, світлових сповіщувачів та блока живлення здійснюється за допомогою провідної тканини (текстилю).

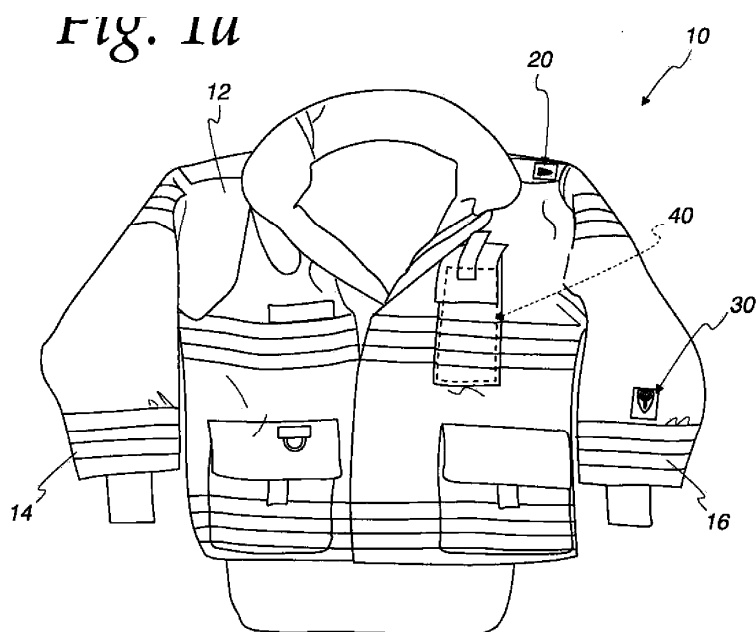


Рисунок 1.17 – Теплозахисний одяг із сенсорним приладом: 12 – матеріал верху, 20 – датчик температури зі світлодіодом, 10 – теплозахисна куртка пожежника-рятувальника, 40 – джерело живлення та електронний блок керування, 30 - датчик температури з світлодіодом, 14 – правий рукав, 16 – лівий рукав [65]

Науковцями Німеччини було отримано патент [58], винаходом якого є захисні рукавички (рис.1.18), що оснащені сенсорним приладом з датчиком температури, термопарою, датчиком прискорення (руху), барометр та висотомір для визначення параметрів фізичних, хімічних та фізіологічних характеристик особи, що носить рукавички та параметрів оточуючого людину середовища. Отримані сенсорним приладом сигнали обробляються електронною схемою та перетворюються у радіосигнали. Для передавання радіосигналів передбачено передавальний пристрій. Приймальний пристрій, що є у іншої особи та у центрі контролю (керування) приймає радіосигнали від об'єкту. Між окремими об'єктами включеними в мережу також здійснюється незалежний зв'язок.

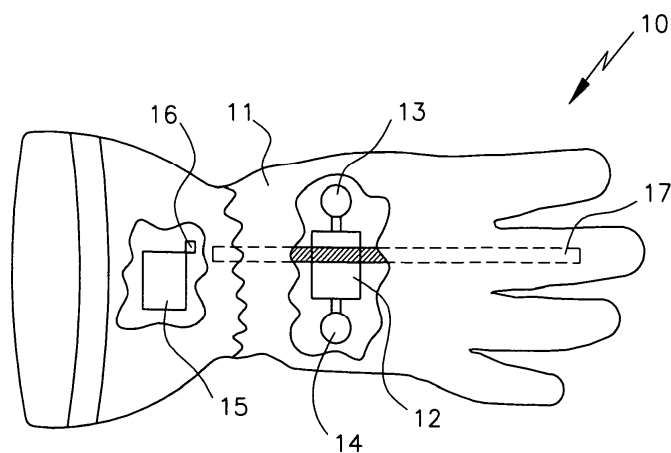


Рисунок 1.18 – Захисні рукавички із сенсорним приладом (Німеччина):
 10 – захисна рукавичка; 11 – матеріал верху - зовнішній термостійкий шар;
 12 – електронний блок; 13, 14 – вібродатчики; 15 – блок живлення; 16 –
 датчик температури підкостюмного простору; 17 – датчик температури
 навколишнього середовища (термопара) [58]

В Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту розроблено автономний прилад (рис. 1.19) з визначення теплового потоку та

оповіщення про досягнення його граничних значень на поверхні захисного одягу пожежного-рятувальника в умовах пожежі [73]. Прилад може бути використаний для вимірювання теплового потоку та оповіщення про досягнення його граничних значень на поверхні захисного одягу рятувальника в умовах пожежі. Технічно це реалізується шляхом удосконалення термочутливого елемента (захист, кріплення, зменшення інерційності), програмування електронного блоку (визначення та встановлення граничних значень теплового потоку), забезпечення електронного блоку пристроями візуалізації (улаштування звукових динаміків, світлових індикаторів, віброелементу). Основними елементами прилада є: термоелектричний приймач теплового потоку, електронний блок та з'єднувальні кабелі. Термоелектричні приймачі, розміщені у корпусі, що виготовлений із легкого та міцного металевого сплаву, який витримує високі температури, можуть закріплюватися на захисному одязі або на пожежній касці.

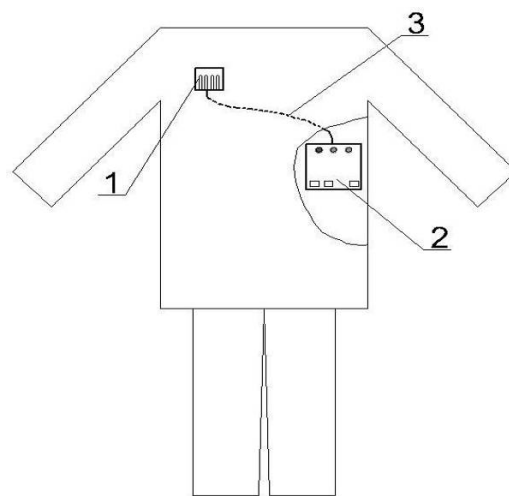


Рисунок 1.19 – Схема автономного приладу з визначення теплового потоку та оповіщення про досягнення його граничних значень на поверхні захисного одягу рятувальника в умовах пожежі: 1 – приймач теплового потоку; 2 – електронний блок; 3 – з'єднувальний кабель [73]

Таким чином, у всіх сучасних типах рятувального одягу, що захищає від підвищених теплових потоків, застосовують принцип пасивного теплового

бар'єру. Тобто, використовуються матеріали із низьким коефіцієнтом теплопровідності, високою теплоємністю або забезпечується поглинання тепла холодоносієм з обмеженим ресурсом. Можливості захисної дії такого одягу досить обмежені. Засоби індивідуального захисту від теплового ураження мають відносно велику масу й значну товщину теплоізоляційних шарів одягу, що заважає діям, пов'язаним із переміщенням на значні дистанції, нахилами, рухами в обмеженому просторі тощо. Використовувати такі засоби доцільно за умови, якщо визначено межі зон теплового ураження, у яких необхідно виконувати невідкладні аварійні роботи.

Також, спираючись на огляд інформаційних джерел, можна стверджувати що відомі технічні та конструктивні рішення [1, 19, 22, 30, 48, 59, 60, 62-64, 212, 214] не дозволяють забезпечити в автоматичному режимі захист рятувальників від дії високих температур і теплового випромінювання на початковому етапі ліквідації пожежі. В таких умовах аварійна обстановка може змінюватися миттєво, і реакція людини на різкі зміни може бути занадто повільною, щоб встигнути покинути небезпечну ділянку, або це може бути фізично неможливо здійснити. Тому проблема забезпечення захисту рятувальників від теплового ураження під час розвідки об'єкта, евакуації людей, виконання невідкладних першочергових робіт із локалізації аварії, є актуальною.

1.6. Випробування теплозахисного одягу рятувальників

Науковцями Львівського державного університету безпеки життєдіяльності ДСНС України були проведені полігонні випробування для визначення теплозахисних властивостей спеціального одягу рятувальників. [124, 182, 258]. В рамках експерименту було розроблено конструктивно-технологічну схему (рис.1.20) та побудовано полігон [76, 182, 183, 213, 222] для вогневих випробувань захисного одягу пожежника, який забезпечує

можливість проведення експериментів як з використанням манекена, так і при залученні випробувачів, створюючи при цьому макетні вогнища пожежі із заданими термофізичними характеристиками.

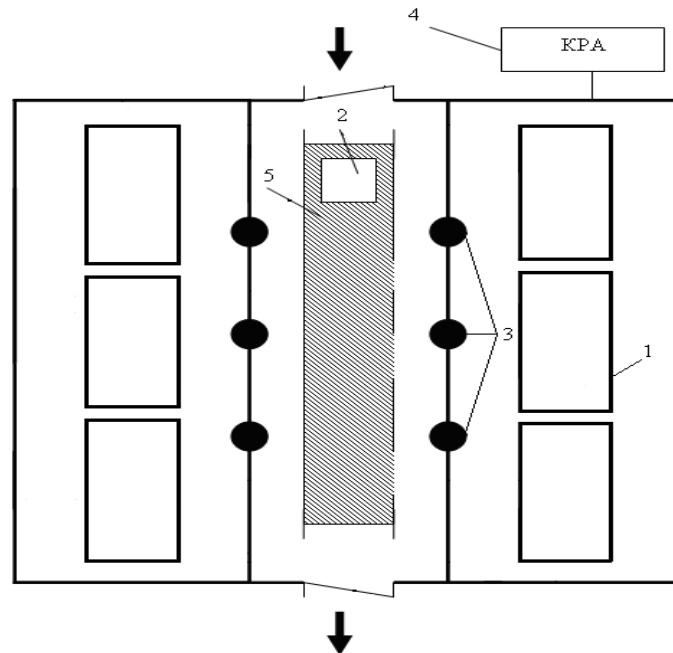


Рисунок 1.20 – Схема розташування об'єктів на полігоні для вогневих випробувань захисного одягу рятувальників з використанням манекена або випробувальника: 1 – макетні вогнища пожежі; 2 – рухома платформа для манекена і випробувальника; 3 – термоелектричні перетворювачі; 4 – контрольно-реєструюча апаратура; 5 – зона випробувань, [182]

Щоб створити необхідні температурні режими застосовували макетні вогнища пожежі (дека площею $0,75 \text{ м}^2$, що заповнені горючою рідкою речовиною). Відстані від деків до об'єкта дослідження розраховувалися, контроль температури зовнішнього середовища на поверхні костюма здійснювали термopарами. При проведенні досліджень зміни теплового випромінювання під час горіння вогнища площею $0,75 \text{ м}^2$, встановлено, що теплове випромінювання має необхідний рівень короткочасно, який

поступово знижується. Для підтримання більш тривалого горіння із відповідним рівнем випромінювання було розроблено устаткування для високотемпературного джерела, до якого безперервно подається дизельне пальне, що дозволяє в стаціонарному режимі підтримувати високотемпературне горіння.

Проведення досліджень захисного одягу пожежника від дії високотемпературного джерела здійснювалося із використанням манекена (рис.1.21) в захисному костюмі, що був закріплений на спеціальній платформі, яка дозволяла імітувати переміщення рятувальника між джерел теплового випромінювання. В підодяговому просторі контролювали температуру в 11 точках [220, 193, 237], яка мала бути нижчою за 50 °С протягом зазначеного часу. Дані, які поступають від датчиків температури та обробляються за допомогою персонального комп'ютера.

Якщо отримані результати експериментів з використанням манекена, одягненого в спеціальний термозахисний костюм, задовольняють нормативним вимогам, то на другому етапі аналогічні дослідження проводять за допомогою випробувача.

Проведення експериментів передбачало дослідження костюмів, що виготовлені із ПВХ покриттям («Шторм»), 100 % лляної тканини («Брезент») і тканини з алюмінієвим тепловідбивним покриттям («Індекс-1»). Проведені випробування з використанням прямокутних деків, площею 0,75 м² і кількістю горючої суміші в об'ємі 6 л дизельного палива та 0,5 л бензину А-80, дозволило встановити, що захисні костюми «Шторм», «Брезент» спроможні захистити пожежника від впливу високотемпературного джерела потужністю 7 кВт/м², протягом 180 с, а тепловідбивний костюм «Індекс-1» – на протягом 1200 с, та від впливу 40 кВт/м² – протягом 30 с.



Рисунок 1.21 - Фотоілюстрація моменту знаходження манекена, одягненого в тепловідбивний одяг, на рухомій платформі [182]

Вищезазначене свідчить про те, що випробувані теплозахисні костюми під час дії теплового потоку 7 кВт/м^2 на відстані 4,3 м від високотемпературного джерела слід вважати відповідними зважаючи на те, що значення критичної температури (50°C) в контрольних точках підкостюмного простору не було досягнуто (рис. 1.17).

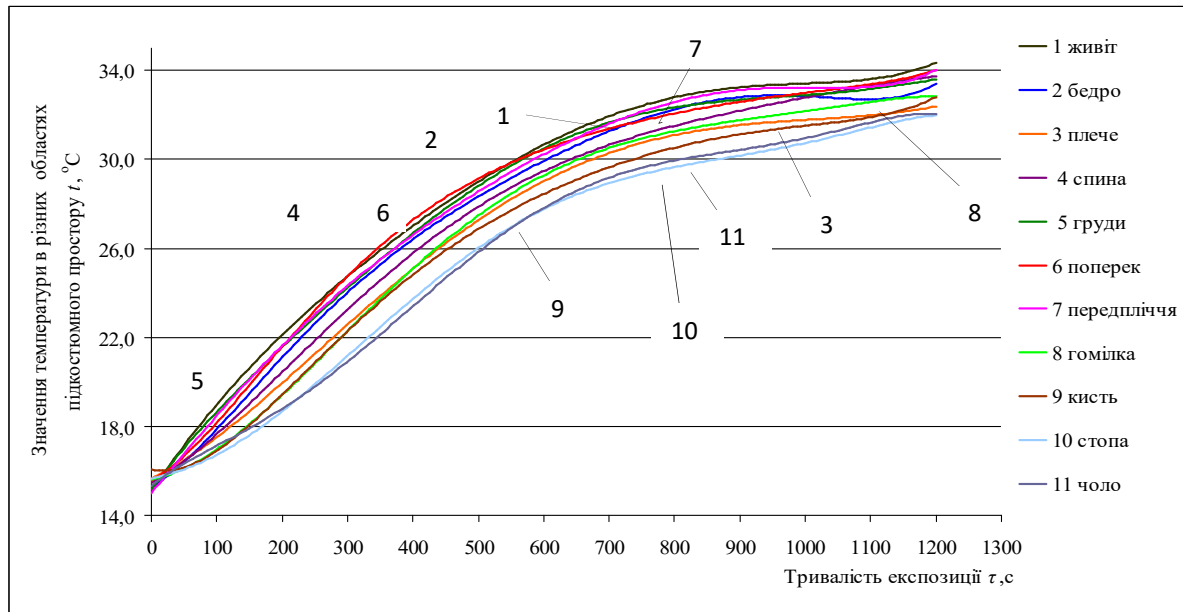


Рисунок 1.17 - Залежність зміни значень температур в контрольних точках підкостюмного простору захисного одягу «Індекс-1» від тривалості впливу високотемпературного джерела потужністю 7 кВт/м^2 [1]

Ідентичні випробування було проведено з тепловідбивним костюмом типу «Індекс-1» під час дії теплового потоку потужністю 40 кВт/м^2 , який знаходився на відстані $1,5 \text{ м}$ від високотемпературного джерела. Отримані залежності свідчать про те, що цей костюм спроможний захистити пожежника від дії теплового випромінювання потужністю 40 кВт/м^2 , протягом 30 с . (рис.1.18). Після 30 с дії випромінювання такої потужності тепловідбивна поверхня захисного одягу руйнується.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що існуючі на оснащенні теплозахисні костюми мають недостатній рівень захисту, обмежений захисний ресурс та непридатні для використання в умовах потужного теплового випромінювання. Крім того, вагомую проблемою є те, що під дією потужного теплового випромінювання і високих температур відбивна оболонка таких костюмів руйнується, внаслідок чого костюм більше не можна використовувати.

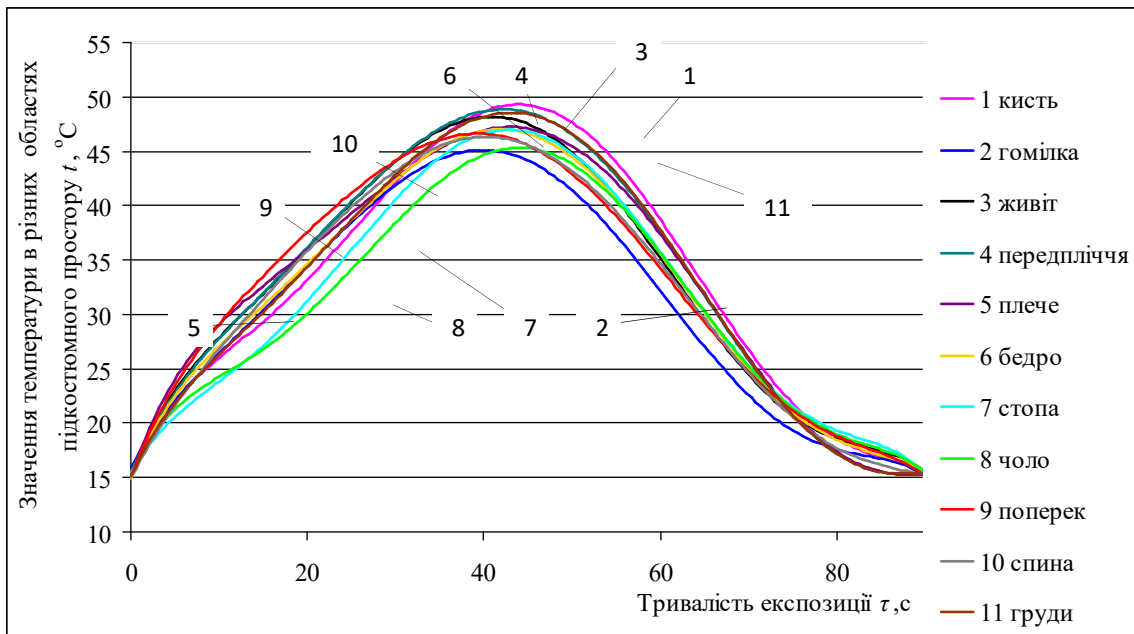


Рисунок 1.18 - Залежність зміни значень температур в контрольних точках підкостюмного простору захисного одягу «Індекс-1» від тривалості впливу високотемпературного джерела потужністю 40 кВт/м^2 [182]

1.7. Висновки по розділу, ідея роботи, мета та завдання

1. Аналіз результатів розслідування нещасних випадків в підрозділах ДСНС України за 2005-2016 роки виявив, що термічні травми рятувальників внаслідок дії негативних факторів пожеж, в тому числі смертельні, знаходяться на другому місці з аварійності під час ведення оперативних дій. Це визначило актуальність наукової проблеми удосконалення індивідуальних засобів захисту рятувальників від дії негативних факторів пожежі.

2. Подальшого розвитку отримало уявлення, що екстремальні ризики не є постійною величиною протягом ліквідації пожежі, розкрито механізм їх змін при дії на рятувальників. Це дозволило деталізувати процес ведення аварійно-рятувальних робіт, виявити потенційні загрози що виникають та запропонувати ефективні шляхи їх нейтралізації.

3. Подальшого розвитку набула методологія оцінки екстремальних небезпек при веденні аварійно-рятувальних робіт, яка враховує потужність та

тривалість дії негативних чинників, дозволяє розкрити шляхи з вдосконалення тактики ліквідації пожеж та модернізування засобів захисту рятувальників.

4. Встановлено, що величини зон враження негативними факторами пожежі не є стабільними в часі і просторі, тому доцільно проводити регулярний моніторинг меж зон враження. Результатом моніторингу повинно бути коригування оперативних планів ведення АРР.

5. Небезпека під час використання засобів захисту від тепла та засобів захисту органів дихання також не є величиною постійною, вона зростає пропорційно рівню теплового стану середовища що оточує рятувальника та тривалості роботи в ньому. Зниження небезпеки такого роду доцільно, в першу чергу, шляхом вдосконалення систем охолодження засобів захисту і організму рятувальника.

6. Сучасні нормативні документи не враховують вплив на рятувальника відбитих пожежних променів від стінок будівель і технологічного обладнання, а також променів, відбитих від ґрунту. Це дає занижений рівень теплової навантаги на рятувальника і підвищує загрозу теплового враження. Також на сьогоднішній день не здійснюється врахування впливу сонячних випромінювань під час знаходження рятувальників на відкритій місцевості, що знижує загальну величину теплового навантаження на людський організм.

7. Сучасні типи рятувального одягу, що призначені захищати від підвищених теплових потоків, застосовують принцип пасивного теплового бар'єру. Тобто, використовуються матеріали із низьким коефіцієнтом теплопровідності, високою теплоємністю, забезпечується конвекційне відведення або поглинання тепла невеликим ресурсом холодоносія. Можливості захисної дії такого одягу досить обмежені і не перевищують в складних умовах 30...200 с. Відомі засоби індивідуального захисту від теплового ураження мають відносно велику масу й значну товщину теплоізоляційних шарів одягу, що заважає діям, пов'язаним із переміщенням на значні дистанції, нахилами, рухами в обмеженому просторі тощо.

Використовувати такі засоби доцільно за умови, якщо визначено межі зон теплового ураження, у яких необхідно виконувати невідкладні аварійні роботи. Головна проблема полягає у недостатньому рівні тепловідводу від тіла рятувальника до оточуючого середовища.

8. Існуючі на оснащенні ДСНС України теплозахисні костюми з тепловідбивним покриттям мають недостатній рівень захисту, обмежений захисний ресурс та непридатні для використання в умовах потужного теплового випромінювання. Вагомою проблемою також є те, що під дією потужного теплового випромінювання і високих температур відбивна оболонка таких костюмів руйнується, внаслідок чого костюм більше не можна використовувати.

9. Відомі технічні та конструктивні рішення не дозволяють забезпечити в автоматичному режимі захист рятувальників від дії високих температур і теплового випромінювання на початковому етапі ліквідації пожежі. В таких умовах аварійна обстановка може змінюватися миттєво, і реакція людини на різкі зміни може бути занадто повільною (15...40 с), щоб встигнути покинути небезпечну ділянку, або це може бути фізично неможливо здійснити. Тому проблема забезпечення захисту рятувальників від теплового ураження під час розвідки об'єкта, евакуації людей, виконання невідкладних першочергових робіт із локалізації аварії, є актуальною.

Вивчення стану проблеми дало можливість сформулювати ідею, мету, та завдання роботи.

Ідея полягає в підвищенні ефективності захисту рятувальника від впливу тепла шляхом інтенсифікації відводу тепла від організму до оточуючого середовища.

Науковою проблемою роботи є розкриття механізму формування теплового навантаження на організм рятувальника під час виконання оперативних дій в умовах нагрівного мікроклімату, що дозволить обґрунтувати шляхи удосконалення засобів протитепловго захисту.

Мета дослідження - підвищення безпеки рятувальників під час аварійно-рятувальних робіт в умовах нагрівного мікроклімату шляхом удосконалення систем охолодження засобів індивідуального захисту.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Провести аналіз виробничого травматизму серед особового складу ДСНС України та виявити екстремальні небезпеки для рятувальників під час виконання аварійно-рятувальних робіт; провести критичний аналіз ефективності протитеплових засобів індивідуального захисту рятувальників, що використовуються під час гасіння пожеж;
- Визначити специфіку нагрівання організму рятувальника під час ліквідації масштабних пожеж та здійснити оцінку теплових параметрів навколо пожежі у резервуарах з нафтопродуктами;
- Оцінити вплив сонячної радіації на особовий склад під час виконання аварійно-рятувальних робіт на відкритій місцевості;
- Провести моделювання зовнішнього теплового навантаження на рятувальника під час горіння рідких нафтопродуктів в резервуарі;
- Дослідити термовологісну обстановку в піддежному просторі рятувальника під час виконання аварійно-рятувальних робіт та створити пропозиції щодо його покращення; провести експериментальні дослідження щодо впливу додаткових вологопоглинаючих елементів захисного одягу на стан організму людини;
- Визначити шляхи конструктивного удосконалення протитеплових засобів індивідуального захисту рятувальників в умовах нагрівного мікроклімату з метою охолодження тіла рятувальника та збереження цілісності захисної тепловідбивної оболонки костюмів;
- Розробити прилад автоматичний теплозахисний для рятувальника на початкових етапах проведення аварійно-рятувальних робіт та провести його лабораторні дослідження.

Методи досліджень. Під час виконання роботи використовувалися аналітичні, теоретичні та експериментальні методи наукових досліджень, метод математичного моделювання.

Загальна методика вирішення проблеми підвищення безпеки рятувальників під час аварійно-рятувальних робіт в умовах нагрівного мікроклімату побудована на наступному алгоритмі (табл.1.11).

Аналітичні методи досліджень використано для оцінки:

- стану аварійності і виробничого травматизму в підрозділах ДСНС України;

- наукових уявлень та вимог нормативних документів щодо впливу на рятувальників негативних факторів пожежі.

- характеристик та захисних спроможностей існуючих на оснащенні рятувальних підрозділів засобів протитеплого захисту, методів їх випробувань.

Результати аналітичних досліджень послужили підґрунтям щодо виявлення невирішених питань, які перешкоджають вирішенню проблеми.

Теоретичні методи досліджень біли спрямовані на:

- оцінку впливу на рятувальників відбитих поверхнею променів що поступають від джерела горіння;

- оцінку небезпеки дії сонячної радіації на рятувальників що приймають участь у АРР;

- розрахунок термовологісної обстановки в підкостюмному просторі при виконанні рятувальником оперативних дій;

- створення узагальненого рівняння балансу теплових потоків що утворюються в системі «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини».

При математичному моделюванні рівняння теплообміну в системі «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини» під час горіння рідких нафтопродуктів в резервуарі основні висновки

аналітичних і теоретичних досліджень послужили основою для створення початкових та граничних умов в моделі.

Таблиця 1.11

Загальна методика виконання роботи

№ п/п	Завдання	Методика вирішення завдання
1	Провести аналіз виробничого травматизму серед особового складу ДСНС України та виявити екстремальні небезпеки для рятувальників під час виконання аварійно-рятувальних робіт	Статистичний аналіз даних результатів розслідування нещасних випадків в органах і підрозділах ДСНС України за 2005-2016 роки
2	Критичний аналіз протитеплових засобів індивідуального захисту рятувальників, що використовуються під час гасіння пожеж	Аналіз характеристик та захисних спроможностей існуючих на оснащенні рятувальних підрозділів засобів протитеплового захисту
3	Визначити шляхи нагрівання організму рятувальника під час ліквідації масштабних пожеж та здійснити оцінку теплових параметрів навколо пожежі у резервуарах з нафтопродуктами	Теоретичне виявлення шляхів потрапляння променів від джерела горіння до організму рятувальника під час ліквідації пожеж, теоретичне визначення меж навколо резервуарів із нафтопродуктами для безпечного ведення аварійно-рятувальних робіт
4	Оцінити вплив сонячної радіації на особовий склад під час виконання аварійно-рятувальних робіт на відкритій місцевості	Теоретичне визначення впливу прямих та відбитих сонячних променів на організм рятувальника під час проведення оперативних дій на відкритій місцевості
5	Провести моделювання зовнішнього теплового навантаження на рятувальника під час горіння рідких нафтопродуктів в резервуарі	Комп'ютерне моделювання теплового впливу на організм рятувальника під час ліквідації пожежі, що виникла у резервуарі з бензином

Продовження таблиці 1.11

6	Дослідити термовологісну обстановку в піддежному просторі рятувальника під час виконання аварійно-рятувальних робіт та створити пропозиції щодо його покращення; провести експериментальні дослідження щодо впливу додаткових вологопоглинаючих елементів захисного одягу на стан організму людини	Теоретичне дослідження впливу потужності теплового потоку, коефіцієнту теплоізоляції одягу, температури на стан в просторі між одягом і тілом людини; експериментальні дослідження впливу вологопоглинаючих жилеток з абсорбуючою речовиною на стан в піддежному просторі
7	Визначити шляхи конструктивного удосконалення протитеплових засобів індивідуального захисту рятувальників з метою охолодження тіла рятувальника в умовах дії високих температур та збереження цілісності захисної тепловідбивної оболонки костюмів	Обґрунтування та розробка пропозицій щодо удосконалення та створення нового теплозахисного одягу рятувальників, охолоджуючих пристроїв теплозахисних костюмів; експериментальне дослідження зниження теплового потоку плівкою води.
8	Розробити автоматичний теплозахисний прилад для захисту рятувальника на початкових етапах проведення аварійно-рятувальних робіт та провести його лабораторні дослідження	Теоретичне обґрунтування доцільності створення автоматичного теплозахисного приладу, виготовлення макетного зразку, лабораторні випробування ефективності запропонованого приладу

РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА РЯТУВАЛЬНИКІВ ПІД ЧАС АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ З ЛІКВІДАЦІЇ ПОЖЕЖ В РЕЗЕРВУАРАХ З НАФТОПРОДУКТАМИ ТА НА ВІДКРИТІЙ МІСЦЕВОСТІ

2.1 Оперативний прогноз теплового навантаження на рятувальників під час ліквідації пожеж у резервуарних парках

З практики відомо, що одним з найскладніших і не безпечніших видів пожеж є горіння нафтопродуктів, що зберігають в резервуарних парках [3, 23, 105, 106, 144, 254]. Кількість отримавших теплові травми, а часто смертельні, при ліквідації таких аварій рятувальників є найбільшою. Тому міри профілактики та безпеки при веденні аварійно-рятувальних робіт повинні бути науково обґрунтовані.

Для зберігання нафтопродуктів в Україні використовуються металеві та залізобетонні резервуари [191]. Найбільш поширеними в нашій країні та за кордоном є вертикальні сталеві резервуари. За конструктивними особливостями вертикальні сталеві резервуари для зберігання нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 *кПа* поділяються на резервуари з плаваючою покрівлею, з стаціонарною покрівлею без понтона, з стаціонарною покрівлею з понтоном. Геометричні розміри основних типів сталевих вертикальних резервуарів наведено в табл. 2.1.

У вертикальних сталевих резервуарів стінки складаються з металевих листів, найчастіше розміром 1,5 × 3 м або 1,5 × 6 м. Верхній зварювальний шов з покрівлею резервуара виконується послабленим з метою запобігання руйнуванню резервуара у випадку вибуху пароповітряної суміші всередині замкненого об'єму резервуара. Для зберігання відносно невеликих кількостей нафтопродуктів використовуються горизонтальні сталеві резервуари місткістю до 1000 м³. Крім сталевих резервуарів, у деяких випадках використовують також залізобетонні [191].

Таблиця 2.1.

Геометричні характеристики основних типів сталевих вертикальних резервуарів [191]

Місткість резервуару, V_p , м^3	Діаметр, D , м	Висота, H_p , м	$k_p =$ D/H_p	Площа перетину, S , м^2
50	4,01	4,16	0,92	13
70	4,68	4,16	1,12	17
100	4,74	5,91	0,8	18
100	5,68	4,14	1,37	26
200	6,63	5,92	1,12	35
200	7,11	5,51	1,3	40
300	7,59	7,37	1,03	45
300	8,53	5,51	1,5	57
400	8,53	7,39	1,15	57
500	9,26	7,44	1,25	67
600	9,86	8,26	1,19	77
700	10,44	8,34	1,25	86
700	11,38	8,87	1,28	102
1000	11,38	9,70	1,17	102
1000	12,33	8,94	1,37	120
2000	14,62	11,92	1,22	168
2000	15,22	11,26	1,35	183
3000	17,90	11,92	1,5	252
5000	22,80	11,92	1,92	408
10000	34,20	11,92	2,86	918
20000	45,60	17,92	2,56	1632
30000	45,60	17,88	2,56	1632
50000	60,70	17,88	3,5	2892

Виникнення та розвиток пожежі в резервуарі залежить від наявності вибухонебезпечних концентрацій нафтопродуктів всередині і зовні резервуара, властивостей горючої рідини, наявності джерела займання, конструкції резервуара. Найчастіше пожежа у резервуарах з нафтопродуктами починається з вибуху пароповітряної суміші, що утворюється під покрівлею резервуара [191, 137]. Виникнення вибухонебезпечних концентрацій в резервуарі в значній мірі залежить від фізико-хімічних властивостей нафтопродуктів, технологічних режимів експлуатації, метеорологічних природних умов. У випадку виникнення вибуху у резервуарі зі стаціонарною покрівлею відбувається підрив або зрив покрівлі з наступним займанням на всій поверхні горючої рідини (рис.2.1, 2.2). В такому випадку, вже на початковій стадії, горіння нафтопродуктів у резервуарі може супроводжуватися потужним тепловим випромінюванням у навколишнє середовище, а висота полум'я складати 1-2 діаметри резервуара, що горить.

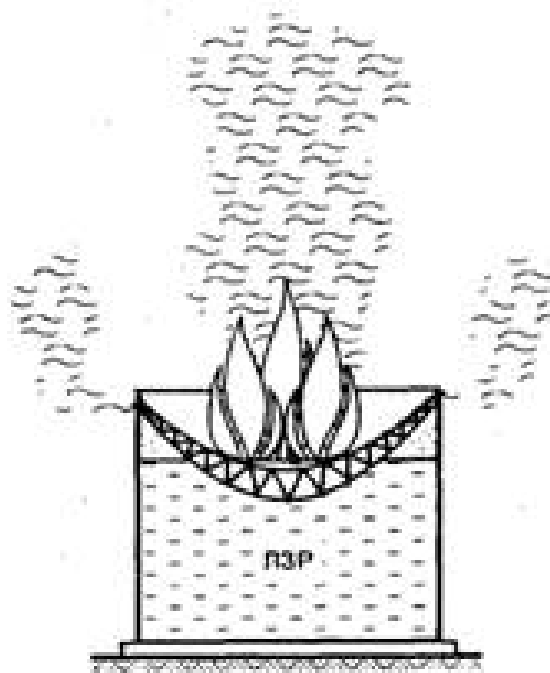


Рисунок 2.1 – Горіння пального після вибуху з напівзануреною у резервуар покрівлею [137]

Факельне горіння може виникнути на дихальній арматурі, інших отворах або тріщинах покрівлі та стінок резервуара. Якщо факельне горіння супроводжується чорним димом і червоним полум'ям, то це свідчить про високу концентрацію парів нафтопродуктів у резервуарі, що може ускладнитися вибухом. Синьо-зелене факельне горіння без димоутворення свідчить про те, що концентрація парів продукту в резервуарі близька до області займання, і існує реальна загроза вибуху.

У резервуарах з плаваючою покрівлею на початкових етапах розвитку пожежі можуть утворюватися локальні осередки горіння в зоні ущільнюючого затвору і в місцях накопичення горючої рідини на поверхні плаваючої покрівлі. Тепловий вплив локального осередку горіння супроводжується руйнуванням герметичного затвору, а повна втрата плавучої здатності та затоплення покрівлі в реальних умовах може статися приблизно через 60 хв [137].

Якщо нафтопродукти зберігаються в умовах низьких температур та є умови деформації стінок резервуара, то може статися «зависання» плаваючої покрівлі під час відкачування продукту з резервуара, що може призвести до їх падіння з утворенням фрикційних іскор, які можуть бути причиною виникнення пожежі. Виникнення пожежі в обвалуванні резервуарів може статися під час переливання нафтопродуктів, порушення герметичності резервуара, засувки, фланцевих з'єднань, технологічних трубопроводів тощо.

Подальший розвиток пожежі, що виникла в резервуарі, залежить багатьох факторів: місця виникнення пожежі, розмірів початкового осередку горіння, стійкості конструкції резервуара, погодних умов, оперативності дій та кваліфікації персоналу об'єкту, роботи систем протипожежного захисту, часу прибуття пожежних підрозділів. В залізобетонному резервуарі внаслідок вибуху відбувається руйнування частини покриття (рис.2.2). Горіння на ділянці отвору, що утворився, супроводжується обігріванням залізобетонних

конструкцій покриття. Через 20-30 хв може статися обвалення покрівлі та стін резервуара і збільшення площі пожежі.

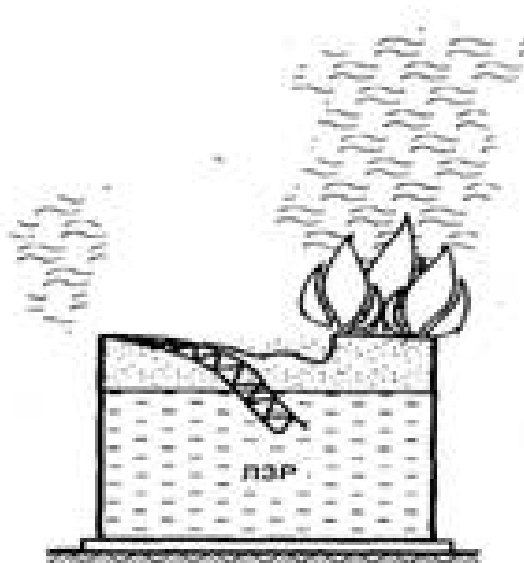


Рисунок 2.2 – Вільне горіння пального після вибуху із зірваною покрівлею
[137]

Одним з найбільш важливих параметрів, що характеризує розвиток пожежі в резервуарі, є тепловий режим пожежі. Фізико-хімічні властивості горючих рідин визначають характер розподілу температур в об'ємі пального.

У більшості робіт, що присвячені дослідженню зовнішнього теплового навантаження на рятувальників, враховують тільки дію прямих теплових променів [9, 66, 90, 183]. Це призводить до зниження результатів, недооцінки впливу конвективного нагрівання та відбитих променів. Це можна проілюструвати даними, що отримані в Львівському університеті безпеки життєдіяльності ДСНС України [183], та характерними для слабопотужного джерела горіння бензину. Порівняння теоретичних та експериментальних даних наочно показало, що теоретично певні потоки тепла істотно нижче (рис.2.3).

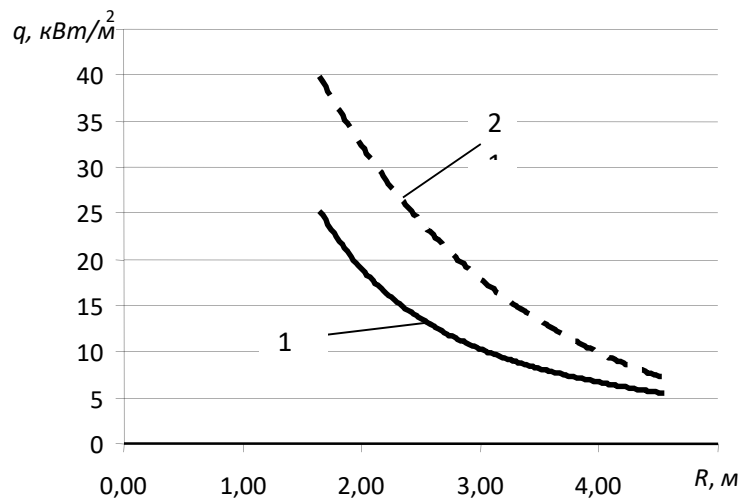


Рисунок 2.3 Теоретично (1) та експериментально (2) встановлені розподілення теплових потоків у просторі [183]

Це пояснюється не прийняттям до обліку інших, крім прямих випромінювань, що складають нагрів, а саме конвективних потоків та дії відбитих променів. Такий само підхід використано польськими дослідниками в моделях розрахунку теплового стану теплозахисного одягу пожежних при різних видах випробувань [9].

Як відомо, основним джерелом зовнішнього випромінювання пожежі є місце, де відбуваються окислювальні реакції - фронт горіння. Теплові промені, потрапляючи на оточуючу 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.2.4).

Контактний (кондуктивний) нагрів відбувається при безпосередньому зіткненні пожежника з розжареними поверхнями або рідинами. Найчастіше такого 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 відбиті і конвективні потоки є вторинними, похідними від зовнішніх прямих променів.

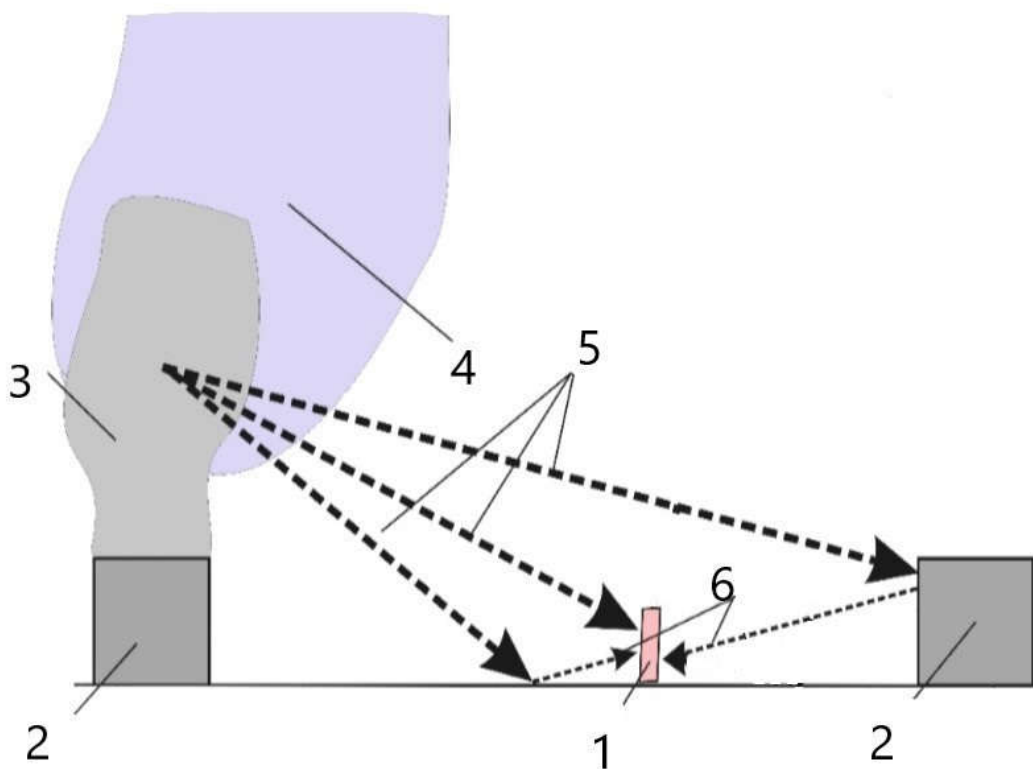


Рисунок 2.4 – Схема зовнішніх променевих потоків, що діють на розташований поблизу пожежі об'єкт: 1 - об'єкт; 2 - резервуари з паливом; 3 - факел горіння; 4 - шлейф продуктів горіння; 5 - прямі теплові потоки від пожежі; 6 - відбиті промені

Таким чином, теплове навантаження на рятувальника (Q_{wt}) складається з наступних основних складових [2, 72]:

1. Зовнішнє теплове навантаження:

- прямі теплові потоки від пожежі (Q_{fd});
- відбиті (Q_{fr}) від ґрунту і стінок променеві потоки;
- конвективні потоки нагрітих газів (Q_k), що обумовлені нагрівом повітря від поверхні або дією гарячих продуктів горіння;

- кондуктивний (Q_c) нагрів 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 охолоджуючої енергії, використовуваної в засобах протитеплогового захисту, наприклад, крижаних брикетів і таке інше, в даній частині роботи не розглядається.

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

$$(Q_{wt}) = Q_{fd} + Q_{fr} + Q_k + Q_{mb} + Q_{ar} + Q_c \quad (2.1)$$

Оцінити складову виразу (2.1) (Q_{sd}) при гасінні відкритих пожеж на сховищах нафтогазопродуктів спробуємо виходячи з наступних 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. Приймемо 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. Питома кількість тепла, що випромінюється полум'яним факелом, яке припадає на одиничну площу

поверхні, визначають, прийнявши допущення, що енергія зосереджена в центрі факела і розподіляється рівномірно в навколишній сферичний простір. При відсутності вітру, його обчислюють за формулою [209]:

$$q = \frac{f \cdot Q'_n}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \quad (2.2)$$

де q - кількість тепла, що припадає на одиницю площі поверхні, що нагрівається, $Вт/м^2$;

Q'_n - приведена теплота пожежі, $Вт$;

R - відстань до центру факела, $м$;

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 даної суміші палаючих вуглеводнів. Молекулярна маса для більшості видів нафти коливається в межах $220 \dots 300 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Вона зростає, так само, як і щільність, для нафтових фракцій з підвищенням температури кипіння [209]. Усереднений показник для нафтопродуктів можна прийняти $f = 0,75$.

Наведена теплота пожежі Q'_n розраховується за формулою:

$$Q'_n = \beta_{nz} \cdot Q_n \cdot V_o \quad (2.3)$$

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, гас, мазут приймають $\beta_{nz} = 0,85$;

Q_n - нижча теплота згоряння газів або їх сумішей, (наприклад, метан — 35,83 МДж/м³, пропан — 91,27 МДж/м³), для рідких вуглеводнів (наприклад, бензин — 41,87 МДж/кг, газ - 43,54 МДж/кг);

V_o - об'ємна витрата пального, м³/год.

При горінні бензину в резервуарі діаметром 10м, експериментально встановлено [89], що лінійна швидкість вигорання становить близько 15мм/хв, що відповідає об'ємній швидкості вигорання, приблизно, 15,7м³/хв або 942 м³/год.

В авторитетному джерелі [89] наведено огляд інформації про горіння рідин в резервуарах діаметром від 1 до 23м. 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 дозволяє приймати незмінною лінійну швидкість вигорання нафтопродуктів $v=15\text{мм/хв}=0,9\text{м/год}$ в резервуарах місткістю до 5000м³, 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:

$$V=S \cdot v = \pi \cdot D^2 \cdot v / 4 = 0,765 D^2, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.4)$$

де D - діаметр резервуара, м.

Виконано розрахунок питомого теплового навантаження при стабільному горінні в резервуарі діаметром 10м деяких поширених видів газоподібного і рідкого палива: бензину, гасу, метану і пропану (рис.2.5), при однаковій об'ємній витраті [148].

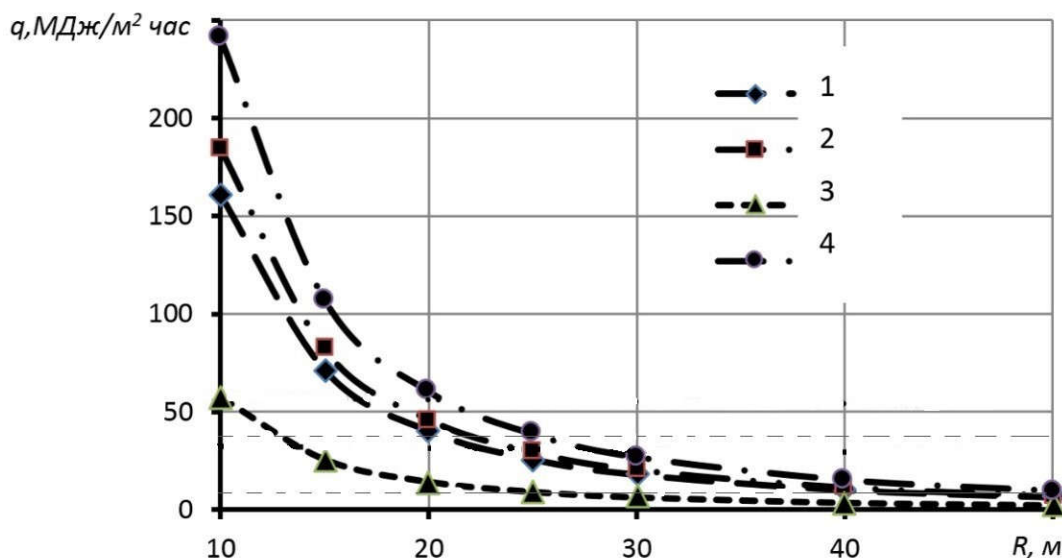


Рисунок 2.5 – Інтенсивність тепловиділення (q , $\text{МДж}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$) на відстані (R , м) від центру факела палаючих вуглеводнів: 1 бензин; 2 - гас; 3 - метан; 4 - пропан; горизонтальні лінії штрихова і пунктирна, відповідають рівням теплових потоків 5,6 і 40, $\text{МДж}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$

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

При розрахунках безпечної для особового складу, тобто такої, якою можна необмежений час витримувати без спеціального захисту, приймають інтенсивність тепловиділення $q_{\text{без}} = 5,6$, $\text{МДж}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ [90, 91, 134]. Для вищенаведеної пожежі таке теплове навантаження існує на віддаленні більше 40 ... 50м від факела (див.рис.2.5). Отже, оперативні дії на меншому віддаленні від

Більшість протитеплових засобів, які перебувають на оснащенні рятувальних підрозділів України допускають захист організму рятувальника

при інтенсивності випромінювання до $40 \text{ МДж/м}^2 \text{ год}$ [115, 225]. 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 протитеплого захисту рятувальників випробовують при інтенсивності нормально спрямованого променевого навантаження $40 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{год}$, яке найчастіше фігурує в нормативних документах [114, 115]. При цьому допустима тривалість перебування в зоні теплового впливу з використанням засобів протитеплого захисту обчислюється 120 с на відстані менше 25 ... 30 м, як це впливає з рис.2.5, 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 дозволяє 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 [209]. Висота факела над палаючим резервуаром діаметром D , згідно з експериментальними даними, становить $H_{\phi}=(1...1,5)D$.

Схематично розподіл теплових потоків при горінні нафтопродуктів в резервуарі можна зобразити в такий спосіб (рис.2.6). Факел палаючих парів

піднімається над зрізом резервуара на висоту $H_\phi=(1...1,5)D$. Позначивши висоту резервуара як H_p , центр факела знаходиться приблизно на висоті $H_u=(0,5...0,75)D+H_p$. Співвідношення між діаметром резервуара і його висотою є величиною постійною для конкретної споруди, позначимо: $D/H_p = k_p$.

Тоді

$$H_u = (0,5...0,75) H_p k_p + H_p = [(0,5...0,75) k_p + 1] H_p. \quad (2.5)$$

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

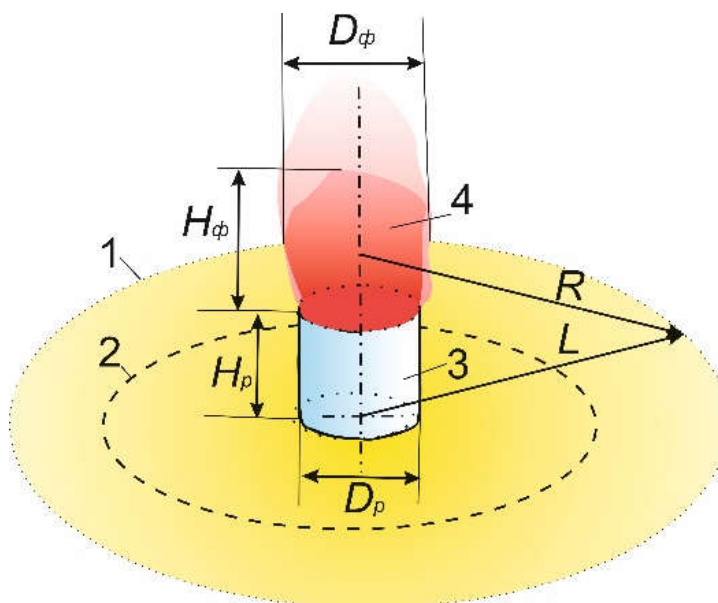


Рисунок 2.6 – Параметри обстановки при горінні нафтопродуктів в резервуарі: 1,2 - відповідно межі зон безпечної роботи в спецодязі і з застосуванням протитеплових засобів; 3 - резервуар; 4 - факел пожежі; H_p , H_ϕ , D_p , D_ϕ - висоти і діаметри резервуара і факела горіння; R , - відстань до центру факела; L - відстань до центру резервуара.

Величина висоти розташування центру факела, виходячи з виразу (2.5), складе:

- для резервуарів місткістю до 3000 м^3

$$H_u = [(0,5 \dots 0,75)/1,2 + 1] H_p = (1,4 \dots 1,6) H_p; \quad (2.6)$$

- при місткості більше 3000 м^3

-

$$H_u = [(0,5 \dots 0,75)/2,48 + 1] H_p = (1,2 \dots 1,3) H_p; \quad (2.7)$$

Відстань R від центру факела до рятувальника визначається з геометричних викладок

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

де L - відстань по горизонталі від центру резервуара до пожежного, м .

Для наближеної оцінки впливу прямих теплових променів при горінні світлих нафтопродуктів можна вираз (2.2) можна спростити:

$$q = \frac{f \cdot Q_n}{4 \cdot \pi \cdot (L^2 + H_u^2)} = \frac{0,75 \cdot Q_n}{12,56 \cdot (L^2 + H_u^2)} = \frac{0,06 \cdot Q_n}{(L^2 + H_u^2)}. \quad (2.8)$$

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

Для оперативних розрахунків зовнішнього теплового навантаження на рятувальника від палаючих в резервуарах нафтопродуктів, на основі виразу (2.8), рекомендована наступна наближена формула:

$$q \approx \frac{750 \cdot V}{(L^2 + H\varphi^2)}. \quad (2.9)$$

Мінімальна відстань, на якій можна проводити оперативні дії без застосування засобів протитеплого захисту [241], і де інтенсивність тепловиділення не перевищує $q_{\text{без}} = 5,6 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{год}$, підставляючи в (2.9) маємо

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

$$5,6 \approx \frac{750 \cdot \pi \cdot D^2}{(L^2 + (1,2 \dots 1,6) \cdot Hp^2)}$$

Звідки

$$L = \sqrt{100 \cdot D^2 - (1,2 \dots 1,6) \cdot Hp^2} \quad (2.10)$$

З виразу (2.10) 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 диспозиції [166].

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.

2.2 Дія сонячної радіації на рятувальників

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 [159]. В даний час в нормативних документах відсутні рекомендації щодо обліку впливу сонячної енергії на оперативний склад рятувальних підрозділів. Хоча сонячне випромінювання робить сильний негативний вплив навіть на людей, що просто знаходяться на відкритій місцевості, погіршуючи функціонування центральної нервової, серцево-судинної та інших систем організму. Тому вдосконалення нормативних документів в частині прийняття рішень по встановленню 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 при гасінні пожеж на відкритій місцевості.

В даний час відомі фундаментальні дослідження впливу тепла на організм рятувальника при гасінні підземних пожеж виконані в НВО «Респіратор» Мінпаливенерго України [138]. Розглянуто такі аспекти, як вплив зовнішнього нагріву, дія гарячого повітря (конвективний нагрів), враховано вплив порівняно невеликих в підземних умовах променевих потоків. Однак, зазначено, що застосування розроблених нормативних і програмних засобів оцінки теплового впливу можливо при відсутності джерел інтенсивного випромінювання.

В авторитетних джерелах [17, 18, 37, 141, 142] 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, втрату 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 $42-46^\circ\text{C}$. Критичною ж інтенсивністю опромінювання вважають інтенсивність, що дорівнює $4,2 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$. [257]

У більшості робіт, присвячених дослідженню зовнішнього теплового навантаження на пожежних, враховують тільки дію прямих теплових променів від вогнища горіння. Це призводить до заниження результатів, недооцінки впливу конвективного нагріву 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), обдув тіла струменями гарячих газів (конвекція), теплопередача при дотику до нагрітих твердих предметів (кондукція) [155].

У будівельних нормах [95] наведені дані про середню і максимальну величину сумарної (прямої і розсіяної) сонячної енергії (табл.2.2). 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.2.2 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, напрямок 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 тільки тактику впливу на осередок горіння, а й заходи безпеки особового складу.

Таблиця 2.2

Кількість сумарної (прямої і розсіяної) сонячної радіації (Вт/м^2), що падає на різноорієнтовані поверхні в червні при безхмарному небі [95]

Поверхні і їх орієнтація по сторонах світу	Позначення	Географічна широта, <i>град</i>			
		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

Чинні нормативні документи дозволяють доволі об'єктивно оцінити величину теплової радіації вогнища горіння. Є ще одне джерело нагріву - сонячна радіація. Її дія на рятувальника подібна до дії пожежного випромінювання. На відміну від пожежного випромінювання, сонячна радіація оказує вплив весь час знаходження рятувальників на відкритій місцевості. Цю особливість впливу сонячної радіації слід враховувати при оцінці теплової навантаги. Вона істотно залежить від кліматичних факторів, однак, в ясну погоду дію пожежі і Сонця може виявитися співрозмірними. Дія обох джерел незалежна, тому при дослідженні їх дії в зоні теплової небезпеки 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_{wt}) на поверхню тіла або теплозахисного пристрою, що використовується рятувальниками при гасінні пожеж, складається з наступних основних складових (рис.2.7):

- прямі теплові потоки від пожежі (Q_{fd}) і Сонця (Q_{sd}), дія яких має векторну спрямованість;
- відбиті від ґрунту і стінок променеві потоки від пожежі (Q_{fr}) і Сонця (Q_{sr}), 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.

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.

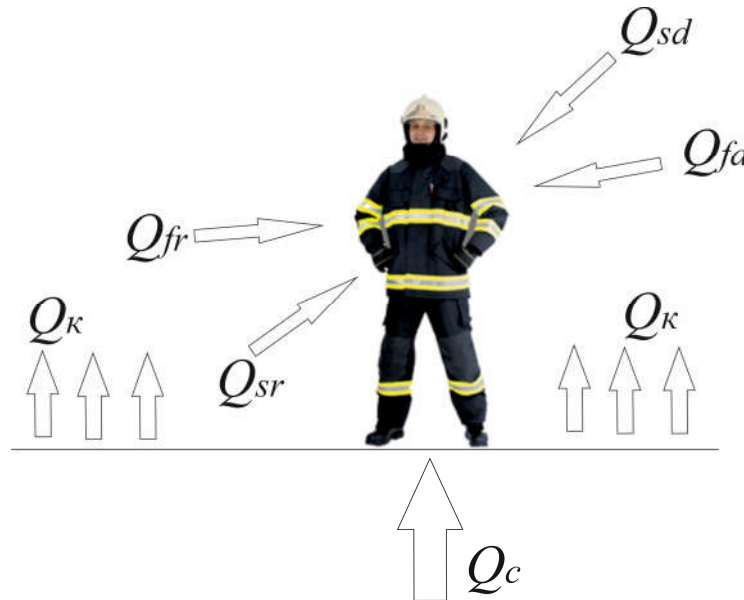


Рисунок 2.7 – Схема впливу на рятувальника зовнішніх теплових потоків: прямі промені від фронту горіння (Q_{fd}) і Сонця (Q_{sd}); відбиті - пожежні (Q_{fr}) і сонячні (Q_{sr}); конвективні (Q_k); кондуктивні (Q_c)

Загальну кількість теплоти, що надходить і генерується в системі «оточуюче середовище – джерело горіння - засоби захисту – організм людини», можна виразити рівнянням [165]:

$$(Q_{wt}) = Q_{sd} + Q_{fd} + Q_{fr} + Q_{sr} + Q_k + Q_{mb} + Q_{ar} + Q_c \quad (2.11)$$

Дослідження внутрішнього теплового навантаження, що вимагають застосування спеціальної апаратури, значного числа експериментів і участі в них піддослідних, були виконані [138], 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, вона залежить від 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 обліку при плануванні оперативних дій при гасінні пожеж на відкритій місцевості.

2.3. Оцінка впливу сонячної енергії на рятувальника

Сонячна енергія, що дійшла до атмосфери Землі у вигляді променів Сонця $q_{sdo}=1367 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ [192], носить назву прямої сонячної радіації, вона частково розсіюється молекулами повітря і зваженими в ньому частинками, деяка частина відбивається хмарами. Розсіювання помітно послаблює сонячну радіацію, що дійшла до поверхні землі $q_{sd}=k_{ocl}\cdot q_{sdo}$. 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:

$$0,85 > k_{ocl} > 0,47. \quad (2.12)$$

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.2.8).

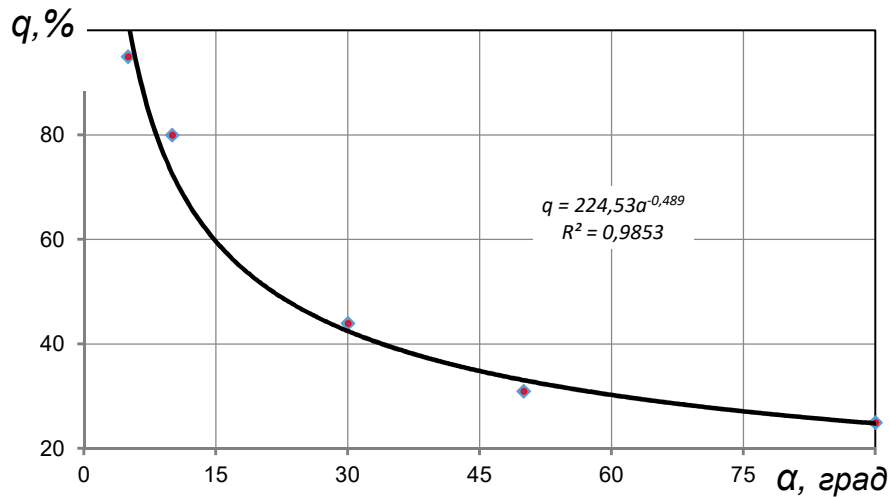


Рисунок 2.8 – Ослаблення сонячної радіації (%) при різних кутах (α) між вектором променя і нормаллю до поверхні

Визначення висоти Сонця над горизонтом не становить труднощів в сучасних умовах, коли в інтернеті є «Астрономічні калькулятори» [74], 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 знаходиться в 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%. Нагріваючою здатністю володіють інфрачервоні промені, що становлять, в середньому, близько 62% потоку. Ослаблення нагріву прямою сонячною енергією визначається не тільки кутом α , а й спектральними характеристиками. Орієнтовно коефіцієнт спектрального зміни потоку (k_{ci}) можна прийняти у вигляді:

$$k_{ci} = 0,72 - 0,0022 \alpha \quad (2.13)$$

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 нагріваючого спектра, і залежить від розташування світила відносно поверхні. Вираз для його розрахунку можна представити в наступному вигляді:

$$q_{sd} = 1367 \cdot k_{осл} \cdot k_{сі} \cdot q = 1367 (0,47 \dots 0,85) \cdot (0,72 - 0,0022 \alpha) \cdot 2,24 \cdot \alpha^{-0,489}, \text{ Вт м}^{-2} \quad (2.14)$$

Орієнтовний розрахунок показує, що в ясну безвітряну погоду нагрів прямими сонячними променями, що падають під кутом $40 \dots 50^\circ$, може становити $q_{sd} = 150 \dots 270 \text{ Вт м}^{-2}$ [165], що, за врахуванням відбитої енергії, приблизно відповідає даним табл.2.2 для горизонтальних поверхонь. Ця величина у порівнянні із тепловим навантаженням від джерела горіння [91] не є дуже вагомою, але її слід обов'язково враховувати до загального теплового балансу рятувальника (див. (2.11)) для планування тривалості аварійних робіт в зонах ураження нагріваючого 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. Експозиція сонячної енергії значно перевищує – пожежної, що доцільно враховувати при розрахунку теплової навантаги на рятувальника. Нагріву піддаються також дихальні апарати як регенеративного типу так і на стисненому повітрі. Це призводить до збільшення теплової енергії, що утворюється нутрі організму рятувальника.

При гасінні пожежі без використання засобів захисту від тепла, сонячний нагрів слід враховувати навіть у відносно сприятливих умовах. З огляду на нерівномірність освітлення постаті, а також рух рятувальника в процесі виконання оперативних дій, максимальну величину $Q_{sd} + Q_{rd}$

пропонується визначати як множина площі поверхні людського тіла на середньоарифметичний по стовпцю табл.2.2 для відповідної географічної широти значення $q_{сер}$. Цей показник дозволяє 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 даною поверхнею, до величини потоку променевої енергії, що падає на цю поверхню, називається альбедо. Альбедо для площ виражається у відсотках (табл.2.3), доцільно використовувати коефіцієнт відображення (k_o) в частках, що характеризує відбивну здатність даної поверхні.

Таблиця 2.3

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

Альбедо залежить від характеру поверхні (властивості ґрунту, наявності снігу, рослинності, води і тощо) і від величини кута падіння променів Сонця на поверхню Землі. Приклади альбедо з табл.2.3 відносяться до тих випадків,

коли висота Сонця над горизонтом дорівнює 45° (найбільш поширена ситуація). При зменшенні ж цього кута здатність відбиття збільшується [223].

Так, наприклад, при висоті Сонця $\alpha = 90^\circ$ вода відображає тільки 2%, при 50° - 4%, при 20° - 12%, при 5° - 35 ... 70% (в залежності від стану водної поверхні) (рис.2.9). Цю властивість водної поверхні слід враховувати, тому що позиція, з якої здійснюють гасіння пожежі, часто покрита шаром води або піною, що розпадається, яка віддзеркалює подібно до снігу.

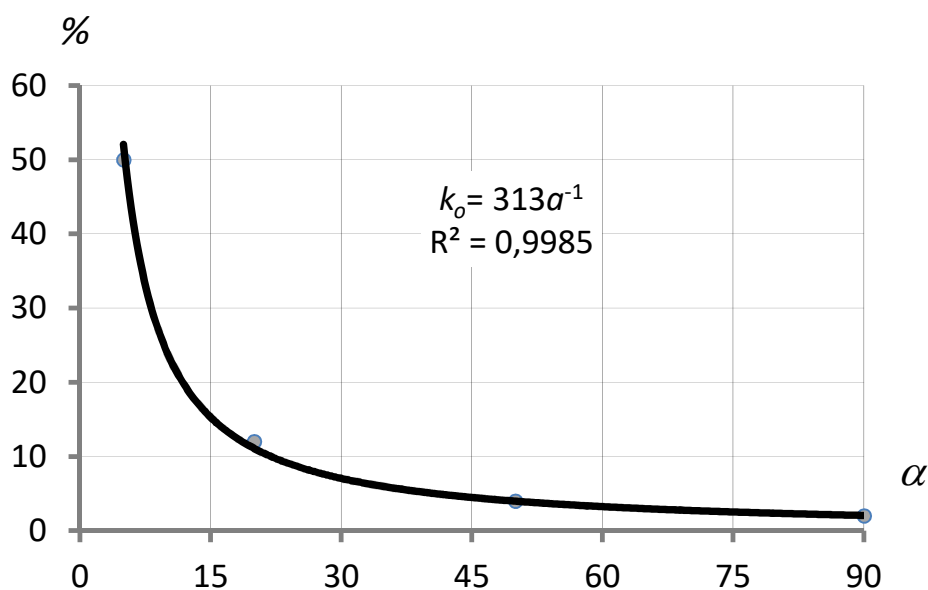


Рисунок 2.9 – Відбивна здатність водної поверхні (%) в залежності від кута α між вектором променів і нормаллю до поверхні

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

$$q_{ss} = q_{sd} + q_{sr} = q_{sd}(1 + k_o) \quad (2.15)$$

Як впливає з виразу (4.3), 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 квадрату 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, в подальшому, конвективних повітряних потоків.

Відомо, що Земля, отримуючи сонячну енергію, нагрівається і сама стає джерелом випромінювання тепла в світовий простір. Однак промені, що випускаються поверхнею, якісно відрізняються від сонячних променів. Земля випромінює лише довгохвильові ($\lambda = 8 \dots 14\mu$) 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.

До поверхні землі достається тільки частка прямої сонячної радіації $q_{sdo} = 1367, \text{Вт/м}^2$, що поступає до верхніх шарів атмосфери. За рахунок поглинання та розсіювання її величина знижується $q_{sd} = q_{sdo} \cdot k_{ocl}$, коефіцієнт ослаблення складає $0,6 < k_{ocl} < 0,85$. Щільність сонячного променевого потоку залежить від кута α під яким промені падають на поверхню. Кутовий коефіцієнт складає $k_a = 2,24 \cdot \alpha^{-0,5}$. Крім того, відбувається спектральне перетворення потоку, яке також визначається кутом α між вектором променя та нормаллю до поверхні. Коефіцієнт інфрачервоної складової при спектральній зміні потоку $k_{ci} = 0,72 - 0,0022 \cdot \alpha$. Таким чином величина прямого потоку сонячних променів на поверхню складає :

$$q_{sd} = q_{sdo} \cdot k_{ocl} k_a k_{ci} = 1367 (0,6 \dots 0,85) 2,24 \alpha^{-0,5} (0,72 - 0,0022 \alpha) = \\ = (490 \dots 2600) \alpha^{-0,5} (0,72 - 0,0022 \alpha).$$

Розрахунок показує, що в ясну сонячну погоду, при $\alpha=40...50^\circ$, потік сонячної радіації може сягати $q_{sd}=120...400 \text{ Вт/м}^2$. Така енергія порівнянна з енергією від пожежі, але діє вона набагато довше ніж час перебування рятувальників в зонах теплового враження тому повинна враховуватись обов'язково.

Теоретично обґрунтовано 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.

У випадку, коли розглядається спільна дія Сонця і пожежі, максимальна земна радіація визначається як результат нагріву поверхні цими двома джерелами енергії:

$$q_{sr}^1 = C \cdot F \cdot \left(\frac{T_s}{100}\right)^4 \quad (2.16)$$

де q_{sr}^1 - кількість випромінювань 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 виміром, або використовуючи запропонований А.М. Шкловером [256] вираз:

$$T_s = T_n + \frac{\rho \cdot (q_{sd} + q_{fd})}{\alpha_{om}}, \quad (2.17)$$

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,

$МДж\ м^{-2}год^{-1}$

Слід зазначити, що температура нагрітої поверхні T_s визначає не лише рівень випромінювання, але і величину кондуктивного нагрівання стоп рятувальника Q_c (см.рис.2.7).

Після підстановки виразу (2.17) в (2.16) він прийме наступний вигляд:

$$Q_{sr}^1 = 100^{-4} \cdot C \cdot F \cdot \left[T_n + \frac{\rho \cdot (q_{sd} + q_{fd})}{\alpha_{0m}} \right]^4, \text{ МДж } год^{-1} \quad (2.18)$$

Аналіз виразу (2.18) показав, що характерні для більшості реальних пожеж умови визначають зневажливо малу величину вторинного випромінювання q_{sr}^1 . При цьому поверхня може нагріватися до 100°C і більше, що визначає необхідність захисту рятувальників від ураження теплопереносом кондуктивного характеру.

Таким чином, компоненти променевого тепла можна визначити за залежностями, що зведені в таблицю 2.4.

Можна зробити практичний висновок про те, що для зниження рівня відбитого опромінювання пожежних слід штучно зменшувати значення коефіцієнта відбиття поверхні. Досягти цього можна, наприклад, посипаючи місця розташування рятувальників піском і зрошуючи його водою (див. табл.2.3). У цьому випадку значна частина променевої енергії буде поглинатися, зменшуючи відображення, а потім витрачатися на фазові перетворення води і приводити до скорочення конвективного нагріву повітря.

Таблиця 2.4

Компоненти променевого тепла, $МДж \cdot м^{-2} \cdot ч^{-1}$.

Вид теплових потоків	Позначення	Вираз для розрахунку
- прямі теплові від пожежі	q_{fd}	$\frac{f \cdot Q_i}{4 \cdot \pi \cdot R^2} *$
- прямі теплові від Сонця	q_{sd}	$(490 \dots 2600) \cdot \alpha^{-0,5} (0,72 - 0,0022 \alpha)$
- відбиті від ґрунту і стінок	$q_{fr} + q_{sr}$	$(q_{fd} + q_{sd}) \cdot k_o$
- вторинне випромінювання нагрітої поверхні	q_{sr}^I	$100^{-4} \cdot C \cdot \left[T_n + \frac{\rho \cdot (q_{sd} + q_{fd})}{\alpha_0} \right]^4$

* - для точкових джерел горіння

2.4. Висновки.

1. Теоретично вперше обґрунтовано, що відбиті ґрунтом промені можуть додаватись до отриманих рятувальником прямих променів від джерела горіння. Враховуючи уточнені шляхи потрапляння теплових променів до рятувальника під час ліквідації масштабної пожежі, їх слід враховувати при визначенні теплового навантаження на його організм;

2. Вперше теоретично встановлено, що інтенсивність теплового потоку при горінні нафтопродуктів в резервуарах зростає за гіперболічною залежністю від діаметра і висоти резервуара, що обумовлює межі зон використання протитеплових засобів рятувальників, при цьому теплове навантаження рятувальників збільшується на 10...30% за рахунок відбитих теплових потоків від пожежі і сонячних променів, що обґрунтовує шляхи якісно нового підходу до захисту рятувальників.;

3. Запропоновано орієнтовний вираз для розрахунку безпечних зон ведення аварійних робіт поблизу палаючих в резервуарах нафтопродуктів;

4. Отримано практичні рекомендації для профілактичного позначення небезпечних по тепловому фактору зон на територіях нафтосховищ і в оперативних планах з ліквідації аварій.

5. 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 безпосередньо 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.

6. 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.

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

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ПЕРСПЕКТИВНИХ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПРОТИТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ РЯТУВАЛЬНИКІВ

3.1 Фізіологічна дія тепла на рятувальника. Термовологісний стан в підодежному просторі.

3.1.1 Охолодження рятувальників шляхом удосконалення терморегуляції

Фізична терморегуляція здійснюється шляхом віддавання тепла організмом. При цьому тепловіддача проходить наступними способами: випромінюванням (радіацією); кондукцією; конвекцією; випаровуванням. Наукові пошуки методів оцінки впливу теплової обстановки на організм людини проводять в багатьох державах різні установи. Чимало уваги приділяють в галузях, що пов'язані з рятувальною справою, виготовленням та обробкою металів, гірництвом, тощо.

Для охолодження і покращення комфорту підкостюмного простору рятувальників польськими вченими Центрального інституту охорони праці (м.Лодзь, Польща) запропоновано використання системи повітряної вентиляції від апаратів на стисненому повітрі [14], які мають, на жаль, досить обмежений час дії.

Найбільш близькими є дослідження, що проведені при розробці гірничорятувального та пожежного оснащення [67, 68, 184, 185, 255], тому що у підземних і аварійних умовах неможливо суттєво управляти зовнішніми чинниками тепловиділення, та приходить обмежуватися вивченням системи «оточуюче середовище – джерело горіння -засоби захисту – організм людини».

Мікрокліматичні умови характеризуються температурою, відносною вологістю і швидкістю руху повітря, а також температурою випромінювання поверхні. Поєднання значень цих параметрів в різних варіантах часто

викликає утруднення в якісній і, тим більше, в кількісній порівняльній оцінці мікроклімату в різних умовах.

Відомі спроби обґрунтувати інтегральні показники мікроклімату, що впливає на тіло людини [44]. Наприклад, індекс впливу середовища, що нагріває (WBGT – Wett Bulb Globe Temperature, °C):

$$WBGT = 0,7WB + 0,2GT + 9,1DB,$$

де WB - температура повітря по вологому термометру, °C;

GT - температура кульового термометра, °C;

DB - температура повітря по сухому термометру, °C.

Використовується також Оксфордський індекс (WD , °C):

$$WD = 0,85WB + 0,15DB.$$

Аналіз цієї формули показує, що при збільшенні відносної вологості повітря значення наближається до значення WB , і при її досягненні 100%, їх значення стають рівні. У цьому випадку значення Оксфордського індексу визначається температурою вологого термометра, тобто: $WD = WB$.

У вугільній промисловості деяких зарубіжних країн використовуються комплексні показники мікроклімату за двома параметрами: за показниками сухого і вологого термометра. Так, за бельгійським правилам допускається робота в шахті при температурі, розрахованої за залежністю

$$0,9t_B + 0,1t_C = 31^\circ C$$

де t_B, t_C - відповідно температура повітря за вологим і сухим термометрами.

Згідно з цією залежністю допускається перебування гірника, який не виконує роботу, в шахті при температурі $34^\circ C$.

За нормами, що прийняті в Індії, дозволяється робота в шахті з температурою до $43^\circ C$ за сухим і $27^\circ C$ за вологим термометром, що відповідає значенню оксфордського індексу $WD = 29,45^\circ C$.

Існує ряд інтегральних показників мікроклімату, що названі «ефективними температурами», які враховують температуру, відносну вологість, швидкість руху повітря і визначаються графічно за номограмами.

Найбільш глибокі дослідження впливу тепла на організм гірничорятувальника при гасінні підземних пожеж виконані НВО «Респіратор» Мінпаливенерго України [55]. На відміну від існуючих інтегральних показників, заснованих на емпіричних залежностях, запропоновано комплексний інтегральний показник *Термоіндекс*, який розроблено на базі теплофізичних закономірностей, що характеризують тепловий вплив навколишнього середовища на організм людини. *Термоіндекс* описується наступною залежністю

$$TI = (\Phi_C + \Phi_R + \Phi_{EM}) / m^* \quad (3.1)$$

де Φ_C - потужність теплового потоку при теплообміні конвекцією, $Вт/м^2$;

Φ_R - потужність теплового потоку за рахунок теплообміну випромінюванням, $Вт/м^2$;

Φ_{EM} - потужність теплового потоку за рахунок випаровування або конденсації вологи на поверхні тіла людини, $Вт/м^2$;

m^* - Параметр перетворення, $Вт/м^2$.

Потужності теплових потоків, що входять у формулу (3.1), описані наступними формулами:

$$\Phi_C = h_C (t_K - t_C) / (1 + 0,155 h_C M), \quad (3.2)$$

$$h_C = 3,5 + 5,2\nu \text{ при } \nu < 1 \text{ м/с,}$$

$$h_C = 8,7\nu^{0,588} \text{ при } \nu \geq 1 \text{ м/с,}$$

$$\Phi_R = 4,23 \cdot 10^{-8} ((t_K + 273)^4 - (t_C + 273)^4) / (1 + 0,85M) \quad (3.3)$$

$$\Phi_{EM} = 11 \cdot 10^{-3} h_C (P_K - P_C) / (1 + 0,143 h_C M), \quad (3.4)$$

де h_C - коефіцієнт теплообміну конвекцією, $Вт/(м^2 \cdot K)$;

t_K - середньозважена температура шкіри людини, $^{\circ}\text{C}$;

M - коефіцієнт теплоізоляції одягу, КЛО ;

v - швидкість руху повітря, м/с ;

P_K - парціальний тиск водяної пари над поверхнею шкіри, Па ;

P_C - парціальний тиск водяної пари в повітрі, Па .

Термоіндекс в безрозмірних величинах (балах) характеризує, в принципі, тепловий потік, що віддається від 1 м^2 поверхні тіла людини в навколишнє середовище або підводиться до неї з навколишнього середовища.

Багато наукових досліджень присвячено створенню засобів захисту рятувальників від теплового впливу [108, 206, 207]. Світловідбиваючі поверхні спецодягу дозволяють суттєво знизити рівень інфрачервоного випромінювання що діє на людину, теплоізолюючі шари протитеплових засобів перешкоджають проникненню конвективних потоків енергії до організму, але скорочують зворотний потік енергії від тіла.

Зниження температури повітря у просторі між тілом та одягом забезпечують за допомогою холодоагентів, наприклад, водокрижаних елементів або систем циркуляції охолоджуючих рідин. На жаль, ресурс холоду в цих пристроях є доволі скороченим. Додавання об'єму холодоагентів веде до збільшення маси оснащення та обмеження працездатності рятувальників.

В той же час відсутня інформація про забезпечення комфортних умов шляхом управління термовологісним станом повітря в підодежному просторі протитеплових засобів. Це може бути перспективним напрямом підвищення ресурсів захисного спорядження та покращення умов діяльності рятувальників.

Термовологісний стан системи «шкіряний покрив тіла – захисний одяг» при веденні рятувальних робіт, в основному, залежить від таких показників, як теплозахисні характеристики спецодягу, показники вологості повітря над

поверхнею шкіри та спецодягу, умови конвективного теплопереносу між системою та оточуючим середовищем.

Віддача тепла організмом здійснюється випаровуванням води з поверхні шкіри (потові виділення) та із слизових оболонок дихальних шляхів. Навіть у стані комфорту без суттєвого потовиділення крізь шкіру щодобово випаровується до 0,5 л води. Шляхом випаровування з організму випаровується до 20% тепла, втрата одного літру поту дозволяє знизити температуру тіла на 10°C. Наприклад, зменшення маси шахтаря протягом напруженої робочої зміни у важких теплових умовах може досягати 5кг та більше, в основному у вигляді поту, при чому одночасне поповнення водного балансу за рахунок пиття складає кілька літрів. При температурі оточуючого середовища, яка рівна або перевищує температуру тіла людини, коли інші способи віддачі тепла різко зменшуються, випаровування води стає основним способом віддачі тепла, але при збільшенні відносної вологості повітря до 100% воно повністю припиняється.

Узагальнення дозволяє встановити що випаровування поту носить складний характер, воно визначається декількома чинниками. Для вибору оптимальних шляхів покращення умов роботи рятувальників слід провести аналіз дії кожного з них.

Найбільш типовим є випадок, коли спеціальний одяг пожежника є проникливим до водяної пари, тому охолодження організму відбувається шляхом виносу у зовнішній простір вологи, що просочується з піддежного простору (рис.3.1 а).

В наслідок аеродинамічного опору тканини частка пари залишається біля тіла сприяючи його нагріванню. Людина під впливом зовнішнього нагріву або внаслідок виконання м'язової роботи пітніє. З поверхні шкіри волога випаровується, якщо є умови для цього, в оточуючий простір внаслідок чого організм охолоджується. В іншому випадку волога залишається на тілі, а процес охолодження припиняється.

Якщо людина має одяг з гідрофільного матеріалу (рис.3.1 *а*), то з поверхні тіла пароподібна волога поступає до тканини та просочує її, після насичення волога частково випаровується в зовнішнє оточуюче середовище, що сприяє охолодженню тіла, частково випаровування іде у внутрішній простір між одягом і тілом, гальмуючи охолодження.

*а)**б)*

Рисунок 3.1 – Динаміка вологи, що виділяється із потом при використанні одягу:

а – з тканини, що прониклива до вологи; *б* – гідрофобна оболонка: 1- тіло; 2 – виділення поту на шкірі; 3 – потік вологи від тіла; 4 – конденсат на тканині; 5 – вологопрониклива тканина; 6 – потік вологи, що випаровується зовні; 7 – непрониклива оболонка; 8 - потік пари від конденсату, що випарувався

Важливу роль в процесі змочування та просочування вологи відіграють властивості тканини, такі як товщина і густина полотна, щільність розташування волокон, сорбційні показники матеріалу нитей та ін. Крім того суттєвими є термодинамічні показники повітря ззовні та під одягом. Так при щільному розташуванні волокон, коли відстань між сусідніми складає менше ніж довжина вільного пробігу молекул газу, міграція складових газових сумішей підкорюється законам теплової ефузії (закони Кнудсена), а не законам гідрравліки (закон Бернуллі). В такому випадку більш легка молекула

водяної пари (молекулярна вага - 18) проскакує крізь шар матеріалу від сторони з меншої до сторони з більшою температурою скоріше, ніж молекули основних складових повітря (кисень – 32, азот – 28). При цьому концентрація водяної пари у просторі між тілом та оджею суттєво знижується.

В разі конденсації або іншим способом змочування внутрішньої сторони тканини, домінуючу роль відіграють капілярні сили. Вони сприяють просочуванню вологи на зовнішню сторону, де відбувається друга стадія випаровування до зовнішнього оточуючого повітря. Це також сприяє охолодженню тіла.

При утворенні суцільної водяної плівки на тканині газообмін зупиняється, притік вологи від тіла збільшується, охолодження гальмується.

Значним недоліком конструкції, наведеної на рис.3.1а, є то, що інтенсивність процесів тепломасопереносу: випаровування, теплова ефузія, капілярний ефект - залежить від різниці температур, а не від абсолютних їх величин. Це означає що внаслідок високої теплопровідності шару тканини та малої швидкості випаровування зовнішня температура не може бути значно більшою ніж температура тіла.

Збільшення товщини шару тканини призводить до зменшення проникливості пари або води, тому настає варіант переносу вологи, що зображений на рисунку 3.1б. Уся рідина, що випаровується, залишається у просторі між тілом та одягом. Волога, в основному, накопичується на тілі та частково на одязі. Ефект охолодження за рахунок випаровування досить короткочасний, він проявляється тільки у початковий період роботи.

Динаміку теплових потоків, що утворені за рахунок випаровування поту, досить точно відображає рівняння (3.4). Розглянемо складові, що входять до нього. Було введено розрахунки, що дозволили відслідкувати деякі залежності.

Згідно фізичній суті коефіцієнт теплоізоляції одягу може змінюватись у діапазоні 0,5...6 КЛО. Коефіцієнт теплообміну конвекцією h_C залежить від

швидкості руху повітря, яка, в свою чергу, в умовах пожежі змінюється від 0 до 4, м/с та більше. Парціальний тиск водяної пари залежить від відносної вологості повітря, яка, будучи вираженою у процентах, є відношенням парціального тиску водяної пари, що містися у повітрі, до парціального тиску насиченої водяної пари:

$$w = (P_n / P_{nn}) 100\%. \quad (3.5)$$

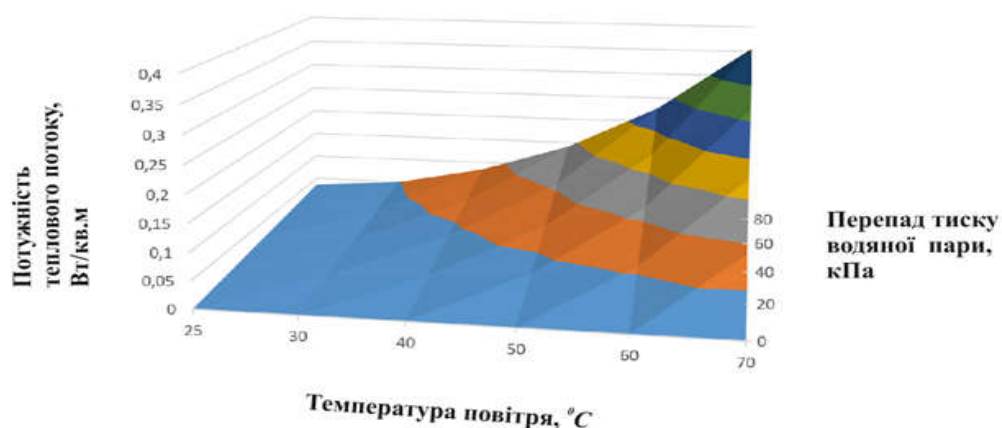
Безпосередньо над поверхнею шкіри відносна вологість становить 100% при різних температурах повітря. Тоді з виразу (3.5) можна розрахувати розмір парціального тиску пари при різних значеннях вологості та температури (табл.3.1).

Таблиця 3.1.

Парціальний тиск водяної пари в залежності від температури повітря

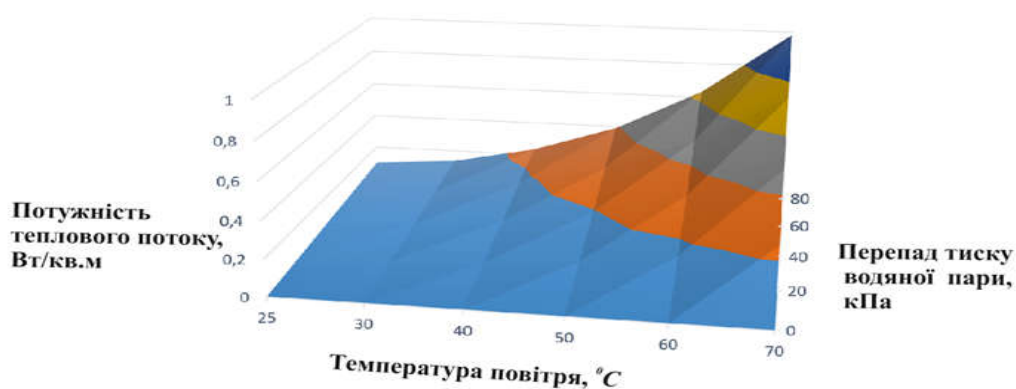
Температура повітря, °C	Парціальний тиск водяної пари (P , кПа) при відносній вологості повітря, w , %				
	P_k	P_c			
	100	80	60	40	20
25	3,17	2,54	1,9	1,27	0,63
30	4,27	3,41	2,56	1,7	0,85
40	7,37	5,9	4,42	2,95	1,47
50	12,3	9,84	7,38	4,92	2,46
60	19,9	15,92	11,94	7,96	3,98
70	31,0	24,8	18,8	12,4	6,2

Виходячи з означених діапазонів даних було проведено розрахунки величин теплового потоку Φ_{EM} від тіла рятувальника до оточуючого середовища [158]. На рис. 3.2 наведені результати розрахунків для граничних показників чинників, при фіксованих значеннях коефіцієнтів теплоізоляції одягу і теплообміну конвекцією.



При $h_c = 19,66$; $M = 5$

a



При $h_c = 4,02$; $M = 0,2$

б

Рисунок 3.2 – Потужність теплового потоку ($Вт/м^2$) від поверхні шкіри до спеціального одягу в залежності від температури повітря ($^{\circ}C$) та різності тиску водяної пари ($кПа$) понад шкірою та одягом, при коефіцієнтах теплообміну конвекцією h_c , $Вт/(м^2 \cdot K)$ та теплоізоляції одягу M , ($КЛО$) [158]

Аналіз наведених результатів розрахунку дозволив отримати наступні висновки. При постійних значеннях коефіцієнтів, основними чинниками, що визначають потужність теплового потоку Φ_{EM} , є температура повітря та перепад тиску водяної пари над шкірою та в оточуючому повітрі. Одночасне

збільшення температури та збільшення різниці парціальних тисків призводить до посилення відтоку енергії від тіла рятувальника.

Якщо використовувати види спеціального одягу, що мають різні рівні теплообміну, то зі збільшенням величини коефіцієнту M , втрата тепла з піддодежного простору зменшується (рис.3.3). При збільшенні M від 0,5 до 5 $КЛО$, величина теплових витрат скорочується в 2-3 рази. Тому з точки зору охолодження рятувальників за рахунок випаровування поту шляхом суттєвого посилення теплоізоляції одягу недоцільно.

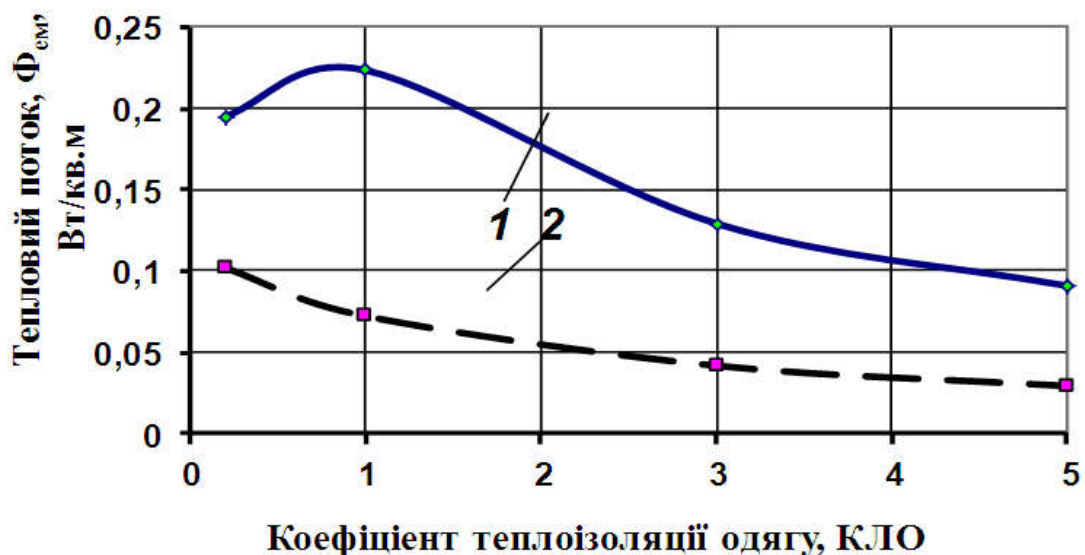


Рисунок 3.3 – Залежність теплового потоку від теплоізоляції одягу при відносній вологості $w=60$, %, температурі 60°C і коефіцієнті теплообміну конвекцією $h_c, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$: 1 - 4,02; 2 – 13,5

Цей висновок підтверджено іншим видом аналізу. Проведено оцінку впливу показників конвективного теплообміну на втрату тепла рятувальником (рис.3.4). Незважаючи на збільшення коефіцієнту теплообміну від 4 до 16 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$, тільки одяг з малим показником теплоізоляції (0,2 $КЛО$) забезпечує підвищення виносу енергії в три рази. Збільшення показника M до одного не призводить до суттєвого охолодження випаровуванням, а при рівні 8 $КЛО$ і

більше, ефект охолодження майже нульовий. В той же час спеціальний одяг з низькими показниками теплоізоляції не забезпечує захист від дії високих температур повітря та випромінювань. В цьому є суперечка між необхідністю забезпечення відводу теплої вологі в оточуюче середовище, з одного боку, а з іншого не допускати ззовні теплових потоків від джерела горіння.

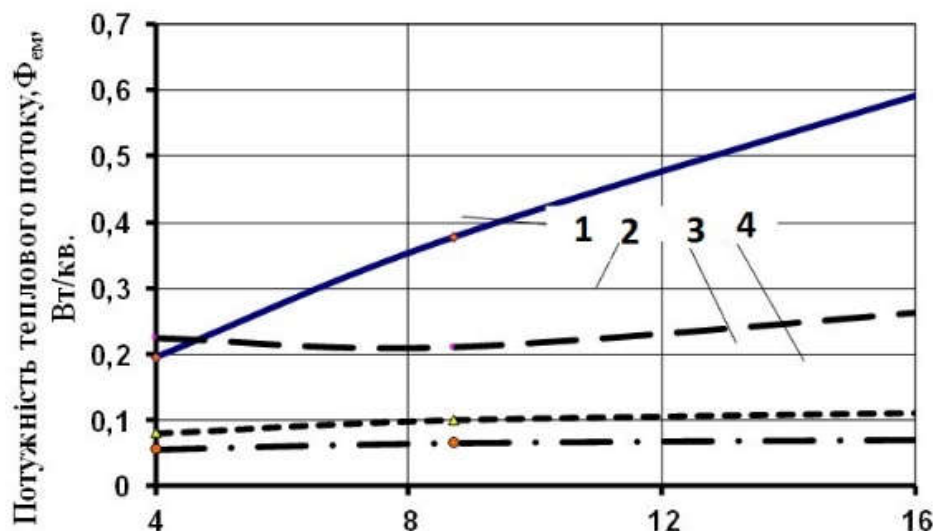


Рисунок 3.4 – Залежність теплового потоку від конвективного теплообміну при відносній вологості $w=60\%$, температурі 50°C і коефіцієнтах теплоізоляції одягу, M, KLO : 1 – 0,2; 2 – 1; 3 – 3; ; 4 – 5

Суттєвий інтерес представляє розгляд впливу такого показника, як різниця парціальних тисків водяної пари, що безпосередньо пов'язано з відносною вологістю повітря в піддежному просторі, на величину потужності теплового потоку від поверхні шкіри рятувальника (рис.3.5).

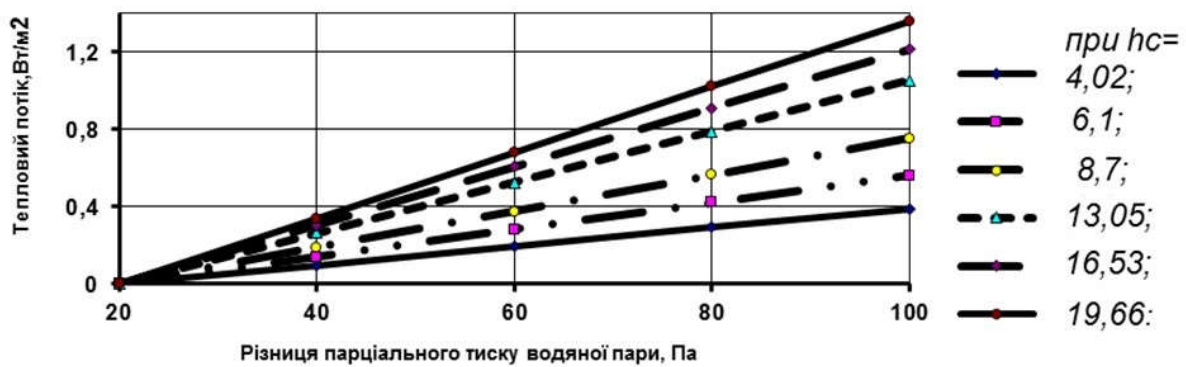


Рисунок 3.5 – Вплив параметрів пароповітряної суміші ($P_K - P_C$) на тепловий потік створений випаровуванням поту при температурі 50°C

Відстежується чітка лінійна залежність від показників парціального тиску. Чим більший перепад між тиском над поверхнею шкіри та оточуючим повітрям, тим відбувається більший винос тепла з організму. Важливим чинником є показник, що характеризує конвективний теплообмін. Чим більшу величину має коефіцієнт h_c , тим інтенсивніша втрата тепла з організму.

Останні данні вказують на один з можливих шляхів забезпечення комфортних умов роботи рятувальників в складних теплових умовах. Якщо штучно забезпечити перепад парціальних тисків, або, що еквівалентно, відносної вологості, тоді можна використовувати спеціальний одяг з посиленою теплоізоляцією, здібний витримувати вплив ззовні високих температур і випромінювань.

Відомі конструкції протитеплогового одягу, в яких захист від перегріву тіла здійснюють за рахунок холоду накопиченого в водокрижаних елементах (рис.3.6a).

а)

б)

Рис.3.6. Вплив на динаміку вологи додаткових елементів конструкції протитеплого одягу: а – з охолоджуючими елементами; б – з поглинаючими вологу вставками: 1-8 означення як на рис.1; 9 - охолоджуючий елемент; 10 – вставка до поглинання вологи

При роботі в такому одязі волога, що випаровується, залишається в підкостюмному просторі, але знижена температура елементів, а також на оточуючих поверхнях, сприяє конденсації і зниженню концентрації водяної пари у повітрі. Після таїння льоду та нагріву води в елементах, конденсована вологі знову випаровується, а парціальний тиск водяної пари збільшується. В цей період ефективність охолодження за рахунок випаровування поту з поверхні шкіри людини різко погіршується.

Прогресивною може бути конструкція протитеплого одягу в якому відбувається поглинання вологи шляхом її сорбції (рис.3.6б). В такому варіанті продукти випаровування поглинаються сорбуючим матеріалом, волога переходить в якісно новий стан, з якого зворотний перехід практично неможливий. Тривалість ефективної дії такої конструкції визначається сумарною сорбційною ємністю поглинаючих вставок. Інтерес викликає можливість заміни використаних вставок на свіжі в ході ведення аварійно-

рятувальних робіт, це дозволяє зменшити вагу і габарити протитеплогового одягу з одночасним збільшенням терміну її захисної дії.

3.1.2. Експериментальні дослідження

Для перевірки впливу додаткових вологопоглинаючих елементів конструкції теплозахисного одягу на стан організму рятувальника було проведено експериментальні дослідження. Волонтери виконували фізичні навантаження, а саме біг на дистанцію 2,9 км в бойовому одязі (рис.3.7). Фізичні вправи виконувалися в бойовому одязі із використанням додаткового елементу спецодягу – вологопоглинаючої жилетки, що одягнена безпосередньо на тіло, та без використання вологопоглинаючої жилетки. Вологопоглинаючі жилетки мали наповнювач з розпушеної целюлози та поглинаючого суперабсорбуючого полімеру (SAP) та зважувалися за допомогою вагів до проведення випробувань та після (рис. 3.8).

Метеорологічні умови під час проведення випробувань були наступними: температура оточуючого середовища складала 18°C, відносна вологість - 51%, атмосферний тиск – 750 мм.рт.ст.

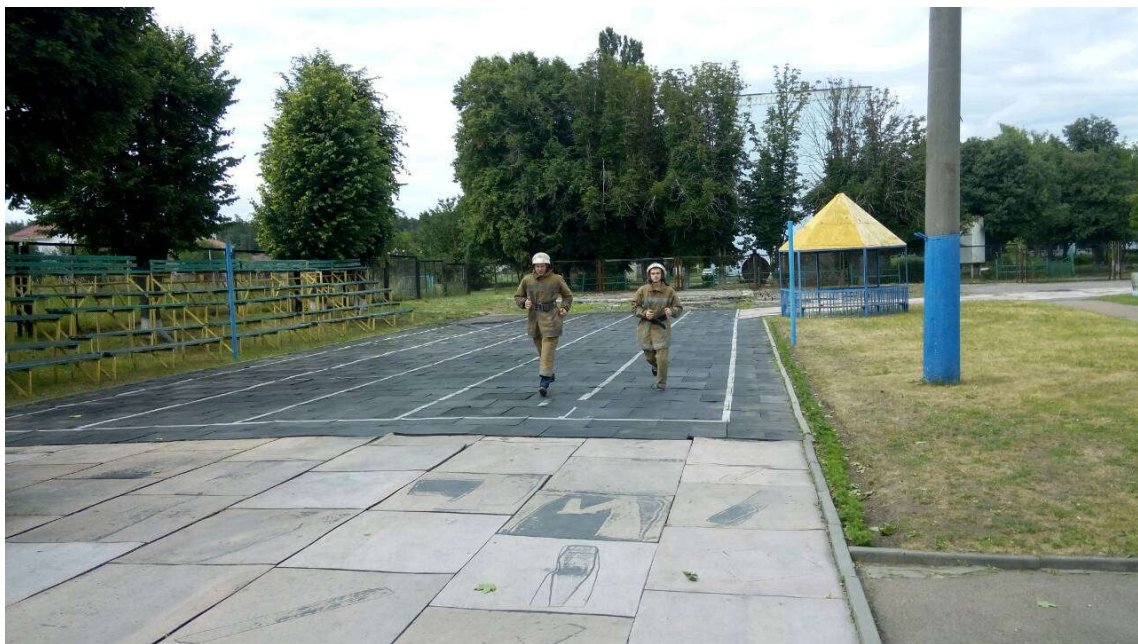


Рисунок 3.7 – Виконання фізичних вправ в бойовому одязі



Рисунок 3.8 – Зважування вологопоглинаючої жилетки після проведення випробувань.

Результати експериментальних досліджень показників стану організму волонтерів до і після фізичних навантажень, що контролювалися медичними працівниками (рис.3.9), із використанням вологопоглинаючої жилетки та без використання вологопоглинаючої жилетки зведені в таблиці 3.2 і 3.3 відповідно.



Рисунок 3.9 – Реєстрація показників стану організму волонтерів до і після фізичних навантажень

Таблиця 3.2.

Результати експериментальних досліджень показників стану організму
рятувальників до і після фізичних навантажень із використанням
вологопоглинаючої жилетки

Вимірювані показники до та після фізичного навантаження	Волонтер					
	1		2		3	
	до	після	до	після	до	після
Зріст, <i>м</i>	1,83		1,77		1,90	
Вага, <i>кг</i>	77		65		80	
Тривалість випробувань, <i>хв</i>	16		16		15,5	
Швидкість, <i>км/год</i>	10,9		10,9		11,2	
Температура тіла, °C	36,5	36,8	36,8	38	36,4	36,8
Артеріальний тиск, <i>мм.рт.ст.</i>	120/70	130/80	110/70	125/80	115/80	140/80
Частота серцевих скорочень, <i>хв⁻¹</i>	72	76	84	100	72	108
Частота дихання, <i>хв⁻¹</i>	12	16	15	19	14	16
Вага вологопогли- наючої жилетки, <i>кг</i>	0,155	0,220	0,150	0,228	0,152	0,199

Результати експериментальних досліджень не в повному обсязі підтвердили очікувані сподівання через недостатню кількість суперабсорбуючого полімеру (SAP) у пакеті матеріалу, з якого виготовлені вологопоглинаючі жилетки. Використання додаткового елемента захисного одягу супроводжувалось гіпертермією також через те, що зовнішня оболонка жилетки була виконана з матеріалу, що не пропускає повітря. Збільшення кількості SAP і заміна зовнішньої оболонки на таку, що пропускає повітря, покращить стан піддодежного простору під час аварійно-рятувальних робіт.

Таблиця 3.3.

Результати експериментальних досліджень показників стану організму
рятувальників до і після фізичних навантажень без використання
вологопоглинаючої жилетки

Вимірювані показники до та після фізичного навантаження	Волонтер					
	4		5		6	
	до	після	до	після	до	після
Зріст, <i>м</i>	1,71		1,73		1,72	
Вага, <i>кг</i>	74		61		64	
Тривалість випробувань, <i>хв</i>	15,5		16		16	
Швидкість, <i>км/год</i>	11,2		10,9		10,9	
Температура тіла, <i>°C</i>	36,3	37,5	36,4	37,3	36,4	37,1
Артеріальний тиск, <i>мм.рт.ст.</i>	120/80	140/70	110/70	140/75	110/70	130/80
Частота серцевих скорочень, <i>хв⁻¹</i>	68	110	74	108	70	74
Частота дихання, <i>хв⁻¹</i>	14	18	14	18	13	16

3.2 Дослідження процесу тепломасоперенесення в теплозахисних оболонках костюмів

Проаналізуємо процеси тепломасоперенесення в тришаровій оболонці костюма-комбінезона: 1 – зовнішній шар; 2 – повітряний прошарок; 3 – внутрішній шар.[145, 151] Оболонка схильна до теплового впливу з боку довкілля (ззовні), тіла людини (зсередини) і хімічного – із навколишнього

середовища. У повітряному прошарку підкостюмного простору розташовані джерела поглинання теплоти.

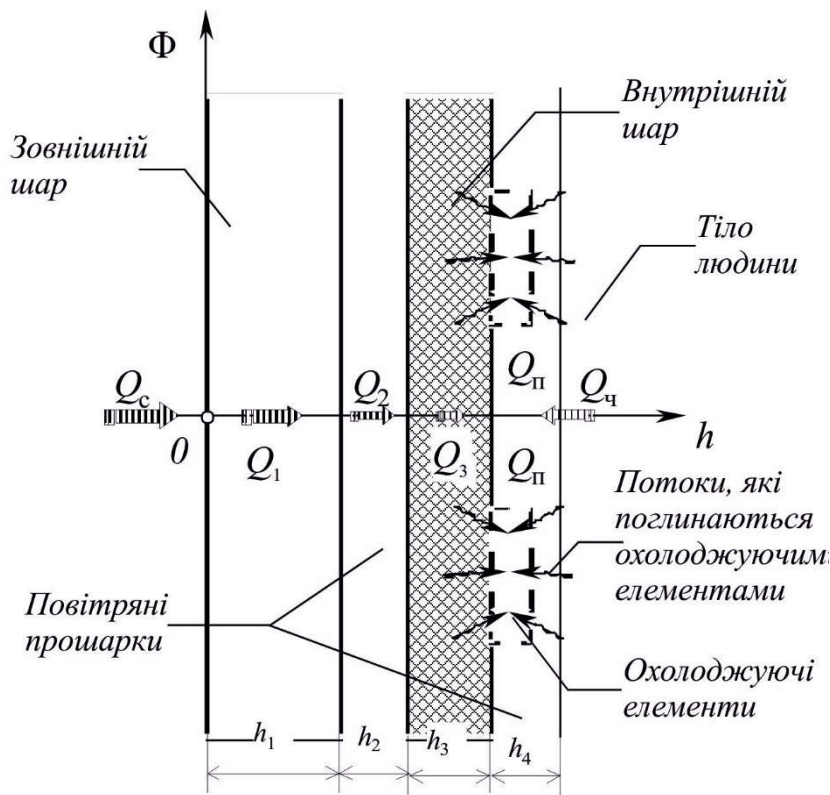


Рисунок 3.10 – Розрахункова схема оболонки костюма

Для побудови математичної моделі процесів перенесення субстанції (тепла або хімічної речовини) в оболонці костюма взято просторову координату h , м, яка відлічується від зовнішньої поверхні костюма по нормалі всередину оболонки (рис. 3.10). Формулюємо припущення, що вздовж поверхні будь-якого шару оболонки (у напрямках, перпендикулярних до Oh) субстанція розподілена рівномірно, тобто градієнт субстанції за площею шарів оболонки у межах досліджуваного фрагмента костюма мізерно малий порівняно з градієнтом всередину оболонки, завдання розглядається в одновимірній постановці. Поточний час рахуємо з моменту потрапляння людини в захисному костюмі в середовище з підвищеним вмістом субстанції. Динаміка розподілу субстанції по товщині захисної оболонки описана диференціальним рівнянням [33]:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \tau} = \varphi^2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial h^2}, \quad (3.5)$$

де $\Phi = \Phi(h, \tau)$ – фізична змінна, що характеризує температуру, T , K , спричинену тепловим потоком Q_C , Bm , або концентрацію C , kg/m^3 , хімічних речовин – потоком їхньої маси, kg/c ;

$\varphi^2 = \varphi^2(h)$ – коефіцієнт дифузійної провідності матеріалу оболонки: температуропровідності α^2 або дифузії, D_1^2 , m^2/c .

Припускаємо, що в зовнішньому середовищі концентрація постійна:

$$\Phi|_{h=0} = \Phi_c = \text{const} \quad (3.5)$$

Далі передбачено, що в початковий момент часу концентрація в оболонці Φ_0 – мінімальна й однакова у всіх шарах, а саме:

$$\Phi|_{\tau=0} = \Phi_0 = \text{const} \quad (3.7)$$

Проникнення субстанції із зовнішнього середовища в оболонку і з оболонки в підкостюмний простір (ПП) моделюємо, відповідно до закону Ньютона, граничними умовами третього роду:

$$\sigma_c (\Phi_c - \Phi_1|_{h=0}) = -\varphi_1^2 \frac{\partial \Phi_1}{\partial h} \Big|_{h=0}; -\varphi_3^2 \frac{\partial \Phi_3}{\partial h} \Big|_{h=\Delta} = \sigma_\pi (\Phi_3|_{h=\Delta} - \Phi_\pi), \quad (3.8)$$

де нижній індекс $i = 1, 3$ указує на значення змінної в межах i -го шару;

$\Delta = \sum_{i=1}^3 h_i$ – сумарна товщина шарів оболонки, m ;

h_i – товщина i -го шару або прошарку, m ;

σ_c і σ_π – коефіцієнти обміну субстанцією між середовищем та оболонкою і між оболонкою і ПП, m/c .

Припускаємо, що обмін субстанцією на межі повітряного прошарку (рис. 3.10) відбувається за законом Фур'є, що відповідає граничним умовам четвертого роду:

$$\Phi_i|_{h=\delta_i} = \Phi_{i+1}|_{h=\delta_i}; \quad \varphi_i^2 \frac{\partial \Phi_i}{\partial h} \bigg|_{h=\delta_i} = \varphi_{i+1}^2 \frac{\partial \Phi_{i+1}}{\partial h} \bigg|_{h=\delta_i}, \quad (3.9)$$

де нижній індекс $i=1,2$ указує на значення змінної в межах i -го шару або прошарку $\delta_1 = h_1$; $\delta_2 = h_1 + h_2$.

Кількість субстанції, що проникла в ПП, може бути визначена на основі рівняння її балансу:

$$Q_{\Pi} = Q_c + Q_{\text{ш}} + Q_{\text{ч}} + Q_{\text{и}}, \quad (3.10)$$

де Q – потік субстанції: тепловий потік, Bm , або масова витрата шкідливої речовини, $кг/с$; індекси вказують відповідно на потік субстанції в ПП: «п» – акумульованої в поточний момент; «с» – проникла із зовнішнього середовища через оболонку; «ш» – проникла із зовнішнього середовища через шви та інші негерметичні вузли костюма; «ч» – від тіла людини; «и» – поглинається або виділяється ОЕ. Надалі передбачено, що величини $Q_{\text{ш}}$ і $Q_{\text{ч}}$ – відомі константи.

Процес перенесення тепла (3.10) представимо у вигляді формули:

$$\rho c_p V_{\Pi} \frac{dT_{\Pi}}{d\tau} = \alpha_{\Pi} S_{\Pi} (T_{\Delta} - T_{\Pi}) + Q_{\Phi} - \alpha_{\text{э}} S_{\text{э}} (T_{\Pi} - T_{\text{э}}), \quad (3.11)$$

де ρ – густина середовища ПП, $кг/м^3$;

c_p – питома теплоємність середовища ПП, $Дж/(кг \cdot K)$;

V_{Π} – об'єм ПП, $м^3$;

T_{Π} – температура в ПП, K ;

α_{Π} – сумарний коефіцієнт конвективного й променевого теплообміну між внутрішньою поверхнею оболонки і ПП, $Вт/(м^2 \cdot K)$;

S_{Π} – площа внутрішньої поверхні оболонки, m^2 ;
 $T_{\Delta} = T_3|_{h=\Delta}$ – температура внутрішньої поверхні оболонки, K ;
 $Q_{\Phi} = Q_{\text{ч}} + Q_{\text{ш}}$ – сумарні теплові потоки від тіла людини, через шви і негерметичні вузли із зовнішнього середовища (фонові потоки), Wm ;
 $\alpha_{\text{с}}$ – сумарний коефіцієнт конвективного й променевого теплообміну між поверхнею оболонки охолоджувальних елементів і ПП, $Wm/(m^2 \cdot K)$;
 $S_{\text{с}}$ – сумарна площа поверхні охолоджувальних елементів, m^2 ;
 $T_{\text{с}}$ – температура охолоджувальних елементів, K .
 Зі свого боку баланс маси шкідливої речовини опишемо за допомогою рівняння:

$$V_{\Pi} \frac{\partial C_{\Pi}}{\partial \tau} = \sigma_{\Pi} S_{\Pi} (C_{\Delta} - C_{\Pi}), \quad (3.12)$$

де $C_{\Delta} = C|_{h=\Delta}$ – концентрація шкідливої речовини на внутрішній поверхні оболонки.

Якщо обидві частини рівняння (3.10) розділити на $(\rho \cdot c_p \cdot V_{\Pi})$, а рівняння (3.8) – на V_{Π} , то загалом їх можна записати одним рівнянням відповідно до загальноприйнятих позначень:

$$\frac{\partial \Phi_{\Pi}}{\partial \tau} = \frac{\sigma_{\Pi}}{\delta_{\Pi}} (\Phi_{\Delta} - \Phi_{\Pi}) + q_{\Phi} + \frac{\sigma_{\text{с}}}{\delta_{\text{с}}} (\Phi_{\Pi} - \Phi_{\text{с}}), \quad (3.13)$$

де для процесу теплоперенесення: $\sigma_{\Pi} = (\alpha_{\Pi} S_{\Pi}) / (\rho c_p)$ і
 $\sigma_{\text{с}} = (\alpha_{\text{с}} S_{\text{с}}) / (\rho c_p)$ – відносні величини коефіцієнтів теплообміну;
 $q_{\Phi} = Q_{\Phi} / (\rho c_p V_{\Pi})$ – відносна величина фонові потужності теплового потоку;

$\delta_{\Pi} = V_{\Pi} / S_{\Pi}$ и $\delta_{\Xi} = V_{\Xi} / S_{\Xi}$ - умовна товщина ПП і охолоджувальних елементів, м;

$\Phi_{\Delta} = \Phi|_{h=\Delta}$ – концентрація субстанції на внутрішній поверхні оболонки.

Отже, за динамікою концентрації субстанції на внутрішній поверхні оболонки за допомогою (3.12) є можливість прогнозувати її зміст в ПП, а значить і пропускну здатність оболонки. Величину C_{Δ} (або T_{Δ}) визначимо з розв'язку рівняння (3.5) з граничними умовами (3.6–3.9).

Із рішення рівняння (3.13) випливає, що на кожному часовому проміжку концентрація в ПП відповідно до концентрації на внутрішній поверхні оболонки оформлена так:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{1}{\sigma_{\Pi\Xi}} \Phi_{\Pi} - \left(\frac{1}{\sigma_{\Pi\Xi}} \Phi_{\Pi} - \Phi_0 \right) \cdot e^{-\sigma_{\Pi\Xi} \cdot \tau}, \quad (3.14)$$

$$\text{де позначено } \sigma_{\Pi\Xi} = \frac{\sigma_{\Pi}}{\delta_{\Pi}} - \frac{\sigma_{\Xi}}{\delta_{\Xi}}: \Phi_{\Pi} = \frac{\sigma_{\Pi}}{\delta_{\Pi}} \Phi_{\Delta} - \frac{\sigma_{\Xi}}{\delta_{\Xi}} \Phi_{\Xi} + q_{\Phi}, \quad (3.15)$$

У такому випадку концентрація шкідливої речовини в ПП може досягти показників, що дорівнюють половині концентрації в зовнішньому середовищі

через 1 год, помітна тенденція прагнення поверхні поля концентрації оболонки до площини, тобто до стаціонарного розподілу концентрації вже через 2 год.

Для дослідження поля концентрації загалом рішення задачі представимо в безрозмірних змінних

$$\theta_i = \frac{\Phi - \Phi_0}{\Phi_c - \Phi_0} \quad \eta = \frac{h}{\Delta} \quad Fo = \frac{\varphi_1^2 \cdot \tau}{\Delta^2} \quad Bi = \frac{\sigma_c \cdot \Delta}{\varphi_1^2}, \quad (3.16)$$

у такий спосіб:

$$\theta_i = -\beta_i \left[1 - \psi \left(\frac{\eta}{2 \cdot \xi_i \cdot \sqrt{Fo}} \right) \right], \quad (3.17)$$

$$\text{де} \quad b_i = -\frac{Bi \cdot \sqrt{\pi \cdot Fo}}{1 + Bi \cdot \sqrt{\pi \cdot Fo}} \quad \beta_i = \beta_{i-1} \frac{1 - \psi \left(\frac{\eta_{i-1}}{2 \cdot \xi_{i-1} \cdot \sqrt{Fo}} \right)}{1 - \psi \left(\frac{\eta_i}{2 \cdot \xi_i \cdot \sqrt{Fo}} \right)}, \quad i=2,3; \quad (3.18)$$

$$\eta_{i-1} = \delta_{i-1} / \Delta, \quad i=2,3: \quad \xi_1 = 1: \quad \xi_2 = \varphi_2 / \varphi_1: \quad \xi_3 = \varphi_3 / \varphi_1.$$

Унаслідок моделювання поля концентрації різних хімічних речовин в оболонці захисного костюма відповідно до (3.17) визначили необхідну провідність її шарів при заданій концентрації в зовнішньому середовищі залежно від необхідного періоду захисної дії й допустимої концентрації в підкостюмному просторі. Зроблено висновок, що в разі утримання хлорбензолу в зовнішньому середовищі $C_c = 17.0$, $г/м^3$ і допустимої концентрації 0.05 , $г/м^3$ для забезпечення захисту людини в костюмі протягом 180 хв, при товщині шарів, що зазначені в попередньому прикладі, провідність зовнішнього шару повинна бути величиною порядку $D_1 = 10^{-11}$, $мм^2/с$ ($Bi = 0.06$; $Fo = 0.14$), динаміка концентрації в оболонці костюма в цьому випадку наведена на рис. 3.18, де нижня крива відповідає моменту часу 20 хв, наступна – 100 хв, верхня – 200 хв; проміжні криві розраховані й побудовані з інтервалом 20 хв.

Отже, на відміну від раніше отриманих результатів досліджень, представлена математична модель дає змогу прогнозувати динаміку як температури, так і концентрації хімічних речовин не через одношарову оболонку, а в будь-якому її шарі.

Розроблена математична модель та отримані результати використані для проектування костюма з відомою провідністю й товщиною оболонки, а також для розв'язання оберненої задачі – визначення фізико-хімічних і геометричних параметрів шарів і прошарків оболонки, за яких забезпечено необхідний захист.

3.2.1 Моделювання динаміки температури в підкостюмному просторі

Для дослідження динаміки температури в ПП з урахуванням отриманих вище результатів знову звернемося до рівняння (3.11).

Отже, відповідно до (3.11), кількість тепла, Bt , акумульованого в ПП (ліва частина рівняння), тотожна алгебраїчній сумі теплового потоку, що проникнув у ПП ззовні $Q_c = \alpha_{\pi} \cdot S_{\pi} \cdot (T_{\Delta} - T_{\pi})$; теплового потоку, що поглинається ОЕ $Q_o = \alpha_o \cdot S_o \cdot (T_{\pi} - T_o)$, і фонового теплового потоку Q_{ϕ} . Звідси випливає, що динаміка температури в ПП залежить як від співвідношення інтенсивностей теплообміну $\bar{\alpha}_o = \alpha_o / \alpha_{\pi}$ (між ОЕ і ПП, оболонкою і ПП), так і від співвідношення $\bar{S}_o = S_o / S_{\pi}$ між сумарною площею всіх ОЕ, розташованих у ПП, і площею внутрішньої поверхні оболонки. Для визначення характеру цієї залежності перейдемо до пошуку рішення (3.11), у якому, на відміну від (3.10), будуть фігурувати безрозмірні комплекси, що їх позначимо: $\alpha = \bar{\alpha}_o$ і $s = \bar{S}_o$. Розділимо обидві частини (3.11) на питомий тепловий потік ззовні $q_{\pi} = \alpha_{\pi} \cdot S_{\pi}$, Вт/К. У результаті отримаємо

$$\tau_{\Delta} \frac{\partial T_{\Pi}}{\partial \tau} = (T_{\Delta} - T_{\Pi}) - \alpha \cdot s \cdot (T_{\Pi} - T_{\text{э}}) + \Delta T_{\Phi}, \quad (3.19)$$

де $\tau_{\Delta} = \frac{\rho \cdot c_p \cdot V_{\Pi}}{\alpha_{\Pi} \cdot S_{\Pi}}$ – час, протягом якого в ПП акумулюється тепло, що проникло ззовні, s ;

$$\Delta T_{\Phi} = \frac{Q_{\Phi}}{\alpha_{\Pi} \cdot S_{\Pi}}, \quad (3.20)$$

де ΔT_{Φ} – приріст температури в ПП за рахунок фонового теплового потоку струму, K .

Уведемо безрозмірні змінні: відносний час і відповідно відносну температуру:

$$\bar{\tau} = \frac{\tau}{\tau_{\Delta}}, \quad t = (T_0 - T_{\text{э}}) / (T_{\Delta} - T_{\text{э}}). \quad (3.21)$$

Урахувавши ці змінні, представимо результат у вигляді

$$\frac{dt_{\Pi}}{d\bar{\tau}} + (1 + \alpha \cdot s) \cdot t_{\Pi} = 1 + \Delta t_{\Phi}.$$

Розв'язок цього рівняння оформляємо так:

$$t_{\Pi} = e^{-\int (1+\alpha \cdot s) d\bar{\tau}} \left[\int (1 + \Delta t_{\Phi}) \cdot e^{-\int (1+\alpha \cdot s) d\bar{\tau}} d\bar{\tau} + \text{const} \right]. \quad (3.22)$$

де $t_0 = (T_0 - T_{\text{э}}) / (T_{\Delta} - T_{\text{э}})$ – відносне значення початкової температури в ПП.

Граничний (усталений) розподіл температури в ПП після закінчення тривалого проміжку часу ($\bar{\tau} \rightarrow \infty$)

$$t_{\Pi\infty} = \frac{1 + \Delta t_{\Phi}}{1 + \alpha s}. \quad (3.23)$$

залежить від фонового теплового потоку та співвідношення площ S ОЕ і ПП. Попередні розрахунки часу τ_0 за довідковими даними про щільність і теплоємність води та з орієнтовним значенням коефіцієнта теплообміну $\alpha_n \approx 2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, площі внутрішньої поверхні оболонки костюма $S_n \approx 4 \text{ м}^2$, об'єму ПП $V_n \approx 0,04 \text{ м}^3$ засвідчують, що це величина порядку 6–7 с. З іншого боку, відповідно до (3.23), $t_n \approx t_{n\infty}$ уже при $\bar{\tau} > 5$, тому залежність температури ПП від співвідношень $\alpha = \bar{\alpha}$, точно можна досліджувати на підставі (3.23). Відзначимо, що під час виконання робіт середньої тяжкості мінімальні енерговитрати людини становлять близько 280 Вт . Тоді $1 + \Delta t_\phi \approx 1,1$.

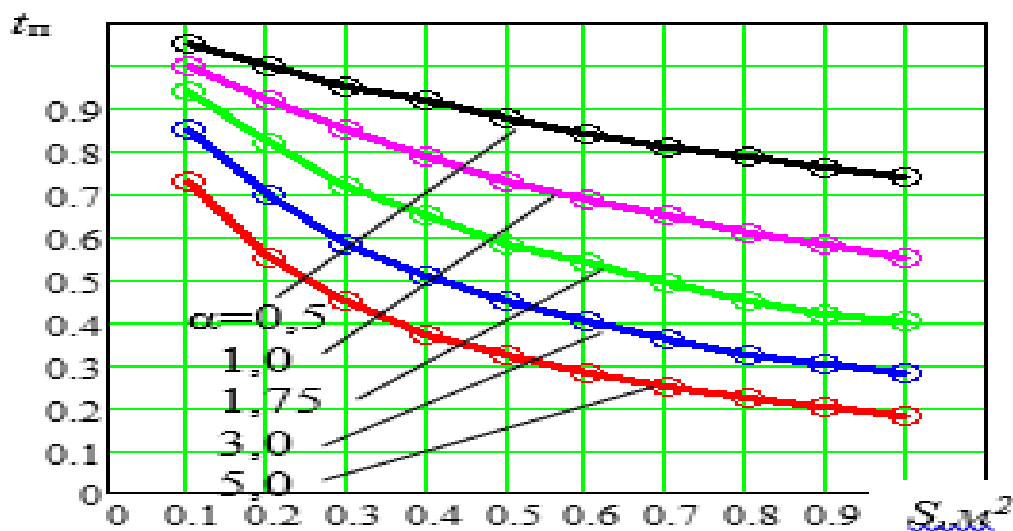


Рисунок 3.12 – Залежність температури в підкостюмному просторі від сумарної площі охолоджуючих елементів та інтенсивності теплообміну

Залежність температури в ПП, яка отримана на підставі (3.24) із заданими значеннями вхідних величин, демонструє графік на рис. 3.12. Це засвідчує, що є можливість за фактичною площею поверхні всіх ОЕ та інтенсивністю теплообміну між зовнішнім середовищем, ПП, ОЕ і тілом

людини визначати граничну температуру в ПП. Крім того, використовуючи (3.22), можна розв'язати зворотну задачу: якою має бути ця площа (а значить і маса теплоносія) у правій частині рівняння, щоб температура в ПП не перевищувала температури внутрішньої поверхні оболонки на задану величину в лівій частині рівняння.

Отримані результати використано для досягнення основної мети досліджень – моделювання динаміки температури в ПП з урахуванням зміни провідності шарів оболонки по її товщині й нестационарного функціонування джерел поглинання тепла, розташованих у ПП. У разі моделювання процесу проникнення тепла в ПП методика моделювання передбачає такі кроки: за отриманими аналітичними виразами температури оболонки (3.17) і ОЕ потрібно обчислити її значення в усіх шарах оболонки і по товщині ОЕ через однакові проміжки часу, а потім отримані результати використати для розрахунку температури в ПП (3.22) від температури внутрішньої поверхні оболонки і поверхні ОЕ; далі, на наступному часовому кроці, отриманий показник температурного поля використати як початковий і повторити розрахунки.

Результати моделювання динаміки температури в шарах оболонки по радіусу ОЕ і в ПП представлені на рис. 3.13–3.14.

Крок розрахунків за часом вибирали з умови збіжності результатів дискретного розрахунку. На відрізках просторових змінних шириною 0,5 мм і за мінімального числа Фур'є по шарах оболонки 0,167 для збіжності рішення був потрібний крок за часом 1,1 с.

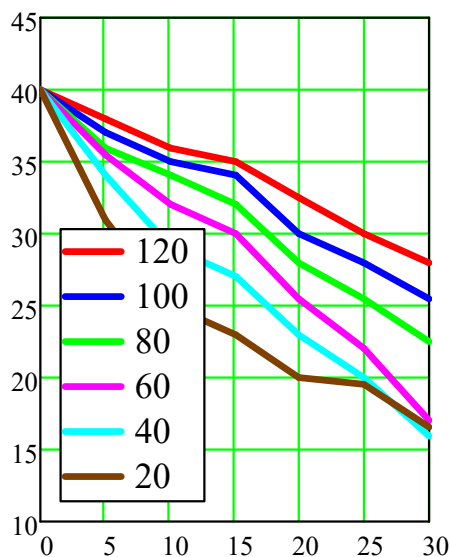


Рисунок 3.13 - Динаміка температури в шарах оболонки костюма

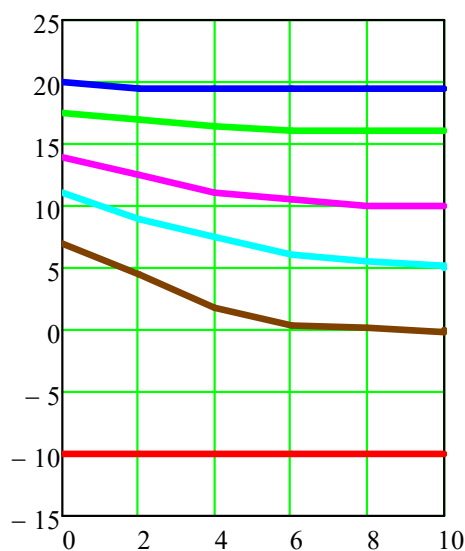


Рисунок 3.14 - Динаміка температури охолоджуючих елементів у підкостюмному просторі

Як видно з рис. 3.13 і 3.14, практично до закінчення періоду плавлення речовини (близько 60 хв) температура в ПП не перевищувала стандартної величини і навіть знижувалася на 5°C . Із початком періоду нагрівання води одночасно підвищувалася температура в ПП і до закінчення двогодинного використання захисного костюма досягла допустимого рівня близько 30°C (рис. 3.15).

Водночас температура зовнішнього шару оболонки костюма досягає значення температури навколишнього середовища вже протягом перших 5 хв.

Отже, результати проведених теоретичних досліджень дають змогу спрогнозувати температурні умови в ПП теплозахисного і теплозахисного костюмів, ураховуючи задані теплофізичні властивості їхніх оболонок і площі (маси) ОЕ протягом заданого допустимого часу роботи рятувальників.

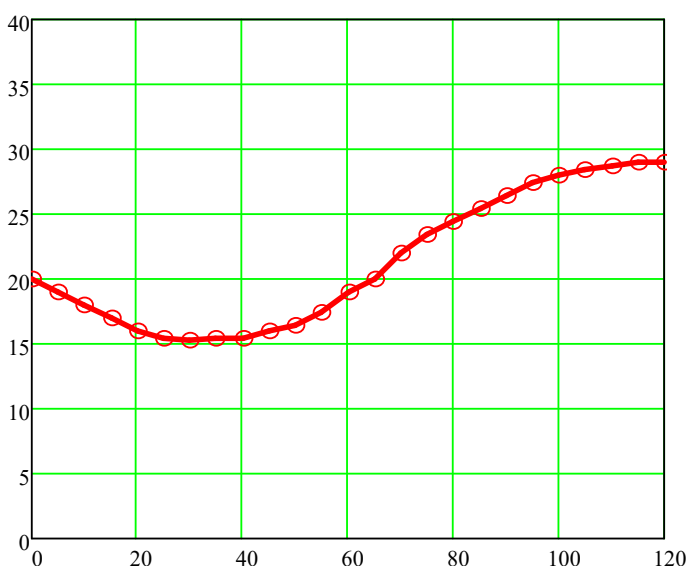


Рисунок 3.15 - Динаміка температури у внутрішньокостюмному просторі

Застосування представлених розрахункових формул також уможливорює дослідження впливу зміни конструкції оболонки (числа, геометричних і теплофізичних параметрів шарів і прошарків) на динаміку температури біля поверхні тіла людини.

Отже, розроблена математична модель нестационарних процесів тепломасоперенесення в системі «навколишнє середовище – теплозахисний костюм – людина – фізичне навантаження», яка вперше репрезентує розрахункову схему костюма у вигляді багат шарової оболонки, що складається з різних матеріалів і повітряних прошарків, їхньої товщини, має

водяну систему охолодження, ураховує одночасний вплив шкідливих речовин і температури довкілля, теплофізичні характеристики шарів і геометричні параметри оболонки, фазове перетворення теплоносія і подальший його теплообмін, енерговитрати людини і співвідношення площі, яку охоплюють системи відведення тепла, та площі підкостюмного простору. Це дає змогу використовувати раціональні параметри теплозахисного костюму.

3.2.2. Теплообмінні процеси в системі «навколишнє середовище – система охолодження – організм людини»

В умовах підвищених температур найбільш доцільним із погляду мінімальної маси і більшого часу захисної дії, порівняно зі спецодягом, є застосування теплостійкого жилета із системою охолодження, що заснована на використанні охолоджуючих елементів, розташованих на внутрішній поверхні оболонки жилета в ґратчастих пластмасових кишенях.

Результати розрахунку теплового балансу в протитепловій куртці в цьому випадку не можуть бути використані для протитеплого жилета, оскільки в ньому охолоджується тільки тулуб людини. Тому для досліджень теплообміну в системі «навколишнє середовище – система охолодження – людина» необхідно знати площі поверхонь окремих частин тіла (S_i), які визначимо за даними антропометричних вимірювань у вигляді відносних величин (δ_i), що зазначено в табл. 3.5.

Під час розрахунку за вихідну величину взято загальну площу поверхні тіла, що дорівнює $1,8 \text{ м}^2$ для середньостатистичної людини чоловічої статі. Відповідно до цих даних, частка поверхні тіла, що включає голову, руки і ноги, становить 60 % або $\delta_1 = 0,6$ при площі $S_1 = 1,08 \text{ м}^2$, а для тулуба 40 %, $\delta_2 = 0,4$, $S_2 = 0,72 \text{ м}^2$.

Для дослідження теплообміну сумарної частини тіла, що охоплює

голову, руки і ноги, складемо рівняння теплового балансу, у якому індекс «1» означає, що відповідні величини теплових потоків Q_1 , $Вт$, стосуються саме цієї сумарної частини тіла:

$$Q_{S1} = \delta_1(Q_C + Q_R + Q_{EM}) + Q_{T1}, \quad (3.24)$$

де Q_{S1} – сумарний тепловий потік;

Q_{T1} – теплопродукція організму людини, що охоплює зазначені вище частини тіла.

Таблиця 3.5

Площа поверхні частин тіла людини

Частина тіла	$\delta_i, \%$		$S_i, м^2$	
Голова	$\delta_1 = \sum_{i=1}^3$	7	$S_2 = \sum_{i=1}^3$	0,126
Руки		22		0,396
Ноги		31		0,558
Тулуб	$\delta_2 = 40$		$S_2 = 0,720$	

Величину Q_{T1} можна записати у вигляді:

$$Q_{T1} = \delta_1 Q_M (1 - \mu), \quad (3.25)$$

де Q_M – загальні енерговитрати всього організму, $Вт$.

$$Q_{S1} = Q_{C1} + Q_{R1} + Q_{EM1} + Q_{T1}. \quad (3.26)$$

У формулах (3.25) і (3.26) фігурує максимально можливе тепловідведення випаровуванням поту Q_{EM1} , яке правомірне в тому випадку, якщо в організмі відбувається накопичення тепла і він не в змозі відвести його надлишок навіть при максимальному тепловідведенні через випаровування

поту. Водночас можливі ситуації, коли за певних параметрів мікроклімату й енерговитрат організм через власну терморегуляцію забезпечує нульове теплонакопичення, тобто організм не охолоджується й не нагрівається.

До того ж терморегуляція відбувається зазвичай шляхом тепловідведення через випаровування поту, який підтримується на рівні, що забезпечує нульове теплонакопичення в організмі. У цьому випадку розрахунок необхідного (але не максимального Q_{EM1}) тепловідведення через випаровування поту (Q_{E1} , $Вт$) проводимо з урахуванням формули (3.26) за умови $Q_{S1} = 0$, тобто

$$Q_{E1} = -(Q_{C1} + Q_{R1} + Q_{T1}) \quad (3.27)$$

Якщо $Q_{E1} \leq Q_{EM1}$, то тепловий стан організму можна передати показником теплової напруги організму у відносних одиницях:

$$W = Q_{E1} / Q_{EM1} \quad (3.28)$$

Як видно з визначення, показник не може перевищувати одиницю.

Результати розрахунку показників за формулами (3.26–3.28) наведено в табл. 3.6. Потоки, що відводять тепло від організму, мають знак мінус, а ті, що підводять, – знак плюс.

Водночас прийнято такі вихідні дані: термічний опір одягу $M=0,5 КЛО$ ($0,08 (м^2 \cdot К)/Вт$); температура навколишнього повітря (t_c) 30, 32 і $35^\circ C$; відносна вологість навколишнього повітря (B) 80, 90 і 95 %; енерговитрати людини $Q_M=320 Вт$; швидкість руху повітря $v=2 м/с$; зріст людини $h_q=170 см$ і його маса $m_q=70 кг$; середньо-зважена температура шкіри $35^\circ C$, а тому при $t_c=35^\circ C$ (за відсутності перепаду температур між навколишнім повітрям і поверхнею шкіри) $Q_{C1} = Q_{R1} = 0$.

Далі проводимо аналогічний розрахунок теплообміну тулуба (табл. 3.7).

Для обчислення показників теплообміну взято ті самі вихідні дані, що й для розрахунку показників, наведених у табл. 3.4. Відмінність полягає лише в тому, що для тулуба тепловий опір одягу (жилета) визначено $M=2,0$ $KLO=0,31 (m^2 \cdot K)/Bm$.

Таблиця 3.6

Показники теплообміну для сумарної частини тіла

Вихідні дані		Розрахункові дані						
t_c , °C	B , %	Q_{C1} , Bm	Q_{R1} , Bm	Q_{EM1} , Bm	Q_{E1} , Bm	Q_{T1} , Bm	Q_{S1} , Bm	W
30	80	-36,2	-18,4	-184,0	-99,0	153,6	0,0	0,54
	90	-36,2	-18,4	-148,4	-99,0	153,6	0,0	0,67
	95	-36,2	-18,4	-131,0	-99,0	153,6	0,0	0,75
32	80	-21,7	-11,2	-149,7	-120,7	153,6	0,0	0,81
	90	-21,7	-11,2	-110,0	—	153,6	10,7	—
	95	-21,7	-11,2	-89,9	—	153,6	30,8	—
35	80	0,0	0,0	-91,5	—	153,6	62,4	—
	90	0,0	0,0	-45,6	—	153,6	108,0	—
	95	0,0	0,0	-21,6	—	153,6	132,0	—

Зведені дані щодо накопичення тепла організмом (див. табл. 3.6, 3.7) представлено в табл. 3.6, де його сумарна величина

$$Q_S = Q_{S1} + Q_{S2}$$

Аналогічно, використовуючи отримані дані, визначаємо масу речовини, необхідну для відведення тепла, що надходить в організм людини, і кількість охолоджувальних елементів відповідно:

$$m_{\text{л}} = 60 Q_S \tau_{\text{ж}} / q_{\text{л}}, \quad n_{\text{оэ}} = m_{\text{л}} / m_{\text{оэ}}, \quad (3.29)$$

де $\tau_{\text{ж}}$ – час захисної дії жилета, хв;

$m_{\text{оэ}}$ – маса ОЕ, кг.

Виберемо діапазон мікрокліматичних умов, на які потрібно орієнтуватися в подальших розрахунках. Наприклад, при температурі повітря 32°C і його відносній вологості 95 %, $Q_S = 99,9 \text{ Вт}$, а при температурі 35°C і вологості 80 % $Q_S = 140,2 \text{ Вт}$, див. табл. 3.8.

Таблиця 3.7

Показники теплообміну тулуба

Вихідні дані		Розрахункові дані, Вт				
$t_c, ^{\circ}\text{C}$	$B, \%$	Q_{C2}	Q_{R2}	Q_{EM2}	Q_{T2}	Q_{S2}
30	80	-9,4	-6,5	-48,8	102,4	37,7
	90	-9,4	-6,5	-39,4	102,4	47,1
	95	-9,4	-6,5	-34,7	102,4	51,8
32	80	-5,6	-3,9	-39,7	102,4	53,2
	90	-5,6	-3,9	-29,2	102,4	63,7
	95	-5,6	-3,9	-23,8	102,4	69,1
35	80	0,0	0,0	-24,3	102,4	78,1
	90	0,0	0,0	-12,3	102,4	90,1
	95	0,0	0,0	-5,7	102,4	96,7

Таблиця 3.8

Зведені дані щодо теплонакопичення організму

Вихідні дані		Розрахункові дані, Bt		
$t_c, ^\circ C$	$B, \%$	Q_{s1}	Q_{s2}	Q_s
30	80	0,0	37,7	37,7
	90	0,0	47,1	47,1
	95	0,0	51,8	51,8
32	80	0,0	53,2	53,2
	90	10,7	63,7	74,4
	95	30,8	69,1	99,9
35	80	62,1	78,1	140,2
	90	108,0	90,1	198,1
	95	132,0	96,7	228,7

Для подальших розрахунків візьмемо середнє значення $Q_s = 120 Bt$, час охолоджувальної дії жилета (час повного танення речовини в жилеті до температури $20^\circ C$ за одноразового спорядження його ОЕ) $\tau_{\text{ж}} = 120 \text{ хв}$, при цьому питомий запас холоду речовини за рахунок його теплоти плавлення $q_{\text{л}} = 335 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$.

На підставі ухвалених вихідних даних маємо необхідну масу речовини $m_{\text{л}} = 2,6 \text{ кг}$. У стандартному охолоджувальному елементі маса речовини $m_{\text{ОЕ}} = 0,173 \text{ кг}$. Отже, для одноразового спорядження жилета необхідна кількість ОЕ $= 15 \text{ шт}$.

Проаналізуємо залежність допустимої тривалості роботи (ДТР) рятувальника в спецодязі (без охолодження) і в спецодязі з охолоджувальним жилетом від різних чинників.

Подальші розрахунки відповідних залежностей та одержані результати ґрунтуються на таких теплових балансах рятувальника при заданих параметрах мікроклімату та фізичного навантаження:

за умови роботи в спецодязі

$$Q_S = Q_C + Q_R + Q_{EM} + Q_M (1 - \mu) + Q_D, \quad (3.30);$$

під час роботи в охолоджувальному жилеті

$$Q_S = Q_C + Q_R + Q_{EM} + Q_M (1 - \mu) + Q_D - Q_X, \quad (3.31),$$

де Q_S – сумарний тепловий потік, що зігріває або охолоджує тіло людини, *Вт*;

Q_D – теплообмін диханням;

Q_X – тепловідведення системою охолодження.

Відповідно до фізіологічних норм, допустима тривалість роботи обмежено допустимими приростом середньої температури тіла людини, що дорівнює 2 °С. Залежність допустимої тривалості роботи від температури повітря і від швидкості його руху продемонстровано на рис. 3.16, а від температури повітря і його відносної вологості – на рис. 3.17.

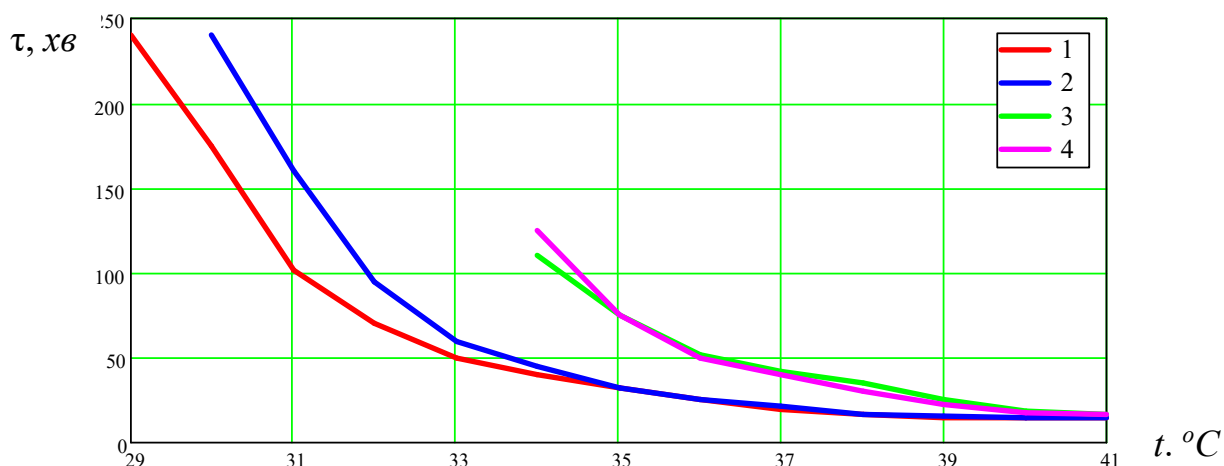


Рисунок 3.16 - Допустима тривалість роботи рятувальника в спецодязі та в охолоджувальному жилеті (одне оснащення охолоджуючим елементом) при енерговитратах 320 Вт і відносній вологості повітря 100 %: 1, 2 – у спецодязі при $v = 1$ м/с і 5 м/с; 3, 4 – в охолоджувальному жилеті при $v = 1$ м/с і 5 м/с

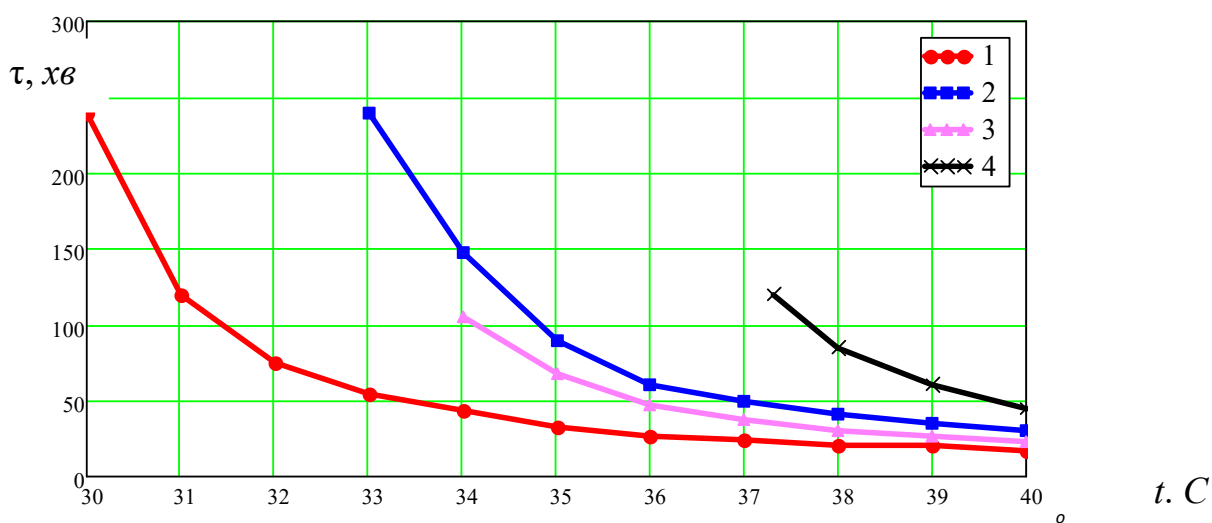


Рисунок 3.17 - Допустима тривалість роботи рятувальника в спецодязі й охолоджувальному жилеті (одне оснащення охолоджуючим елементом) при енерговитратах 320 Вт і швидкості руху повітря 2 м/с: 1, 2 – у спецодязі при $B=100\%$ і 75% ; 3, 4 – в охолоджувальному жилеті $B=100\%$ і 75%

Оскільки допустима тривалість роботи в охолоджувальному жилеті розраховано для одноразового спорядження його ОЕ, то воно обмежене часом

повного танення речовини, що дорівнює 120 хв. Результати досліджень (рис. 3.11) демонструють істотну ефективність охолоджувального жилета. Наприклад, при температурі повітря 34°C ДТР у спецодязі дорівнює 42–44 хв, а в охолоджувальному жилеті – 100–110 хв, тобто більше ніж у 2,4–2,5 рази. За температури 35°C ДТР у жилеті більше ніж у 1,9 разів.

Характерно, що при температурі повітря 35°C криві перетинаються (як для спецодягу, так і для жилета). Це пояснюємо тим, що в певній точці температура повітря і температура поверхні шкіри людини однакові, а відносна вологість навколишнього повітря і шару повітря над поверхнею шкіри дорівнює 100 %.

Тому швидкість руху повітря в певній точці (35°C) не впливає на теплообмін. Характерно, що при температурі навколишнього повітря нижче ніж 35°C збільшення швидкості його руху сприяє збільшенню відведення тепла від організму людини і, відповідно, збільшення допустимої тривалості роботи, а при температурі повітря вище ніж 35°C спостерігаємо зворотну залежність – за збільшення швидкості руху повітря збільшується теплоприток до організму людини і внаслідок цього зменшується допустима тривалість роботи.

Залежність допустимої тривалості роботи від температури повітря і від фізичного навантаження (від енерговитрат) на рятувальника, який працює в спецодязі та в жилеті, за відносної вологості навколишнього повітря 95 % і швидкості його руху 2 м/с наведено на рис. 3.18.

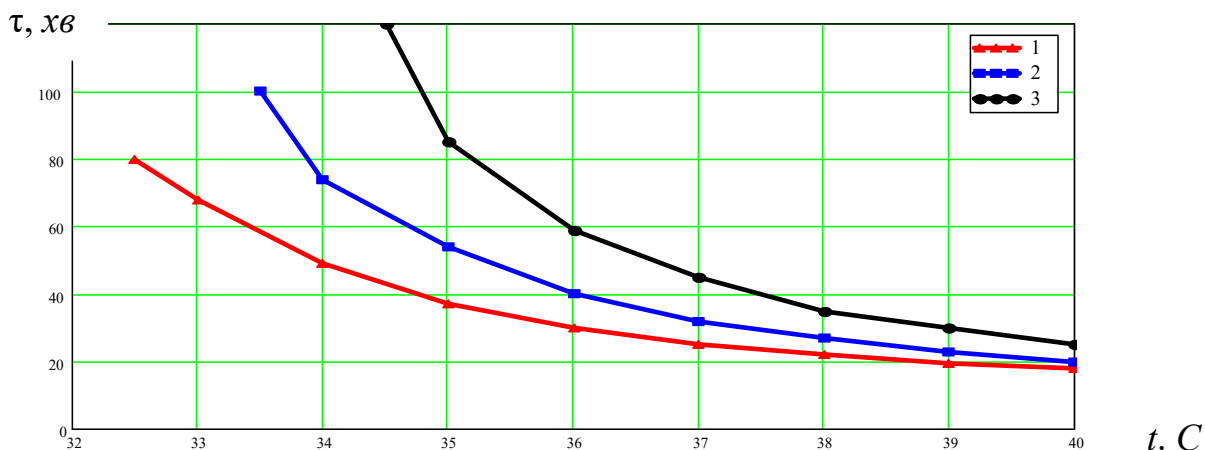


Рисунок 3.18 - Допустима тривалість (τ , хв) роботи рятувальника в спеодязі без охолодження залежно від температури повітря (t , °C) та енерговитрат, Bm : 1 – 320; 2 – 480; 3 – 640

3.2.3 Енергетичне навантаження на рятувальників під час проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт

Одним з основних складників теплового балансу, від якого залежить допустима тривалість роботи рятувальних підрозділів за будь-яких ергономічних навантажень, є внутрішня енергія, вироблена організмом людини під час виконання різного виду робіт.

Ця енергія (енерговитрати) залежить від багатьох чинників: швидкості пересування, кута нахилу поверхні, маси вантажу. Водночас швидкість пересування підрозділів залежить від стану довкілля: придатної або непридатної для дихання атмосфери, видимості, задимленості й температури. У нормативних документах представлено багато таблиць та номограм для визначення швидкості пересування підрозділів у придатній, непридатній для дихання атмосфері за повної видимості, поправочні коефіцієнти залежно від середнього навантаження на рятувальника, пройденої відстані, температури повітря й видимості, а також витрати кисню в непридатній для дихання атмосфері на 100 м шляху залежно від виконуваної роботи.

Механічний облік наведених вище чинників, особливо за великої кількості маршрутів пересування підрозділів і виконання найрізноманітніших робіт, знижує оперативність ведення робіт, а іноді призводить до ухвалення помилкових рішень посадовими особами штабу на пожежі. У зв'язку із цим необхідно встановити залежності енерговитрат членів підрозділів від чинників, що впливають при різних ергономічних навантаженнях, у вигляді рівнянь із подальшим автоматизованим обліком результатів.

Визначимо енерговитрати організму рятувальників під час руху з вантажем. Маса спорядження (вантажу, який переноситься) впливає на працездатність й енерговитрати організму. Для оцінювання цього впливу й орієнтовних ергономічних розрахунків необхідно встановити залежність між масою спорядження, яке переноситься (вантажу), та енерговитратами під час руху людини по горизонтальній поверхні.

Енергетичні процеси в організмі людини ґрунтовані на споживанні ним кисню, що для досліджуваного процесу можна представити у вигляді [115]

$$q_r = q_t + q_d, \quad (3.32)$$

де q_r – загальне споживання кисню людиною під час ходьби з вантажем, л/хв;

q_t – споживання кисню людиною під час ходьби без вантажу, л/хв;

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

Тут маємо на увазі те, що ходьба з перенесенням вантажу і без вантажу відбувається з тією самою швидкістю й у тому самому місці.

Переходячи до питомих величин і використовуючи вираз (3.32), отримуємо відповідно

$$q_{dy} = q_d / m_g, \quad q_{ty} = q_t / m_t \quad (3.33)$$

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

m_g, m_t – маса вантажу й тіла людини, кг.

Уведемо умовну безрозмірну величину φ_p – коефіцієнт споживання кисню під час перенесення вантажу:

$$\varphi_p = q_{dy} / q_{ty} \quad (3.34)$$

Коефіцієнт демонструє, у скільки разів додаткове споживання кисню на 1 кг вантажу, який переноситься, більше (або менше), ніж споживання кисню на 1 кг тіла людини під час пересування в тому самому темпі без вантажу.

Використавши формули, вираз (3.33) набуде такого вигляду:

$$\varphi_p = m_t(q_r - q_t)/(q_t m_g) \quad (3.35)$$

Звідси випливає, що:

$$q_r / q_t = (1 + \varphi_p m_g / m_t) \quad (3.36)$$

Оскільки енерговитрати людини еквівалентні й пропорційні споживанню кисню, то ставлення величин споживання кисню у виразі (3.35) правомірно замінити відношенням відповідних енерговитрат, Bm

$$Q_M / Q_f = (1 + \varphi_p m_g / m_t) , \quad (3.37)$$

де Q_M, Q_f – енерговитрати людини під час руху з вантажем і без вантажу (фонове навантаження), Bm .

Це означає, що:

$$Q_M = Q_f(1 + m_g / m_t) \quad (3.38)$$

Відповідно:

$$\varphi_p = m_t(Q_M - Q_f)/(Q_f m_g) \quad (3.39)$$

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

Додаткову питому потужність, яку витрачає людина на перенесення 1 кг вантажу, Bm/kg , визначаємо за виразом

$$P_m = (Q_M - Q_f)/m_g \quad (3.40)$$

За формулою (3.48) розраховані енерговитрати людини залежно від маси вантажу при різному фоновому навантаженні Q_f і постійних значеннях $\varphi_p=2,3$, $m_t=70$ кг. Результати розрахунку представлені на рис. 3.13.

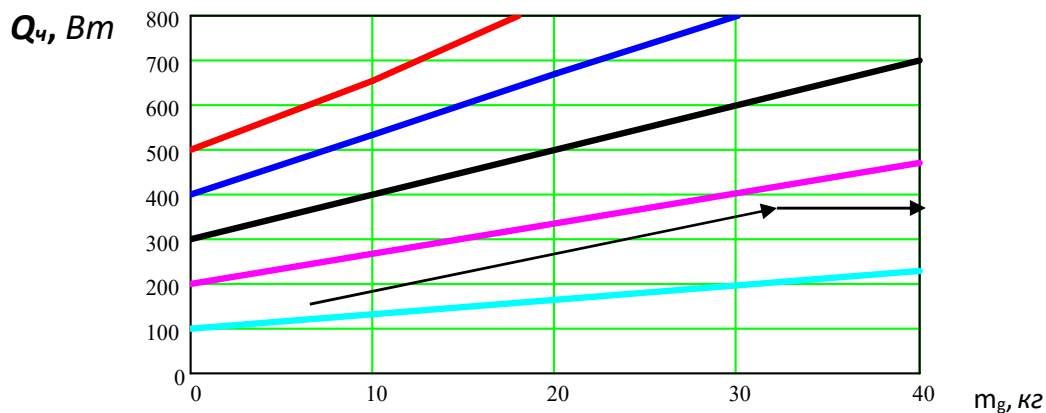


Рисунок 3.19 - Залежність енерговитрат людини від маси вантажу, який переносять при різному фоновому навантаженні

Припустимо, ми беремо фонове навантаження $Q_f=200$ Вт, що відповідає енерговитратам під час ходьби без вантажу зі швидкістю приблизно 2,7 км/год і позначаємо відповідну точку на осі ординат. Від цієї точки (200 Вт) слідуємо по похилій лінії графіка до перетину з ординатою заданого

значення вантажу, який переносять, наприклад 30 кг. Ордината цієї точки показує на правій осі значення енерговитрат під час ходьби з вантажем $Q_M = 400 \text{ Вт}$. За формулами (3.37) і (3.39) розраховані дані, наведені в табл. 3.9.

У результаті оброблення цих даних отримано апроксимуючі рівняння для визначення швидкості V (м/хв) переміщення особового складу, забезпеченого основною екіпіровкою та додатковий вантаж 10, 20 або 40 кг під час руху або перенесення потерпілого, залежно від кута нахилу α (град) поверхні, що має вигляд:

$$\begin{cases} V_{10} = \exp(-0,00076867\alpha^2 - 0,003275\alpha - 0,843385h_0^2 + 3,458941h_0) \quad R=0,9622 \\ V_{20} = \exp(-0,00079448\alpha^2 - 0,003640\alpha - 0,716702h_0^2 + 3,069085h_0) \quad R=0,9643 \\ V_{40} = \exp(-0,00092755\alpha^2 - 0,005712\alpha - 0,538569h_0^2 + 2,505677h_0) \quad R=0,9596 \end{cases}$$

У вищенаведених рівняннях індекси позначають масу вантажу.

Таблиця 3.9

Енергетичні показники організму людини під час ходьби з вантажем

Вихідні дані		Розрахункові дані	
$Q_f, \text{Вт}$	$\delta_g, \text{кг}$	$Q_i, \text{Вт}$	$D_\delta, \text{Вт/кг}$
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

Зміна швидкості переміщення під час руху, зокрема в розвідку, наведено на рис. 3.20, звідки випливає, що максимальна швидкість відповідає рухові по

горизонтальній поверхні, а під час руху по похилій поверхні (угору або вниз) швидкість експоненціально знижується.

У нормативних документах наведено дані, що відповідають умовам роботи в ЗІЗОД за умови повної видимості й температури навколишнього середовища не вище ніж 27°C . У випадку, якщо умови відрізняються, під час розрахунку швидкості руху використовуємо поправочний коефіцієнт, що є добутком трьох часткових коефіцієнтів: $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$.

Рисунок 3.20 - Зміна швидкості переміщення рятувальників під час руху в розвідку залежно від кута нахилу поверхні

Перший коефіцієнт, що враховує необхідність використання ЗІЗОД під час руху в непридатній для дихання атмосфері, дорівнює одиниці, а під час руху в придатній для дихання атмосфері $K_1=1,2$.

Другий коефіцієнт дає змогу вирахувати зменшення швидкості руху за умови задимлення

$$K_2 = 0,1l_0,$$

де l_0 – відстань прямої видимості при задимленні, м.

Тут уведено такі обмеження: якщо $l_0 \leq 2 \text{ м}$, тоді $K_2 = 0,2$, а якщо $l_0 \geq 10 \text{ м}$, тоді $K_2 = 1,0$.

Третій коефіцієнт ураховує зменшення швидкості руху при підвищеній температурі повітря

$$K_3 = 1 - 0,08(t_{\text{в}} - 27),$$

де $t_{\text{в}}$ – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$.

Тут також уведено обмеження: якщо $t_{\text{в}} \leq 27^{\circ}\text{C}$, то $K_3 = 1,0$, а якщо $t_{\text{в}} \geq 50^{\circ}\text{C}$, то $K_3 = 0,812$.

У нормативних документах представлено дані про витрату кисню на 100 м шляху, а в ході визначення енерговитрат використовують значення витрати в л/хв. Цю величину розраховують на підставі раніше отриманих даних і швидкості руху в ЗІЗОД V_a за залежністю

$$q_r = q_{100} \cdot V_a / 100 \quad (3.41)$$

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

Витрату кисню визначаємо для тих же умов, що й швидкість V , апроксимуючими рівняннями:

$$\begin{aligned} q_{r10} &= (0,000048\alpha^2 + 0,000999\alpha - 0,231377)h_0 + 1,998705 \quad R=0,9107 \\ q_{r20} &= (0,000051\alpha^2 + 0,000961\alpha - 0,223095)h_0 + 2,047465 \quad R=0,9680 \\ q_{r40} &= (0,000042\alpha^2 + 0,000557\alpha - 0,221836)h_0 + 2,089761 \quad R=0,9654 \end{aligned} \quad (3.42)$$

Взаємозв'язок споживання кисню (повітря) людиною і його витрати з ЗІЗОД визначений емпіричною залежністю

$$q_p = 1,437 q_r - 1,099, \quad (3.42),$$

де q_p – споживання кисню (повітря) організмом людини, л/хв.

Енерговитрати людини характеризують ступінь важкості фізичного навантаження й можуть бути вираховані за формулою:

$$Q_M = q_p K_K / 60, \quad (3.43),$$

де K_K – теплотвірний еквівалент споживання кисню (повітря), Дж/л.

Якщо значення q_p і K_K узяті за нормальних умов (температура 20°C і тиск 101,3 кПа), то $K_K = 19,457 \cdot 10^3$, Дж/л.

$$\text{У цьому випадку } Q_M = 324,28 q_p. \quad (3.44)$$

Урахувавши (3.38), вираз (3.40) матиме вигляд:

$$Q_M = 324,28 (1,437 q_r - 1,099). \quad (3.45)$$

Дані, отримані на основі цих формул, узагальнені в апроксимуючих рівняннях, що відповідають умовам рівнянь (3.58):

$$\left. \begin{aligned} Q_{M10} &= (0,022 \alpha^2 + 0,466 \alpha - 107,819) h_0 + 574,993 & R &= 0,9107325 \\ Q_{M20} &= (0,025 \alpha^2 + 0,489 \alpha - 100,993) h_0 + 592,804 & R &= 0,96844742 \\ Q_{M40} &= (0,021 \alpha^2 + 0,322 \alpha - 104,983) h_0 + 621,509 & R &= 0,93074316 \end{aligned} \right\} (3.58)$$

Зміни енерговитрат рятувальників залежно від маси вантажу під час руху по горизонтальній поверхні представлені на рис. 3.21, де точки графіка відображають раніше отримані дані й результати експериментів. Залежність енерговитрат під час перенесення вантажу різної маси від кута нахилу поверхні відтворено на рис. 3.10. До того ж ухвалено, що негативні значення кута відповідають спускові, а позитивні – підняттям.

На підставі аналізу енергоємності різних видів конкретної роботи рятувальників на місці складена табл. 3.8. Вона не охоплює всі можливі види робіт, що мають місце на практиці, однак при експрес-розрахунку орієнтовно дає змогу враховувати важкість та енергоємність роботи.

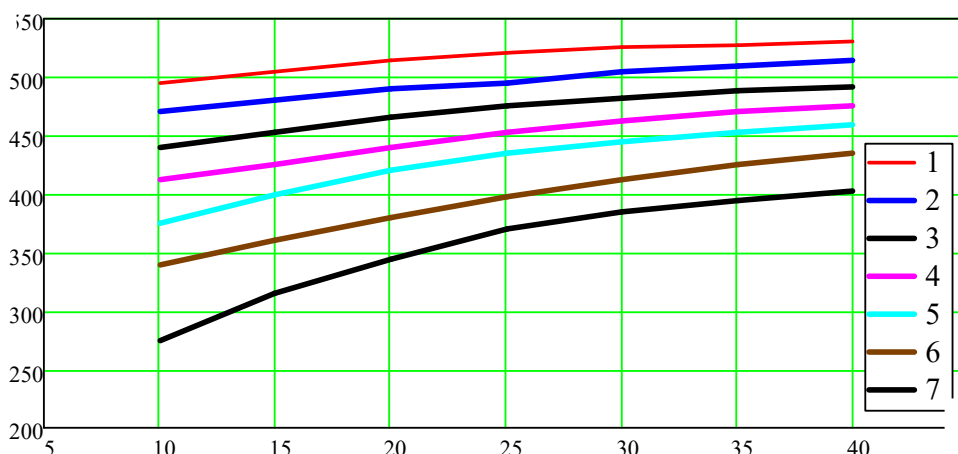


Рисунок 3.21 - Енерговитрати рятувальників під час руху по горизонтальній поверхні залежно від маси вантажу

Рисунок 3.22 - Енерговитрати під час перенесення вантажу із різними кутами нахилу поверхні: 1–3 – маса вантажу відповідно 40; 20; 10 кг

Представлені в роботі математичні залежності вможливають проведення необхідних розрахунків під час складання оперативних документів щодо гасіння пожеж, ліквідації надзвичайних ситуацій та їх наслідків, прогнозування швидкості пересування рятувальників по заданому маршруту з різними умовами, часу проходження заданим маршрутом, витрат кисню (повітря) з ЗІЗОД й енерговитрат організму. Це дає змогу оперативно ухвалювати правильне рішення, що забезпечить ефективне й безпечне ведення пожежно-рятувальних, аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт в екстремальних мікрокліматичних умовах.

Таблиця 3.10

Енергоємність основних видів робіт, виконуваних на місці

Виконувана робота	Енерговитрати, <i>Вт</i>
Відпочинок у ЗІЗОД стоячи	160
Легка робота, надання допомоги постраждалому	240
Робота ручним механізованим аварійно-рятувальним інструментом	320
Робота шанцевим інструментом	400-480
Розбирання завалів, будівельних конструкцій	560
Швидке розбирання завалу під час рятування людей	640

3.3. Висновки

1. Отримані результати досліджень дозволили обґрунтувати пропозиції щодо шляхів удосконалення засобів захисту рятувальників від теплового враження шляхом інтенсифікації випаровування поту з поверхні шкіри.

2. Встановлено, що терморегуляція організму рятувальників під час виконання аварійно-рятувальних робіт залежить прямо пропорційно від коефіцієнту теплообміну конвекцією у підодяговому просторі ($Bm/(m^2 \cdot K)$), парціального тиску водяної пари над поверхнею шкіри та у повітрі ($Па$) і обернено пропорційно від коефіцієнту теплоізоляції одягу ($КЛО$), що визначає термовологісний стан в підодяговому просторі рятувальника і створює основи для розробки додаткових елементів спеціального теплозахисного одягу.

3. Для легких типів спеціального одягу, що мають низький рівень теплоізоляції ($M=0,2...1,0 КЛО$) доцільно забезпечувати підвищений рівень конвективного теплообміну за рахунок створення потоків повітря за

допомогою вентиляторів, аераторів тощо. В такий спосіб можливо здійснювати інтенсивний винос енергії з поверхні одягу в оточуюче середовище. Одяг такого типу доцільно застосовувати при виконанні робіт в місцях з обмеженими випромінюваннями і температурою повітря, де рівень нагріву поверхні верхнього шару спецодягу не перевищує 70..80°C. В умовах високого рівня теплової радіації та температури повітря потрібен спецодяг з більшим ступенем теплоізоляції ($M > 2$, КЛО), де виніс тепла до зовнішнього простору практично відсутній, потрібні додаткові міри інтенсифікації випаровування.

4. Ефективним способом посилення випаровування є охолодження піддодежного простору за рахунок встановлення водокрижаних елементів, що забезпечує конденсацію пари протягом нагріву елементів до температури тіла. Найбільш доцільним є використання проточної схеми подавання охолоджуючого агенту, це дозволяє постійно здійснювати виніс тепла з піддодежного простору та стимулювати випаровування поту.

5. При відсутності джерел охолодження перспективним є встановлення між тілом і одягом вставок з сорбуючою речовиною. Зміна фізико-хімічного стану вологі з газоподібного до сорбованого забезпечує постійний відтік пари від тіла рятувальника з одночасним його охолодженням.

6. Запропоновано і експериментально досліджено вплив вологопоглинаючих елементів з абсорбуючою речовиною на тепломасоперенесення в піддодежному просторі під час фізичних навантажень. Встановлено, що збільшення кількості абсорбуючої речовини і заміна зовнішньої оболонки на таку, що пропускає повітря, дозволить покращити теплообмін піддодежного простору під час аварійно-рятувальних робіт.

РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЮВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА РЯТУВАЛЬНИКА ПРИ ГОРІННІ РЕЗЕРВУАРУ З НАФТОПРОДУКТАМИ

4.1. Особливості моделі теплового впливу пожеж у резервуарах для зберігання нафтопродуктів на тіло рятувальника

Нафтопродукти зазвичай зберігаються на нафтобазах та парках із використанням резервуарів. Найбільш поширеними є вертикальні резервуари, зовнішній вигляд та конструкція яких наведена на рис. 4.1. Дана конструкція повністю відповідає рекомендаціям щодо їх проектування, наведених у стандарті [128].

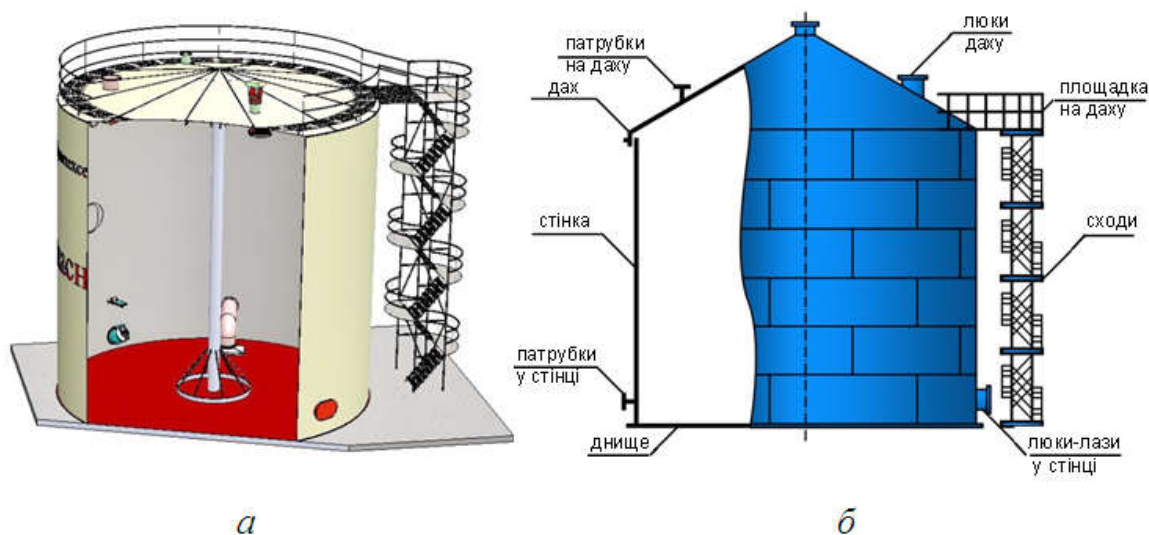


Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд та внутрішня будова резервуара для зберігання нафтопродуктів (а) та схема розташування його конструктивних елементів (б):

На рис. 4.1 показано, що огороження резервуару для нафтопродуктів складається з вертикальної стінки, днища та даху. Дані конструкції виготовляються з сталених листів, які з'єднуються між собою за допомогою технологічного процесу електрозварювання.

При моделювання теплового впливу пожежі над резервуарами із нафтопродуктами на рятувальника був прийнятий до розгляду резервуар з однією із найбільш поширених конструкцій [105]. Дана конструкція відповідає резервуарам, що використовувалися на нафтобазах та парках України. На рис. 6.2 представлена геометрична конфігурація елементів конструкцій резервуара, що має бути використана при моделювання.

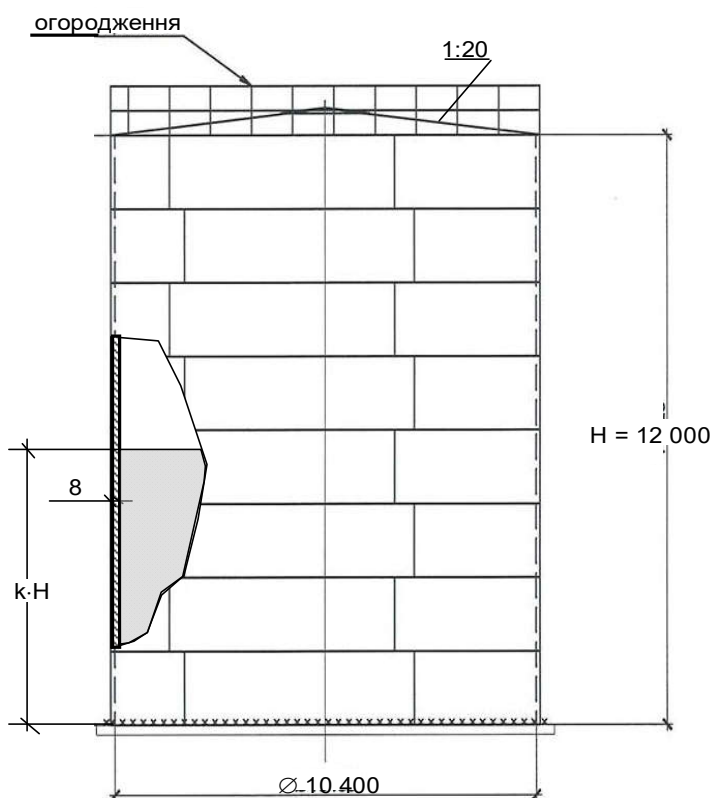


Рисунок 6.2 – Геометрична конфігурація елементів конструкцій резервуару для зберігання нафтопродуктів, що має бути використана для моделювання теплового впливу пожежі на рятувальника.

При розгляді теплового впливу на тіло рятувальника були використані середні розміри людського тіла чоловічого типу. На рис. 4.3 наведені середні розміри основних частин людського тіла згідно із наведеними у [19]. При цьому тіло людини моделюється із бойовим одягом, параметри якого відповідають стандарту [117]. Крім цього, для відтворення геометрії та умов

теплообміну тіла рятувальника передбачена наявність шолома із захисним напівпрозорим екраном. Для відтворення геометричної конфігурації шолому рятувальника була розглянута його найбільш поширена конструкція.

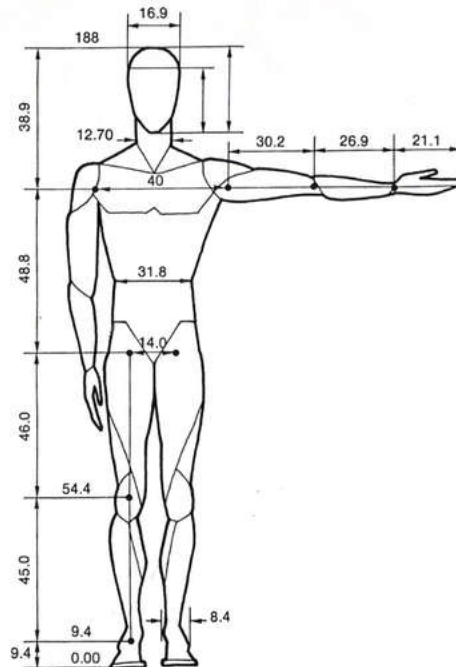


Рисунок 6.3 – Середні розміри (см) людського тіла чоловічого типу, що використані для моделювання теплового впливу пожежі на рятувальника

При розгляді впливу пожежі у резервуарних парках для зберігання нафтопродуктів також був врахований вплив нагрівання та відбивання теплових променів поверхнею ґрунту, на якому розташований резервуарний парк. При цьому розглядався звичайний суглинок, що властивий для більшості кліматичних зон України з усередненими характеристиками.

4.2. Постановка задачі

При постановці задачі щодо впливу теплових процесів, що відбуваються при теплообміні резервуару із факелом пожежі та тілом рятувальника, мають бути враховані всі умови тепловіддачі між факелом та повітрям, повітрям та поверхнею тіла людини із одягом, теплопередача у внутрішніх шарах

захисного одягу та живих тканинах людського тіла тощо. При цьому дана задача має складну постановку і потребує у залучення сумісних моделей термогазодинаміки, теплопровідності та моделі пристінкових шарів до поверхонь, що досліджуються. Задача ускладнюється тим, що вказані моделі мають бути доповнені інтегральною моделлю променистого теплообміну. У такій постановці означена задача може бути вирішена тільки чисельно із використанням спеціалізованих комп'ютерних комплексів, які надають можливість проведення такого аналізу. Крім цього, така постановка задачі розуміє залучення потужної комп'ютерної техніки. Щоб уникнути суттєвого ускладнення поставленої задачі при зберіганні відповідної точності та достовірності було зроблено декілька припущень, які мають спростити модель. Припущення для спрощення мають такі ключові положення.

1. Пожежа на суміжному резервуарі є розвиненою і має форму факела висотою 15 м із конічною поверхнею із сталою усередненою температурою, яка складає T_f .

2. Теплообмін між факелом пожежі над резервуаром та поверхнею захисного одягу рятувальника має тільки променисту складову, оскільки вплив конвективної складової набагато менший. При цьому допускається конвективне охолодження поверхні захисного одягу.

3. Теплофізичні властивості сталі стінок резервуару можуть залежати від температури.

4. Причина та перебіг пожежі у початковий період не розглядається.

5. Температура стінки резервуару із пожежею однакова, а сама стінка даного резервуару також бере участь у променистому теплообміні.

6. Поверхня ґрунту також входить до схеми теплообміну між поверхнями під час пожежі. Також має бути враховані конвективне охолодження поверхонь захисного спорядження та ґрунту.

7. Товщина захисного одягу рятувальника враховує шари внутрішнього одягу під захисним костюмом, а сумарні теплофізичні характеристики усереднюються по товщині шару захисного одягу.

8. При розгляді теплообміну між внутрішньою поверхнею шолома рятувальника та його тіла розглядається тільки променистий теплообмін.

9. Умови променистого теплообміну є залежними від температури і мають враховувати геометричну конфігурацію поверхонь, які беруть участь у теплообміні.

10. Умови конвективного теплообміну та теплофізичні властивості матеріалів не залежать від температури.

Джерелом теплового впливу при моделюванні є факел над резервуаром при пожежі, що має геометричні параметри, відповідні то схеми, яка наведена на рис. 4.4.

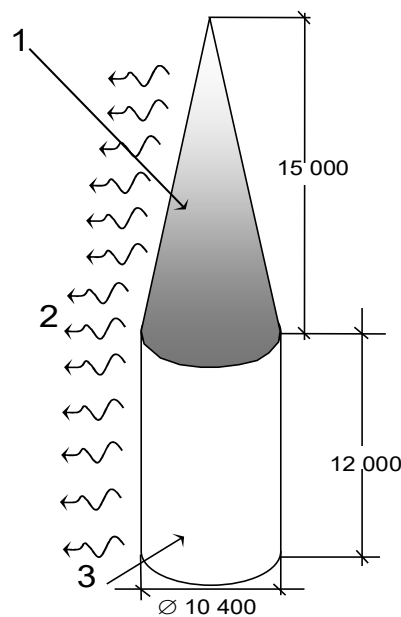


Рисунок 4.4 – Схема розташування факелу над резервуаром із пожежею:

1 – факел пожежі, 2 – променевий перенос теплової енергії, 3 – стінка резервуару

Використовуючи схему теплового впливу пожежі над резервуаром були розглянуті декілька сценаріїв впливу пожежі на тіло рятувальника. У даному випадку тіло може знаходитись у положенні стоячи (робоче положення) та положення лежачі (положення у разі травми або іншого ушкодження). На рис. 4.5 показане взаємне розташування тіла рятувальника та факела пожежі. Взаємне розташування тіла рятувальника та факела пожежі дозволяє розглядати тепловий вплив при різних відстанях між факелом та тілом.

На рис 4.6 показана геометрична конфігурація розрахункової схеми тіла рятувальника. Основні елементи тіла, що показані на рис. 4.6 є роз'єднаними, для зменшення обсягів розрахунку та видалення деталей, наявність яких не впливає на точність розрахунків. Також важливою особливістю є наявність пожежних чобіт та пожежного шолому, які також наведені на рис. 4.6.

Сценарії пожежі передбачають варіант, що нафтопродукт, що горить у факелі пожежі, є нафтою, при цьому температура факелу буде рівна 1500 K .

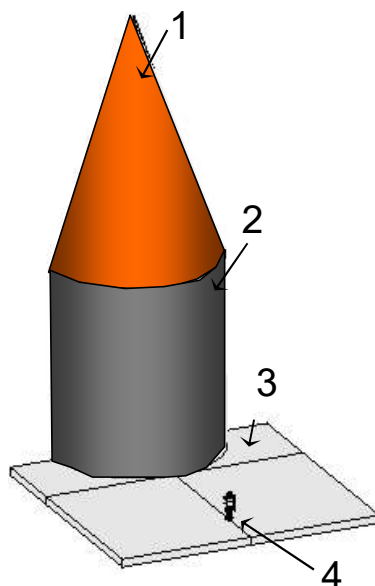


Рисунок 4.5 – Геометрія розрахункових областей, що використані для моделювання теплового впливу пожежі на рятувальника:

1 – факел пожежі, 2 – резервуар, 3 – ґрунт, 4 – тіло рятувальника

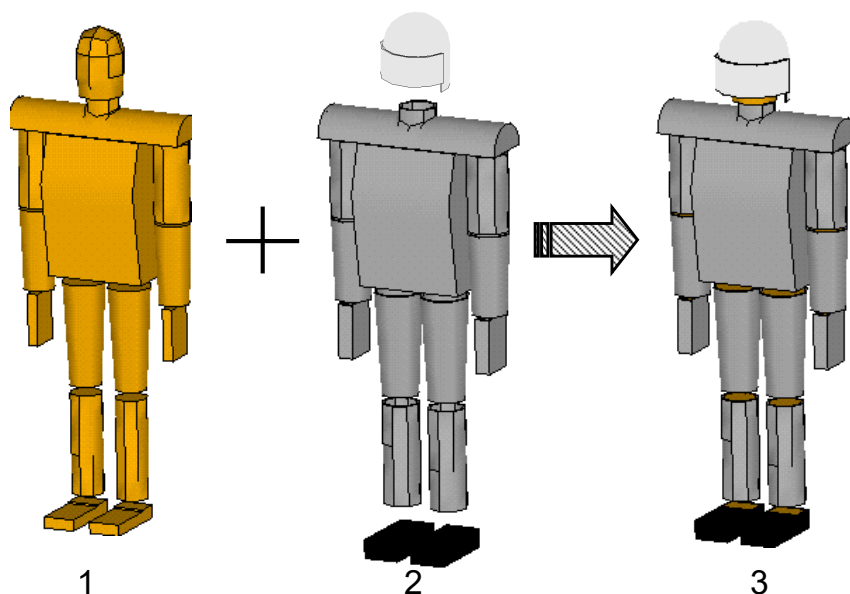


Рисунок 4.6 – Геометрія розрахункових областей тіла рятувальника, що використані для моделювання теплового впливу пожежі на нього:

1 – тіло рятувальника, 2 – спорядження, 3 – рятувальник у спорядженні

При моделюванні розрахункових областей тіла рятувальника були прийняті розміри спорядження, що наведені у табл. 4.1. Розміри прийняті при усередненні даних щодо бойового одягу пожежного згідно із стандартом [6, 62].

Таблиця 4.1

Усереднені розміри спорядження рятувальника для моделювання розрахункових областей

Параметр	Одиниці виміру	Величина
Товщина захисного костюма	мм	8
Товщина шолома	мм	5
Товщина чобіт пожежника	мм	3

При вивченні теплового впливу факелу пожежі на тіло рятувальника нами була прийнята схема теплової дії, що представлена на рис. 4.7.

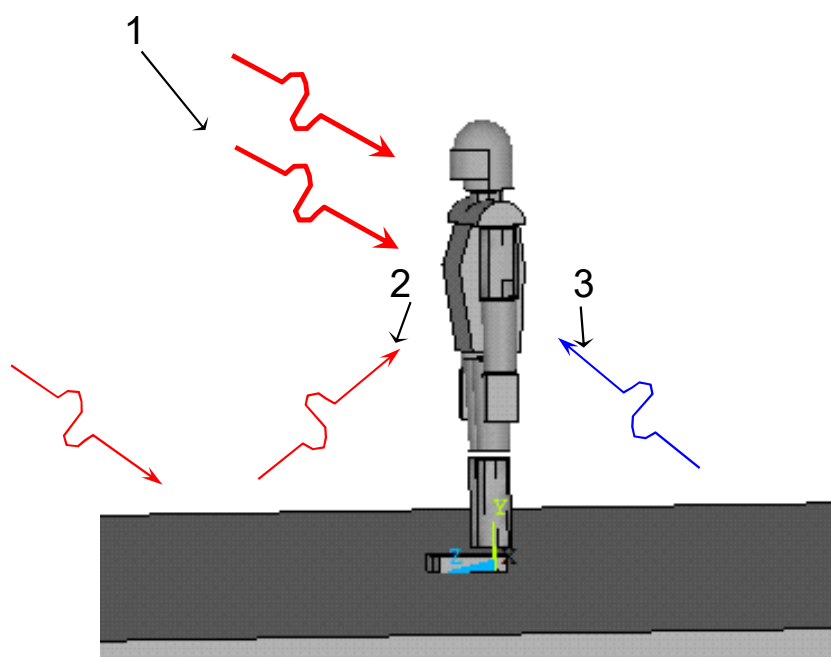


Рисунок 4.7 – Схема впливу теплового випромінювання на тіло рятувальника під час пожежі над резервуаром:

1 – теплове випромінювання від факела пожежі, 2 – теплове випромінювання, що відбите від поверхні ґрунту, 3 – теплове випромінювання від нагрітої поверхні ґрунту

Згідно із схемою на рис. 4.7 на тіло рятувальника діє теплове випромінювання від факела, теплове випромінювання факела пожежі, відбитого від поверхні ґрунту а також випромінювання від нагрітої поверхні ґрунту.

При розгляді теплової дії випромінювання враховується що між внутрішньою поверхнею шолому та поверхнею голови відбувається також теплове випромінювання, як показано на рис. 4.8.

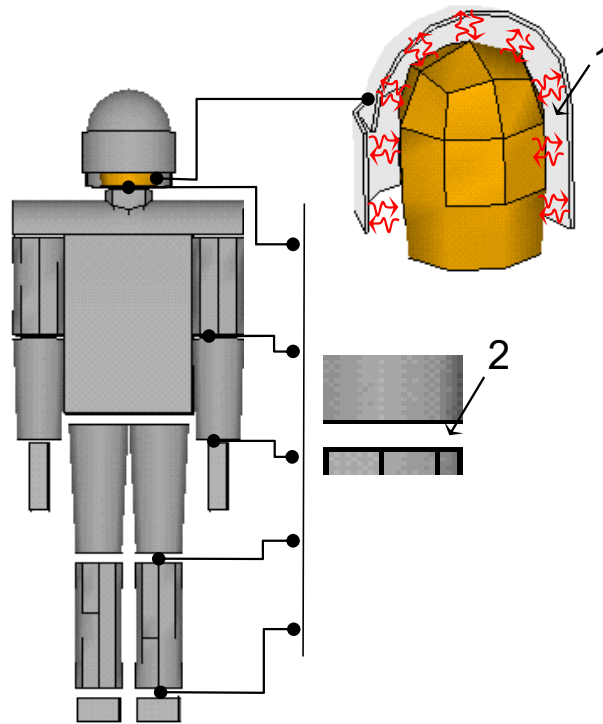


Рисунок 4.8 – Схема моделей теплообміну між поверхнями захисного спорядження та тіла рятувальника

1 – променистий теплообмін між внутрішньою поверхнею шолому та поверхнею голови, 2 – нульовий теплообмін між поверхнями сполучення кінцівок

Згідно із схемою на рис. 4.8 поверхні спряження кінцівок тіла рятувальника мають нульовий теплообмін, що дозволяє не враховувати у розрахунковій області.

Крім врахування променистого теплообміну також враховано конвективне охолодження поверхонь захисного спорядження рятувальника та поверхні ґрунту, при їх обтіканні більш холодним оточуючим повітрям. На рис. 4.9 схематично показано поверхні, що охолоджуються більш холодним оточуючим повітрям.

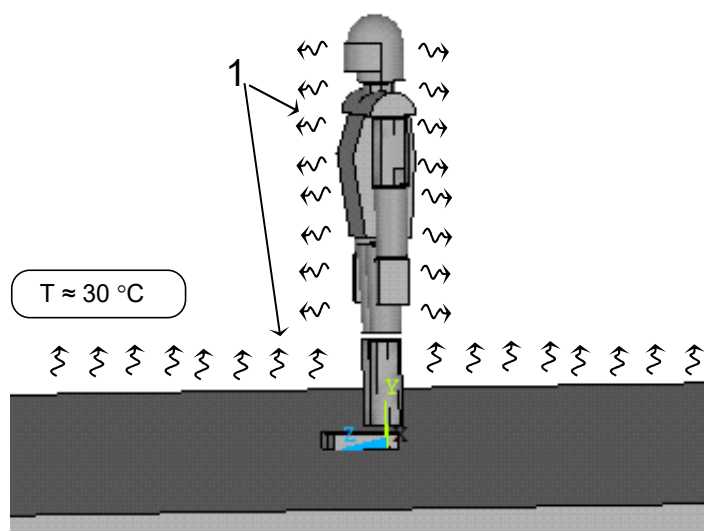


Рисунок 4.9 – Схема конвективного охолодження поверхонь захисного спорядження рятувальника та ґрунту: 1 – конвективне охолодження

4.3. Модель теплопередачі

Використовуючи припущення, які подані вище була прийнята математична модель теплопередачі, яка заснована на використанні нестационарного рівняння теплопровідності. Рівняння для проведення розрахунків має такий вигляд [9, 245]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\lambda}{C_p \rho} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) \quad (4.1)$$

де θ - температура, °C;

t – час, с

λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°C);

C_p – питома теплоємність, Дж/(кг·°C);

ρ - густина, кг/м³

Згідно із прийнятими моделями теплообміну на границях розрахункових областей були встановлені граничні умови. Згідно із рис. 4.7 теплообмін здійснюється за рахунок обміну тепловим випромінюванням між факелом.

Променистий теплообмін між відповідними поверхнями враховується шляхом вирішення інтегрального рівняння, що має такий вигляд [231]:

$$\sum_{j=1}^N (\delta_{ij} - \varphi_{ij}) \sigma \theta_j^4 = \sum_{j=1}^N \frac{1}{A_j} \left(\frac{\delta_{ij}}{\varepsilon_j} - \varphi_{ij} \frac{1 - \varepsilon_i}{\varepsilon_j} \right) q_j \quad (4.2)$$

де δ_{ij} – параметр, який дорівнює 0, якщо $i \neq j$, і дорівнює 1, якщо $i = j$;

q_j – поверхневий тепловий потік через i -ту поверхню, яка обмінюється випромінюванням з j -тою поверхнею

φ_{ij} – променеві форм-фактори, залежні від взаємного розташування i -тої та j -тої площ поверхонь, які обмінюються випромінюванням, і визначаються за формулою:

$$\varphi_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \beta_i \cos \beta_j}{\pi r^2} dA_j dA_i \cdot \quad (4.3)$$

У формулі (4.3) використовуються такі величини:

β – кут між нормаллю до елемента і лінією, яка з'єднує елементи i та j ;

r – відстань між центрами елементів i та j .

Форм-фактори за формулою (4.3) визначаються згідно із рис. 4.10.

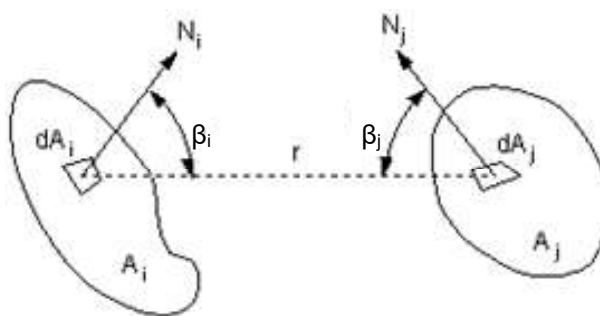


Рисунок 4.10 – Схема визначення форм-факторів.

Відповідно до прийнятих припущень були на поверхнях розрахункових областей встановлені граничні умови, що наведені на рис. 4.11.

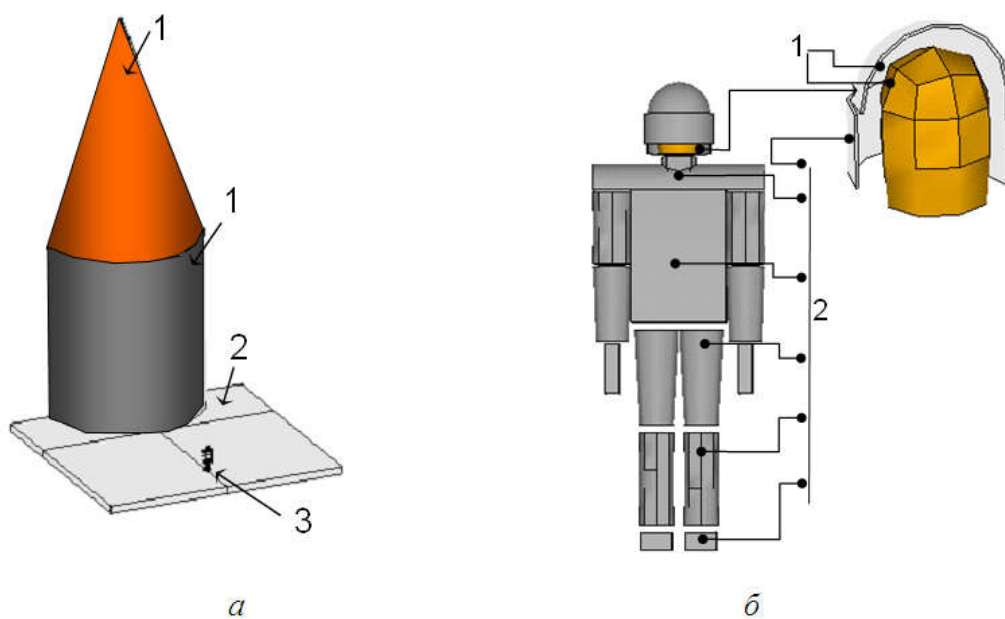


Рисунок 4.11 – Схема накладання граничних умов при постановці задачі теплопередачі на поверхні резервуару і ґрунту (а) та поверхні тіла рятувальника із спорядженням (б): 1 – граничні умови I роду, 2 – граничні умови I роду та III роду, 3 – граничні умови для тіла рятувальника із спорядженням

У відповідності до рис. 4.11 граничні умови, які встановлюються записуються у такому вигляді [232]:

$$\text{ГУ I рода } \theta|_{x,z} = \theta_s \quad (4.4)$$

$$\text{ГУ III роду } -\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial r} = \alpha(\theta_A - \theta_s), \quad (4.5)$$

де α – коефіцієнт конвективного теплообміну, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

θ_A, θ_s – відповідно температури оточуючого середовища і поверхонь, що беруть участь у теплообміні, $^\circ\text{C}$;

r – поточна просторова координата, м .

4.4. Метод чисельного розв'язку задачі

При апроксимації рівняння теплопровідності за умов використання обчислювального алгоритму за методом кінцевих елементів (МКЕ) застосовується вираз, що має такий вигляд [2, 103, 186, 232]:

$$[C_e] \{\theta_e\} + [K_e] \{\theta_e\} = \{Q_e\}, \quad (4.6)$$

де $[C_e] = \rho \cdot C_p \int_V \{N\} dV$ – матриця теплоємності матеріалів кінцевих елементів (КЕ);

$[K_e] = \int_V [B]^T [D] [B] dV$ – матриця теплопровідності КЕ;

$[B] = \{L\} \{N\} \theta$ – матриця розподілення температур в області, що обмежена гранями КЕ;

$\theta = \{N\}^T \{\theta_e\}$ – температура усередині області, що обмежена гранями КЕ;

$\{T_e\}$ – вектор вузлових температур КЕ;

$$[D] = \begin{pmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{pmatrix} - \text{матриця теплопровідності матеріалу у різних}$$

напрямках;

$$\{L\} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \quad \frac{\partial}{\partial y} \quad \frac{\partial}{\partial z} \right\}^T - \text{вектор диференціального оператора};$$

$$\{Q_e\} = q_w \int_S \{N\} dS - \text{матриця граничних теплових потоків КЕ};$$

$\{N\}$ - вектор форми кінцевих елементів, який визначає інтерполяційні функціонали в області, що обмежена гранями КЕ.

Для нестационарної задачі теплопровідності можна записати систему нелінійних рівнянь у матричній формі для отримання рішення рівняння (4.6):

$$[K]\{\theta\} = \{Q_e\}, \quad (4.7)$$

де $[K]$ – еквівалентна матриця теплопровідності, що залежить від об'ємної теплоємності і коефіцієнта теплопровідності матеріалу;

В узагальненому вигляді вираз (4.7) можна записати:

$$\{P(\theta)\} = \{Q_e\}, \quad (4.8)$$

де $\{P(\theta)\}$ – вектор внутрішніх вузлових теплових потоків, що визначається через густину теплових потоків елементів.

Дана система має нелінійні рівняння та вирішується за допомогою ітераційного методу Ньютона - Рафсона [2, 103, 186, 232]. При використанні цього методу мінімізується нев'язність:

$$\{\Phi\} \equiv \{Q_e\} - \{P(\theta)\} \rightarrow \min. \quad (4.9)$$

Метод Ньютона - Рафсона використовує у своїй основі скорочених рядів Тейлора для визначення остаточного вектора нев'язності. За умов застосування такого підходу система рівнянь (4.7) стає лінійною та записується у вигляді:

$$[K_T^{(i-1)}] \{\Delta\theta_e^{(i)}\} = \{Q^{(i)}\} - \{P^{(i)}\}. \quad (4.10)$$

При реалізації данного алгоритму послідовно виконуються ітерації ($i = 1, 2, 3, \dots$), після виконання яких відбувається визначення нових значень температур на кожній ітерації з виразу:

$$\{\theta^{(i)}\} = \{\theta^{(i-1)}\} + \{\Delta\theta^{(i)}\}. \quad (4.11)$$

Послідовне виконання ітерацій продовжується до виконання умови настання заданої точності отриманих результатів.

Коефіцієнти дотичної матриці $[K_T]$ у рівнянні (4.11) визначаються з вираження:

$$[K_T^{(i-1)}] \equiv \left(\frac{d\{\Phi\}}{d\{\theta\}} \right)_{i-1}. \quad (4.12)$$

Після розкладання вектору $\{\Phi\}$ у скорочений ряд Тейлора вираз для його визначення має вигляд:

$$\{\Phi^{(i)}\} \cong \{\Phi^{(i-1)}\} + [K_T^{(i-1)}] \{\Delta\theta^{(i)}\}, \quad (4.13)$$

де $\{\Delta\theta^{(i)}\} = \{\theta^{(i)}\} - \{\theta^{(i-1)}\}$ – вектор прирощення температури, необхідний для проведення наступної ітерації.

Рівняння (4.10) має складові, що визначаються як $\{Q^{(i)}\}$ – вектор вузлових теплових потоків, визначуваний при поточного обчислення вектора зовнішнього заданого теплового потоку $\{Q_{0n}\}$ та еквівалентної матриці теплопровідності $[K]$; $\{\bar{P}\}$ – еквівалентний вектор вузлових внутрішніх теплових потоків, обчислюваний при визначенні еквівалентної матриці теплопровідності на поточній ітерації з використанням чисельного інтегрування за часом вектору $\{\Delta\theta^{(i)}\}$ методом Ейлера з використанням формули:

$$\{\theta_{n+1}\} - \{\theta_n\} = \Delta t_n (1 - \varsigma) \{\dot{\theta}_n\} + \Delta t_n \varsigma \{\dot{\theta}_{n+1}\}, \quad (4.14)$$

де Δt_n – крок інтегрування за часом;

ς – параметр Ейлера, який дорівнює 0,5. У даному випадку застосовується неявна обчислювальна схема Кранка - Ніколсона.

Еквівалентна матриця теплопровідності $[K]$ визначається з вираження:

$$[K] = \frac{1}{\varsigma \Delta t_n} [C_e] + [K_e], \quad (4.15)$$

Для визначення матриці $\{Q(\theta)\}$ на поточному кроці інтегрування за часом використовується вираз:

$$\{Q_n(\theta)\} = \{Q_e\} + \frac{1 - \varsigma}{\varsigma} [C_e] \{\dot{\theta}_n\} - [K_e] \{\theta_n\}. \quad (4.16)$$

При аналізі задачі теплопереносу за рахунок випромінювання для інтегрування рівняння (4.4) був застосований метод ефективного теплового

потіку випромінювання. Для цього застосований узагальнений закон Стефана-Больцмана [231]:

$$\sum_{j=1}^N [\delta_{ij} - (1 - \varepsilon_i) \varphi_{ij}] q_j^0 = \varepsilon_i \sigma \theta_i^4, \quad (4.17)$$

де q_j^0 – ефективний тепловий потік від випромінювання поверхні j -того КЕ.

На основі обчислення ефективного теплового потоку випромінювання, визначається тепловий потік поверхні КЕ, на який потрапило задане випромінювання за формулою:

$$q_i = q_i^0 - \sum_{j=1}^N \varphi_{ij} q_j^0 \quad (4.18)$$

З врахуванням усієї сукупності поверхонь КЕ, які обмінюються випромінюванням, складається система нелінійних рівнянь у матричній формі, що має наступний вигляд:

$$[G]\{q^0\} = \{S\} \quad (4.19)$$

Компоненти матриці $[G]$ визначаються за формулою:

$$G_{ij} = \delta_{ij} - (1 - \varepsilon_i) \varphi_{ij}, \quad (4.20)$$

а компоненти матриці $\{S\}$ обчислюються за формулою:

$$S_{ij} = \varepsilon_i \sigma \theta_i^4. \quad (4.21)$$

Система рівнянь (4.19) вирішується для кожної площадки, що бере участь у теплообміні випромінюванням за методом ітерацій відповідно до схеми, яка описується вираженням [231]:

$$q_i^n = \psi q_i^{k+1} + (1 - \psi) q_i^k, \quad (4.22)$$

де ψ - релаксаційний коефіцієнт ефективного променистого теплопотоків;

k – номер ітерації.

4.5. Початкові дані

Початкові дані, що використовуються згідно з [128, 243, 20] для встановлення граничних умов у системі факел пожежі – ґрунт при проведенні розрахунків зведені до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Початкові дані до розрахунку температурного розподілу у системі
факел пожежі – ґрунт

Початкова температура ґрунту, °C	Ступінь чорноти поверхні ґрунту	Температура стінки резервуара із пожежею, °C	Температура факелу пожежі над резервуаром, °C	Ступінь чорноти поверхні стінки резервуара	Ступінь чорноти факела	Температура оточуючого повітря, °C
30	0,8	225	Бензин 1127	0,9	1	30

Початкові дані, що використовуються згідно з [20] для встановлення граничних умов у системі факел пожежі – тіло пожежника-рятувальника при проведенні розрахунків зведені до табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Початкові дані до розрахунку температурного розподілу у системі
факел пожежі – тіло пожежника-рятувальника

Початкова температура тіла рятувальника, °C	Початкова температура стінки шолома, °C	Початкова температура захисного костюма, °C	Початкова температура пожежних чобіт, °C	Ступінь чорноти поверхні пожежних чобіт	Ступінь чорноти поверхні захисного костюма	Ступінь чорноти Поверхні стінки шолома	Коефіцієнт теплопровідності при конвективному теплообміні, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$
37	25	25		0.8	0.8		9

Теплофізичні властивості матеріалів ґрунту та резервуару із пожежею, можна прийняти згідно з рекомендаціями [244, 21]. Згідно із цими рекомендаціями прийняті теплофізичні характеристики подані у табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Теплофізичні характеристики матеріалу резервуару та ґрунту

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(T), Вт/(м \cdot ^\circ C)$	Питома теплоємність, $c_p(T), Дж/(кг \cdot ^\circ C)$	Густина, $кг/м^3$
Теплофізичні характеристики сталі		
$\lambda = 54 - 3,33 \cdot 10^{-2} T$ при $20^\circ C \leq T \leq 800^\circ C$ $\lambda = 27,3$ при $800^\circ C < T \leq 1200^\circ C$	$c_p = 425 + 0,773T - 1,69 \cdot 10^{-3} T^2 + 2,22 \cdot 10^{-6} T^3$ при $20^\circ C \leq T \leq 600^\circ C$ $c_p = 666 - 13002(T - 738)^{-1}$ при $600^\circ C < T \leq 735^\circ C$ $c_p = 545 - 17820(T - 731)^{-1}$ при $735^\circ C < T \leq 900^\circ C$ $c_p = 650$ при $900^\circ C < T \leq 1200^\circ C$	7850
Теплофізичні характеристики ґрунту		
1,2	900	2300

Теплофізичні властивості тканин людини та матеріалів захисного спорядження рятувальника, можна прийняти згідно з рекомендаціями [243]. Згідно із цими рекомендаціями прийняті теплофізичні характеристики подані у табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Теплофізичні характеристики матеріалу резервуару та ґрунту

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(T), \text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	Питома теплоємність, $c_p(T), \text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$	Густина, $\text{кг}/\text{м}^3$
Усереднені теплофізичні характеристики тканин людини		
0.48	3350	1036
Теплофізичні характеристики матеріалу захисного костюма рятувальника (брезент)		
0.06	1200	750
Теплофізичні характеристики матеріалу шолома рятувальника (полікарбонат)		
0.161	1100	1200
Теплофізичні характеристики ґрунту матеріалу чобіт рятувальника (шкіра)		
0.16	1000	1000

Використовуючи описаний вище математичний апарат, для проведення розрахунку була розроблена розрахункова методика з використанням описаних вище сценаріїв пожежі. Згідно із даною розрахунковою методикою обчислення проводяться за умов виконання таких процедур.

1. Будується геометрична модель з прикладанням ГУ відповідно до рис. 4.4 – 4.10.
2. Організовується цикл в ході якого змінюється час впливу пожежі.
3. Час теплового впливу пожежі складає 60 хв, оскільки попередній розрахунок показав, що тепловий процес за даний час встановлюється.

4. Розрахунок повторюється для резервуару з іншим сценарієм теплового впливу від пожежі.

5. При розгляді різних сценаріїв пожежі змінюють дистанція від рятувальника та резервуару із пожежею, а також ступінь чорноти ґрунту.

Для реалізації такого алгоритму була створені кінцево-елементні схеми, які наведені на рис. рис. 4.12.

При реалізації обчислювального процесу були прийняті параметри алгоритму чисельного інтегрування, що подані у табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Параметри обчислювального процесу

Параметр обчислювального процесу	Одиниці виміру	Значення
Тип аналізу		Нестаціонарний
Автоматичний вибір кроку інтегрування		Включений
Часовий крок інтегрування	c (хв)	30 (0,5)
Найменший часовий крок	c	10
Найбільший часовий крок	c	30
Максимальна кількість ітерацій		1000
Спосіб прикладання навантаження		Ступінчастий
Тип обчислювальної схеми		Неявна
Просторовий крок (середній)	m	0,8
Точність збіжності обчислень	(%)	0.005 (0,5)

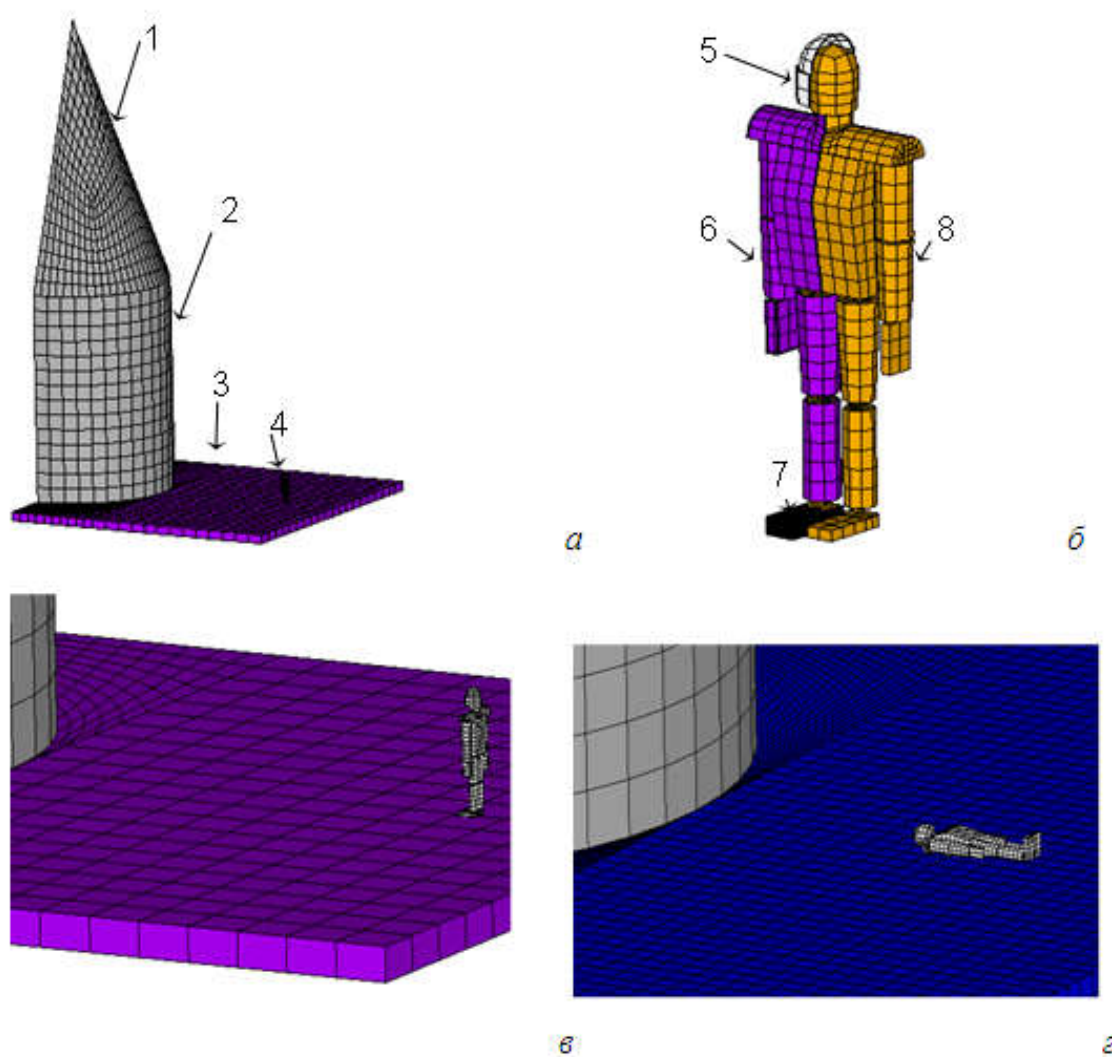


Рисунок 4.12 – Кінцево-елементні схеми теплової взаємодії між факелами пожежі над резервуаром, ґрунтом та тілом рятувальника у захисному спорядженні: *а* – загальна кінцево-елементна схема розрахункових областей; *б* – кінцево-елементна схема тіла рятувальника; *в* – взаємне розташування кінцевих елементів розрахункових областей за умов першого варіанту положення рятувальника (стоячи); *г* – взаємне розташування кінцевих елементів розрахункових областей за умов другого варіанту положення рятувальника (лежачи): 1 – КЕ факелу пожежі, 2 – КЕ стінки резервуару, 3 – КЕ ґрунту, 4 – КЕ тіла рятувальника, 5 – КЕ шолома, 6 – КЕ захисного костюма, 7 - КЕ пожежних чобіт, 8 – КЕ тіла рятувальника

4.6. Результати математичного моделювання розподілень температури для випадку впливу пожежі над резервуаром на тіло рятувальника

Після проведення розрахунків за розробленими методиками нами були отримані результати у вигляді температурних розподілень. Типова картина температурних розподілів у різні моменти часу по поверхні ґрунту навколо резервуару наведені на рис. 4.13.

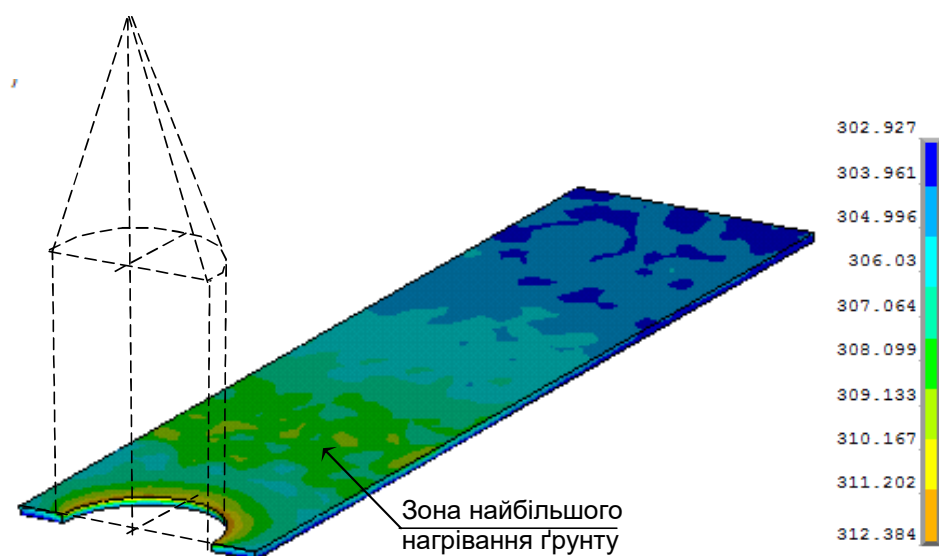


Рисунок 4.12 – Розподілення температури (К) по поверхні ґрунту поблизу резервуару на 20 хв продовження розвинутої пожежі над ним.

На рис. 4.12 видно, що у радіальному напрямку від резервуара із факелом пожежі над ним існує зона найбільшого нагріву ґрунту. Дані рис. 4.12 показують що поверхня ґрунту навколо резервуару прогрівається несуттєво, максимально на 7°C поблизу резервуару та 5°C у максимальній зоні нагріву на певній відстані резервуару. На рис. 4.13 показаний графік розподілення температури у радіальному напрямку від резервуару.

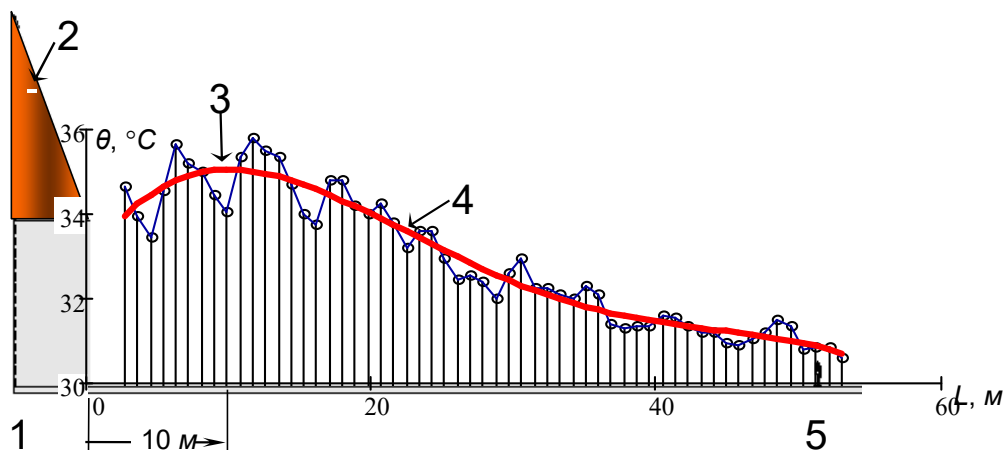


Рисунок 4.13 – Розподілення температури у радіальному напрямку від резервуара на 20 хв продовження розвинутої пожежі над ним: 1 – резервуар, 2 – факел пожежі, 3 – максимальна температура на відстані від резервуару, 4 – лінія регресії, 5 – рятувальник

Графік температури на рис. 4.13 є ломаним унаслідок нерівномірного рішення рівняння променистого теплообміну для поверхонь КЕ, розподіл яких також є нерівномірним. Для згладжування отриманих даних була побудована регресійна залежність у вигляді поліному із 4 ступенем. Дані щодо коефіцієнтів отриманого поліному регресійної залежності наведено у табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Коефіцієнти регресії залежностей температури нагріву ґрунту у радіальному напрямку від резервуару із пожежею

Коефіцієнти регресії $T(l) = a_0 + a_1l + a_2l^2 + a_3l^3 + a_4l^4$, °C	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	Похибка, %
Величина	32.853	0.507	-0.036	$8.1 \cdot 10^{-4}$	$-6.041 \cdot 10^{-6}$	0.95

За побудованою кривою регресії було отримано відстань до зони із максимальною температурою, що відмічена на рис. 4.13. дана відстань складає 10 м.

Проведені розрахунки дозволили отримати розподілення температури у тілі рятувальника у захисному спорядженні. На рис. 4.14 представлені результати розрахунку у тілі рятувальника у захисному спорядженні у різні моменти часу для першого положення (стоячи) на відстані 10 м.

Для більш детального аналізу були побудовані температурні розподілення на поверхні захисного спорядження рятувальника. Отримані температурні розподілення наведені на рис. 4.15. На даних розподілах можна помітити, що найбільш нагріта зона на поверхні захисного спорядження знаходиться у області грудей у місці ключиці. Також більш нагрітою зоною порівняно із іншими є зона передньої частини пожежного шолома.

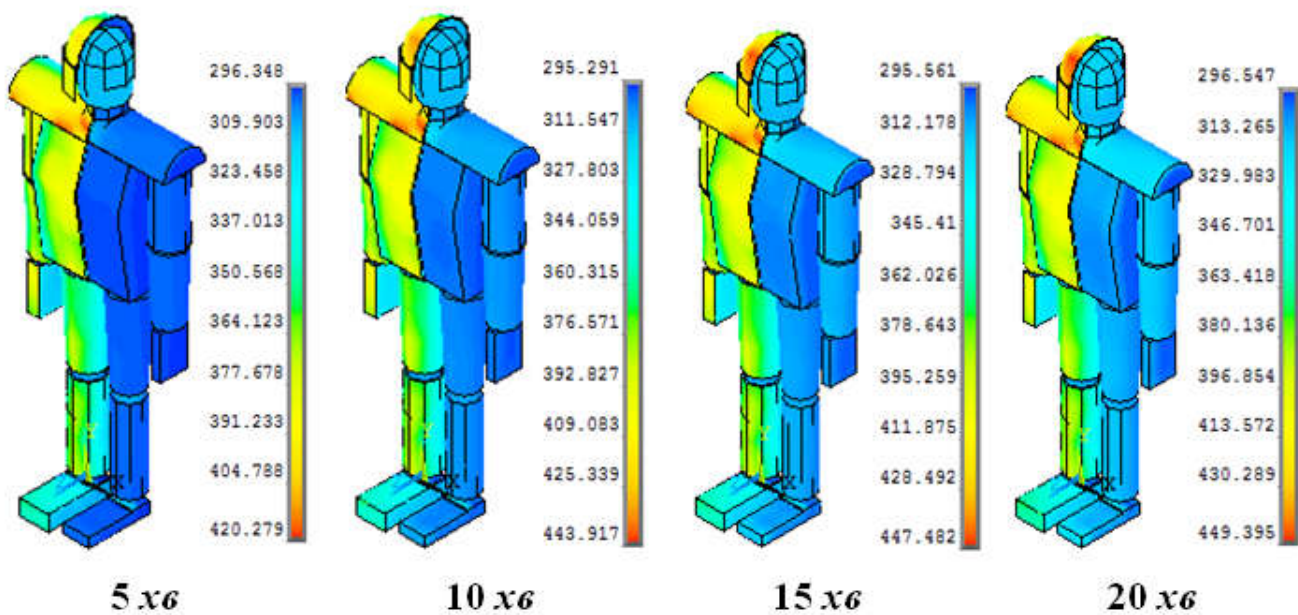


Рисунок 4.14 – Температурні розподілення (K) у тілі рятувальника у захисному спорядженні у різні моменти часу для першого положення (стоячи) на відстані 10 м.

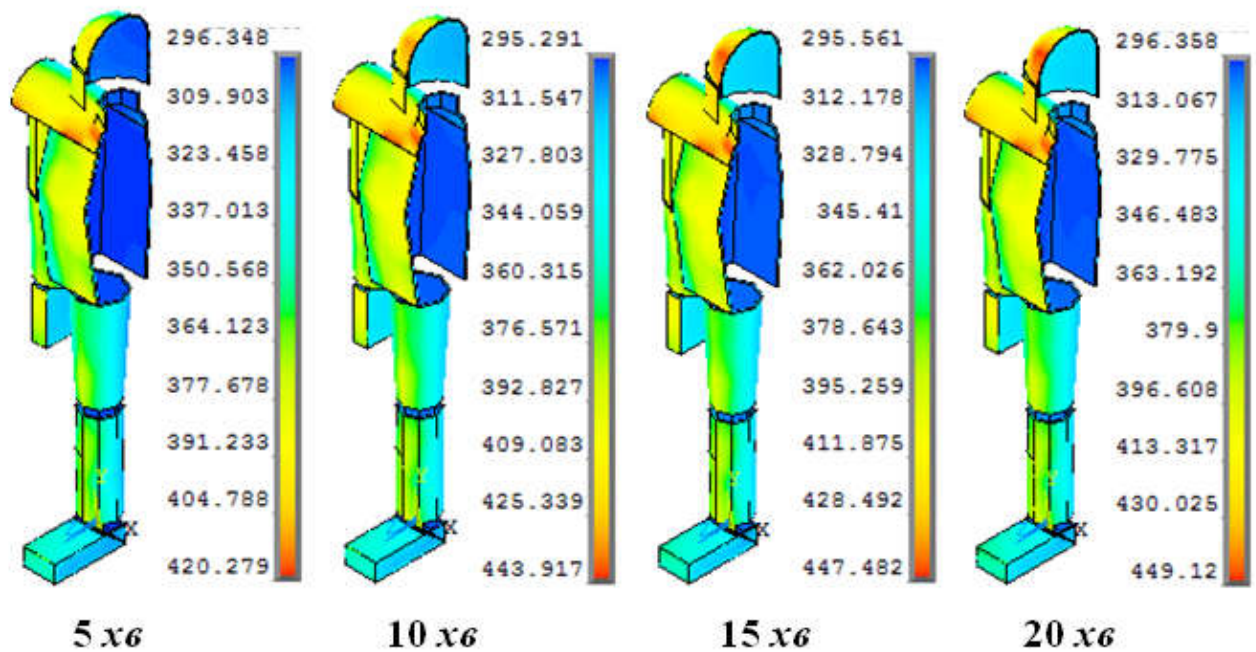


Рисунок 4.15 – Температурні розподілення (K) на зовнішній та внутрішній поверхнях захисного спорядження у різні моменти часу для першого положення (стоячи) на відстані 10 м.

На рис. 4.16 представлені результати розрахунку на поверхні тіла рятувальника під захисним спорядженням у різні моменти часу для першого положення (стоячи) на відстані 10 м.

На даних розподілах можна помітити, що найбільш нагріта зона на поверхні тіла рятувальника знаходиться у області грудей у місці ключиці. Також більш нагрітою зоною порівняно із іншими є зона передньої частини голови під пожежним шоломом та передньої частини стоп.

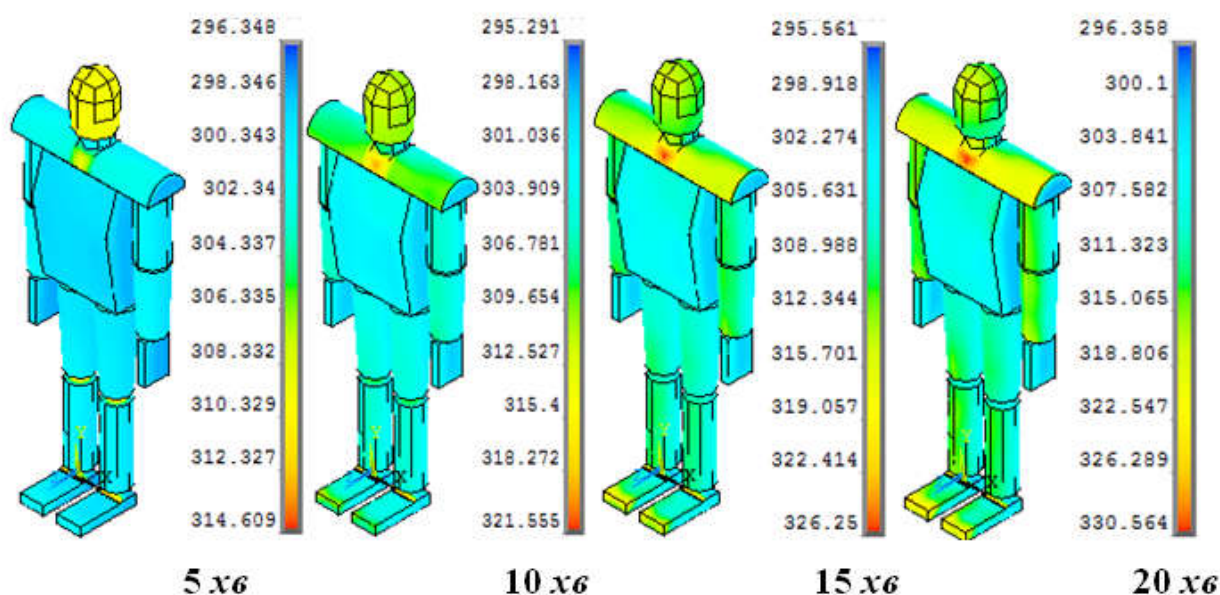


Рисунок 4.16 – Температурні розподілення (K) на зовнішній та внутрішній поверхнях захисного спорядження у різні моменти часу для першого положення (стоячи) на відстані 10 м.

На рис. 4.17 представлені результати розрахунку у тілі рятувальника у захисному спорядженні у різні моменти часу для другого положення (лежачи) на відстані 10 м.

На картинах розподілень температур на рис. 4.17 видно, що найбільш нагрітими поверхнями захисного спорядження є область грудей, верхня частина шолому, область кистей рук та гомілковостопна область.

Для більш детального аналізу були побудовані температурні розподілення на поверхні захисного спорядження рятувальника. Отримані температурні розподілення наведені на рис. 4.18.

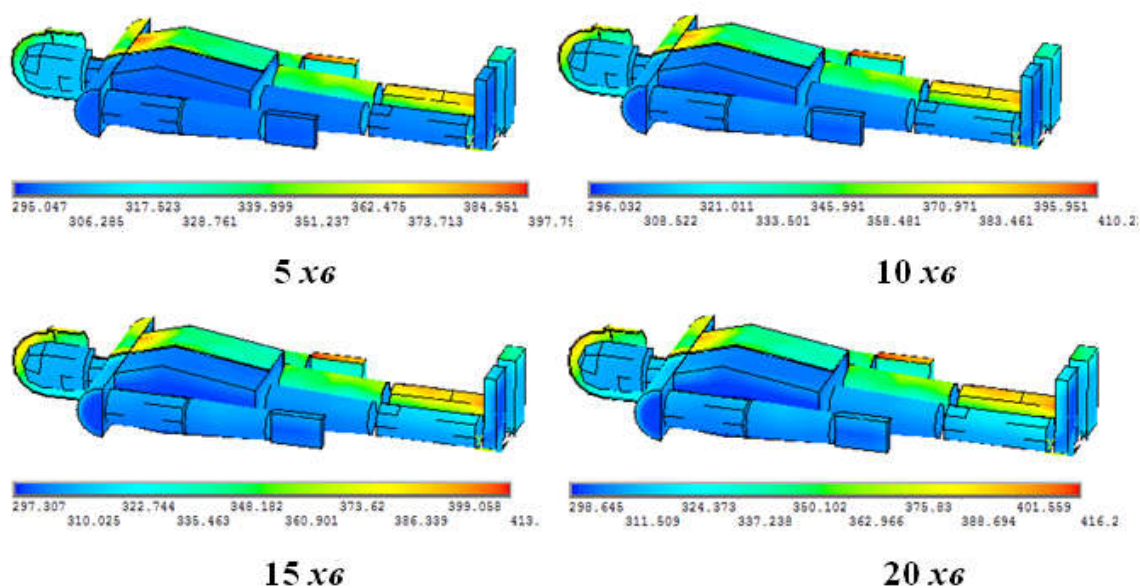


Рисунок 4.17 – Температурні розподілення (K) у тілі рятувальника у захисному спорядженні у різні моменти часу для другого положення (лежачи) на відстані 10 м.

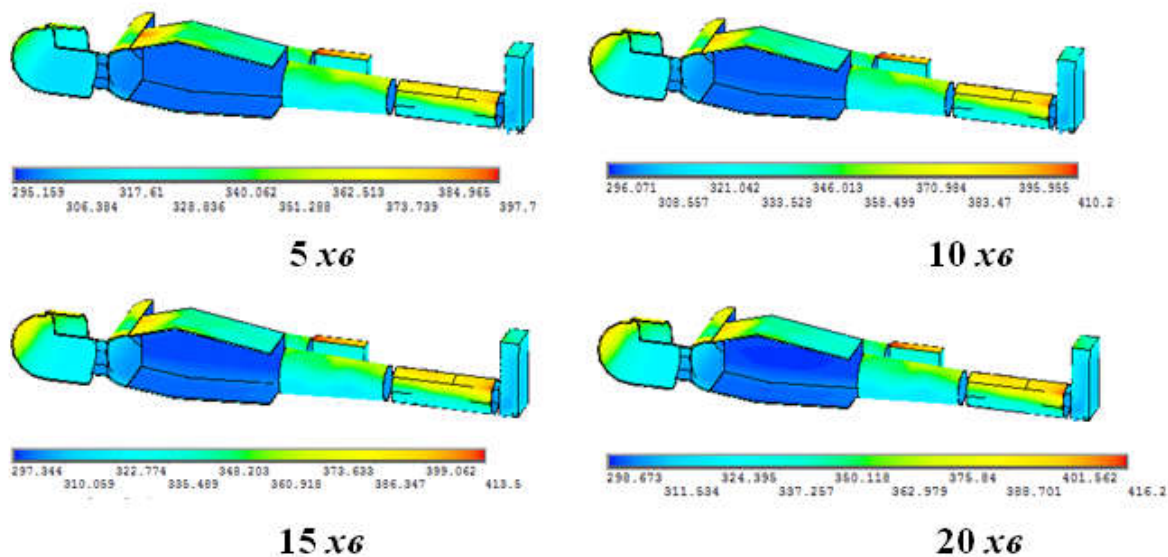


Рисунок 4.18 – Температурні розподілення (K) на зовнішній та внутрішній поверхнях захисного спорядження у різні моменти часу для першого положення (стоячи) на відстані 10 м.

На рис. 4.19 представлені результати розрахунку на поверхні тіла рятувальника а під захисним спорядженням у різні моменти часу для другого положення (лежачи) на відстані 10 м.

Аналіз температурних розподілів у тілі рятувальника показав, що процес його нагріву протікає у декілька етапів. На першому етапі до 7 хв температура поверхні тіла рятувальника під захисним спорядженням є нижчою за температуру його внутрішніх шарів, що можна побачити на рис. 4.16 та рис. 4.19 у час теплового впливу пожежі 5 хв. На наступному етапі поверхня тіла має температуру, більшу за температуру внутрішніх шарів але вона не перевищує небезпечний показник 50 °С, що дозволяє рятувальнику знаходитися у порівняно безпечному стані.

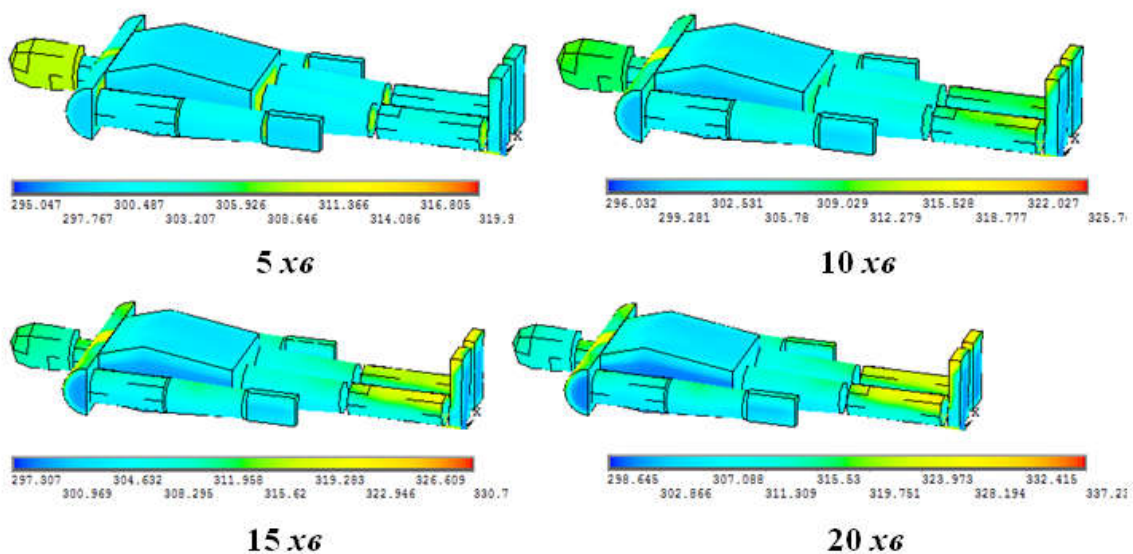


Рисунок 4.19 – Температурні розподілення (K) на зовнішній та внутрішній поверхнях захисного спорядження у різні моменти часу для першого положення (стоячи) на відстані 10 м.

Аналіз найбільш нагрітих зон поверхні тіла пожежника показав що найбільш нагрітою областю при його першому положенні (стоячи) є область

ключиці. Найбільш нагрітою зоною при другому положенні рятувальника (лежачи) є область стоп у їх передній частині. У першому положенні (стоячи) на відстані 10 м від резервуара максимальна температура нагріву поверхні тіла рятувальника складає $57\text{ }^{\circ}\text{C}$ у області ключиці, а максимальна температура поверхні рятувальника складає $64\text{ }^{\circ}\text{C}$ у області передньої частини стоп.

Для більшого уявлення про процес нагрівання були побудовані графіки режимів нагрівання точок поверхні тіла рятувальника а у його найбільш нагрітих зонах. Побудовані графіки при положенні стоячи наведені на рис. 4.20 [8, 220].

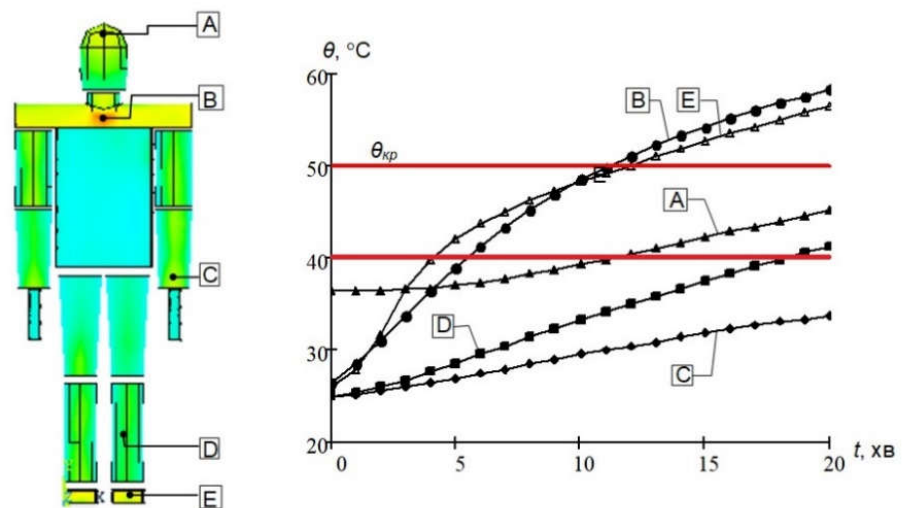


Рисунок 4.20 – Графіки режимів нагрівання точок поверхні тіла рятувальника у І положенні (стоячи) у його найбільш нагрітих зонах при відстані від резервуару із пожежею 10 м.

Аналізуючи дані, наведені на рис. 4.20, можна зробити висновок що критична температура для нормального функціонування $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ рятувальника при його положенні стоячи досягається у двох зонах – у області ключиці та передній частині стоп. Критична температура досягається у даних зонах майже одночасно на 12 хв.

Побудовані графіки при положенні лежачи наведені на рис. 4.21.

Аналізуючи дані, наведені на рис. 4.21, можна побачити що критична температура для нормального функціонування $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ рятувальника при його положенні лежачи досягається у трьох зонах – у області ключиці, гомілковостопної області та передній частині стоп. Найшвидше критична температура досягається у області стоп на 6 хв. Критична температура у області ключиці та гомілковостопної області досягається на 17 хв.

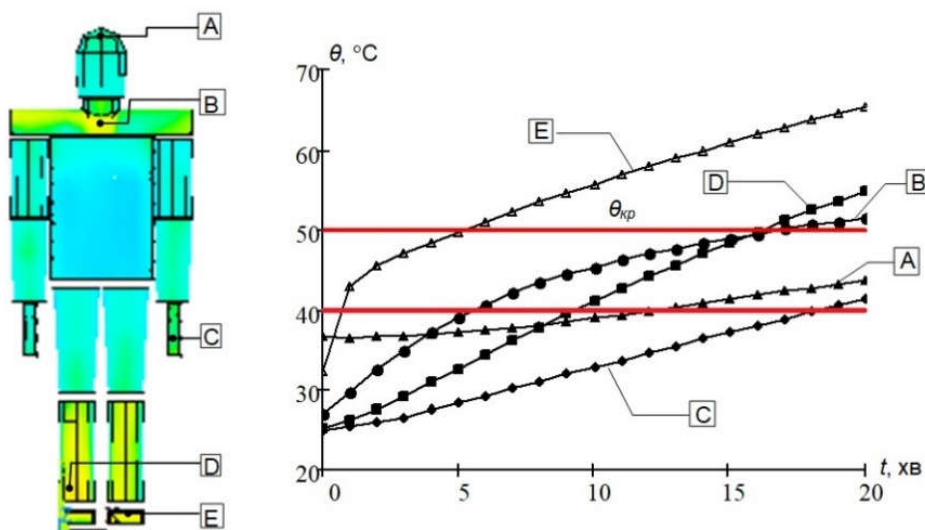


Рисунок 4.21 – Графіки режимів нагрівання точок поверхні тіла рятувальника у II положенні (лежачи) у його найбільш нагрітих зонах при відстані від резервуару із пожежею 10 м.

З огляду на це у якості висновку можна зазначити, що положення лежачи є набагато небезпечніше, оскільки настання критичної температури досягається удвічі швидше. Крім цього за зазначений період більша кількість зон у даному положенні підпадає під ураження теплового впливу імовірної пожежі над резервуаром.

З метою вивчення впливу відстані на максимальну температуру нагріву поверхні тіла рятувальника під захисним спорядженням були проведені розрахунки, у результаті яких побудовані відповідні графіки для обох положень, які наведені на рис. 4.22.

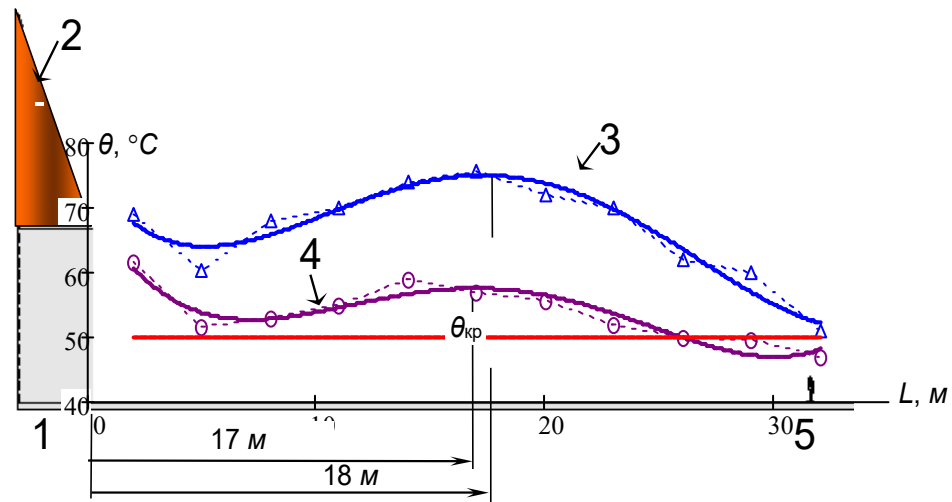


Рисунок 4.22 – Графіки залежностей максимальної температури нагріву поверхні тіла рятувальника від відстані до нього від резервуару із пожежею для двох його положень:

1 – резервуар, 2 – факел пожежі, 3 – лінія регресії для положення лежачи, 4 – лінія регресії для положення стоячи, 5 –рятувальник

Також були вивчені залежності часу настання критичної температури у будь-якій зоні поверхні тіла рятувальника від відстані його тіла від резервуара із пожежею. Графіки, що відтворюють дані залежності для положення стоячи та лежачи рятувальника наведені на рис. 4.23.

Аналіз залежностей максимальної температури нагріву поверхні тіла рятувальника від відстані до резервуару із пожежею показує, що знаходження рятувальника у положенні лежачи є набагато небезпечнішим, оскільки максимальна температура є значно більшою, а час нагріву до значення критичної температури є значно меншим. Графіки на рис. 4.22 та рис. 4.23 показують наявність найбільш небезпечної зони. Для положення стоячи вона

знаходиться на відстані від 11 м до 17 м, а для положення лежачи біля 18 м. Ділянка на якій можливе досягнення на тілі рятувальника значення критичної температури $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 20 хв для його положення стоячи обмежена відстанню 26 м, а для положення лежачи обмежується відстанню 35 м.

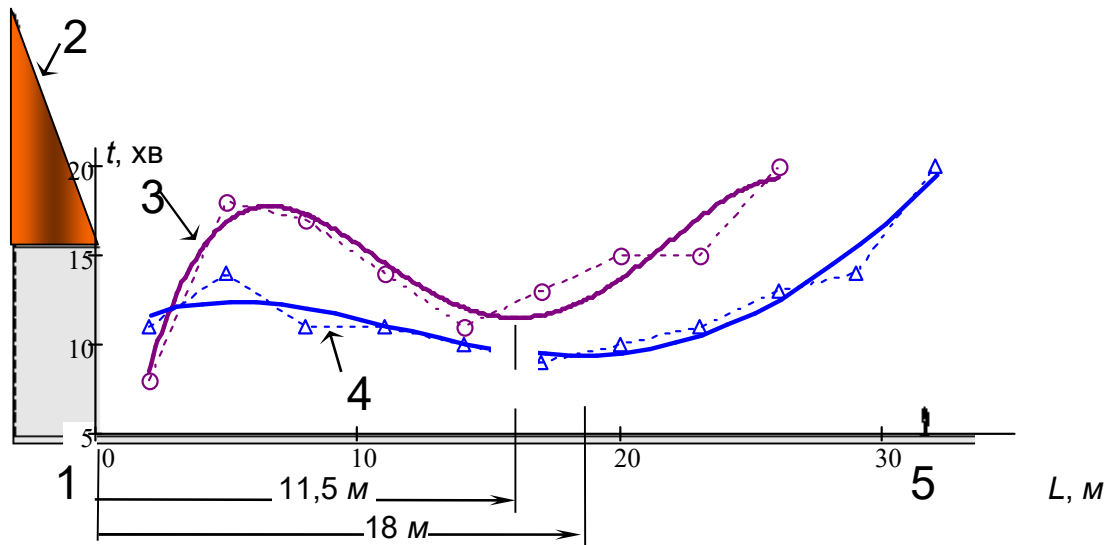


Рисунок 4.23 – Графіки залежностей часу досягнення критичної температури нагріву поверхні тіла пожежника-рятувальника від відстані до нього від резервуару із пожежею для двох його положень: 1 – резервуар, 2 – факел пожежі, 3 – лінія регресії для положення лежачи, 4 – лінія регресії для положення стоячи, 5 –рятувальник

З метою вивчення впливу відбивальної здатності поверхні ґрунту було здійснено розрахунок у найбільш небезпечних зонах для двох положень рятувальника при варіюванні ступеня чорноти поверхні ґрунту у межах від 0,1 до 1,0. На рис. 4.24 подані графіки залежностей максимальної температури нагрівання поверхні тіла рятувальника та часу досягнення критичної температури.

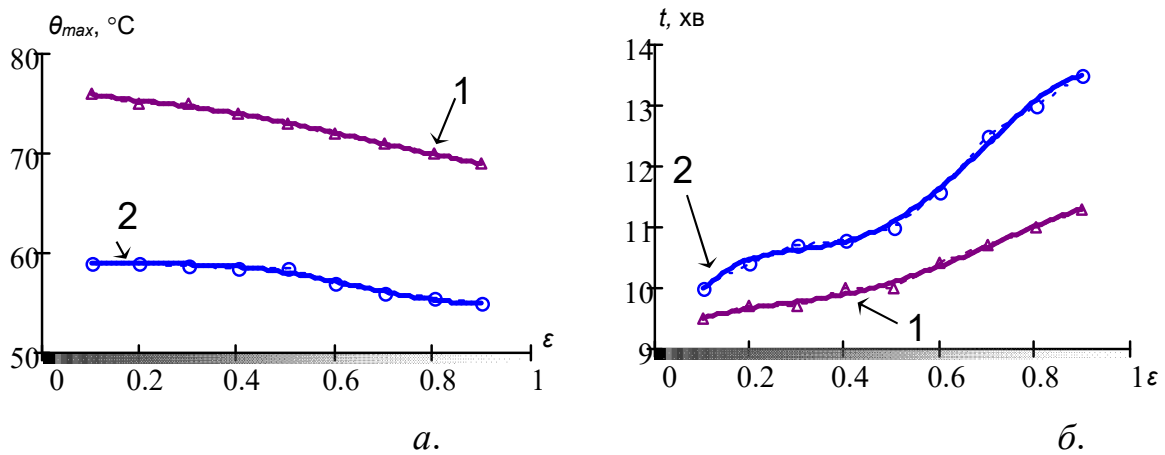


Рисунок 4.24 – Графіки залежностей максимальної температури нагрівання поверхні тіла рятувальника (а) та часу досягнення критичної температури (б) у найбільш небезпечній зоні для досліджуваних положень його тіла: 1 – для положення лежачи, 2 – для положення стоячи

Аналізуючи графіки, подані на рис. 4.24 можна зазначити, що зміна значення ступеня чорноти поверхні ґрунту менш істотно впливає на максимальну температуру рятувальника при тепловій дії на нього факелу пожежі у порівнянні із впливом відстані до резервуару із пожежею. Характерною особливістю є те, що із збільшенням ступеня чорноти поверхні ґрунту максимальна температура нагрівання поверхні тіла рятувальника монотонно зменшується, а час нагрівання до значення критичної температури 50 °С збільшується. Такий стан пояснюється тим, що збільшення чорноти поверхні ґрунту призводить до більшого поглинання теплової енергії і відповідно зменшення теплового потоку з боку поверхні ґрунту на тіло рятувальника, що узгоджується із фізичними уявленнями про даний процес. Хоча вплив чорноти поверхні ґрунту є менш істотним, графіки на рис. 4.24 показують, що їм нехтувати не можна.

При аналізі отриманих розрахункових залежностей для згладжування отриманих даних були побудовані регресійні залежності для параметрів, що характеризують небезпеку термовпливу пожежі над резервуаром для

рятувальників – максимальної температури нагрівання поверхні тіла та час досягнення критичної температури на поверхні тіла у залежності від дистанції до резервуару із пожежею. У табл. 4.8 наведені відповідні параметри отриманих регресійних залежностей.

Також для згладжування отриманих даних були побудовані регресійні залежності для параметрів, що характеризують небезпеку термовпливу пожежі над резервуаром для рятувальників – максимальної температури нагрівання поверхні тіла та час досягнення критичної температури на поверхні тіла у залежності від ступеня чорноти поверхні ґрунту. У табл. 4.9 наведені відповідні параметри отриманих регресійних залежностей.

Таблиця 4.8

Коефіцієнти регресії залежностей максимальної температури нагріву рятувальника у залежності від відстані до резервуару із пожежею

Коефіцієнти регресії $P(l) = a_0 + a_1l + a_2l^2 + a_3l^3 + a_4l^4$	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	Похибка, %
Максимальна температура поверхні тіла рятувальника для I положення, $\theta_{\max}$	70.484	-6.233	0.724	-0.031	$4.292 \cdot 10^{-4}$	1.9
Максимальна температура поверхні тіла рятувальника для II положення, $\theta_{\max}$	75.005	-4.949	0.697	-0.031	$4.144 \cdot 10^{-4}$	2.4
Час досягнення критичної температури поверхні тіла рятувальника для I положення, t	-4.662	8.497	-1.068	0.05	$-7.626 \cdot 10^{-4}$	4.1
Час досягнення критичної температури поверхні тіла рятувальника для II положення, t	10.104	0.997	-0.132	$5.051 \cdot 10^{-3}$	$-5.036 \cdot 10^{-5}$	3.4

4.7. Результати проведення повного факторного експерименту

З огляду на проведені дослідження визначені фактори, які мають найбільший вплив на параметри, які визначають небезпеку дії пожежі на тіло рятувальника – це максимальна температура нагрівання поверхні тіла та час досягнення критичної температури на поверхні тіла. У якості таких факторів

можна розглядати відстань до резервуару із пожежею та ступеня чорноти поверхні ґрунту.

Таблиця 4.9

Коефіцієнти регресії залежностей максимальної температури нагріву рятувальника у залежності від ступеня чорноти поверхні ґрунту

Коефіцієнти регресії $P(l) = a_0 + a_1l + a_2l^2 + a_3l^3 + a_4l^4$	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	Похибка, %
Максимальна температура поверхні тіла рятувальника для I положення, $\theta_{\max}$	59.511	-8.684	46.167	-97.565	56.527	0.3
Максимальна температура поверхні тіла рятувальника для II положення, $\theta_{\max}$	76.611	-8.169	14.617	-34.9	20.369	0.15
Час досягнення критичної температури поверхні тіла рятувальника для I положення, t	8.722	18.249	-66.476	105.063	-52.448	0.45
Час досягнення критичної температури поверхні тіла рятувальника для II положення, t	9.149	4.318	-14.232	24.637	-12.529	0.38

Для побудування математичної моделі впливу даних факторів на тіло рятувальника необхідно провести повний факторний експеримент. З огляду на поведінку графіків, поданих на рис. рис. 4.22 – 4.24 встановлено, що для проведення чисельного експерименту має бути застосований рототабельний ортогональний центрально-композиційний план, оскільки математична модель за зробленим нами припущенням відповідає параболічній залежності максимальної температури нагрівання поверхні тіла та часу досягнення критичної температури на поверхні тіла від факторів, яка має такий вигляд [251, 243].

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2 \quad (4.23)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ – коефіцієнти регресії.

При складанні плану другого порядку вводяться додаткові параметри, що для виразу (4.23) мають значення, наведені у табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Параметри рототабельного ортогонального центрально-композиційного плану

Кількість факторів, n	Зіркове плече, $\alpha = \sqrt{n}$	Кількість основних дослідів, $N_0 = 2^n$	Кількість центральних дослідів, $n_0 = \frac{4n^2}{2^n} + 2n$	Сумарна кількість дослідів, N	Доданок до квадратних членів регресії, S
2	1.414	4	8	16	0.5

Для визначення коефіцієнтів регресії відповідно до формули (4.23) необхідно провести 16 чисельних експериментів за складеною для цього матриці планування експерименту, що записана у вигляді табл.4.11.

У табл. 4.12 вказані інтервали параметрів в експерименті, що вибрані в якості факторів.

Вибранні параметри є незалежними за їх природою.

Для проведення повного факторного експерименту були використані кінцево-елементні моделі для вирішення теплової задачі, що наведені на рис. 4.11. Геометричні параметри моделей, теплофізичні властивості та параметри граничних умов у табл. табл. 4.2 – 4.6.

Таблиця 4.11

Типова матриця планування повного факторного експерименту для побудування математичних моделей

№	x_1	x_2	x_1x_2	$x_1^2 - S$	$x_2^2 - S$	
1	+1	+1	+1	0.5	0.5	Основні
2	-1	+1	-1	0.5	0.5	
3	+1	-1	-1	0.5	0.5	
4	-1	-1	+1	0.5	0.5	
5	-1.414	0	0	1.5	-0.5	Зіркові
6	+1.414	0	0	1.5	-0.5	
7	0	-1.414	0	-0.5	1.5	
8	0	+1.414	0	-0.5	1.5	
9	0	0	0	-0.5	-0.5	Центральні
10	0	0	0	-0.5	-0.5	
11	0	0	0	-0.5	-0.5	
12	0	0	0	-0.5	-0.5	
13	0	0	0	-0.5	-0.5	
14	0	0	0	-0.5	-0.5	
15	0	0	0	-0.5	-0.5	
16	0	0	0	-0.5	-0.5	

Варіюючи параметри згідно із табл. 4.11 та табл. 4.12, і проводячи розрахунки за вищеописаною методикою, були отримані значення параметрів, які визначають небезпеку дії пожежі на тіло рятувальника – максимальної температури нагрівання поверхні тіла та час досягнення критичної температури на поверхні тіла. Отримані дані наведені у табл. 4.12.

Таблиця 4.12

Інтервали варіювання факторів у чисельному експерименті

Відстань до резервуару із пожежею, м								Ступінь чорноти поверхні ґрунту							
Найменше значення, H_{-1}	Середнє значення, H_0	Найбільше значення, H_1	Найбільше зіркове значення, $H_{+1.414}$	Найменше зіркове значення, $H_{-1.414}$	Полуторне значення, $H_{1.5}$	Найбільше половинне значення, $H_{0.5}$	Найменше половинне значення, $H_{0.5}$	Найменше значення, ε_{-1}	Середнє значення, ε_0	Найбільше значення, ε_1	Найбільше зіркове значення, $\varepsilon_{+1.414}$	Найменше зіркове значення, $\varepsilon_{-1.414}$	Полуторне значення, $\varepsilon_{1.5}$	Найбільше половинне значення, $\varepsilon_{0.5}$	Найменше половинне значення, $\varepsilon_{0.5}$
9.39	20	30.61	35	5	35.91	25.3	14.7	0.217	0.5	0.783	0.9	0.1	0.924	0.641	0.359

Таблиця 4.12

Параметри небезпеки термовпливу пожежі, отримані в умовах повного факторного експерименту згідно із прийнятою матрицею планування

Експериментальна ситуація	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Максимальна температура поверхні тіла рятувальника для I положення, $\theta_{\max}$, °C	47.5	54.2	48.6	55.5	52.1	49.7	57.2	55.4	56.7
Максимальна температура поверхні тіла рятувальника для II положення, $\theta_{\max}$, °C	53.9	66.5	58.1	72.7	52.9	48.6	76.6	71.2	73.9
Час досягнення критичної температури поверхні тіла рятувальника для I положення, t , хв	23	15	21	14	17	20.5	13	14	13
Час досягнення критичної температури поверхні тіла рятувальника для II положення, t , хв	17.5	11.5	15	10	16	20.1	9.8	10.5	9.5

Використовуючи дані табл. 4.12 мають бути визначені коефіцієнти регресійної залежності (4.23) за формулами [75, 76]:

$$\begin{aligned}
b_0 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i - \frac{0.5}{N} \sum_{i=1}^N y_i (x_1^2 - S) - \frac{0.5}{N} \sum_{i=1}^N y_i (x_2^2 - S); \\
b_1 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 y_i; \quad b_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_2 y_i; \\
b_3 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 x_2 y_i; \quad b_4 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i (x_1^2 - S); \quad b_5 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i (x_2^2 - S)
\end{aligned} \tag{4.24}$$

де $N = 4$ – кількість експериментальних ситуацій згідно із планом експерименту;

$x_i, (x_i - S)$ – значення кодованих параметрів згідно із матрицею плану (див. табл. 4.11);

y_i – значення параметра небезпеки термовпливу пожежі, визначене у результаті чисельного експерименту згідно із табл. 4.12.

Використовуючи формули (4.24), були визначені коефіцієнти регресії, які наведені у табл. 4.13 та у табл. 4.14.

Таблиця 4.13

Коефіцієнти регресії у кодованому вигляді для математичної моделі залежності досліджуваних параметрів від відповідних факторів

Коефіцієнт	$b_0,$	$b_1,$	$b_2,$	$b_3,$	$b_4,$	$b_5,$
Максимальна температура поверхні тіла рятувальника для I положення, $\theta_{\max}$	55.656	-1.062	-0.309	0.012	-1.719	-0.369
Максимальна температура поверхні тіла рятувальника для II положення, $\theta_{\max}$	71.066	-2.08	-1.127	0.125	-5.728	0.059
Час досягнення критичної температури поверхні тіла рятувальника для I положення, t	14.047	1.247	0.276	0.063	1.703	0.391
Час досягнення критичної температури поверхні тіла рятувальника для II положення, t	10.575	1.05	0.312	0.063	2.063	0.087

Таблиця 4.14

Дійсне значення коефіцієнтів регресії для математичної моделі залежності досліджуваних параметрів від відповідних факторів

Коефіцієнт	b_0 ,	b_1 ,	b_2 ,	b_3 ,	b_4 ,	b_5 ,
Максимальна температура поверхні тіла рятувальника для I положення, $\theta_{\max}$	56.94	-0.0137	-0.3195	$5.21 \cdot 10^{-4}$	$-1.91 \cdot 10^{-3}$	-0.576
Максимальна температура поверхні тіла рятувальника для II положення, $\theta_{\max}$	73.862	0.0501	-2.9704	0.0521	-0.00636	0.0928
Час досягнення критичної температури поверхні тіла рятувальника для I положення, t	12.578	0.0253	0.1623	0.0026	0.001892	0.6103
Час досягнення критичної температури поверхні тіла рятувальника для II положення, t	9.3385	$1.97 \cdot 10^{-4}$	0.6312	0.00260	0.002292	0.1367

У відповідності до отриманих регресійних залежностей впливу відстані від резервуару із пожежею та ступеня чорноти ґрунту на максимальну температуру нагріву поверхні тіла рятувальника були побудовані поверхні, що наведені на рис. 4.25 [174].

У відповідності до отриманих регресійних залежностей впливу відстані від резервуару із пожежею та ступеня чорноти ґрунту на час досягнення критичної температури 50 °C нагріву поверхні тіла рятувальника були побудовані поверхні, що наведені на рис. 4.26.

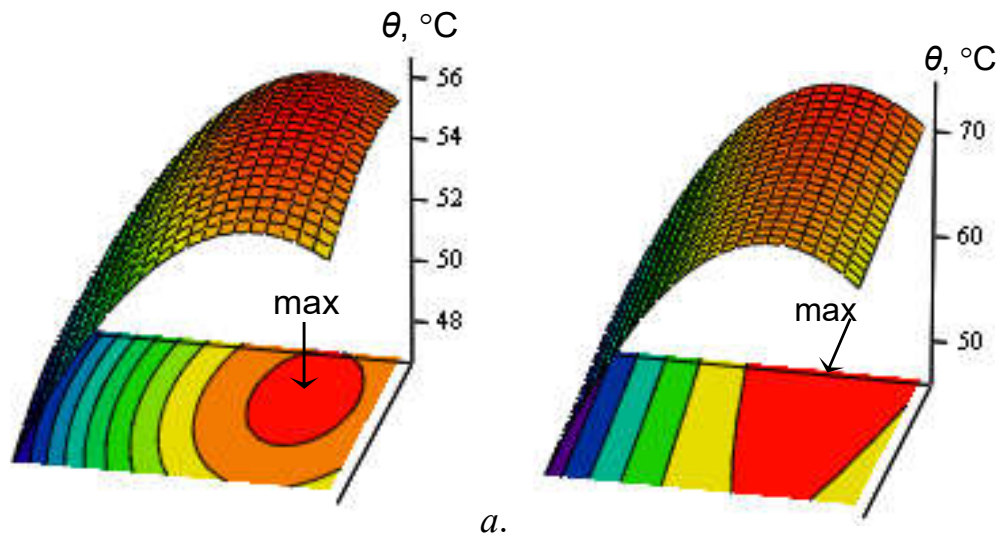


Рисунок 4.25 – Поверхні регресійних залежностей впливу відстані від резервуару із пожежею та ступеня чорноти ґрунту на максимальну температуру нагріву поверхні тіла рятувальника: *а* – для положення стоячи *б* – для положення лежачи

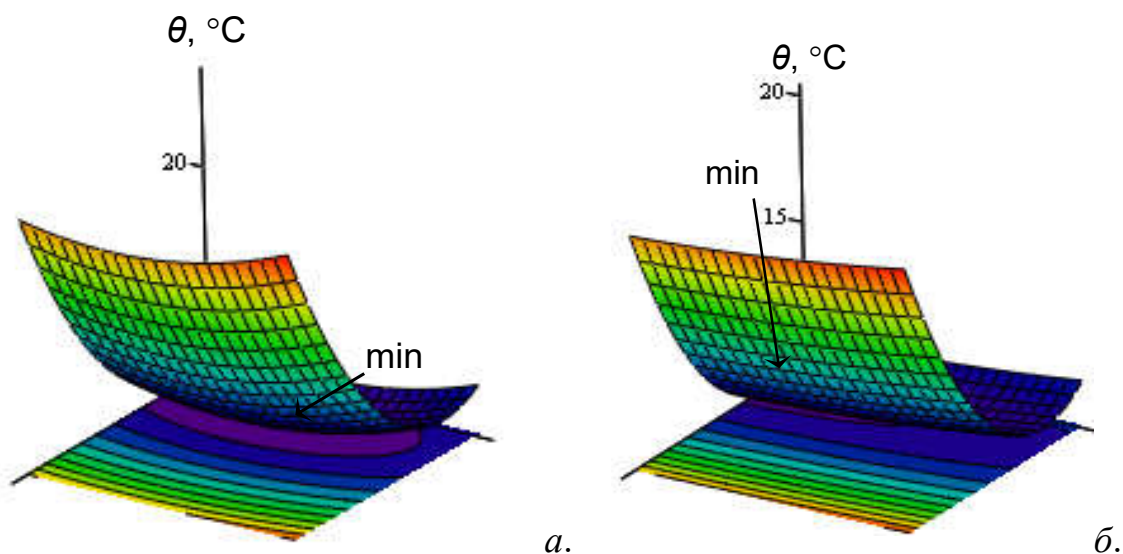


Рисунок 4.26 – Поверхні регресійних залежностей впливу відстані від резервуару із пожежею та ступеня чорноти ґрунту на час досягнення критичної температури 50 °C нагріву рятувальника: *а* – для положення стоячи *б* – для положення лежачи

Проаналізувавши графіки залежностей, поданих на рис. 4.25 та рис. 4.26, було виявлено, що поверхня залежності впливу відстані від резервуару із

пожежею та ступеня чорноти ґрунту на максимальну температуру нагріву поверхні тіла рятувальника у положенні стоячи має чітко виражений максимум, у той же час поверхня залежності впливу відстані від резервуару із пожежею та ступеня чорноти ґрунту на час досягнення критичної температури $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ нагріву рятувальника має чітко виражений мінімум. Ті ж самі параметри для положення рятувальника лежачи не мають чітко виражених екстремумів, але є точка де при певному значенні відстані від резервуару із пожежею і мінімальному значенні ступеня чорноти є найбільше значення максимальну температуру нагріву поверхні тіла пожежника-рятувальника та найменше значення час досягнення критичної температури $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ нагріву рятувальника.

Для визначення величин, при яких спостерігаються екстремуми на відповідних поверхнях складається система рівнянь, вигляд якої наведений нижче [251, 243]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial y}{\partial x_1} &= b_1 + b_3 x_2 + 2b_4 x_1 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} &= b_2 + b_3 x_1 + 2b_5 x_2 = 0\end{aligned}\tag{4.25}$$

Так само визначається найбільше значення величин, відповідних максимальним та мінімальним значенням параметрів для положення лежачи. При цьому у якості другої змінної підставляється найменше значення ступеня чорноти поверхні ґрунту. Виконавши відповідні розрахунки були отримані значення відстані від резервуару із пожежею та ступеня чорноти ґрунту, при яких отримані регресійні залежності досягають найбільшого значення для максимальної температури нагріву поверхні тіла пожежника-рятувальника. Отримані значення наведені у табл. 4.15.

Таблиця 4.15

Значення відстані від резервуару із пожежею та ступеня чорноти ґрунту при яких отримані регресійні залежності досягають мінімальних та максимальних значень

Відстань від резервуару із пожежею, L , м	Ступінь чорноти поверхні ґрунту, ε	Максимальна температура нагріву поверхні тіла, $\theta_{\max}$, $^{\circ}\text{C}$
І положення (стоячи)		
11.22	0.38	56.38
ІІ положення (лежачи)		
12.92	0.1	73.972

Також були отримані значення відстані від резервуару із пожежею та ступеня чорноти ґрунту, при яких отримані регресійні залежності досягають найбільшого значення для часу досягнення критичної температури 50°C нагріву рятувальника. Отримані значення наведені у табл. 4.16.

Таблиця 4.16

Значення відстані від резервуару із пожежею та ступеня чорноти ґрунту при яких отримані регресійні залежності досягають мінімальних та максимальних значень

Відстань від резервуару із пожежею, L , м	Ступінь чорноти поверхні ґрунту, ε	Часу досягнення критичної температури 50°C нагріву поверхні тіла, t , хв
І положення (стоячи)		
11.4	0.42	13.191
ІІ положення (лежачи)		
12.28	0.1	9.702

Використовуючи дані щодо розрахунку для параметрів небезпеки впливу пожежі на тіло рятувальника була визначені характеристики

адекватності отриманих результатів з використанням визначених регресійних залежностей. В якості критеріїв адекватності результатів, визначених за регресійною моделлю розглянуті абсолютне та відносне відхилення. Отримані значення наведені у табл. 4.17.

Дані табл. 4.17 показують, що похибка результатів, отриманих за регресійною моделлю є незначною і визначені регресійні залежності можуть бути використані для обґрунтування відстаней безпеки при виконанні оперативно-рятувальними підрозділами дій щодо локалізації пожеж та рятувальних операцій на підприємствах, де зберігаються нафтопродукти.

Таблиця 4.17

Адекватність результатів, визначених за регресійною залежністю

Критерій Фішера	Табличне значення критерію Фішера	Абсолютне відхилення, хв	Відносне відхилення, %
Максимальна температура поверхні тіла рятувальника для І положення			
0.921	1.01	4	4,3
Максимальна температура поверхні тіла рятувальника для ІІ положення			
0.884	1.01	4.8	5,3
Час досягнення критичної температури поверхні тіла рятувальника для І положення			
0.89	1.01	1.2	3,8
Час досягнення критичної температури поверхні тіла рятувальника для ІІ положення			
0.86	1.01	1.6	4,6

4.8. Висновки.

1. На основі проведених досліджень сценаріїв пожежі у резервуарних парках із нафтопродуктами та небезпечного впливу теплових проявів пожежі на резервуарах із нафтопродуктами на особовий склад оперативно-рятувальних підрозділів побудована математична модель нагрівання у системі факел пожежі – резервуар – ґрунт – тіло рятувальника у захисному спорядженні.

2. Для створення математичної моделі було використано нестационарне рівняння теплопровідності у комбінації із граничними умовами I та III роду та інтегральним рівнянням променистого теплообміну.

3. Для реалізації розрахунку із використанням створеної моделі був використаний метод кінцевих елементів.

4. Були побудовані температурні розподіли по поверхні захисного спорядження та поверхні тіла рятувальника для його двох різних положень – стоячи та лежачи, що дозволило виявити найбільш вразливі місця на тілі людини. Нагрів поверхні тіла рятувальника від пожежі в резервуарі відбувається нерівномірно: спочатку температура тіла рятувальника нижча від температури внутрішніх шарів захисного одягу, протягом 5...7 хв вона перевищує температуру внутрішніх шарів, але не досягає небезпечних значень (40...50 °C), в подальшому першочергово стає критичною температура у області верхньої частини погруддя та голови, а також у області передньої частини стоп, що створює основи для удосконалення індивідуального протитеплогового захисту рятувальників.

5. Виявлено, що ґрунт навколо резервуару із пожежею нагрівається якнайбільше на 35 °C за 20 хв впливу пожежі при умові її найбільшого розвитку на відстані біля 10 м.

6. Виявлені закономірності впливу відстані до резервуару із пожежею та ступеня чорноти поверхні ґрунту на максимальну температуру поверхні тіла рятувальника та часу досягнення критичної температури нагріву 50 °C, які носять явно нелінійний характер.

7. За отриманими закономірностями побудовані регресійні залежності і виявлено орієнтовні положення зони найбільшої температури нагрівання знаходяться у області на відстані від 11 до 17 м від резервуару із пожежею.

8. З метою вивчення взаємного впливу на максимальну температуру нагрівання поверхні тіла рятувальника та часу досягнення критичної температури 50 °C на поверхні тіла рятувальника відстані до резервуару із

пожежею та ступеня чорноти ґрунту був проведений повний факторний експеримент із рототабельним ортогональним центрально-композиційним планом другого порядку.

9. На основі проведених розрахунків були обчислені коефіцієнти поліноміальної регресії другого порядку і побудовані відповідні повернені, на яких відстежені екстремальні точки.

10. На основі отриманих регресійних залежностей виявлено, що поверхня тіла рятувальника за 20 хв впливу пожежі при умові її найбільшого розвитку нагрівається до найбільшої температури $56,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ для положення стоячи і до найбільшої температури $73,972\text{ }^{\circ}\text{C}$ для положення лежачи.

11. На основі отриманих регресійних залежностей виявлено, що поверхня тіла рятувальника нагрівається до критичної температури $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ за найменший час 13 хв для положення стоячи і 10 хв для положення лежачи.

12. Шляхом обчислень виявлені дані екстремальні точки, що показали найбільш небезпечну зону для особового складу аварійно-рятувальних підрозділів, що знаходиться у діапазоні відстаней від 11 м до 13 м до резервуару із пожежею, тоді як найбільш небезпечні значення ступеня чорноти для положення стоячи знаходиться у діапазоні від 0,3 до 0,5.

13. Аналіз адекватності результатів, отриманих за визначеними регресійними залежностями показав, що дані результати є достовірними, оскільки їх відносна похибка складає не більше за 5 %, а критерій Фішера не перевищує табличне значення.

РОЗДІЛ 5. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РЯТУВАЛЬНИКІВ ВІД НЕГАТИВНОЇ ДІЇ ТЕПЛА

5.1. Системний підхід до проблеми удосконалення засобів протитеплого захисту рятувальників

Проблему захисту рятувальників від дії тепла, на основі аналізу існуючих літературних даних, з позицій системного підходу можна уявити у вигляді сукупності кількох елементів.

Основним з них є організм людини, якій потребує захисту від теплової небезпеки. Недопустимим є наростання температури в організмі вище 40°C. Захисний спеціальний одяг є окремим елементом, небезпека для нього складається в тому що недопустимим є нагрівання оболонки до рівня термодеструкцій матеріалу, з якого вона виконана. Джерело горіння є іншою складовою системи, що генерую найбільшу небезпеку. Його параметри залежать від значного числа чинників. Частина енергії у вигляді відбитих променів та конвекційного тепла розсіюється в оточуючому середовищі, що є четвертим елементом системи. Таким чином, можна обмежитись чотирма основними елементами системи «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини» (рис.5.1).

Згідно узагальнення літературної інформації теплові потоки розподілені наступним чином. Від джерела горіння основна енергія передається переважно у вигляді інфрачервоних променів, частина їх діє на захисний спеціальний одяг (Q_{fd}), інша частина нагріває повітря навколо одягненого в спецодяг рятувальника – конвекційний перенос тепла (Q_k). На захисний одяг також може впливати тепло від іскор, а також від розпечених поверхонь і падаючих предметів – кондукційний перенос тепла (Q_c). В залежності від властивостей захисного спорядження, які визначаються коефіцієнтом

теплового опору одягу (k_z) частка таких потоків тепла передається до організму рятувальника.

Організм людини також є джерелом метаболічної теплоти основна доля якого генерується при роботі м'язів (Q_{mb}). При виконанні рятувальником інтенсивної роботи теплота виділяється і накопичується в тілі та підкостюмному просторі що призводить до перегріву організму. В спокійному стані і при низької температурі оточуючого повітря можливий зворотній потік – охолодження організму.

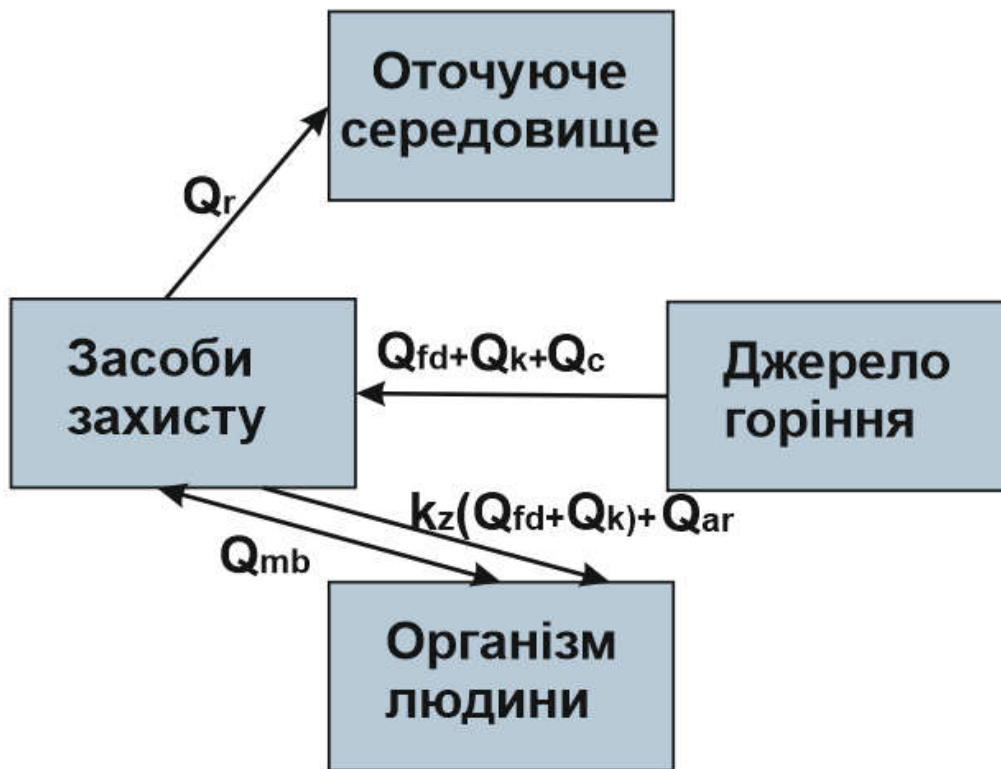


Рисунок 5.1 – Існуюче уявлення про енергетичний взаємозв'язок між елементами системи захисту рятувальника від дії тепла: Q_{fd} –

випромінювання з джерела горіння; Q_k , Q_c – відповідно конвекційне і кондуктивне тепло від джерела горіння; Q_{mb} – метаболічне тепло організму людини; Q_{ar} – тепло регенеративних реакцій дихального апарату; Q_r – відбите та конвекційне тепло від поверхні захисного одягу; k_z – коефіцієнт захисту одягу

Додатковим джерелом тепла є нагріте повітря, яке поступає орально з дихального апарату (Q_{ar}). Причиною нагріву повітря в апаратах замкненого циклу є екзотермічні реакції в регенеративному патроні при поглинанні діоксиду вуглецю та осушенні повітря що рециркулює. В апаратах на стисненому повітрі балони можуть нагріватись від пожежі, а також під дією Сонця.

Захист рятувальника від дії тепла в даній системі відбувається шляхом відбиття променів з металізованої поверхні костюму, а також конвекційного знімання тепла з поверхні оболонки костюму (Q_r). Охолодження таким способом мало заважає накопиченню тепла в захисному одязі і організмі рятувальника. Можливості управління процесом охолодження системи відбиттям або конвекцією є дуже обмеженими. Тактичний прийом з обливання рятувальників, які знаходяться в зонах теплового враження, водою зі пожежних стволів є не завжди можливим на важкодоступній території і неефективним на різних дистанціях подавання.

Регулювання теплообміну між засобами протитеплового захисту і організмом здійснюють збільшенням величини коефіцієнту теплового опору одягу (k_z) шляхом використання для виготовлення костюмів матеріалів з високими теплоізолюючими та термостійкими властивостями. Це визначає зріст маси і ціни виробів. Виготовлення спецодягу з найсучасніших матеріалів все одно обмежує його захисні показники внаслідок генерації метаболічного тепла (Q_{mb}).

На рис.5.1 в системі «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини» не зовсім чітко трактується механізм формування потоків тепла, як похідних від випромінених з джерела горіння. На наш погляд, відбувається відбиття від ґрунту або стінок конструкцій частини пожежних променів (Q_{fd}), які додають теплової навантаги на рятувальника (Q_{fr}) (розділ 2). Інша частина пожежних променів забезпечує нагрівання ґрунту і утворює небезпеку кондукційного нагріву (Q_c), а також посилює земну

радіацію та, відповідно, конвекційний нагрів повітря (Q_k). При гасінні пожеж на відкритому просторі слід враховувати вплив сонячної радіації (Q_{sd}), а також відбитих сонячних променів (Q_{sr}) (розділ 3). Слід враховувати, що сонячна радіація впливає на оперативних робітників не тільки коли вони знаходяться в зоні теплового враження від пожежі, а завжди в теплий сезон на відкритій місцевості тому термін її впливу значно більший.

Всі означені компоненти теплового навантаження впливають, в першу чергу, на захисний одяг, а через нього на організм рятувальника (рис.5.2). Шляхи охолодження залишаються обмеженими - (Q_r). В якості додаткового засобу можна розглядати використання охолоджуючих вставок до підкостюмного простору, які бувають водокрижаними або виконаними з сумішей твердих речовин. Однак, ресурс вставок є вельми обмеженим, для обслуговування вставок потрібні холодильні установки та транспортні контейнери-термоси. Це додаткове громіздке і дороге обладнання можна було б розглядати як додатковий елемент системи «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини», Але, в такому вигляді воно стає дорогим, не мобільним, громіздким тощо.

Уточнення механізму перерозподілу енергії в системі показує що можливі додаткові шляхи підвищення захисту рятувальників від дії тепла. Так перспективним є зменшення властивостей ґрунту по відбиванню променів та поглинання їх енергії, це дозволить знизити навантагу особливо на нижні кінцівки. Одночасно слід прийняти міри по охолодженню ґрунту, наприклад укриттям його піною або поливанням водою. Зменшення впливу сонячної радіації на особовий склад та дихальну апаратуру найпростіше забезпечити укриттям їх під тентами, обдуванням за допомогою вентиляторів тощо.

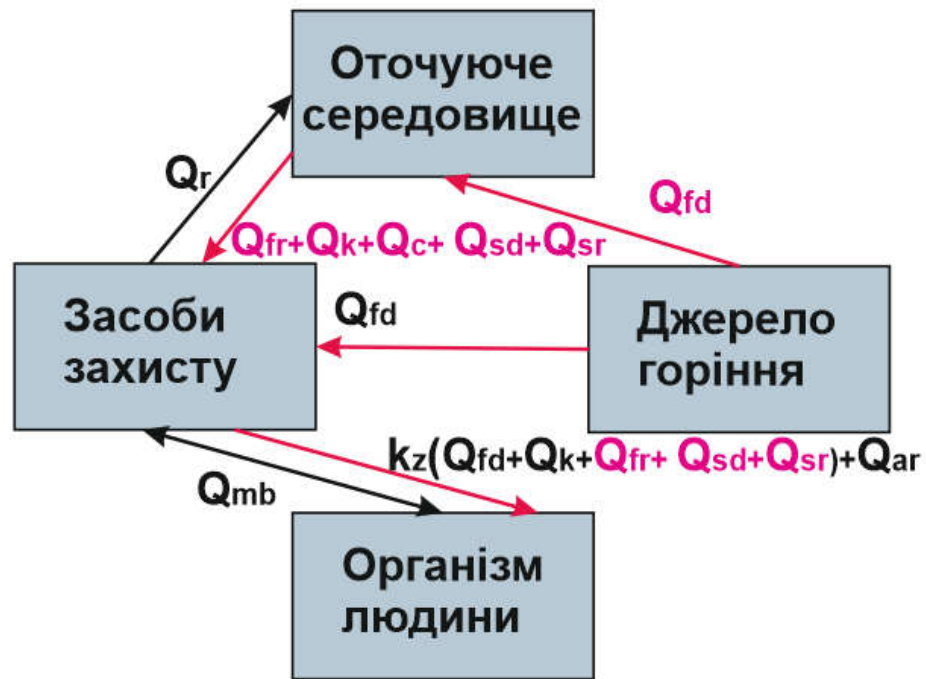


Рисунок 5.2 – Уточнення енергетичних взаємозв’язків між елементами системи захисту рятувальника від дії тепла: Q_{fr} - відбиті від ґрунту пожежні промені; Q_{sd} - сонячна радіація; Q_{sr} - відбиті сонячні промені; решта означень як на рис.5.1

Однак, ці міри є допоміжними, вони не вирішують радикально питання надійного управління тепловим станом організму рятувальника. Однак, в даному вигляді можливості системи «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини» вичерпані, зміни теплового балансу в ній неможливі. Потрібен додатковий вид енергетичного зв’язку що дозволяє забезпечити ефективний винос тепла з організму, а також з поверхні спецодягу.

Запропоновано доповнити систему «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини» ще одним елементом. Розглянуто використання енергетичних можливостей водяних або пінних засобів гасіння пожеж. Температура води та піноутворюючого розчину, як правило, знаходиться в діапазоні від $+5^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$, тому їх доцільно використати в якості

холодоносія. В такому разі доцільно додати до системи ще один елемент, а саме засіб гасіння пожежі (рис.5.3). За рахунок відбору незначної частини водного потоку з засобу гасіння пожежі, можна забезпечити знімання тепла з захисного одягу і, відповідно, з організму людини. Нагріту воду слід скидати на ґрунт, забезпечуючи його охолодження і зменшення конвекційного теплоутворення. Такий розвиток системи «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини» забезпечує її мобільність та компактність.

Від засобу гасіння низькотемпературний потік енергії Q_{tz} подається до поверхні захисного одягу. Там відбувається теплообмін з нагрівальними потоками, що поступають зовні $Q_{fd} + Q_k + Q_c + Q_{ar} + Q_{fr} + Q_{sd} + Q_{sr}$ та від організму Q_{mb} . Для умов нульового теплового балансу, коли термін захисної дії системи сягає нескінченості:

$$Q_{fd} + Q_k + Q_c + Q_{mb} + Q_{ar} + Q_{fr} + Q_{sd} + Q_{sr} - Q_{tz} = 0 \quad (5.1)$$

В реальних умовах гасіння пожежі величина нагрівних теплових потоків визначається великою кількістю чинників, таких як вид і кількість матеріалу, що горить, топологія території аварійного об'єкту, розташування рятувальників, погодні умови тощо. Теоретично визначити компоненти рівняння (5.1) внаслідок множини початкових та граничних умов дуже складно. Ця невизначеність компенсується можливістю змінення витрат охолоджуючого агента в широкому діапазоні.

Таким чином, модернізована система одержала другий канал охолодження якій забезпечує виніс теплової енергії в оточуюче середовище. Теоретично можна створити подавання охолоджуючого агенту (Q_{tz}) безпосередньо до тіла, що створює ілюзію більш ефективного зниження впливу нагрівних потоків. Однак, при цьому вірогідний неприємний для людини ефект різкого температурного контрасту.

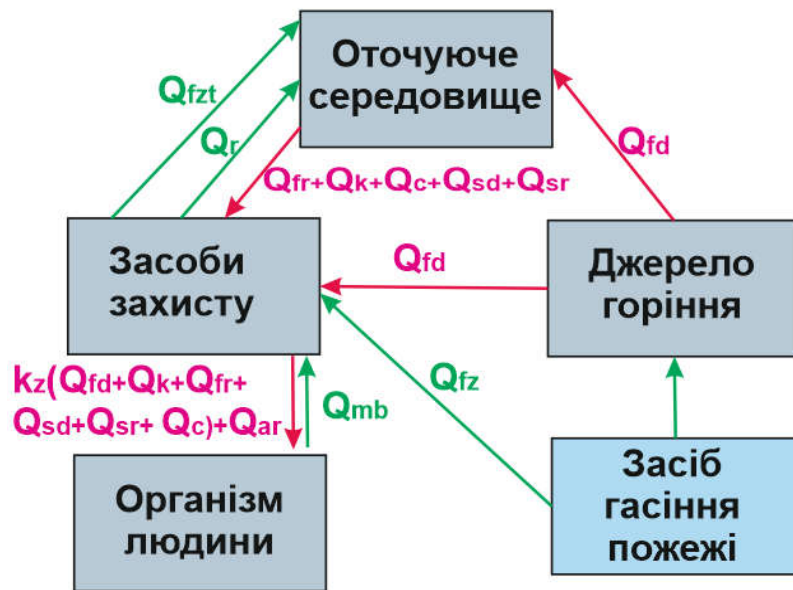


Рисунок 5.3 – Удосконалена система захисту рятувальника від дії тепла: Q_{tz} – потік енергії від засобу гасіння пожежі до захисного одягу; Q_{fzt} – потік тепла що скидають в оточуючий простір; решта означень як на рис.5.1 і рис.5.2

5.2. Пропозиції щодо удосконалення засобів протитеплового захисту

Практика ведення аварійно-рятувальних робіт в зонах екстремального теплового впливу на рятувальників показує, що основні ускладнення виникали з двох причин. По перше це недостатній рівень захисту від дії тепла та пов'язаний з цим перегрів організмів вогнеборців. Друга причина – вихід з ладу спеціального одягу внаслідок термодеструкції або механічного пошкодження оболонки костюму, який переставав виконувати захисні функції, що створювало небезпеку подальшої роботи і, згідно нормативним документам, її треба негайно припинити. Таким чином, для удосконалення спеціального одягу пожежників потрібно вирішити два паралельних завдання. По-перше, гарантувати комфортну температуру тіла людини при дії як зовнішнього впливу теплових факторів пожежі, таких як теплове випромінювання, конвекційний нагрів гарячими газами або рідинами, кондукційний нагрів при

контакті з гарячими поверхнями, уламками, іскрами тощо, а також від фізіологічного тепла, такого що виділяє організм при роботі. По друге необхідно забезпечити термічну та механічну стійкість тих частин поверхні спеціального одягу які піддаються найбільшому нагріву та до механічним навантаженням.

Результати моделювання, що представлені в розділі 4, показали суттєву нерівномірність нагріву поверхні захисного одягу рятувальників під впливом ІЧ випромінювання [34]. Фронтальна, звернена до джерела випромінювання, сторона одягу нагріта в більшому ступені. Як правило, рятувальник обернений лицем до пожежі, тильна сторона тіла одержує тепла значно менше.

Голова рятувальника розташована таким чином що найчастіше попадає до зони інтенсивного випромінювання, цей орган людини найбільш чутливий до дії тепла і потребує особливого захисту. Це стосується, у першу чергу, обличчя, де сучасними засобами захист відбувається тільки шляхом використання вдаростійкого скла з відбивним покриттям.

В області тулуба найбільш вразливою виявилась область в районі щитоподібної залози, яка є одним з основних центрів терморегуляції організму. Тому необхідно забезпечувати її першочерговий захист від нагріву. Іншою вразливою областю є стопи ніг та гомілки. Це пояснюється тим, що на них одночасно впливає пряме випромінювання від джерела горіння відбите від ґрунту [35, 165, 166]. В зоні теплового враження, при роботі з засобами гасіння пожежі, значної теплової загрози зазнають також верхні кінцівки рятувальників.

Виходячи з аналізу взаємозв'язків наданої на рис.5.3 системи запропоновано наступні технічні рішення. Вони забезпечують одночасно безпечні і комфортні умови роботи рятувальників в нагрівному мікрокліматі, а також протидіють нагріванню поверхні захисного одягу до температури, близької до термодеструкції матеріалу.

5.3. Теплозахисний костюм з водяним охолодженням

Запропоновано удосконалення теплозахисного костюма системою проточного водяного охолодження яка забезпечує в підкостюмному просторі комфортні умови роботи рятувальників, а також збереження цілісності оболонки теплозахисного костюму при тривалому впливі високих температур.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що теплозахисний костюм, у якому комбінезон (рис. 5.4) із зовнішньою оболонкою з вогнестійкого тепловідбивного матеріалу, внутрішньою оболонкою з гігієнічного матеріалу, що пропускає повітря, і проміжної оболонкою, оснащують системою відводу тепла, яка виконана у вигляді трубок з холодоагентом, в якості якого використовується вода або піноутворюючий склад для пожежогасіння з температурою 10 ... 25°C [146, 215].

Теплозахисний костюм містить комбінезон 1 з оболонкою, що виконана з декількох шарів. Зовнішній шар оболонки 2 виконаний з вогнестійкого тепловідбиваючого матеріалу - металізованої тканини з відбиваючою поверхнею 3. Внутрішній шар оболонки 4 виконаний з гігієнічного повітряпроникного матеріалу - гігроскопічного полотна типу сатину, що пропускає воду. Проміжний шар оболонки 5 з термостійкого нетканого матеріалу встановлено з проміжком 6 з боку зовнішньої оболонки 2. Між проміжним 5 і внутрішнім 4 шарами оболонки розташовані трубки 7 з холодоагентом, що приєднані до гнучкого шлангу 8, підключеному за допомогою швидкороз'ємного з'єднання системи NiTO 1/2 "9 до вставки 10, встановленої між рукавною лінією 11 і пожежним стволом 12. до гнучкого шлангу 8 підключено пристрій для регулювання подачі холодоагенту - кран-регулятор 13. У нижній частині костюма знаходяться відкриті кінці трубок 14.

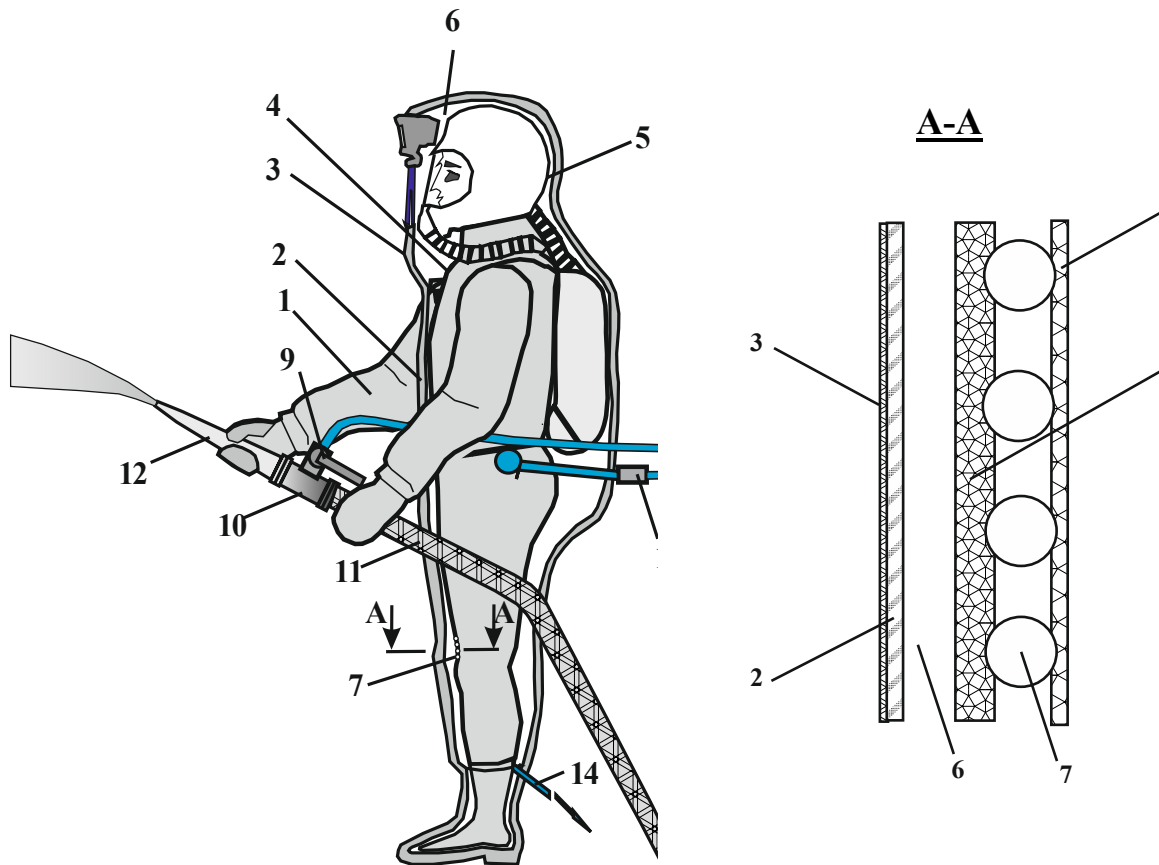


Рисунок 5.4 – Теплозахисний костюм з проточною системою водяного охолодження: 1 - комбінезон; 2 - зовнішній шар оболонки; 3 - металізована тканина з відбиваючою поверхнею; 4 - внутрішній шар оболонки; 5 - проміжний шар оболонки; 6 - проміжок між шарами; 7 - трубки з холодоагентом; 8 - гнучкий шланг; 9 - швидкокороз'ємне з'єднання; 10 - вставка; 11 - рукавна лінія; 12 - пожежний ствол; 13 - кран-регулятор; 14 - відкриті кінці трубок.

Теплозахисний костюм експлуатується в такий спосіб. Рятувальник надягає комбінезон 1 безпосередньо перед проведенням рятувальної роботи. Перед заходом в зону підвищеного теплового випромінювання і температур, він підключає гнучкий шланг 8 за допомогою швидкокороз'ємного з'єднання 9

до вставки 10 (рис. 5.5), віддає команду на подачу води в рукавну лінію 11 і з виходом на бойову позицію відкриває кран-регулятор 13, заповнює трубки водою з рукавної лінії 11. Потім в залежності від виконуваних робіт подає воду за допомогою пожежного ствола 12 на гасіння пожежі, захист технологічного обладнання або виконує його відключення. Зовнішня відбиваюча поверхня 3 зовнішнього шару оболонки 2 забезпечує зниження зовнішньої прямий теплового навантаження на костюм.



Рисунок 5.5 – Макетний зразок вставки між рукавною лінією та пожежним стволом

Проміжок 6 з боку зовнішньої оболонки 2 зменшує кількість тепла, що проникає через проміжний шар оболонки 5 в підкостюмний простір, знижує теплове навантаження на рятувальника. Зниження температури зовнішнього шару костюма і всередині костюма досягається за рахунок виносу тепла холодоагентом, що проходить по трубках 7, які розташовані між внутрішнім 4 і проміжним 5 шарами оболонки. Система відведення тепла видаляє з підкостюмного простору тепло, яке надходить в костюм з навколишнього середовища і вироблене організмом протягом усього проміжку часу роботи

рятувальника. Нагрітий холодоагент видаляється самопливом з відкритих кінців трубок 14 в нижній частині костюма.

В лабораторних умовах було проведено випробування ефективності проточної системи охолодження теплозахисної куртки (рис.5.6, 5.7).



Рисунок 5.6 – Лабораторна установка для визначення ефективності проточної системи охолодження теплозахисної куртки

Для проведення випробувань теплозахисну куртку, а саме спинку куртки, з тепловідбивним покриттям оснащено мережею трубок у підодяговому просторі. Трубки розташовувалися мережею у варіантах на різних відстанях одна від одної. Трубки для подавання по них холодоагента під'єднані до рукавної лінії за допомогою вставки (див. рис.5.5). Температура

холодоагенту складала від 10 до 25°C. Витрату води складала у межах від 0,22 до 0,25 м³/год.

У якості джерела нагрівання було використано інфрачервоний обігрівач UFO Ecoline / 30 (Туреччина), потужністю 2900–3200 Вт, в підодяговому просторі температуру контролювали за допомогою термопар (рис.5.7). Час впливу теплового навантаження обмежувався 30 хв.



Рисунок 5.7 – Вимірювання температури у підкостюмному просторі за умови використання проточної системи охолодження теплозахисної куртки

Дані вимірювань, що були отримані внаслідок випробувань, зведено в таблицю 5.1. Результати випробувань показали, що ефект охолодження в підодяговому просторі зберігається при розташуванні трубок на відстані не

більше 100 мм один від одного при температурі холодоагента в діапазоні від 10 до 25 °C.

Таблиця 5.1

Залежність температури у підодяговому просторі від відстані між трубками і температури холодоагента

№	Відстань між трубками, мм	Температура холодоагенту, °C	Температура в підодяговому просторі, °C
1	120	10	38
2	100	10	30
3	70	10	23
4	120	15	49
5	100	15	44
6	70	15	38
7	120	20	46
8	100	20	42
9	70	20	35
10	120	25	49
11	100	25	46
12	70	25	38

Були проведені полігонні випробування запропонованої конструкції. Які продемонстрували високий рівень захисту рятувальника. Так термін безпечного знаходження рятувальника на відстані 2,5..3м від джерела пожежі типу А1 склав близько 90 хв. Температура поверхні зовнішньої оболонки складала не менш 200°C. Для порівняння, найкращі зразки сучасних засобів захисту фірми «Viking», такі що не оснащені системою проточного

охолодження в таких умовах забезпечують термін захисної дії близько п'яти хвилин.

Результати охолодження рятувальника в умовах наближених до реальних показали задовільні показники. Проведені випробування виявили також деякі недоліки, а саме то що, заповнений водою костюм має значну вагу, особливо в районі ніг, що обмежує оперативні можливості рятувальників. Наповнені трубки з холодоносієм обмежують рухомість суглобів, що є небезпечним в оперативної обстановці. Крім того, важливим є то, на нашу думку, що складність виготовлення призводить до здороження виробу. Суттєвим недоліком можна признати необхідність індивідуальної підгонки костюму для рятувальника з урахуванням фізіологічних характеристик тіла різних людей. Це призводить до необхідності виготовлення костюмів різних типорозмірів та ускладнює і здорожує функціонування господарства аварійно-рятувальних частин.

5.4. Пристрої для охолодження теплозахисного костюму

Для подолання вказаних недоліків запропоновано обмежитись захистом за допомогою трубок з холодоносієм верхньої частини тіла і верхніх кінцівок. Для цього доцільно використовувати охолоджуючи водяний [173, 217] або пінний [158, 216] пристрої.

Ці технічні рішення мають об'легшену конструкцію та спрощену гідравлічну систему з проточним рухом холодоносія (рис.5.8).

Система охолодження верхньої частини тіла рятувальника складена таким чином, що холодоносієм, а це може бути вода або піноутворюючий розчин, рухається по трубкам, омиваючи череп, шию та грудну частину тулубу. В процесі руху холодоносія, який має температуру нижчу ніж поверхня тіла та внутрішня оболонка капюшону, нагрівається, відбираючи тепло та забезпечуючи комфортну температуру цієї частини тіла.

В подальшому нагріта вода, яка має температуру близьку до тілесної (не більш 40°C), поступає до магістральної трубки 5 що виведена до зовнішньої поверхні захисного одягу. Трубка оснащена розприскувачами 6 або мініатюрними генераторами піни, які утворюють крапельний потік та вологу (пінну) плівку на поверхні одягу. Стікаючи з поверхні одягу або випаровуючись вода відбирає з неї тепло і не дозволяє нагрітись матеріалу оболонки вище температури кипіння (біля 100°C).

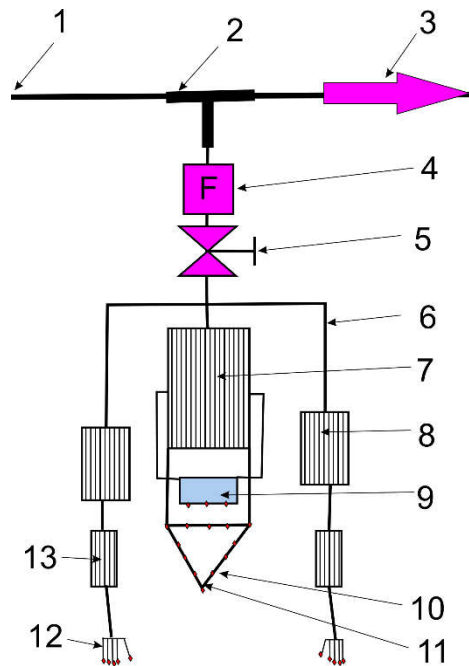


Рисунок 5.8 – Загальна гідравлічна схема охолоджуючого пристрою: 1 - пожежний рукав; 2 – вставка для відбору рідини; 3 – пожежний ствол; 4 – фільтр; 5 – кран-регулятор; 6 – гнучкі магістральні шланги; 7 – система трубок для охолодження верхньої частини тіла рятувальника; 8, 13 – манжети з трубками для охолодження, відповідно, плеча та предплеччя; 9 – ілюмінатор з водяної плівкою та розприскувачами; 10 – розприскувач; 11- трубка з розприскувачами для зрошення оболонки костюму; 12 – трубки в рукавичці з розприскувачами на фалангах пальців

Верхні кінцівки рятувальника в процесі роботи інтенсивно рухаються і тому не попадають до області зрошення створеної встановленими на верхньої частині тіла розприскувачами. Тому для їх захисту від перегріву запропоновано окрему систему охолодження (рис. 5.9).

Вона розміщується під зовнішньої оболонкою 1 спеціального одягу і включає манжети 2 з трубками для холодоносія, рукавички 3 також з трубками, які закінчуються розприскувачами на фалангах пальців. Гідравлічний зв'язок між манжетами 2, рукавичкою 3 та пожежною магістраллю здійснюється за допомогою магістральних трубок 5.

Рисунок 5.9 – Схема охолодження верхньої кінцівки рятувальника: 1- зовнішня оболонка спеціального одягу; 2 – манжети з трубками для холодоносія; 3 – рукавичка з розприскувачами на фалангах пальців; 4 – потоки холодоносія з розприскувачів; 5 – магістральні трубки з холодоносієм

Конструктивно манжет являє собою (рис.5.10) гнучку проміжну оболонку 1, на якій розташовано мережу паралельно з'єднаних трубок 2 для подавання холодоносія, якій поступає та відводиться за допомогою магістральних трубок 3. Фіксація трубок 2 на оболонці 1 здійснюється за допомогою шару матерії 4, скріпленого з оболонкою 1 в проміжках між трубками 2. Для щільного прилягання манжета до тіла людини в конструкції

передбачена наявність еластичного вузла 5, подібні вузли використовують в тонометрах.

Працює система охолодження верхньої кінцівки наступним чином. Холодоносій, що має температуру не більш 25°C , поступає з пожежного рукава крізь вставку, фільтр, магістральні трубки (див.рис. 5.6, 5.7) до мережі трубок першого манжета де відбирає тепло яке поступає від джерела пожежі через зовнішню оболонку спеціального одягу та від тіла людини.

Режим руху холодоносія вибирають таким, щоб на виході з першого манжету він нагрівся на кілька градусів до рівня ($28...30^{\circ}\text{C}$). Послідовно потік поступає до другого манжету де процес повторюється, а температура досягає не більш ($30...33^{\circ}\text{C}$). Далі холодоносій рухається в рукавичку, яка має невеликий розмір, тому теплообмін в неї незначний, але достатній для охолодження кісті руки. З розташованих на фалангах пальців розприскувачів рідина витікає уносячи отримане тепло. На заміну скинутого теплого холодоносія з пожежного рукава безперервно поступає нове з низькою температурою, таким чином ресурс холоду лімітується лише терміном подавання рідини до пожежного рукава.

Рисунок 5.10 – Схема трубчатого охолоджуючого елемента - манжети: 1- гнучка проміжна оболонка; 2 – мережа трубок з холодоносієм; 3 – магістральна трубка; 4 – внутрішній фіксує трубки шар матерії; 5 – еластичний фіксує вузол

Постійний виніс нагрітого холодоагенту та надходження охолодженого дозволяє значно змінити тепловий баланс в системі «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби захисту – організм людини». В ній утворюється якісно новий безперервний зворотній зв'язок від елемента «засоби захисту» до «оточуюче середовище». Потрапляння води на ґрунт та розміщені на ньому предмети забезпечує зменшення їх температури, виділення пари, змінює відбивні характеристики поверхонь та ін. що покращує обстановку в місті розташування ніг рятувальників.

Охолоджуюча рідина, яка подається крізь розприскувачі в верхній частині тіла рятувальника, попадає на найбільш схильні до нагріву ділянки захисного одягу рятувальників. Це призводить до утворення на них рухомої водяної плівки яка є свого роду екраном щодо впливу променевого та конвекційного тепла.

5.4.1. Водяний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму

Такий показник як температура випаровування рідини значно нижчий від температури термодеструкції тканини, так забезпечується один зі способів підвищення терміну служби засобів захисту від тепла створюється ще один ефективний шлях охолодження рятувальників. Задача вирішується за рахунок того, що теплозахисний костюм [215] додатково оснащений теплозахисним пристроєм [217] у вигляді радіально розташованих не нижчі ший рятувальника розприскувачів, які підключені до трубок з охолоджувачем (рис. 5.11).

При роботі розприскувачів утворюється важко проникливий для інфрачервоних променів бар'єр у вигляді водяного прошарку на поверхні костюму і хмари крапель води. Вся промениста енергія спрямовується на нагрів і випаровування води. Наявність зрошення запобігає нагріву зовнішньої оболонки костюму вище температури кипіння води тобто 100°C. Перетворена енергія променів у вигляді нагрітої води та пари постійно видаляється з поверхні оболонки у зовнішній простір, не даючи підійматись температурі в

середині костюму за рахунок зовнішнього нагріву. Це дозволяє зменшити товщину теплоізолюючих шарів костюму та кількість трубок з холодоагентом. В свою чергу це дозволяє зменшити вагу і жорсткість шаруватої системи, знизити навантаження та обмеження рухів рятувальника.

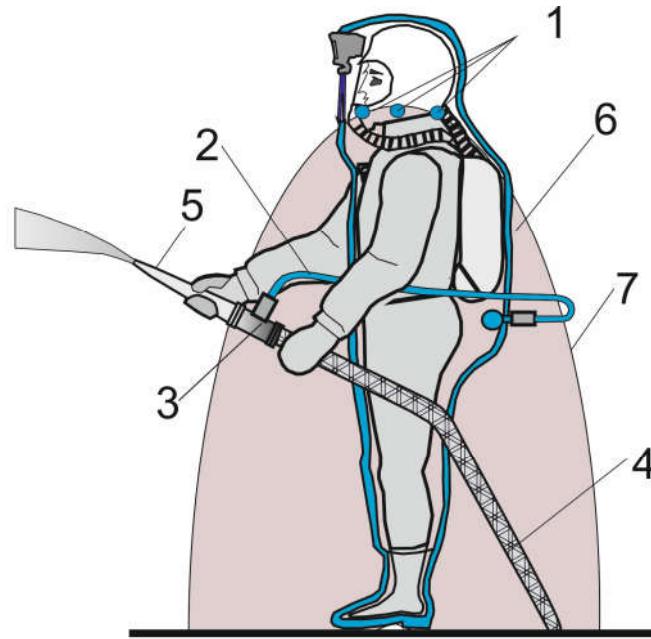


Рисунок 5.11 – Охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму: 1 – розприскувачі, 2 – трубки із охолоджувачем, 3 – вставка на пожежному рукаві, 4 – пожежний рукав, 5 – пожежний ствол, 6 – протитепловий костюм, 7 - захисна хмара крапель.

При наявності іскор або крапель палаючого пального водяний бар'єр забезпечує їх гасіння та охолодження, зберігаючи в цілісності зовнішню оболонку костюму.

Теплозахисний пристрій експлуатується таким чином. Рятівник одягає теплозахисний костюм 6 безпосередньо перед проведенням рятувальної роботи. Перед заходом в зону підвищеного теплового випромінювання і температури повітря, він підключає гнучкий шланг за допомогою

швидкорознімного з'єднання до вставки 3, віддає команду на подання води в рукавну лінію 4 і з виходом на оперативну позицію відкриває кран-регулятор, заповнює трубки 2 водою з рукавної лінії 4. Потім залежно від виконуваних робіт подає воду за допомогою пожежного ствола 5 на гасіння пожежі, захист технологічного устаткування або виконує його відключення. Холодоагент поступає у простір всередині костюму 7 по трубкам 2 забезпечуючи охолодження організму рятувальника. Після проходження по трубкам 2, холодоагент поступає до розприскувачів 1. Холодоагент, а частіше всього це вода, плине по оболонці 6 костюма у вигляді плівкоподібного шару. Крім того частина холодоагенту рухається над по верхньою 6 у вигляді хмари водяних крапель 7. Потік зовнішнього тепла нейтралізується захисним бар'єром, який являє собою сукупність плівкоподібного водяного шару на зовнішній оболонці костюму 6 та хмари водяних крапель 7. Частина води що поступає з розприскувачів 1 до бар'єру після нагрівання стікає на землю уносячи теплоту, інша частина випаровується та виноситься повітряними потоками.

Враховуючи те, що температура холодоагенту складає $10...25^{\circ}\text{C}$, бар'єр захищає тіло нижче рівня ший, при цьому він поглинає значну частину внутрішньої теплоти що генерує організм рятувальника. Інтенсивно охолоджувати за допомогою трубок 2 з холодоносієм слід не захищені бар'єром голову та руки рятувальника. Отже, приймаючи це до уваги можна зменшити кількість трубок 2 з холодоагентом в області тулуба та ніг, і суттєво зменшити вагу протитеплогового костюму.

Було виготовлено макетний зразок теплозахисного костюма з охолоджуючим пристроєм (рис.5.12) та проведено випробування. Використання запропонованого охолоджуючого пристрою теплозахисного костюму забезпечує збереження цілісності зовнішнього шару костюма рятувальника при тривалій дії високих температур з одночасним забезпеченням у підкостюмному просторі комфортних умов роботи рятувальника.



Рисунок 5.12 – Макетний зразок охолоджуючого пристрою теплозахисного костюму [173]

5.4.2. Застосування водяної плівки для захисту теплозахисного костюму

У спрощеному вигляді схему ослаблення теплового випромінювання представлено на рис. 5.13. Захист частини тіла рятувальника від його плечей і нижче забезпечується двома основними чинниками:

- дисперсна водяна завіса у вигляді струміню розпиленої води (СРВ);
- водяна плівка, що утворюється на поверхні захисного одягу.

Враховуючи 2-ступеневе ослаблення теплового випромінювання (при проходженні випромінювання спочатку через водяну завісу, а потім через плівку), можна написати наступні співвідношення:

$$I_2 = H_c \cdot I_1,$$

$$I_3 = H_f \cdot I_2,$$

звідки

$$I_3 = H_c \cdot H_f \cdot I_1, \quad (5.2)$$

де I_1, I_2, I_3 – інтенсивності теплового випромінювання, відповідно, падаючого на водяну завісу, прохідного через водяну завісу і прохідного через водяну плівку;

H_c, H_f – коефіцієнти пропускання, відповідно, завіси і плівки.

Загальна витрата води Q на систему захисту визначається як сума витрат зрошувачів Q_s . У випадку N однакових зрошувачів:

$$Q = N \cdot Q_s, \quad (5.3)$$

$$Q_s = K \cdot \sqrt{p}, \quad (5.4)$$

де K – коефіцієнт продуктивності зрошувача.

Витрата розпиленої води розподіляється між СРВ і водяною плівкою:

$$Q = Q_c + Q_f.$$

Для кількісного визначення величин Q_c і Q_f будемо застосовувати коефіцієнт розподілу води k ($0 < k < 1$):

$$Q_c = k \cdot Q, \quad (5.5)$$

$$Q_f = (1 - k) \cdot Q. \quad (5.6)$$

Величина коефіцієнта k залежить від напрямку зрошувачів відносно вертикалі й від φ_y – кута розкриття віялових СРВ зрошувачів у площині xu (рис. 5.10). Отже, величину коефіцієнта k (і відносну величину коефіцієнтів пропускання H_c і H_f) можна змінювати суто конструктивним шляхом [102].

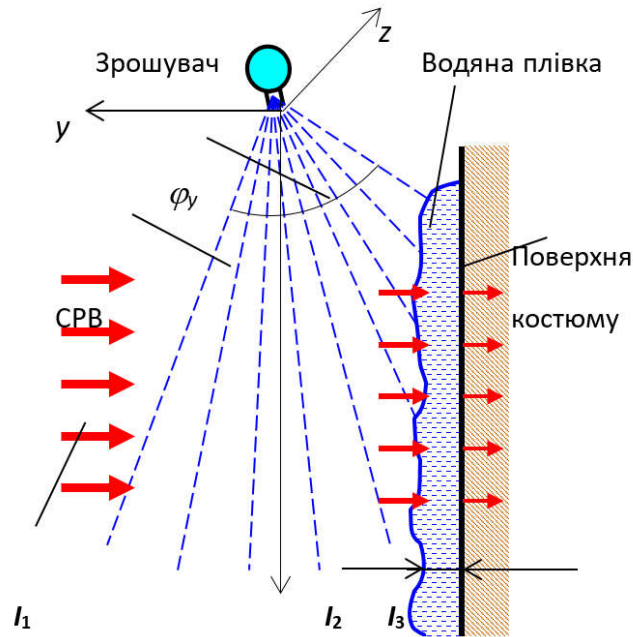


Рисунок 5.13 – Схема ослаблення теплового випромінювання розпиленою та плівкоподібною водою

При падінні електромагнітного випромінювання на поверхню води частина випромінювання відбивається, а решта проходить усередину води. Елементарний розрахунок дозволяє визначити, що для коефіцієнту заломлення води $n_w = 1,33$ від її поверхні відбивається лише близько 2% променистого теплового потоку. В даному випадку цією величиною можна знехтувати і вважати, що при падінні теплового випромінювання на поверхню водяної плівки воно проходить всередину плівки у повному обсязі без відбивання.

При проходженні монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі λ всередині плівки через однорідне середовище (воду) відбувається його часткове поглинання, внаслідок чого інтенсивність випромінювання при виході з плівки зменшується в залежності від довжини шляху d (товщина плівки) згідно із законом Бугера-Ламберта-Бера [25]:

$$I_{\lambda 3} = I_{\lambda 2} e^{-k_w \cdot d}, \quad (5.7)$$

де $I_{\lambda 2}$ – спектральна (з довжиною хвилі λ) початкова інтенсивність випромінювання при вході в плівку;

k_w – коефіцієнт поглинання води, пов'язаний із її показником поглинання χ_w співвідношенням:

$$k_w = \frac{4\pi \cdot \chi_w}{\lambda}. \quad (5.8)$$

Внаслідок сильної залежності χ_w від λ плівка води пропускає через себе електромагнітне випромінювання вибірково, переважно ті ділянки спектру, для яких k_w є найменшим. Зокрема, при підвищенні температури джерела випромінювання його спектр зміщується до більш коротких довжин хвиль (закон Віна), для яких величина k_w є відносно меншою. Тому для більш високотемпературного полум'я товщина захисної плівки води повинна бути більшою.

Загалом, коефіцієнт пропускання H_f залежить від спектрального складу падаючого на плівку випромінювання і визначається за допомогою інтегрування по всій ширині спектру:

$$H_f = \frac{\int_0^{\infty} I_{\lambda 3} \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{\lambda 2} \cdot d\lambda} = \frac{\int_0^{\infty} I_{\lambda 2} e^{-k_w \cdot d} \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{\lambda 2} \cdot d\lambda}. \quad (5.9)$$

Таке інтегрування виконується чисельно в комп'ютері на основі попередньо завантаженої табличної залежності $k_w(\lambda)$ [24]. Для визначення коефіцієнту пропускання плівки H_f такий розрахунок є відносно простим, оскільки довжина шляху d (товщина плівки) є фіксованою.

Для визначення коефіцієнту пропускання водяної завіси H_c розрахунок є значно більш складним, оскільки необхідно виконати аналіз процесу проходження теплового випромінювання через розпилену воду. При цьому необхідно врахувати його статистичний характер, оскільки шлях d (див. (5.7)) є різним для різних променів всередині окремої сферичної краплі, а крім того, краплі мають різні розміри й просторове розташування. Тому необхідно врахувати форму крапель, їх розподіл за розмірами та їх розподіл у просторі.

Результати такого аналізу представлено в роботі [100]. Зокрема, в цій роботі представлено співвідношення для чисельного розрахунку коефіцієнту пропускання водяної завіси для теплового випромінювання, яке за спектральним складом є близьким до випромінювання абсолютно чорного тіла (АЧТ) з ефективною температурою в межах $700\text{ K} < T_f < 1800\text{ K}$, характерною для температур типових осередків пожеж. У цьому випадку:

$$H_c = \exp \left[-1,4 \cdot (1 - \eta) \cdot \frac{l_{eq}}{D_{eq}} \right], \quad (5.10)$$

де для коефіцієнту пропускання сферичної краплі води η знайдено наступну функцію апроксимації [85]:

$$\eta = A \cdot D_{eq}^B + C, \quad (5.11)$$

де коефіцієнти:

$$A = 1,25 \cdot 10^{-35} \cdot (T_f - 207,6)^{1,02}, \quad (5.12)$$

$$B = -2,329 + 1,6362 \cdot 10^{-3} \cdot T_f + 1,0519 \cdot 10^{-6} \cdot T_f^2 - \\ - 1,386 \cdot 10^{-9} \cdot T_f^3 + 5 \cdot 10^{-13} \cdot T_f^4 - 0,651 \cdot 10^{-16} \cdot T_f^5, \quad (5.13)$$

$$C = -9,59 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,002495 \cdot T_f}, \quad (5.14)$$

товщина еквівалентного шару води:

$$l_{eq} = k \cdot \frac{0,41 \cdot \rho_a \cdot x}{\rho_w \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{1,68 \cdot \rho_a \cdot \Delta z \cdot x \cdot \sin \frac{\varphi_z}{2}}{\rho_w \cdot \varphi_z \cdot d_0^2}} - 1 \right)}, \quad (5.15)$$

еквівалентний діаметр крапель СРВ:

$$D_{eq} = C_0 \cdot e^{-\frac{\sigma^2}{2}} \cdot \left(\frac{\sigma_w}{2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{d_0}{\mu_j} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot p^{-\frac{1}{3}}, \quad (5.16)$$

де ρ_a – густина повітря,

ρ_w – густина води,

x – вертикальна координата (відстань від зрошувачів),

Δz – відстань між зрошувачами,

φ_z – кут розкриття віялового СРВ окремого зрошувача у площині xz ,

d_0 – діаметр вихідного отвору зрошувача,

C_0 – коефіцієнт дисперсності зрошувача,

σ – параметр форми функції розподілу крапель за діаметрами,

p – тиск води,

σ_w – коефіцієнт поверхневого натягу води,

μ_j – коефіцієнт витрат зрошувача.

Для коефіцієнту пропускання плівки H_f можна застосувати функцію апроксимації, подібну до (5.11), з певним уточненням:

$$H_f = A \cdot (1,2 \cdot d)^B + C, \quad (5.17)$$

де коефіцієнти A , B і C розраховуються за співвідношеннями (5.12 – 5.14).

Отже, для розрахунку H_f необхідно задати лише дві величини: товщину плівки d і ефективну температуру осередку пожежі T_f . Для розрахунку H_c за формулою (5.10) необхідно задати значно більшу кількість величин, що визначають параметри l_{eq} і D_{eq} (див. 5.13 і 5.16).

Кількісний розрахунок залежності $H_f(d)$ для трьох величин T_f , виконаний за формулами (5.11 – 5.13, 5.16) надано на рис. 5.14. Він призначений для визначення орієнтовної величини товщини водяної плівки, необхідної для забезпечення достатньо ефективного екранування променистого теплового потоку від типової пожежі.

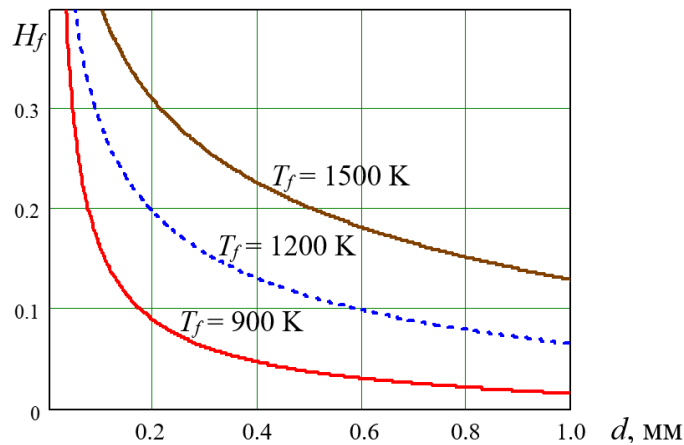


Рисунок 5.14 – Залежність коефіцієнту пропускання теплового випромінювання водяною плівкою від її товщини для окремих значень температури осередку пожежі

При типовій температурі осередку пожежі $T_f = 1200$ К для зниження інтенсивності теплового випромінювання в 10 разів ($H_f = 0,1$) достатньо водяної плівки товщиною 0,6 мм. При температурі $T_f = 900$ К, яка також є достатньо реалістичною в багатьох випадках, для такого ж результату достатньо водяної плівки товщиною 0,2 мм.

Товщина водяної плівки є ключовим параметром, від якого залежить якість теплового екранування, а тому необхідно знайти метод її розрахунку та її залежність від інших технічних параметрів. Виконаємо аналіз процесу формування водяної плівки при потраплянні частини розпиленої води на поверхню костюму та її стіканні вниз під дією сили тяжіння. Для цього

використаємо методику розрахунку, запропоновану для подібного процесу в роботі [139].

Коефіцієнт пропускання водяної плівки H_f будемо визначати, використовуючи наступні умови для побудови спрощеної математичної моделі:

- 1) поверхня, на якій утворюється плівка, є плоскою, гладкою і вертикально розташованою;
- 2) вода добре змочує поверхню;
- 3) вода, що утворює плівку, подається на верхню частину цієї поверхні рівномірно вздовж координати z (горизонтальна координата вздовж зрошуваної поверхні);
- 4) рух води вздовж поверхні є одновимірним, тобто вектор швидкості спрямований вертикально вниз (вздовж координати x (див. рис.5.11)).

Відхилення реального захисного костюму від зазначених умов надалі, при потребі, можуть бути враховані за допомогою емпіричних коефіцієнтів.

При вільному стіканні рідини по твердій поверхні гідродинамічний режим її руху визначається величиною критерію Рейнольдса:

$$Re = \frac{4 \cdot d \cdot v_{av}}{\nu_w}, \quad (5.18)$$

де v_{av} – середня по перерізу плівки швидкість руху рідини, ν_w – кінематична в'язкість рідини. Коефіцієнт (5.5) зумовлений специфічною геометрією процесу.

В залежності від величини Re можливими є наступні режими руху рідини:

- при $Re < 30$ – ламінарна течія без утворення хвиль на поверхні рідини;
- при $30 < Re < 1600$ – ламінарна течія з утворенням хвиль на поверхні рідини;

- при $Re > 1600$ – турбулентна течія.

За припущення щодо одновимірної ламінарної течії в напрямі x рівняння Нав'є-Стокса для плівки має вигляд [101]:

$$\mu_w \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \rho_w g, \quad (5.19)$$

де μ_w – динамічна в'язкість води, g – прискорення вільного падіння, v – поточна швидкість руху води при координаті y .

Для плівки рідини, вільно текучої по твердій поверхні, тобто при відсутності напруженості зсуву на межі розділу рідини з газом, граничні умови для рівняння (5.19) мають наступний вигляд:

- при $y = 0$ – $v = 0$;
- при $y = d$ – $\mu_w \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \Rightarrow \frac{\partial v}{\partial y} = 0$.

Після інтегрування рівняння (5.19) з урахуванням граничних умов отримаємо:

$$v = \frac{g}{\nu_w} \cdot y \cdot \left(d - \frac{y}{2} \right). \quad (5.20)$$

Вигляд залежності від координати y швидкості руху води всередині плівки схематично представлено на рис. 5.15. Це параболічна залежність із вершиною параболи, що співпадає з межею розділу «плівка – повітря», на якій максимальне значення швидкості:

$$v_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{g}{\nu_w} \cdot d^2. \quad (5.21)$$

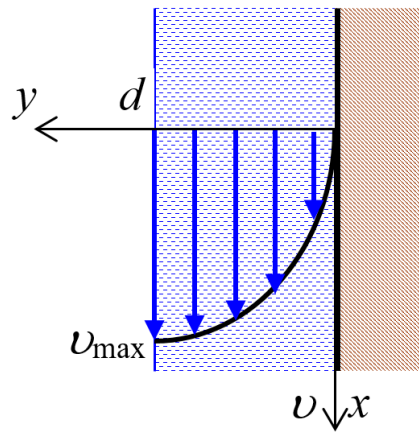


Рисунок 5.15 – Розподіл швидкостей у плівці води

Середнє значення швидкості руху плівки:

$$v_{av} = \frac{1}{d} \cdot \int_0^d v \cdot dy = \frac{1}{3} \cdot \frac{g}{\nu_w} \cdot d^2, \quad (5.22)$$

або

$$v_{av} = \frac{2}{3} \cdot v_{max}. \quad (5.23)$$

Об'ємна витрата води на одиницю довжини (вздовж осі z) плівки:

$$\Gamma = \frac{Q_f}{L} = v_{av} \cdot d, \quad (5.24)$$

де L – горизонтальний розмір плівки.

Підставляючи (5.22) в (5.24), отримаємо:

$$\Gamma = \frac{1}{3} \cdot \frac{g}{\nu_w} \cdot d^3,$$

звідки:

$$d = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \nu_w \cdot \Gamma}{g}}, \quad (5.25)$$

або, враховуючи (5.10, 5.11 і 5.22):

$$d = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \nu_w \cdot (1-k) \cdot N \cdot Q_s}{g \cdot L}}. \quad (5.26)$$

З урахуванням (5.18, 5.22 і 5.26), критерій Рейнольдса для плівки:

$$Re = \frac{4 \cdot (1-k) \cdot N \cdot Q_s}{\nu_w \cdot L}. \quad (5.27)$$

При $30 < Re < 1600$ (ламінарна течія з утворенням хвиль на поверхні рідини) середня товщина плівки приблизно на 7% менша від розрахованої за формулами (5.25 і 5.26), при цьому амплітуда хвиль складає 0,46 від середньої товщини плівки [139].

Загалом, слід зважити на те, що в цілому температурний баланс всієї системи встановлюється внаслідок не лише променистого, але й конвективного теплообміну. Важливим стабілізуючим чинником температурного режиму є тепловідвід від костюму до водяної плівки, яка обтікає його й забезпечує конвективний теплообмін, внаслідок якого температура поверхні костюму є близькою до температури плівки. Внаслідок цього, крім коефіцієнту теплового випромінювання, важливим параметром режиму роботи теплозахисного костюму є приріст температури водяної плівки ΔT .

Елементарний розрахунок дозволяє визначити, що, якщо під час руху плівки на неї діє теплове випромінювання інтенсивністю I_2 , спрямоване нормально до плівки, то, за умови повного поглинання цього випромінювання плівкою, за час руху плівки вона буде нагріватися від початкової температури води T_0 до максимальної температури $T_{\max} = T_0 + \Delta T$, де приріст температури

$$\Delta T = \frac{3 \cdot \nu_w \cdot h \cdot I_2}{g \cdot c_w \cdot \rho_w \cdot d^3} = \frac{L \cdot h \cdot H_c \cdot I_1}{c_w \cdot \rho_w \cdot (1-k) \cdot N \cdot Q_s}, \quad (5.28)$$

де h – вертикальний розмір плівки (висота на рівні плечей рятувальника),
 c_w – питома теплоємність води.

Максимальна температура $T_{\max}$ досягається в нижній частині водяної плівки. Розрахунок (5.28) виконано за умови нехтування випаровуванням плівки під час її руху. Ця умова є виправданою з огляду на малий час нагрівання (час руху плівки вздовж розміру h):

$$\tau = \frac{h}{v_{av}}. \quad (5.29)$$

Розрахунки свідчать, що за типових умов роботи цей час не перевищує кількох секунд.

Для розрахунку витрат води зрошувачів за формулою (5.4) використаємо залежність коефіцієнту продуктивності зрошувача K від діаметру вихідного отвору зрошувача d_0 . При цьому скористаємось тим фактом, що коефіцієнт витрати води μ_j від конструкції зрошувача майже не залежить і зазвичай має чисельне значення в межах 0,7...0,8 [101]:

$$K = \mu_j \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_w}} \cdot \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}. \quad (5.30)$$

Для виконання розрахунків використано програмний пакет MathCAD. В якості базових задано такі (достатньо реалістичні) значення фізичних та технічних величин:

$L = 1$ м; $x = 0,5$ м; $h = 1,5$ м; $\varphi_z = 2,0$ рад; $\sigma = 0,5$; $C_0 = 2,5$; $\mu_j = 0,7$; $I_1 = 2 \cdot 10^4$ Вт/м²; $T_f = 1000$ К; $p = 5 \cdot 10^5$ Па; $d_0 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м; $N = 10$; $k = 0,5$.

В результаті обчислень за наведеними вище формулами отримано значення параметрів, представлені в табл.5.2.

Таблиця 5.2

Результат розрахунків параметрів системи захисту від теплового випромінювання

Q_s , л/с	Q , л/с	d , мм	v_{av} , м/с	Re	D_{eq} , мм	l_{eq} , мм	η	ΔT , К	H_c	H_f	$H = H_c \cdot H_f$	I_3 , кВт/м ²
0,039	0,39	0,31	0,63	1565	0,15	0,036	0,17	28	0,76	0,09	0,068	1,36

Згідно з отриманими результатами, при застосуванні захисної системи у складі 10 зрошувачів з вихідними отворами діаметром 1,5 мм при тиску води 5 бар і коефіцієнту розподілу води 0,5 на поверхні теплозахисного костюму утворюється плівка води товщиною 0,31 мм, яка рухається із середньою швидкістю 0,63 м/с. Витрата води всією системою захисту складає 0,39 л/с. При опроміненні захисної системи тепловим випромінюванням інтенсивністю 20 кВт/м^2 водяна плівка нагрівається до максимальної температури ($T_0 + 28$) К. Отже, якщо здійснювати живлення системи водою, охолодженою до $+10^\circ\text{C}$, то в нижній частині костюму (ступні ніг) водяна плівка буде нагріта випромінюванням до $+38^\circ\text{C}$, а в середній частині температура плівки буде складати близько $+(20...30)^\circ\text{C}$. При живленні системи водою кімнатної температури зазначені температурні показники будуть на $10...15^\circ\text{C}$ вище. Для заданих параметрів коефіцієнти пропускання теплового випромінювання набувають таких значень:

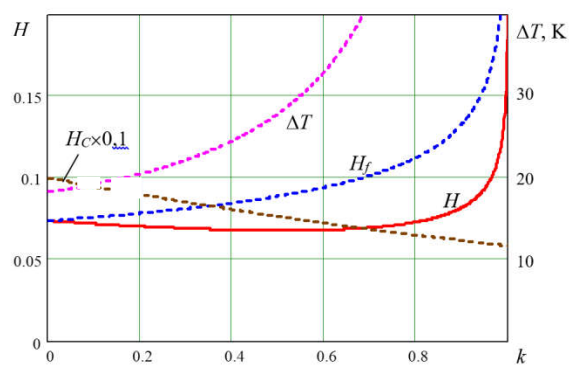
- для водяної завіси $H_c = 0,76$;
- для водяної плівки $H_f = 0,09$;
- загальний $H = 0,068$.

За цих умов на поверхню теплозахисного костюму діє теплове випромінювання інтенсивністю $1,36 \text{ кВт/м}^2$, яке не є небезпечним для рятувальника.

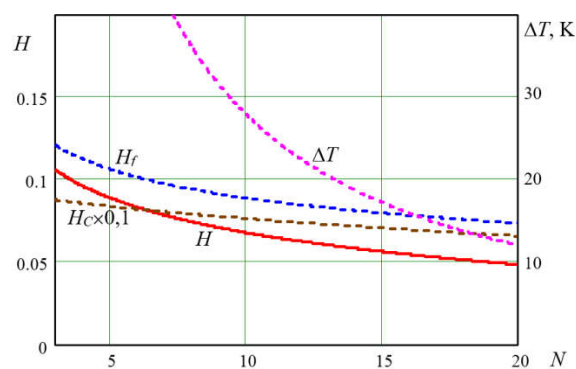
При конструюванні подібної системи захисту суттєвою проблемою є оптимізація всього комплексу технічних параметрів з урахуванням зручності її експлуатації й забезпечення прийнятних умов роботи рятувальника в небезпечній зоні. Із цією метою за допомогою представлених вище розрахункових формул отримано низку графічних залежностей, для яких значення всього комплексу фіксованих параметрів прийнято рівними зазначеним вище при виконанні обчислень для табл. 5.2. На рис. 5.16 представлено графічні залежності величин H_c , H_f , H і ΔT від параметрів k (коефіцієнт розподілу води), N (кількість зрошувачів) і p (тиск води).

Загальний коефіцієнт пропускання теплового випромінювання H в інтервалі значень $0 < k < 0,8$ майже не залежить від k , а тому при визначенні цієї величини перевагу слід надати значенням k від 0 до 0,3, з метою забезпечення мінімальних значень ΔT . [102]

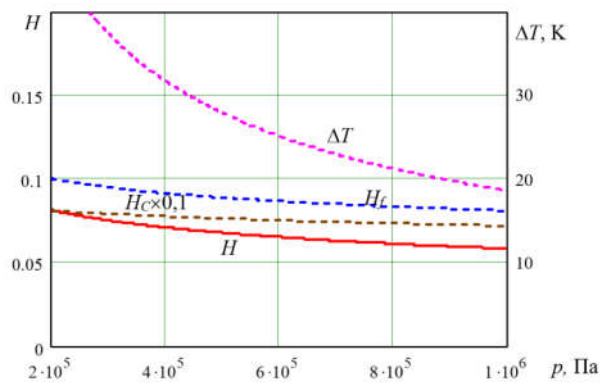
При визначенні кількості зрошувачів N і тиску води p увагу слід звернути на те, що параметри теплового екранування покращуються при збільшенні цих величин, але при цьому зростає також і витрата води. Тому величини N і p необхідно обирати з міркувань розумного компромісу.



а



б



в

Рисунок 5.16 – Залежності приросту температури води, коефіцієнтів пропускання теплового випромінювання водяної завіси, водяної плівки і загалом системи захисту від технічних параметрів: а) коефіцієнту розподілу води k ; б) кількості зрошувачів N ; в) тиску води p .

5.4.3. Пінний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму

Альтернативне вирішення завдання щодо захисту поверхні теплозахисного костюму від дії теплових випромінювань, а також зниження маси костюму [80], досягається за рахунок того, що в якості холодоагенту використовують розчин піноутворювача, трубки для його подавання розташовуються в області голови та шиї рятувальника, до трубок з охолоджувачем додатково підключено піногенератори [216].

При роботі піногенераторів утворюється непроникливий для інфрачервоних променів бар'єр у вигляді пінного шару, що вкриває тіло рятувальника від плечей до полу. Зовнішня тепла енергія витрачається на нагрів піни, руйнування бульбашок, стікання (ефект синерезису) і випаровування нагрітої води. Втрачена піна постійно поповнюється завдяки вибору режиму витрати піноутворюючого розчину (Q , m^3/c) що складає не менш:

$$Q = \frac{(h \cdot b^2 - 0,9)}{k \cdot c}, \quad (5.31)$$

де h - відстань від полу до плечей рятувальника, m ;

b - ширина плечей рятувальника, m ;

k - кратність піні;

c - стійкість піни, c .

Наявність пінного бар'єру запобігає суттєвому нагріву зовнішньої оболонки костюму вище температури піноутворювача тобто $10...25^\circ C$. Піна також поглинає внутрішню енергію, що виробляється організмом рятувальника, та передається до зовнішньої оболонки протитеплого костюму. Перетворена енергія у вигляді нагрітої води та пари постійно видаляється з поверхонь пінного бар'єру і оболонки костюму у зовнішній простір, не даючи підійматись температурі у середині костюму. Це дозволить зменшити в конструкції костюму товщину шарів теплоізолюючих матеріалів

та кількість трубок з холодоагентом. В свою чергу це дозволить зменшити вагу одягу, що знизить навантаження та обмеження рухів рятувальника.

При наявності іскор, головешок або крапель палаючого пального пінний бар'єр забезпечує їх охолодження та гасіння, зберігаючи цілісність зовнішньої оболонки костюму.

Схематично рятувальник в теплозахисному костюмі з охолоджуючим пінним пристроєм зображений на рис. 5.17.

Трубки з охолоджувачем 3 підключені до вставки 4, яка встановлена на пожежному рукаві 6 перед пожежним стволом 5. Струмені піни з піногенераторів спрямовані на зовнішню поверхню протитеплого костюму 1 і при роботі утворюють навкруги неї захисну пінний бар'єр 7. Подавання пінотворного розчину дозволяє створити на рівні плечей рятувальника та нижче суцільний захисний бар'єр у вигляді пінного шару, що забезпечує охолодження протитеплого костюму.

Пінний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму складається з розташованих не нижчі ший рятувальника піногенераторів 2, які підключені до трубок 3 з пінотворним розчином. Теплозахисний пристрій експлуатується наступним чином. Рятівник одягає теплозахисний костюм 1 безпосередньо перед проведенням рятувальної роботи. Перед заходом в зону підвищеного теплового випромінювання і температури повітря, він підключає гнучкий шланг за допомогою швидко рознімного з'єднання до вставки 4, віддає команду на подання води в рукавну лінію 6 і з виходом на оперативну позицію відкриває кран-регулятор, заповнює трубки 3 пінотворним розчином з рукавної лінії 6.

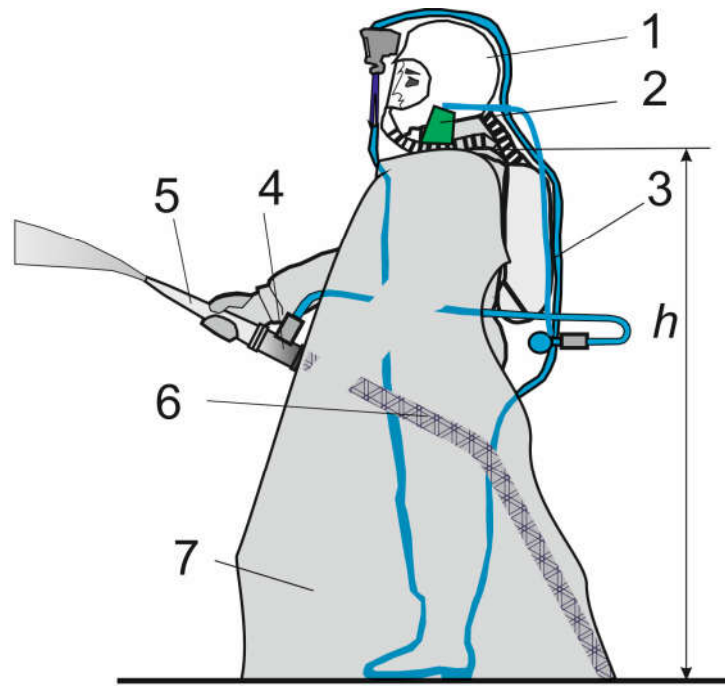


Рисунок 5.17 - Схема розташування складових частин пінного охолоджуючого пристрою теплозахисного костюму: 1 – теплозахисний костюм, 2 – піногенератори, 3 – трубки з холодоагентом, 4 – вставка, 5 – пожежний ствол, 6 – пожежний рукав, 7 – захисний пінний бар'єр

Потім залежно від виконуваних робіт подає піну за допомогою пожежного ствола 5 на гасіння пожежі, захист технологічного устаткування або виконує його відключення. Холодоагент поступає у піногенератори 2 по трубкам 3 забезпечуючи охолодження протитеплого костюма рятувальника. Після проходження по трубкам 3, холодоагент поступає до піногенераторів 2, де холодоагент, а саме пінотворний розчин перетворюється у піну, яка стікає до полу по оболонці костюму 1 у вигляді пінного потоку, накопичується, створюючи конусоподібний захищаючий від тепла бар'єр. Потік зовнішнього тепла нейтралізується захисним бар'єром, частина води внаслідок синерезису стікає з поверхні конусу на землю уносячи теплоту, інша частина випаровується та виноситься повітряними потоками. Таким чином, наявність захисного бар'єру не дає можливості зовнішній оболонці нагріватись до температури вищої ніж температура холодоагенту (пінотворного розчину) в

трубках тобто не вище $10...25^{\circ}\text{C}$, що значно нижче від температури термодеструкції існуючих матеріалів для виготовлення оболонок протитеплових костюмів. Бар'єр захищає оболонку костюму від іскор, головешок та крапель палаючих рідких речовин охолоджуючи їх та утворюючи навколо їх не підтримуюче горіння флегматизоване водяною парою середовище.

Враховуючи те, що температура холодоагенту складає $10...25^{\circ}\text{C}$, бар'єр захищає тіло нижче рівня плечей, при цьому він поглинає значну частину внутрішньої теплоти що генерує організм рятувальника. Інтенсивно охолоджувати за допомогою трубок з холодоносієм слід не захищені бар'єром голову та руки рятувальника. Отже, приймаючи це до уваги можна зменшити кількість трубок з холодоагентом в області тулуба та ніг, і суттєво зменшити вагу протитеплогового костюму.

Було проведено випробування макетного зразка (рис.5.18) теплозахисного костюма з пінним охолоджуючим пристроєм. Використання запропонованого пінного охолоджуючого пристрою теплозахисного костюму забезпечує збереження цілісності зовнішнього шару теплозахисного костюма рятувальника при тривалій дії високих температур, наявності іскор, головешок, бризок палаючого рідкого пального, з одночасним забезпеченням у підкостюмному просторі комфортних умов роботи рятувальника.



Рисунок 5.18 - Макетний зразок пінного охолоджуючого пристрою теплозахисного костюму

5.4.4. Пристрій для захисту обличчя в теплозахисному костюмі

З метою підвищення захисту голови [247, 154] та грудної частини тулуба в пристрої доцільно використовувати капюшон з системою трубок для руху холодоносія (рис.5.19). Капюшон 1 охоплює голову, шию, та верхню частину тулубу. Для включення у дихальний апарат в лицевій частині капюшону створено отвір 4, слухові отвори передбачено в районі вух (на рисунку не показано).

Для запобігання перегріву обличчя рятувальника від впливу інтенсивних теплових потоків в період ліквідації пожежі запропоновано захисний пристрій [226].

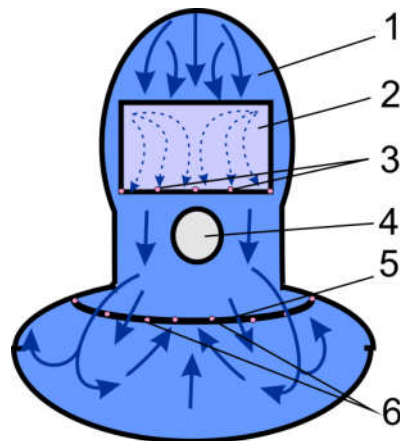


Рисунок 5.19 - Схема охолодження верхньої частини тіла рятувальника:

1- капюшон з системою трубок для холодоносія; 2 – ілюмінатор з водяної плівкою; 3 – розприскувачі під ілюмінатором; 4 – отвір для мундштука дихального апарату; 5 – трубка з розприскувачами; 6 – напрямки руху холодоносія в системі трубок

Конструкція пристрою передбачає, що в теплозахисному костюмі з охолоджуючим пристроєм захисний щиток виконано з двох паралельно встановлених вікон з прозорого матеріалу, по периметру вікон зазор між їх внутрішніми поверхнями герметизований з утворенням проміжку між вікнами, при цьому відстань між суміжними поверхнями вікон не менш 200 *мкм*, трубки з холодоагентом підведені до верхньої частини проміжку, а розприскувачі встановлено в нижній (рис.5.20).

При подаванні води в проміжок між шарами прозорого матеріалу, в щитку утворюється важко проникна для інфрачервоних променів перешкода, у вигляді водяного прошарку. Це забезпечує зниження теплового потоку до обличчя рятувальника в декілька разів до рівня, що не перевищує допустимі фізіологічні норми. Переважаюча частина діючої на щиток променистої та конвекційної енергії затримується в водяному прошарку і спрямовується на нагрів води. З проміжку рідина викидається через розприскувачі на поверхню костюму, що запобігає нагріву зовнішньої оболонки костюму вище від температури кипіння води, тобто 100°C. Потік води в проміжку між вікнами

щитка дозволяє переспрямувати теплову енергію від обличчя рятувальника в зовнішнє середовище.

а)

б)

Рисунок 5.20 - Конструкція пристрою захисту обличчя рятувальника від дії тепла (*а* – загальний вид пристрою, *б* - поперечний розріз пристрою): 1 – вікна з прозорого матеріалу, 2 – проміжок між вікнами, 3 – герметичне з'єднання, 4 – трубки, 5 – струмінь води на вході в пристрій, 6 – розприскувачі, 7 – струмінь води на виході з пристрою

Працює пристрій для захисту обличчя рятувальника від дії тепла наступним чином. Струмені води 5 подають з рукавної лінії за допомогою гнучких трубок 4 до верхньої частини розміщеної між виконаними з прозорого матеріалу вікнами 1, проміжку 2, заповнюючи його повністю. Вода, що надходить до проміжку 2 за рахунок зовнішнього напору, витискається крізь розприскувачі 6, утворюючи струмені 7. Струмені 7 спрямовані на зрошення поверхні теплозахисного одягу рятувальника, як передбачено в найближчому аналогу. Вода у проміжку 2 утворює важко проникну для інфрачервоних теплових променів плівку. Відбувається перерозподіл діючої на обличчя

рятувальника теплової енергії, основна частина якої витрачається на нагрів води, яка виноситься у вигляді факелів 7 із пристрою крізь розприскувачі 6. Рівень теплового потоку, що надходить до обличчя рятувальника, знижується в кілька разів до рівня, що не перевищує фізіологічно допустимих норм. Однак, промені видимого спектру плівка не затримує, і рятувальник крізь вікно має можливість без перешкод оглядати зовнішню обстановку на аварійному об'єкті.

5.4.5. Експериментальне дослідження зниження теплового потоку плівкою води

В лабораторних умовах було виконано перевірку ефективності дії пристрою для захисту обличчя рятувальника від дії теплового потоку [154].

Для виконання експерименту використовувалося наступне обладнання, що входило до лабораторної установки (рис.5.21):

- джерело теплової енергії, а саме обігрівач UFO Ecoline / 30 (Туреччина), потужністю 2900–3200 Вт,

- скло товщиною 4 мм;

- вимірювач теплового потоку типу ВТП-01, до складу якого входить пірометричний перетворювач із з'єднувальним кабелем та цифровий прилад (рис.5.22).

Лабораторна установка (рис. 5.21) складалась з електронагрівального джерела теплової енергії 1, яке генерувало потік інфрачервоних променів 2, що поступав до скла 3 товщиною 4 мм. На скло вільно подавалась вода із джерела 4, утворюючи на ньому плівку 5. Інфрачервоні промені 6, що проникали крізь скло 3 та плівку води 5, реєстрували за допомогою приладу 7 типу ВТП (вимірювач теплового потоку). Відстань від джерела 1 до скла 3 складала 13 см, від поверхні плівки 5 до приладу 7 була 5 см.

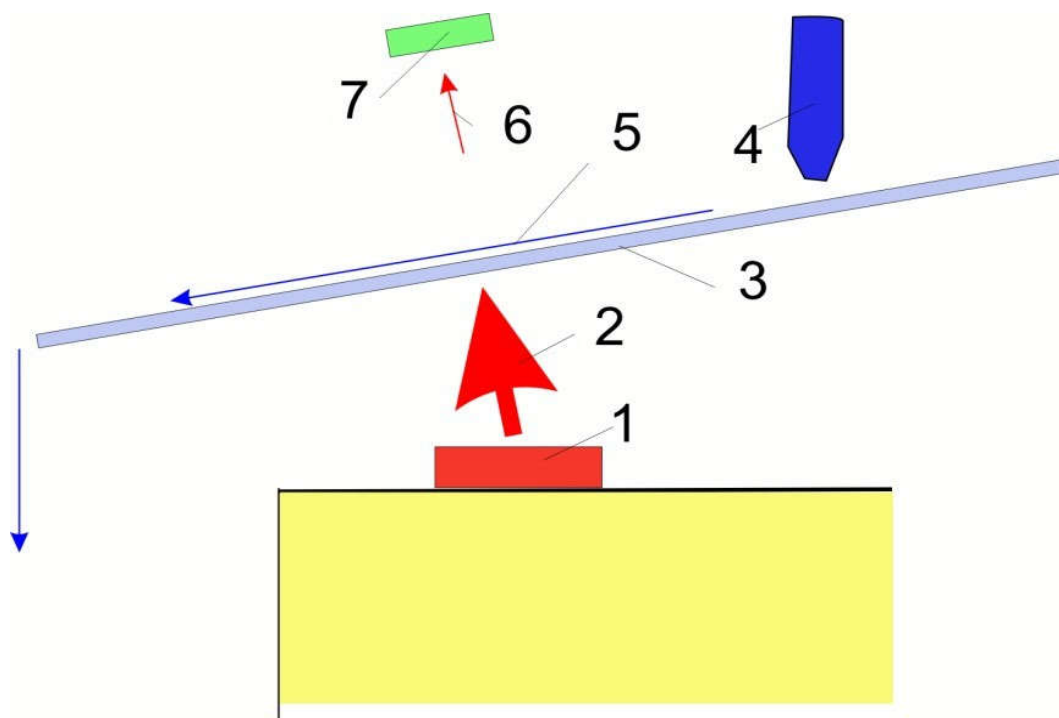


Рисунок 5.21 - Схема експериментальної установки для оцінки зниження теплового потоку плівкою води: 1 – джерело теплової енергії, 2 – потік інфрачервоних променів, 3 – скло, 4 – джерело подавання води, 5 – плівка води, 6 – потік інфрачервоних променів після проходження водяної плівки, 7 – вимірювач теплового потоку.

Методика випробування передбачала проведення чотрьох режимів вимірювань теплового потоку на шляхах:

- джерело нагрівання – вимірювач щільності теплового потоку,
- джерело нагрівання – скло – вимірювач щільності теплового потоку,
- джерело нагрівання – скло – водяна плівка товщиною 100 мкм – вимірювач щільності теплового потоку,
- джерело нагрівання – скло – водяна плівка товщиною 200 мкм – вимірювач щільності теплового потоку.

Вимірювання при наявності водяної плівки виконується в два цикли.



Рисунок 5.22 – Вимірювач тепловго потоку типу ВТП-01, до складу якого входить пірометричний перетворювач із з'єднувальним кабелем та цифровий прилад

Результати вимірювань зведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3.

Результати експериментів з вимірювання теплового потоку

Шлях ІЧ-потoku	Показання приладу ВТП, $Вт$	Зниження величини потoku, %
Джерело – прилад	1,24	0
Джерело – скло – прилад	0,50	59,7
Джерело – скло – водяна плівка 100 μm – прилад	0,18	85,5
Джерело – скло – водяна плівка 200 μm – прилад	На межі чутливості приладу (0,01..0,02)	98...99

Результати випробувань показали, що захисні властивості скла дозволяють знизити величину теплового потоку, що діє на обличчя рятувальника, майже на 60%, більше ніж вдвічі, але залишкова енергія може призвести до теплової травми очей або шкіри. Наявність водяної плівки

товщиною 200 мкм і більше дозволяє практично усю теплову енергію переспрямувати у водяний потік. Тим самим забезпечується досягнення поставленого завдання по захисту обличчя рятувальника від негативної дії теплового враження.

5.5. Матеріали для спеціального захисного одягу рятувальників від підвищеного теплового впливу

В узагальненому вигляді вимоги, що перед'являються до спеціального захисного одягу в залежності від його типу (БОП – бойовий одяг пожежників; СЗО ПТВ – спеціальний захисний одяг від підвищеної теплової дії; СЗО ІТ - спеціальний захисний одяг ізолюючого типу), представлені в таблиці 5.4 [129, 7, 120, 219, 121, 141, 92, 83, 82, 96, 143, 5, 248].

Міжнародний стандарт ISO 11612: 2008 «Одяг захисний. Одяг для захисту від тепла і полум'я»[187, 198] визначає мінімальні експлуатаційні вимоги до матеріалів вогнезахисного спецодягу, методи лабораторних випробувань, а також вимоги до конструктивного виконання вогнезахисного спецодягу. Фактично, з введенням в дію даного стандарту споживач отримує можливість об'єктивної оцінки та порівняння експлуатаційних характеристик усіх світових зразків вогнезахисного спецодягу, без оглядки на стандарти, що застаріли і втратили актуальність.

Галузеві та корпоративні стандарти і технічні умови (ТУ) на спецодяг та ЗІЗ в багатьох галузях і компаніях часто не встигають за розвитком міжнародних, міждержавних та національних стандартів безпеки. Багато посилення в таких нормативних документах все ще кореспондують до стандартів СРСР, які часто суперечать один одному. В результаті, адекватні комплексні вимоги до матеріалів спеціального захисного одягу рятувальників від підвищених теплових впливів у деяких компаній просто відсутні. Вогнезахисними, наприклад, вважають тканини, які «після витримування в полум'ї протягом 20 - 30 с не горять і не тліють», хоча, насправді, цей показник

характеризує не вогнезахисні, а тільки негорючі властивості матеріалів. Вимоги по стійкості матеріалів до конвективного тепла і теплового випромінювання, які є основними вражаючими факторами при дії відкритого полум'я, часто просто відсутні.

Таблиця 5.4

Вимоги, що перед'являються до спеціального захисного одягу

Найменування показника	БОП	СЗО ПТВ легкого типу	СЗО ПТВ напів- важкого типу	СЗО ПТВ важкого типу	СЗО ІТ тип ІІ
1 Витривалість до дії теплового потоку:					
- 5,0 $\text{кВт}/\text{м}^2$, с, не менше	240	—	—	—	240
- 10,0 $\text{кВт}/\text{м}^2$, с, не менше	—	480	900	—	—
- 14,0 $\text{кВт}/\text{м}^2$, с, не менше	—	—	—	—	180
- 18,0 $\text{кВт}/\text{м}^2$, с, не менше	—	—	600	960	—
- 25,0 $\text{кВт}/\text{м}^2$, с, не менше	—	—	—	240	—
- 40,0 $\text{кВт}/\text{м}^2$, с, не менше	—	—	—	120	—
2 Витривалість до однократної дії відкритого полум'я, с, не менше	5	15	20	30	5

Для захисту від термічних факторів (відкритого полум'я і підвищених теплових впливів) спецодяг повинен виконувати дві основні функції: не займатися і затримувати потужний тепловий потік.

Для виконання зазначених функцій матеріали вогнезахисного спецодягу повинні одночасно володіти:

- вогнестійкістю: не повинні підтримувати горіння на повітрі;
- теплостійкістю: не повинні розплавлятися, давати термічну усадку, руйнуватися;
- теплозахистом: повинні ефективно затримувати теплову енергію, що поширюється у вигляді теплопровідності, конвективного і променистого теплообміну.

Спеціальний захисний одяг рятувальника від підвищених теплових впливів - одяг, що виготовляється з використанням матеріалів з металізованими покриттями, призначений для захисту рятувальника від підвищених теплових впливів (інтенсивного теплового випромінювання, навколишнього середовища з високою температурою, короткочасного контакту з відкритим полум'ям), механічних впливів та інших шкідливих факторів, що виникають при гасінні пожеж та проведенні аварійно-рятувальних робіт в безпосередній близькості до відкритого полум'я, а також від несприятливого кліматичного впливу.

Ефективність захисного спецодягу на 70 % залежить від правильного вибору матеріалів, з яких він виготовлений. Розуміння взаємозв'язку умов праці з експлуатаційними вимогами до спеціального захисного одягу рятувальників від підвищених теплових впливів і знання самих матеріалів формують основу процесу прийняття рішення щодо вибору захисних матеріалів. Матеріали спеціального захисного одягу повинні вибиратися виходячи з адекватного рівня захисту, відповідного ризику. Таким чином, необхідне включення в керівні документи з питань організації пожежогасіння температурних параметрів, при яких просто бойовий одяг пожежного не є засобом захисту від теплового впливу.

Необґрунтоване підвищення захисту може бути не менш небезпечно, ніж недостатній захист. Воно призводить до теплового перенапруження, швидкої перевтоми, зниження рухливості і уваги, збільшення часу реакції.

Вогнестійкість матеріалів можна оцінювати за значенням кисневого індексу (KI), що позначає мінімальний об'ємний вміст кисню в навколишньому просторі, при якому можливе свічкоподібне горіння даного матеріалу. Текстильні матеріали з $KI > 21$ не схильні до підтримання стійкого горіння на повітрі. Волокна і тканини з кисневим індексом рівним 26-28 мають тенденцію до уповільнення горіння на повітрі і проходять елементарні тести на займання смужки тканини. Матеріали з $KI > 30$ мають високі вогнезахисні властивості. Значення KI для поширених текстильних волокон наведено в табл. 5.5. Щоб уникнути непорозумінь слід зазначити, що стосовно до текстильних матеріалів під «вогнестійкістю» не мається на увазі «вогнетривкість». Вогнетривкі матеріали абсолютно стійкі до впливу полум'я, практично не змінюють фізичних і хімічних характеристик і можуть витримувати вплив полум'я як завгодно довго. Прикладом вогнетривких матеріалів можуть служити, азбест або цегла. Вогнестійкі матеріали не підтримують горіння на повітрі, але на відміну від вогнетривких матеріалів можуть зазнавати фізичні та хімічні зміни під дією полум'я і підвищених температур.

Здатність матеріалів витримувати підвищені температури, не змінюючи своїх фізичних характеристик, називається теплостійкістю. У термопластичних волокон фізичні зміни від нагрівання настають при так званих температурах склування (розм'якшення) T_g і плавлення T_m , а хімічні зміни мають місце при температурі піролізу T_p , коли настає термічна деструкція полімеру, за якою слідує загоряння при температурі T_c .

Чим нижче температури фізичних змін (склування T_g і плавлення T_m), тим гірша теплостійкість матеріалу. Для поширених текстильних волокон, таких, як поліпропілен, поліестер, нейлон (поліамід 6 і поліамід 6.6) відповідні низькі температури склування T_g і плавлення T_m означають низьку теплостійкість. Поглинаючи теплову енергію, такі матеріали будуть не тільки усаджуватися, і деформуватися, але і почнуть плавитися, руйнуючи

текстильну структуру з трагічними наслідками для рятувальника [31]. При термічній усадці тканини з таких волокон - зникають підодяговий повітряні зазори (ефект термоусадки), що серйозно збільшує відсоток і ступінь тяжкості термічних опіків рятувальника. Для спеціального захисного одягу рятувальників від підвищених теплових впливів рекомендується вибирати нетермопластичні теплостійкі матеріали з високими температурами фазових переходів (фізичних змін), що не плавляться, а повільно карбонізують з мінімальною усадкою.

Основні температурні показники найбільш розповсюджених тканин наведені в табл. 5.5. З таблиці видно, що під впливом високих температур арамід не плавляться, а починають повільно карбонізувати, вони не підтримують горіння на повітрі, тому що мають $KI > 29$.

Теплозахист текстильних матеріалів полягає в їх здатності сповільнювати потік теплової енергії від трьох видів теплопередачі - теплопровідності, теплового випромінювання, конвекції, а також від комбінації з двох і більше видів. Наприклад, полум'я формує конвективну реакційну зону, в якій теплову енергію переносять не тільки молекули розпеченого газу (конвективна теплопередача), але і тверді дисперговані частинки, включаючи дим (теплопровідність). Енергія променистого тепла (теплове випромінювання) передається без участі передавального середовища, за допомогою електромагнітних хвиль, що випускаються нагрітими поверхнями або полум'ям. Теплове випромінювання несе теплову енергію, головним чином, у видимій та інфрачервоній частині електромагнітного спектру. Це інфрачервоне випромінювання поглинається молекулярною структурою волокон і покриття поверхні тканини і може підвищувати її температуру до декількох сотень градусів Цельсія (зазвичай $> 300^{\circ}\text{C}$). Це вже само по собі досить для термічної деструкції (піролізу) і навіть загоряння більшості відомих полімерів (див. табл. 5.4). Як правило, саме променисте тепло стає причиною швидкого розповсюдження полум'я на навколишні

предмети за допомогою їх дистанційного розігріву з подальшим займанням [66].

Таблиця 5.5

Температури піролізу та фазових переходів розповсюджених волокон

Волокно	T_g , °C (склування)	T_m , °C (плавління)	T_p , °C (піроліз)	T_c , °C (загоряння)	T_f , °C* (полум'я)	KI, % (кисн. індекс)
Шерсть	-	-	245	570-600	680-825	25
Бавовна	-	-	350	350	974	18,4
Віскоза	-	-	350	420	-	18,9
Нейлон 6	50	215	431	450	-	20-21,5
Нейлон 6.6	50	265	403	530	861	20-21,5
Поліестер	80-90	255	420-447	480	649-820	20-21
Акрил	100	>220	290	>250	910-1050	18,2
П-пропилен	20	165	470	550	-	18,6
Модакрил	<80	>240	273	690	-	29-30
ПВХ	<80	>180	>180	450	-	37-39
М-арамід	275	375	>425	>500	-	29-30
П-арамід	340	560	>590	>550	-	29
Kermel®	340	430	>450	>500	-	32

Нарешті, теплопровідність теж може прискорити термічне руйнування і займання текстильних матеріалів теплозахисного спецодягу та привести до термічних опіків рятувальника. Матеріали такого одягу повинні мати високий

питомий тепловий опір. Існує безліч прикладів негорючих матеріалів з високим кисневим індексом, але вкрай низькими теплоізоляційними властивостями. Застосування таких матеріалів популярно в техніці, де розсіювання надлишкового тепла має певне значення (наприклад, гальмівні механізми або чохли літакових крісел), але неприпустимо в спеціальному захисному одязі рятувальників.

Для вибору матеріалів ефективного спеціального захисного одягу необхідно керуватися не окремо взятими експлуатаційними характеристиками того чи іншого волокна (тканини), а розглядати в комплексі вогнестійкі, теплостійкі і теплозахисні властивості.

Наприклад, деякі матеріали можуть бути негорючими, але при цьому плавитися при відносно невисоких температурах, погано відображати променисте тепло або мати високу теплопровідність. У результаті висока негорючість такого матеріалу буде малоефективною в захисті рятувальника від термічних опіків. Саме тому чергова «найбільш вогнестійка тканина на ринку» може бути зовсім непридатною для вогнезахисного спецодягу. У дійсності, одночасної вогнестійкістю і теплостійкістю володіє лише нечисленна група волокон з числа добре відомих фахівцям ароматичних поліарамідів, що перераховані в нижній частині табл. 5.5. Саме ці волокна найбільш підходять для тканини СЗО ПТВ.

Високомодульні пара-арамідні волокна широко відомі своїм застосуванням для виготовлення засобів балістичного захисту. Однак через неможливість їх фарбування пара-араміди в чистому вигляді не застосовується для виготовлення промислового спеціального захисного одягу. Для виготовлення ефективного і комфортного спеціального захисного одягу від підвищених температурних дій найбільш підходять мета-арамідні волокна або їх композиції з пара-арамидами.

Ці волокна не тільки вогнестійкі і теплостійкі, але і відрізняються від аналогів удвічі більшим питомим тепловим опором, тому забезпечують

ефективний тепловий захист. Вони не підтримують горіння на повітрі. Арамідні волокна не плавляться і мають низьку термічну усадку. Високі вогнестійкі і термостійкі властивості арамідних волокон забезпечують максимальну їх стійкість від підвищених термічних впливів.

Виходячи з вимог нормативних документів матеріал верху - зовнішній шар пакету матеріалів і тканин, що використовуються для виготовлення спеціального захисного одягу рятувальника від підвищених теплових впливів, повинен мати металізоване покриття з високим ступенем відбиття інфрачервоного випромінювання і забезпечувати захист від високих температур навколишнього середовища і відкритого полум'я [187, 31].

У зарубіжній практиці широке застосування одержало нанесення на матеріал верху алюмінієвої фольги, що дозволяє відображати до 96% падаючого теплового потоку. Однак, як показала практика застосування таких композицій, через невисоку механічну міцність фольги спецодяг перетворюється в одяг одноразового застосування.

Плівка, одержувана методом напилення алюмінієвого покриття на матеріал верху, дозволяє відображати до 90% падаючого теплового потоку, але при цьому володіє необхідною механічною міцністю.

В якості теплоізоляційної підкладки - шару, який входить до складу пакету матеріалів спеціального захисного одягу рятувальника від підвищених теплових впливів, і призначений для захисту від конвективного тепла використовують матеріали, що мають низьку теплопровідність.

Теплопровідність матеріалу складається з трьох складових: теплопровідності твердої основи, теплопровідності повітряного середовища і вологості, що знаходиться в порожнинах матеріалу, і передачі тепла випромінюванням. Теплопровідність твердої основи, як основна складова загальної теплопровідності, залежить від геометрії й орієнтації волокон у просторі. При заданій щільності найбільш ефективним теплоізолятором є

мінеральна вата з хаотично розташованими і безладно орієнтованими волокнами.

В даний час близько 60 % всієї теплоізоляції, що застосовується, представлено волокнистими матеріалами - скляною, мінеральною та базальтовою ватою. Базальтове волокно - це волокнистий матеріал, що одержують із силікатних розплавів гірських порід. Воно має природну формулу вулканічних порід. Вироблені з базальтового волокна вироби - це базальтохолст, базальтові мати, тканини, плити, картон.

У табл. 5.6 наведені «найкращі» показники температурних характеристик для скляного і мінерального волокон. Вони можуть істотно відрізнятися залежно від марки скла або складу шихти у мінеральному волокні. Базальтове волокно постійне за складом і, відповідно, за температурними характеристиками. Крім того, при оцінці температурних характеристик необхідно врахувати не тільки те, як волокно «тримає» температуру, але і як змінюється його міцність при різних температурах.

Дуже важливий показник, що впливає на довговічність ізоляції - вібростійкість. Саме висока вібростійкість базальтових волокон визначила їх історично першим область застосування - аерокосмічний комплекс і суднобудування.

У теплоізолюючих матеріалах завжди присутня деяка кількість вологи у вигляді пари або рідини. Для нашого виробу це відноситься до процесу прання та догляду за ним після застосування. За певних умов пара може конденсуватися усередині матеріалу. Вода має кислотну реакцію. Як видно з рядка 11 скляні та мінеральні волокна поступаються по хімічній стійкості базальтовим в 2,5-3 рази для нормальних і лужних середовищ і 8-17 для кислотних. Водопоглинання базальтоволокна в 85 разів нижче, ніж скловолокна. Отже, руйнування скляних і мінеральних волокон протікає значно швидше, ніж базальтових.

Таблиця 5.6

Порівняльні характеристики волокон

№	Параметр (характеристика)	Скло- волокно	Мінеральне волокно	Базальтове волокно
Механічні характеристики				
1	Щільність, кг/м^3	12-25	25-40	15-23
2	Діаметр елементарного волокна, мкм	4-12	4-10	1-3
3	Довжина волокон, мм	15-50	16	40-70
4	Модуль пружності, кгс/мм^2	до 7200	5400...8000	9100...11000
5	Коефіцієнт ущільнення при експлуатації	1,6	1,8	1,2
6	Залишкова міцність при розтягуванні (після термообробки при температурах), %:			
	20° C	100	100	100
	200° C	92	95	98
	400° C	52	60	85
	600° C	спікання	20	76
Температурні характеристики				
7	Діапазон температур використання, °C	-60...+250	-180...+450	-250...+700
8	Коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт/м}^\circ\text{C}$	0,038..0,042	0,04...0,047	0,031..0,034
9	Температура спікання, °C	600	850	1100
Вібростійкість (втрата маси при дії вібрації) при різних температурах %, ($v=50 \text{ Гц}$, $A=1 \text{ мм}$, $t=3 \text{ години}$)				
10	200°C	12	40	-
	450°C	41	75	0,01
	900°C	100	100	0,35
Хімічна стійкість (утрата маси), %				
11	в воді	6,2	4,5	1,6
	в лужному середовищі	6	6,1	2,75
	в кислотному середовищі	38,9	24	2,2
12	Водопоглинення за 24 години, %	1,7	0,95	0,02

Незаперечна перевага базальтового волокна в його довжині і тонкощі. У маті волокна сплутується і тримаються без сполучень. Для транспортування і додання базальтовому матеріалу «товарного вигляду» мати іноді прошивають ниткою або обшивають тканиною. У виробках з скловати і мінерального

волокна завжди використовують сполучні - для додання їм форми, захисту від вологи, підвищення механічних характеристик, підвищення біостійкості і т.п. (тобто для виправлення властивостей самих волокон). В якості сполучень в переважній більшості випадків використовуються фенольні смоли (від 1,5 до 10% по масі виробу). Всі виробники мінеральних і скляних теплозвукоізоляційних виробів на фенольній зв'язці мають відповідні гігієнічні сертифікати та дозволи. Разом з тим відкритим залишається питання про екологічність таких матеріалів (фенол визнаний канцерогеном), їх довговічності, а також продуктах розпаду і накопичення їх в підкостюмному просторі.

Таким чином, базальтові волокна отримані з розплаву власне базальту, а також деяких близьких до нього порід без будь-яких доповнень у вигляді синтетичних або мінеральних речовин. Отже, по сировині, що використовується, волокна можна розташувати за ступенем їх «ненатуральності» або, іншими словами, віддаленості від природних матеріалів в наступному порядку: скловолокно - по суті, результат хімічних технологій; шлаковата - теж саме; мінеральне волокно - фабрикється на основі природних матеріалів, але в суміші вони являють собою штучно створений мінерал; базальтове волокно - має природну формулу вулканічних порід. Вироби з базальтового волокна: базальтохолст, базальтові мати, тканини, плити, картон використовуються надалі без штучних сполучних матеріалів. Тисячолітнє перебування базальтових порід на поверхні планети обумовлює їх хімічну інертність. Таким чином, базальтові волокна мають незаперечну перевагу перед скло- мінеральними волокнами.

Внутрішній шар - шар, що входить до складу пакету матеріалів і тканин, призначений для забезпечення гігієнічних властивостей виробу. В якості внутрішнього шару застосовується прогумована тканина. Цей матеріал дозволяє легко прибирати сліди забруднення і оберігає проникнення вологи виділяється рятувальником у теплоізоляційну підкладку одягу.

Білизна термостійка - комплект білизни літнього або зимового із трикотажного полотна з застосуванням термостійких волокон, що використовується в комплекті зі спеціальним захисним спецодягом і призначений для додаткового теплового захисту рятувальника і вбирання потовиділення. Білизна термостійка виготовляється з вогнетермотривкого трикотажного полотна арт. 77-059 ТК ІА з мета-арамідних волокон Nomex®. Випускається термостійка білизна зимовою або літньою. У комплект білизни входять фуфайка і кальсони. Фуфайка прямого силуету з бічними швами, втаченими довгими рукавами, манжетами по низу рукавів. Горловина оброблена обтачкою. Кальсони без бічних швів, з ластовіцею, манжетами по низу. Верхній зріз зібраний еластичною тасьмою. Комплект зимової білизни може бути виготовлений на бавовняної або віскозної підкладці.

Основні експлуатаційні характеристики термостійкої білизни представлені в табл. 5.7.

При виборі матеріалів для спеціального захисного спецодягу необхідно звернути увагу на механічні характеристики запропонованих матеріалів, щоб з одного боку вони забезпечували захист рятувальника від механічних впливів і були зносостійкими і міцними, але з іншого боку не були позамежно міцними, що дозволяє без зусиль захопити і травмувати рятувальника рухомими машинами і механізмами. Незважаючи на високу механічну міцність, арамідні тканини виготовляються з пряжі однойменних волокон і від самого початку були розроблені для спецодягу, а не для бронежилетів або парашутів.

Таблиця 5.7

Характеристики термостійкої білизни

№ п/п	Найменування показника	Значення показника за НТД	
		літня	зимня
1	Поверхнева щільність, $г/м^2$	210±20	290±20
2	Розривне навантаження: по основі (довжині), H , не менше	500	500
	по утку (ширині), H , не менше	400	400
3	Стійкість до впливу температури навколишнього середовища до 300°C, $сек$, не менше	300	300
4	Стійкість до впливу відкритого полум'я, $с$, не менше	15	15
5	Усадка після намокання і висушування, %, не більше	2,5	2,5
6	Стійкість до впливу теплового потoku 5,0 $кВт/м^2, с$, не менше	240	240
7	Вага білизни, $кг$, не більше	2,0	2,5

Зносостійкість тканини визначає термін служби спеціального захисного одягу. Тканина повинна витримувати високі механічні навантаження і відрізнятися високою стійкістю до стирання. Механічні характеристики арамідних тканин перевищують мінімальні вимоги всіх відомих стандартів безпеки та технічних регламентів навіть після 50 циклів промислового прання/сушіння при 75°, що гарантує довговічність захисного спеціального одягу.

За даними Національного інституту професійної техніки безпеки та охорони здоров'я (США), кількість нещасних випадків збільшується при підвищених оточуючих температурах. Одна з причин в зниженні концентрації

уваги і працездатності. Спека і фізичний дискомфорт провокують дратівливість, злість і інші емоційні стани, які іноді стають причиною того, що працівники забувають про техніку безпеки або неуважно виконують небезпечні види робіт. Робота в товстому, важкому і громіздкому спецодязі збільшує теплове та фізичне навантаження на користувача, що відбивається в підвищеному навантаженні на серцево-судинну систему. Матеріали спеціального захисного спецодягу необхідно особливо ретельно підбирати з дотриманням балансу захисту і комфорту.

Професійний захисний одяг має бути комфортним, незалежно від рівня захисту. Комфорт означає відсутність дискомфорту, тобто больових або неприємних відчуттів. Розрізняють 4 типи комфорту користувача: тепловий; сенсоріальний; фізичний; психологічний.

Тепловий або тепло-фізіологічний комфорт виражається в задоволенні користувача термальним середовищем, коли не холодно і не жарко, а волога (піт) може безперешкодно випаровуватися. При будь-якій активності тіло людини генерує теплову потужність від 80 *Вт* (під час сну) до 1000 *Вт* (при високих фізичних навантаженнях). Влітку надлишкове тепло необхідно віддавати в навколишнє середовище якнайшвидше, проте вже при температурі повітря 34-37°C єдиним способом терморегуляції тіла залишається охолодження випаровуванням. Для спеціального захисного одягу від підвищеного теплового впливу необхідно застосовувати активне знімання тепла. При цьому тканини костюма охолодження повинні бути повітряпроникними й гігроскопічними, що забезпечують, відповідно, термовентіляцію і регулювання кількості вологи в пододежному просторі.

Вимоги захисту і комфорту часто суперечать один одному і мета захисного спецодягу - забезпечення розумного балансу. Специфічні захисні властивості спецодягу для співробітників ДСНС України вимагають застосування тканин зі спеціальними обробками і накладками, що знижують тепловий комфорт. Дуже важливо вибрати мультифункціональну тканину, яка

при необхідних захисних властивостях не перешкоджає теплообміну з навколишнім середовищем і дозволяє обійтися без додаткових накладок, верств, напилювань тощо. Тобто треба піти від підходу, при якому винаходиться листовий «пиріг» з малоефективних, але дешевих тканин. Проведені дослідження показали, що максимальна щільність тканини зі 100% вмістом арамідних волокон з алюмінієвим напиленням, що забезпечує необхідний захист і прийнятний комфорт користувача, становить близько 500 г/м^2 [66].

Сенсорний комфорт пов'язаний з відсутністю у користувача неприємних тактильних відчуттів, таких, як свербіж, жорсткість, прилипання до тіла. На цей тип комфорту впливають безпосередньо властивості самих волокон. Низькомодульні арамідні волокна з гладкою поверхнею і майже круглим поперечним перерізом забезпечують користувачеві натуральну м'якість, а конструкція тканини не дозволяє їй прилипати до тіла. Остання властивість пов'язана також і з тепловим комфортом, оскільки одяг, що прилипає до тіла, перешкоджає випаровуванню поту.

Фізичний комфорт пов'язаний з правильною підгонкою одягу за розміром, а також з її масогабаритними характеристиками. Арамідні волокна легше бавовняних аналогів на 43% і дозволяє відчувати більшу зручність в носінні. Нульова усадка цієї тканини в киплячій воді і стійкість до детергентів зберігають первинні розмірні характеристики, тому користувач не буде відчувати дискомфорту від усадки спецодягу після прань або чисток.

Психологічний комфорт забезпечується естетичними властивостями одягу (конструкцією, стилем, зовнішнім виглядом), відповідністю одягу її призначенню і почуттям захищеності користувача. Постійна кольоростійкість нанесеного напилення арамідних тканин, відсутність утворення пілей забезпечують захисному спецодягу презентабельний зовнішній вигляд на весь термін служби. Повністю вогнестійкий однорідний склад тканини не викликає

сумнівів в сталості і надійності захисту, що дає користувачеві впевненість роботи в небезпечному середовищі.

Матеріали професійного спеціального захисного одягу повинні бути зручні у догляді і обслуговуванні, передбачати режим промислового прання при температурі не менше 60°C і різні режими сушіння при високих температурах, в іншому випадку вогнезахисний одяг буде погано пратися і накопичувати забруднення, які можуть знижувати захисні і гігієнічні властивості. Арамідні тканини неодноразово протестовані після промислових прань при температурі 75°C і можуть витримувати більш 100 прань.

Безпека для людини і навколишнього середовища в ряді випадків обумовлені обробкою вогнезахисних тканин пропитками, що містять фосфор і галогени (хлор), які при впливі високих температур виділяють у великих концентраціях токсичні продукти горіння. Арамідні тканини повністю складаються з волокон, при виробництві яких не використовуються канцерогенні, мутагенні і токсичні для репродукції людини речовини. Вогнезахисні властивості тканини постійні і обумовлені арамідною хімічною структурою полімеру, а не хімічними модифікаціями тканини. Це дозволяє використовувати одяг з таких тканин в закритих приміщеннях.

При розгляді питання вартості тканин для виготовлення спеціального захисного одягу рятувальника від підвищених теплових впливів необхідно враховувати ймовірність реалізації і тяжкість наслідків для його здоров'я і життя.

При виборі високоефективних мультифункціональних тканин, таких, як розглянуті вище арамідні тканини, базальтове волокно, необхідно враховувати високу вартість подібних виробів. Порівняння з звичайними матеріалами тут може бути недоречно з причини суттєвої різниці в захисних і споживчих властивостях.

Таким чином, комплексний підхід при виборі матеріалів для виготовлення СЗО ПТВ, що враховує їх механічні, вогнестійкі, теплостійкі і

теплозахисні властивості стосовно до конструктивних елементів захисного одягу, дозволив встановити наступні поєднання матеріалів, що володіють найкращими показниками: для верхнього шару - арамідні тканини з алюмінієвим напиленням; для теплоізоляційного шару - базальтове волокно; для внутрішнього шару - прогумована тканина.

5.6. Висновки.

1. Вперше доповнено систему «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби індивідуального захисту – організм людини» під час перебування рятувальника в умовах нагрівного мікроклімату елементом «засоби пожежогасіння», що дозволило обґрунтувати і розвинути шляхи управління виносом тепла від організму людини та охолодження оболонки спеціального одягу.

2. Розкрито закономірності тепломасопереносу в системі за наявності односторонніх або двосторонніх взаємодій елементів в системі. Зокрема встановлено: джерело горіння призводить до змін стану кліматичних показників оточуючого середовища; або генерація організмом рятувальника фізіологічної теплоти при виконанні роботи призводить до зниження терміну захисної дії теплозахисного одягу. Основні взаємозв'язки між елементами системи вказують на суттєвий вплив на організм рятувальника властивостей засобів захисту, генерації фізіологічного тепла, а також факторів зовнішнього середовища. В свою чергу, на засоби захисту впливають негативні фактори пожежі. Аналіз взаємодії елементів системи показує що найбільш раціональним напрямком забезпечення безпеки пожежних є удосконалення властивостей засобів захисту, або створення якісно нових їх видів.

3. Подальшого розвитку достало уявлення про ефективність проточної схеми охолодження організму рятувальника при використанні засобів пожежогасіння в якості холодоагенту. Перевага плівкового захисту поверхні засобу індивідуального захисту перед крапельної завісою дозволила обґрунтувати напрям попередження термодеструкції тканини захисного одягу

рятувальників. Розроблено конструктивні схеми і елементи конструкцій водяного та пінного охолоджуючих пристроїв, розпочато конструкторську проробку для випуску охолоджуючих пристроїв (Акт від 20.02.2018, ТОВ «Науково виробниче підприємство «Вогнеборець» м. Львів, акт №1 від 17.04.2018, ТОВ НВП «Талан-Пожтех» м. Бровари). На макетних зразках експериментально підтверджено ефективність пристроїв для підвищення захисних властивостей і строку служби спеціального одягу рятувальників.

4. Експериментальні дослідження підтвердили, що наявність водяної плівки товщиною 100 *мкм* зменшує потрапляння інфрачервоного випромінювання на 85%, а плівка товщиною 200 *мкм* і більше дозволяє практично всю теплову енергію переспрямувати у водяний потік. Удосконалено пристрій для захисту обличчя під час виконання аварійно-рятувальних робіт у умовах потужного теплового випромінювання і планується випуск (Акт №2 від 17.04.2018, ТОВ НВП «Талан-Пожтех» м. Бровари).

5. Узагальнюючи запропоноване можна сказати, що наведені технічні рішення дозволили створити якісно новий комбінований засіб захисту рятувальників від дії негативних теплових факторів пожежі з одночасним забезпеченням збільшення терміну служби спеціального одягу рятувальників (рис.5.23).

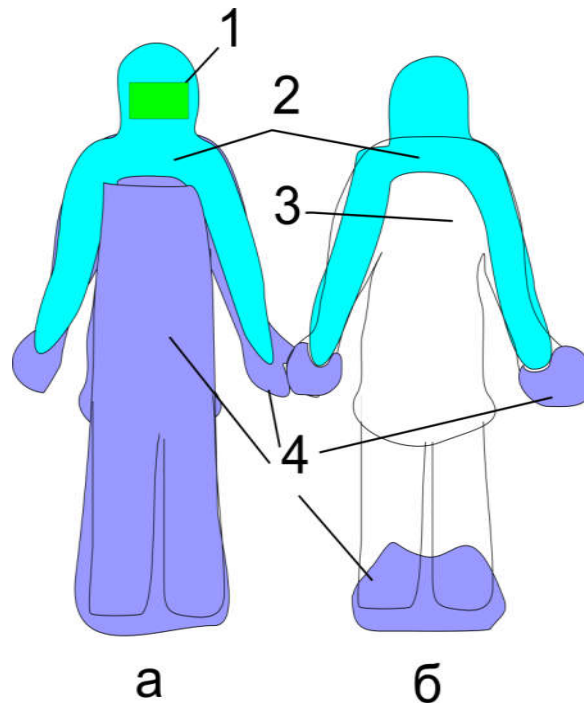


Рисунок 5.23 - Розташування елементів засобу охолодження у бойовій екіпіровці рятувальників, вид спереду (а) і з тилу (б): 1 – водяний потік на склі щитка; 2 – система трубок з потоком холодоносія; 3 – позбавлена охолодження поверхня спеціального одягу; 4 – потік холодоносія на поверхні одягу та крапельна або пінна завіса

Конструкція комбінованого засобу передбачає захист за допомогою трубчастих теплообмінників голови і верхньої частини тіла людини. Захист лицьової поверхні здійснюється непроникливою для ІЧ випромінювання водяною плівкою. Тіло та ніжні кінцівки охолоджують за допомогою зрошення зовнішньої оболонки з утворенням над ній водяної крапельної завіси шляхом розприскування холодоносія, або водяного або пінного шару з холодоагенту якій був використаний для охолодження верхньої частини.

РОЗДІЛ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗАСОБІВ ПРОТИТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ

6.1. Автономний автоматичний теплозахисний пристрій

Згідно з вимогами правил безпеки, що діють роботи в органах і підрозділах ДСНС України [90], особовий склад не допускають до організації та ведення оперативних дій на пожежі без справного захисного одягу. Під час проведення оперативних дій у непридатному для дихання середовищі рятувальники повинні виконувати роботи в засобах індивідуального захисту організму.

Процес ліквідації надзвичайної ситуації умовно можна поділити на два етапи. Перший етап протікає від моменту прибуття підрозділів до аварійного об'єкта й полягає в проведенні розвідки місцевості та джерела небезпеки, виявленні меж зони ураження небезпечними чинниками надзвичайної ситуації. Паралельно проводять роботи з пошуку та евакуації людей, яких настигла аварія. Відповідно до плану першочергових дій виконують невідкладні роботи з локалізації лиха.

Найменш захищеними є рятувальники, які проводять оперативні дії з розвідки аварійних об'єктів, порятунку й евакуації постраждалих людей, провадять невідкладні першочергові дії щодо локалізації надзвичайних ситуацій. Для цього періоду ведення робіт характерний дефіцит інформації про зони ураження, теплові поля, зони задимлення й загазованості токсичними та отруйними речовинами. Водночас на цьому етапі зазвичай не розгорнуті засоби водяного, порошкового й пінного гасіння пожежі, а також не застосовують газодимозахисну апаратуру. Додатковою проблемою є дефіцит часу для реагування рятувальника на неочікувану зміну обстановки. Відомо, що організмові потрібно 15–20 с, щоб відповісти на раптову зміну ситуації. На пожежах з можливим стрімким підвищення температури теплових потоків (до 1000 *град/с* і більше) необхідно застосувати додаткові засоби захисту, які працюють незалежно від реакції людини. Тому, з метою попередження

травматизму, важливо використати швидкодіючі автоматичні засоби індивідуального захисту від теплового ураження.

Запропоновано автоматичний автономний теплозахисний пристрій [4], конструктивна схема якого включає гідравлічну й автоматичну частини та має такий вигляд (рис.6.1). Гідравлічна частина містить резервуар, наповнений холодоагентом, що перебуває під тиском. До нього приєднані трубопроводи для подавання холодоагенту від резервуара до закріпленого на касці рятувальника розпилювача. Крім того, гідравлічна частина включає заслінку електромагнітного клапана, розташовану на горловині резервуара. У початковому стані заслінка перекриває трубопровід.

Автоматична частина пристрою складається з розміщеного в підкостюмному просторі блока управління з автономним елементом живлення, з'єднаного дротами з датчиком температури та привідною частиною електромагнітного клапана.

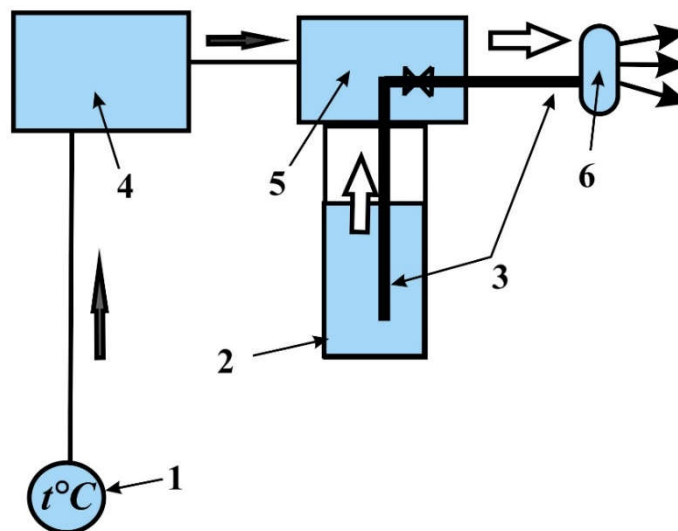


Рисунок 6.1 - Конструктивна схема автоматичного автономного теплозахисного пристрою: 1 – датчик температури; 2 – резервуар; 3 – трубопроводи; 4 – блок управління; 5 – електромагнітний клапан; 6 – розпилювач; темні стрілки – напрям подання електричних сигналів, світлі – холодоагенту.

На початковому етапі аварійно-рятувальної операції проводять розвідку об'єкта, рятування й евакуацію постраждалих людей, а також виконують невідкладні дії щодо локалізації надзвичайної ситуації. В цей період не розгорнуті системи водопостачання та відсутні інші джерела холодоагентів, рятувальники використовують захисний одяг загального призначення. Для захисту від теплового ураження пожежнику доцільно одягати автономний автоматичний теплозахисний пристрій.

Після цього він приєднує до поясу або кладе в спеціальну сумку резервуар, наповнений автономним ресурсом холодоагенту (рис. 6.2). У резервуарі завчасно створено тиск повітря, що є джерелом виштовхування холодоагенту до трубопроводу.



Рисунок 6.2 - Оснащення рятувальника в захисному одязі автоматичним автономним теплозахисним пристроєм. Вид спереду та ззаду: 1 – датчик температури; 2 – резервуар; 3 – трубопроводи; 4 – блок управління; 5 – електромагнітний клапан; 6 – розпилювач.

Установлений на горловині резервуара електромагнітний клапан у початковому стані утримує трубопровід перекритим. Бажано забезпечити можливість екстреного від'єднання резервуара з клапаном у разі вичерпання холодоагенту для полегшення завантаження рятувальника. Блок управління розміщують у внутрішній кишені одягу, дроти від блока підключають до датчика температури та привідної частини електромагнітного клапана. Температурний датчик, налаштований на максимально допустиму для людського організму температуру ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$), закріплюють на грудях рятувальника в ділянці серця між тілом і внутрішнім шаром білизни. На касці закріплюють розпилювач-форсунку, яка гнучким трубопроводом з'єднана з клапаном. Може бути одна форсунка або декілька. Факел розпилення струменів спрямований на передню частину захисного одягу рятувальника для рівномірного її зрошення.

Під час виконання оперативних дій рятувальник потрапляє в зону екстремального теплового ураження, причому відбувається інтенсивне нагрівання поверхні бойового одягу та (унаслідок її теплопроникності) і тіла до температури $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Людина не здатна своєчасно й чітко оцінювати рівень температури в підкостюмному просторі, це створює загрозу теплового ураження у вигляді перегріву організму або теплового удару, втрати свідомості тощо. Наявність датчика температури дає змогу підвищити точність оцінювання ступеня нагрівання тіла й зробити автоматичним процес приведення в дію охолоджувального пристрою. Після досягнення критичного рівня температури ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$) датчик видає електричний сигнал, який потрапляє до блока управління, де надходить команда клапанові відкрити заслінку в трубопроводі. Через відкритий трубопровід холодоагент із резервуара під впливом надлишкового тиску повітря потрапляє до розпилювача. Тривалість подавання холодоагенту регульована установками на блоці управління й передбачає 3–8 с, після закінчення встановленого часу й розпилення порції холодоагенту блок управління подає команду закрити клапан. Зрошення

поверхні захисного одягу призводить до зниження температури тіла рятувальника за рахунок охолодження поверхні одягу холодоагентом, а також поглинання енергії під час випаровування холодоагенту. Короткочасне охолодження дає рятувальникові змогу безпечно покинути зону теплового ураження. За умови продовження проведення невідкладних дії в зоні теплового ураження автоматичний автономний теплозахисний пристрій забезпечує періодичне охолодження в імпульсному режимі до вичерпання ресурсу холодоагенту. Імпульсне подавання холодоагенту, яке починається за досягнення критичної температури в підкостюмному просторі й припиняється після охолодження до безпечного рівня, дає змогу економно його витратити, що збільшує термін захисної дії пристрою. Охолодження поверхні захисного одягу дозволяє зменшити термодеструкцію матеріалу і збільшити термін його експлуатації.

6.2. Дослідження макетного зразка автоматичного автономного теплозахисного пристрою

Для підтвердження доцільності створення автоматичного автономного теплозахисного пристрою було виготовлено й випробувано його модель (рис. 6.3). Як датчик температури використано термістор NTC 10k 1 % 3950 вологозахисний, що може вимірювати температуру в діапазоні від -20 до +105 °C. Датчик був з'єднаний із блоком управління, створеним на базі мікропроцесора AT MEGA 32 (виробник – корпорація Atmel Co, Гонконг).

В якості холодоагенту були три літри води кімнатної температури (близько 21 °C), залитої в металевий резервуар об'ємом п'ять літрів. У резервуар закачали повітря під тиском 0,02 МПа. На горловині резервуара був установлений електромагнітний клапан, здатний витримати максимальний тиск у системі 0,17 МПа.

На підставі запропонованої моделі було створено макетний пристрій автономного автоматичного пристрою (рис. 6.3)

Рисунок 6.3 - Зовнішній вигляд рятувальника в захисному одязі з пристроєм автоматичного автономного протитеплогового захисту

Як аналог людського тіла використано пластикову циліндричну ємність об'ємом шість літрів, заповнену водою, нагрітою до 37°C . Датчик температури, заздалегідь налаштований на спрацювання при нагріванні до 50°C , був розміщений на поверхні ємності та накритий тканиною. Нагрівали модельну ємність за допомогою інфрачервоного обігрівача типу UFO Ecoline / 30 (Туреччина), потужністю 2900–3200 Вт, розташованого на відстані близько одного метра від моделі. Контролювали температуру в ділянці розміщення датчика за допомогою термометра типу Mastech MS 6531a (Китай). Вимірювали температуру з інтервалом п'ять секунд, а також за умови

спрацьовування клапана, початку роботи або припинення розпилення води крізь форсунку на ємність. Подавання води крізь форсунку становило $0,1 \text{ л с}^{-1}$. Тривалість подавання води визначали налаштуванням блока управління, вона становила п'ять секунд. Результати вимірювань представлені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Динаміка температури поверхні ємності під час роботи автономного охолоджувального пристрою*

$T, \text{ c}$	0	5	10	15	17	20	22	25	30	35
$t, \text{ C}$	35	35	42	45	50	38	37	42	50	37

*Курсивом позначений період нагрівання моделі, жирним шрифтом – нагрівання і зрошення водою

T – час від початку експерименту, c ; t – температура поверхні ємності, $^{\circ}\text{C}$.

Пристрій вчасно реагував на зміну температури поверхні ємності та охолоджував її протягом п'яти секунд в автоматичному режимі. Автоматичний пристрій спрацьовував при нагріві поверхні ємності-аналогу до встановленого рівня $t=50^{\circ}\text{C}$. Подавання холодоагенту тривало протягом $T=5\text{c}$ після спрацьовування пристрою, це забезпечувало охолодження поверхні ємності до рівня моделі тіла людини - 37°C . Отримані дані засвідчили дієвість запропонованого технічного рішення.

Урахувавши результати випробувань на базі елементів моделі, розробники створили й випробували в лабораторних умовах макетний зразок [92] автоматичного автономного теплозахисного пристрою (рис.6.4).

Датчик для вимірювання температури в підкостюмному просторі налаштований з урахуванням інерційності підсистеми «одяг – тіло». Датчик розташований під поверхнею захисного одягу пожежника. Спрацювання відбувається під час нагрівання до температури 45°C . Додатково температуру

в підкостюмному просторі вимірювали за допомогою термopари, а температуру зовнішньої поверхні захисного одягу в місці нагрівання – за допомогою безконтактного термометра типу MastechMS 6531A (Китай) (рис.6.5). Нагрівали за допомогою джерела відкритого полум'я (газовий пальник), що був розташований на відстані близько 0,3 м від поверхні бойового одягу. Вимірювання температури проводили з інтервалом 10 с. Подавання води крізь форсунку становило $0,1 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1}$. Тривалість подавання води визначали налаштуванням блока управління, вона становила 5 с.

Рисунок 6.4 - Лабораторні вогневі випробування пристрою автоматичного автономного протитеплого захисту: 1 – датчик температури; 2 – резервуар; 3 – трубопроводи; 4 – блок управління; 5 – електромагнітний клапан; 6 – розпилювач

Вимірювання виконували на порожньому одязі, оскільки для залучення волонтерів потрібні спеціальні заходи безпеки. Всього було проведено 12 циклів випробувань протягом п'ятих діб. При цьому отримані ідентичні

показники динаміки температури в підкостюмному просторі під час роботи автономного автоматичного теплозахисного пристрою. Оцінка похибки при попередньому випробуванні макетного зразка не передбачається



Рисунок 6.5 – Безконтактний термометр типу MastechMS 6531A

Результати випробувань макетного зразка охолоджувального пристрою свідчать про ефективність його роботи щодо захисту рятувальника. Автоматичний режим роботи пристрою забезпечує надійне оцінювання теплової обстановки в підкостюмному просторі й захист від «людського чинника». Імпульсний режим роботи пристрою забезпечує економну витрату холодоагенту й збільшення тривалості захисту рятувальника від теплового ураження. Температура ($t_{уст}$), за якої спрацьовував пристрій, становила 45 °C. Результати випробувань, а саме зміна температури під час нагрівання та спрацювання автоматичного пристрою в підкостюмному просторі, наведені на рис.6.6.

Рисунок 6.6 - Динаміка температури в підкостюмному просторі під час роботи автономного автоматичного теплозахисного пристрою

Отриманий результат випробувань свідчить про можливість здійснення захисту рятувальників від дії негативних чинників пожежі на початковому етапі ведення робіт з ліквідації надзвичайної ситуації. В цей період рятувальники визначають межі зон враження негативними факторами пожежі і наявність потерпілих, а також виконують роботи відповідно до плану першочергових дій з локалізації і ліквідації надзвичайної ситуації.

Такі роботи виконують в спеціальному захисному одязі загального призначення, який не забезпечує захисту організму людини від інтенсивних теплових навантаж. Це можна пояснити необхідністю швидкого виконання розвідки, дефіцитом часу на підготовку до використання засобів індивідуального та колективного захисту від теплових чинників та

відсутністю інформації щодо місць знаходження зон враження людського організму негативними чинниками пожежі.

В порівнянні з відомими засобами захисту від теплового враження пристрій при експлуатації не потребує додаткових джерел енергії або матеріалів. Заправлення холодоагентом та заряджання акумулятору виконують завчасно в пожежній частині. Приведення пристрою до готовності здійснюється при одяганні рятувальника в спеціальний одяг загального призначення. Малий за вагою та габаритами автоматичний автономний пристрій захисту від теплового впливу повинен входити до оснащення рятувальників разом з дихальної апаратурою. Важливим є автоматичний режим роботи пристрою, що дозволяє уникнути суб'єктивних оцінок стану оточуючого середовища.

Швидкість роботи пристрою перевищує реакцію свідомості рятувальника. Точність оцінки датчиком температури в підкостюмному просторі перевищує точність суб'єктивної оцінки її людиною. На відміну від існуючих засобів запропонований пристрій самостійно оцінює стан зовнішнього середовища і дає сигнал на спрацювання гідравлічної системи зрошення. Більшість існуючих засобів захисту від тепла несуть сигнальну функцію, сповіщаючи про небезпеку. Частина засобів захисту доцільно застосовувати для ведення робіт лише в розвіданих зонах теплового враження. Мобільність, малі вага і габарити запропонованого автоматичного автономного пристрою захисту рятувальників від теплового впливу дають значну перевагу перед існуючими конструкціями. Ця перевага проявляється не тільки під час використання в початковій стадії, а також і в інших стадіях ліквідації пожежі.

Запропонована конструктивна схема, а також результати випробування моделі й макетного зразка автоматичного автономного теплозахисного пристрою продемонстрували його працездатність й ефективність. Засіб спрацював при досягненні в під костюмному просторі заданої температури

$t_{уст}$. Протягом встановленого часу T видавав порцію холодоагенту, достатню для охолодження захисного одягу до безпечної температури в підкостюнному просторі.

Додатково встановлено, що за рахунок зрошення холодоагентом поверхні спеціального одягу не відбувається нагрів тканини, з якої він виготовлений, вище температури термодеструкції волокон. Це дозволяє суттєво збільшити термін експлуатації спеціального захисного одягу загального призначення.

У перспективі таку конструкцію можна довести до серійного виготовлення й оснастити нею підрозділи ДСНС. Для цього потрібне конструкторське й дизайнерське доопрацювання окремих вузлів і системи в цілому. Варто оптимізувати масу резервуара і його обсяг, зменшити вагу окремих елементів, опрацювати питання надійності й термостійкості трубопроводів, проводів тощо. Для дослідних зразків необхідно провести вогневі випробування на полігоні.

6.3. Висновки

1. Для запобігання теплових уражень пожежників в початковий період робіт з ліквідації пожеж, коли існує дефіцит інформації про зони ураження, теплові поля, зони задимлення й загазованості токсичними та отруйними речовинами, умотивовано доцільність застосування автономного автоматичного засобу захисту від теплового ураження, що включає гідравлічну й електричну частини.

2. Для попередньої перевірки працездатності запропонованої схеми було створено модель автономного автоматичного пристрою. В автоматичному режимі забезпечено спрацювання пристрою при досягненні допустимої температури 50°C , імпульс подавання холодоагенту, що складав $0,1 \text{ л с}^{-1}$ протягом 5 с – був достатній для охолодження захисного покриття (аналогу одягу) до температури тіла.

3. Створено макетний зразок автоматичного автономного теплозахисного пристрою для захисту рятувальників у початковий період ліквідації пожежі. Охолодження забезпечувалося шляхом імпульсного подавання холодоагенту через розприскувач на поверхню спеціального захисного одягу загального призначення. Проведені попередні випробування підтвердили можливість в автоматичному режимі запобігати нагріванню внутрішньої поверхні захисного одягу до температури не більше ніж 50 °C.

4. Встановлено, що зовнішнє зрошення спеціального одягу загального призначення пожежників відкриває можливість збільшити термін його експлуатації внаслідок протидії термодеструкції тканини, із якої він виготовлений.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науковою роботою, в якій надано теоретичне обґрунтування та практичне вирішення актуальної науково-практичної проблеми, яка полягає в забезпеченні безпеки і підвищенні ефективності виконання аварійно-рятувальних робіт в умовах нагрівного мікроклімату на основі розкритті механізму нагрівання тіла людини та спеціального одягу під дією прямих та відбитих променів, використання закономірностей теплообміну в підодяговому просторі, врахування динаміки нагріву окремих частин тіла людини. Виконані дослідження дозволили поширити уявлення про процеси що відбуваються в системі «оточуюче середовище – джерело горіння – засоби індивідуального захисту – організм людини» і виявити ряд умов, які сприяють попередженню теплових травм рятувальників.

В результаті зроблено наступні наукові і практичні висновки:

1. Аналіз результатів розслідування нещасних випадків в підрозділах ДСНС України за 2005-2016 роки виявив що термічні травми рятувальників внаслідок дії негативних факторів пожеж, у тому числі смертельні, знаходяться на другому місці по аварійності під час ведення оперативних дій. Це визначило актуальність наукової проблеми удосконалення індивідуальних засобів захисту рятувальників від дії негативних факторів пожежі.

2. Виконано якісну оцінку екстремальних небезпек під час ліквідації пожеж на основі аналізу системи «організм людини – джерело горіння – захисне обладнання – оточуюче середовище». Встановлено, що величини зон ураження негативними факторами пожежі не є стабільними в часі і просторі, тому доцільно проводити регулярний моніторинг меж зон ураження. Результатом моніторингу є управління параметрами засобів захисту від дії тепла, а також розмірами зон ураження та уточнення оперативних планів ведення аварійно-рятувальних робіт.

3. Теоретично вперше обґрунтовано, що відбиті ґрунтом промені можуть додавати до 30% до отриманих рятувальником прямих від джерела

горіння. Враховуючи уточнені шляхи потрапляння теплових променів до рятувальника під час ліквідації масштабної пожежі, їх слід враховувати при визначенні теплового навантаження на його організм.

4. Вперше теоретично встановлено залежність променевого теплового потоку при горінні нафтопродуктів від геометричних параметрів резервуарів, в яких вони містяться, а саме – від величини співвідношення висоти й діаметру, що дозволяє завчасно обґрунтувати межі зон використання протитеплових засобів. Ця межа може бути завчасно нанесена на плани нафтосховищ, позначена в оперативних документах. Доцільно заздалегідь позначити її на місцевості, що істотно убезпечить роботу особового складу рятувальних частин.

5. Баланс теплового навантаження на організм рятувальника вперше доповнено компонентами впливу прямих і відбитих сонячних променів, що діють під час проведення оперативних дій на відкритій місцевості. Теоретично обґрунтовано вирази для оперативної оцінки впливу сонячної радіації на особовий склад підрозділів ДСНС шляхом розрахунку рівнів прямих і відбитих сонячних променів.

6. Подальшого розвитку набуло уявлення про механізм терморегуляції організму рятувальника, в якому враховано вплив коефіцієнта теплообміну конвекцією в підодяговому просторі, коефіцієнта теплоізоляції одягу, парціального тиску водяної пари над поверхнею шкіри та у повітрі. Запропоновано та експериментально досліджено вплив вологопоглинаючих елементів з абсорбуючою речовиною на тепломасоперенесення у підодяговому просторі під час фізичних навантажень. Встановлено, що збільшення кількості абсорбуючої речовини та заміна зовнішньої оболонки на таку, що пропускає повітря, дозволить покращити теплообмін підодягового простору під час аварійно-рятувальних робіт.

7. Запропоновано розрахункову схему математичного моделювання переносу тепла від джерела горіння до поверхні захисного одягу і далі до тіла

рятувальника з урахуванням особливостей початкових і граничних умов I роду (для резервуара, факела пожежі, внутрішньої поверхні захисного шолому і голови рятувальника) та граничних умов I, III роду (для ґрунту, поверхні тіла рятувальника із спорядженням). Здійснено комп'ютерне моделювання теплового впливу на організм рятувальника під час ліквідації пожежі, що виникла у резервуарі з бензином, за допомогою середовища ANSYS Multiphysics. Отримано закономірності динаміки розподілення температури на поверхні захисного одягу та тіла рятувальника при горіння нафтопродуктів, це дозволило виявити найбільш вразливі місця, а саме – зону верхньої частини погруддя та зону стоп і гомілок.

8. Вперше доповнено систему «організм людини – джерело горіння – захисне обладнання – оточуюче середовище» під час перебування рятувальника в умовах нагрівного мікроклімату елементом «засоби пожежогасіння», що дозволило обґрунтувати і розвинути шляхи керування виносом тепла від організму людини та охолодження оболонки спеціального одягу, збільшивши строк його захисної дії та термін експлуатації;

9. Подальшого розвитку набуло уявлення про ефективність проточної схеми охолодження організму рятувальника при використанні засобів пожежогасіння у якості холодоагенту. Перевага плівкового захисту поверхні засобу індивідуального захисту перед крапельної завісою дозволила обґрунтувати напрям попередження термодеструкції тканини захисного одягу рятувальників. Розроблено конструктивні схеми й елементи конструкцій водяного та пінного охолоджуючих пристроїв, розпочато конструкторське пророблення для випуску охолоджуючих пристроїв (Акт від 20.02.2018, ТОВ «Науково виробниче підприємство «Вогнеборець» м. Львів, акт №1 від 17.04.2018, ТОВ НВП «Талан-Пожтех» м. Бровари). На макетних зразках експериментально підтверджено ефективність пристроїв для підвищення захисних властивостей і терміну служби спеціального одягу рятувальників.

10. Експериментальні дослідження підтвердили, що наявність водяної плівки товщиною 100 мкм зменшує потрапляння інфрачервоного випромінювання на 85%, а плівка товщиною 200 мкм та більше дозволяє практично усю теплову енергію перенаправити у водяний потік. Удосконалено пристрій для захисту обличчя під час виконання аварійно-рятувальних робіт в умовах потужного теплового випромінювання і планується випуск (Акт №2 від 17.05.2018, ТОВ НВП «Талан-Пожтех» м. Бровари).

11. Вперше запропоновано автоматизацію захисту від теплового ураження під час початкової стадії ліквідації пожежі. Розроблено автоматичний теплозахисний прилад для захисту рятувальника та проведено його експериментальні дослідження; результати випробувань макетного зразка охолоджувального пристрою свідчать про його ефективність. Розпочато конструкторське пророблення до випуску (Акт №11 від 15.11.2017, ТОВ «Електра» м. Черкаси).

12. Наукові та практичні результати роботи використані у навчальному процесі ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» під час викладання дисциплін «Основи охорони праці», «Охорона праці в галузі», «Цивільний захист», а також впроваджені в курс лекцій з дисциплін «Підготовка газодимозахисника» та «Пожежна тактика», що викладаються у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності, та дисципліни «Охорона праці» у Черкаському інституті пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Alarm device: патент США US 4 418 337 A, МПК G08B21/04S1, опубл. 29.11.1983.
2. ANSYS, ANSYS 9.0 Manual Set, ANSYS Inc., Southpoint, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317, USA.
3. Application of foam in the petroleum industry // Fire Int. 1986. Volume 10. №98. P. 582 (148/3-1).
4. Asmussen E. (1945). Body temperature and capacity for a work. Acta Physiol. Scand, 10, P. 1–22.
5. Barker R.L., Guerth-Schacher C., Hamouda H., Grimes R. Heat Transfer in Moist Thermal Protective Fabric Systems. Proceeding of 2nd 384 International Conference on Advanced Fiber and Textile Materials. Ueda, Japan. 2002. P. 11–12.
6. Barker Roger L., Guowen Song, Hechmi Hamouda, Donald B. Thompson, Andrey Kuznetsov, A. Shawn Deaton. NTC Project: S01-NS02 (formerly I01-S02). National Textile Center Annual Report: 1 Modeling Thermal Protection Outfits for Fire Exposures.
7. Bolibrukh B., Andrusyak Z., Loik V., Krasutcka I. Problemy stworzenia skutecznej ochrony indywidualnej ratowników przy awariach na przemysłowych obiektach. Zeszyty Naukowe SGSP. 2015. No 56(4), S. 111–134.
8. Bolibrukh B., Kostenko T. Krasutcka I. Three-dimensional model of the thermal state of firefighter in the heat-protective clothing. 12th Joint International Conference Clotech 2017: Book of abstracts, Lodz, Poland, October 11th-14th, 2017, P.24.

9. Bolibrukh B., Chmiel M. Development and Verification of a Mathematical Model Dealing with Thermal Protective Garments for Different Types of Tests. *Technika i technologia. BiTP* Vol. 38 Issue 2. 2015. P. 53–61.
10. Bos J., Mol Eric, Visser Bart, Frings-Dresen Monique H.W. The physical demands upon (Dutch) fire-fighters in relation to the maximum acceptable energetic workload. *Ergonomics*. 2004. Vol. 47, No 4, P. 446–460.
11. Call for a fair hearing for monitors. *Fire*. 1987. No 983. P. 35.
12. Campbell Gaylon S. *Introduction to environmental biophysics*, 1998. 286p.
13. CTIF. International Association of Fire and Rescue Services. (2016). *World Fire Statistics*. Retrieved from <http://www.ctif.org/ctif/world-fire-statistics>
<http://www.ctif.org/ctif/world-fire-statistics>
14. Dąbrowska, M. Młynarczyk, G. Bartkowiak, A. Sobolewski, A. Marszałek, J. Bugajska, K. Łęzak, K. Makowski, S. Krzemińska.: *Protective clothing and underwear with ventilation system for mine rescuers: a case study, Innovations in protective and e-textiles in balance with comfort and ecology*, Monograph, Ed. by Iwona Frydrych, Grażyna Bartkowiak & Maria Pawłowa, Łódź, 2017. P.25-35.
15. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust / V. Glyva, S. Podkopaev, L. Levchenko, N. Karaieva, K. Nikolaiev, O. Tykhenko, O. Khodakovskyy, B. Khalmuradov // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Iss. 1/5 (91). – P. 10 – 17.
16. Dräger Bodyguard 1000 (2017) URL: http://www.draeger.ru/RU/ru/products/personal_protection/breathing_apparatus/warning/cre_bodyguard_1000.jsp – 2017.
17. Drenda J. Interpretacja geometryczna wskaźnika dyskomfortu cieplnego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo*, z. 227, Gliwice 1996.

18. Drenda J. Ocena klimatycznych warunków pracy górników w polskich kopalniach węgla kamiennego i rudy miedzi. Kwartalnik Górnictwo i Geologia, t. 7, z. 3, Gliwice 2012.
19. EN 547-3:1997 Safety of machinery – Human body measurement- Part 3. Antropometric data.
20. EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire. Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2002.
21. EN 1994-1-2:2005 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-2: General rules - Structural fire design.
22. Fireman's helmet: патент США US 3 201 771, МПК A42B3/04B6, опубл. 17.08.1965.
23. Foam system well proven against oil tank fires. Fire. 1988. №993. P. 40.
24. Hale G.M., Querry M.P. Optical constants of water in the 200 nm to 200 mm wavelength region. Appl. Optics. 1973. Vol. 12, No. 3. P. 555–563.
25. Handbook of Optics, Volume I: Fundamentals, Techniques and Design. – Optical Society of America, McGraw-Hill, Inc., 1995. 1606 p.
26. Heselden A.J., Hinkley P.L. Measurements of transmission of radiation through water sprays. Dept. Sci. Ind. Research and Fire Offices Com. Joint Fire Research Org. Fire Research Notes. 1963. No. 520. 13 p.
27. Hinz Claus-Dieter, Pasternack Adalbert. Пат. 4,390,997 United States Patent. Heat protection garment. Germany заявл. 16,01,1981; опубл. 5.07.1983.
28. Holmer I.: Protective clothing in hot environments, Industrial Health. 2006. No 44, P.404-413.
29. Horn G., Chaussidon J., Martin D., Kurath P., Backstrom R., Kerber S. Evaluating Obstalecki M. Fire Service Escape Ropes at Elevated Temperatures and Fire Conditions. Fire Technology. 2015. Vol. 51 Issue 1 - P. 153-171.

30. Hume B.P. Water Mist Suppression in Conjunction with Displacement Ventilation: Master's thesis. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. 2003. Fire Engineering Research Report 03/4. – P. 330.
31. ISO 11612:2008 Protective clothing - Clothing to protect against heat and flame.
32. Kasyanov N., Gunchenko O., Vishnevskiy D. Development of simulation methods for labour protection status indicators. TEKA Com. Mot. Energ, Roin. OL PAN, Lublin – Lugansk, 2010. Vol. XA. P. 234 – 242.
33. Kostenko T., Maiboroda A., Pokaliuk V., Nuianzin O., Nesterenko A. Modeling of transportation processes in thermal suits with heat extraction. New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics. Series: Monografie. Czestochowa, 2017. No 68. P. 422-426.
34. Kostenko T., Pozejew S., Kostenko W., Makejewa D. Modelowanie obciążenia cieplnego ratowników podczas pożaru w zbiorniku z produktami naftowymi. Zeszyty Naukowe SGSP. Warszawa, 2017. Nr 63/3/2017. S.91-107.
35. Kostenko V., Kostenko T. Scoring method of radiation component of heat load on workers in hot productions. New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics. Series: Monografie. Czestochowa, 2017. Nr68. P. 414-421.
36. Kostenko V., Kostenko T., Zemlianskiy O., Maiboroda A., Kutsenko S. Automatization of individual anti-thermal protection of rescuers in the initial period of fire suppression. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. No. 5/10 (89). P. 4-11.
37. Krause M. Ergonomia – praktyczna wiedza o pracującym człowieku i jego srodowisku. Śl. Org. Techn., Katowice. 1992.

38. Levchenko O.G., Kuleshov V.A., Arlamov A.Yu. Noise characteristics during welding in argon-containing shielding gases. The Paton Welding Journal. 2015. No 9. P. 53-55.
39. Levchenko O.G., Malakhov A.T., Arlamov A. Yu. Ultraviolet radiation in manual arc welding using covered electrodes. The Paton Welding Journal. 2014. No 6-7. P. 151-154
40. Li J., Tian M. Personal thermal protection simulation under diverse wind speeds based on life-size manikin exposed to flash fire. Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 103. P. 1381–1389.
41. Mandal S., Song G. Characterizing thermal protective fabrics of firefighters' clothing in hot surface contact. Journal of Industrial Textiles. 2016. P. 622–639.
42. Maroist Jules. Пат. 4,310,926 United States Patent. Fireproof suit / Jules Maroist. Canada заявл. 6,09,1979; опубли. 19.01.1982.
43. Marszałek A. Ergonomia środków ochrony indywidualnej. „Bezpieczeństwo Pracy” 5(334) 1999. S. 23-26.
44. Marszałek A., Sawicka A.: Impermeable protective clothing work time must be limited Proceed. Fifth Scandinavian Symposiumon Protective Clothing, Stockholm. 2004. 1997.
45. Marszałek A., Smolander J., Sołtyński K. Age-related thermal strain in men while wearing radiation protective clothing during short term exercise in the heat. “International Journal of Occupational Safety and Ergonomics” 10(4), P. 361-367.
46. Marszałek A. Fizjologiczne reakcje organizmu człowieka podczas pracy w odzieży ochronnej w gorącym środowisku. Bezpieczeństwo Pracy : nauka i praktyka. Nr 3/2006, S.11-15.

47. McQuerry M., DenHartog E., Barker R. Evaluating turnout composite layering strategies for reducing thermal burden in structural firefighter protective clothing systems. *Journal of Industrial Textiles*. 2016. P. 1217–1225.
48. Method and apparatus for monitoring temperature conditions in an environment: патент США US 5 973 602 A, МПК A62B17/00D, опубли. 26.10.1999.
49. Modest M.F. Radiative Heat Transfer. Academic Press. 2003. 822 p.
50. Nash P., Whittle J. Fighting Fires in Oil storage Tanks. Using base injection of foam: Part 2. *Fire Technol.* 1978. Volume 14. No2. P. 147 – 158.
51. National Fire Protection Association Fire Analysis and Research Division. NFPA «U.S. FIREFIGHTER INJURIES – 2010».– 2010. – URL: <http://www.nfpa.org/assets/files//PDF/OS.FFInjuries.pdf>.
52. Nielsen R., Endrusick T.L. Sensations of temperature and humidity during alternative work/rest and influence of underwear knit structure. “Ergonomics”. 1990. No 33(2), P. 221-234.
53. Olau T. Sensoren in Textilien warnen die Feuerwehr. *VDI-Nachr.* 2010. P 50-52.
54. PN–EN ISO 10551:2002(U). Ergonomia środowiska termicznego – Ocena wpływu środowiska termicznego z zastosowaniem skal osłdu subiektywnego.
55. PN-EN ISO 9886:2005(U). Ocena obciążenia termicznego na podstawie pomiarów fizjologicznych.
56. Pozdeyev S.V., Kostenko T.V., Krasutska I.M., Kostenko V.K., Zavyalova O.L., Bolibruh B.V. Three-dimensional model of the thermal state of firefighter in the heat protective gear. Monograph *Innovations in Protective and e-Textiles in balance with comfort and ecology: Monograph*. Lodz, Poland. 2017. P.97-109.

57. Prek Matjaz. Thermodynamical analysis of human thermal comfort. Energy. 2006. No 31, P. 732–743.
58. Protective glove, especially for firefighters: патент Німеччини EP 2407039 A2, МПК A41D19/00., опубл. 18.01.2012.
59. Reischl U. Water Fog Stream Heat Radiation. Fire Technology. 1979. Vol. 15. P. 262-270.
60. Sensor equipped flame retardant clothing: патент США US 20 090 188 017 A1, МПК A62B17/00, опубл. 30.07.2009.
61. Stull J. O. Comparative thermal insulative performance of reinforced knee areas of firefighter protective clothing. Performance of Protective Clothing: Issues and Priorities for the 21st Century. U.S.A. 2000. Vol. 7. P. 312-317.
62. System and method for alerting safety personnel of unsafe air temperature conditions: патент США. US 6 118 382 B1, МПК A62B9/00, опубл. 12.09.2000.
63. System and method for identifying unsafe temperature conditions: патент США US 6 417 774 B1, МПК A62B9/00, опубл. 09.07.2002.
64. Temperature and motion sensor: патент США US 4 914 422 A, МПК A62B21/04A1, опубл. 03.04.1990.
65. Temperature monitoring assembly incorporated into a protective garment: патент США US 5 635 909 A, МПК A62B17/00D, опубл. 03.06.1997.
66. Textiles for protection. Edited by Richard A. Scott, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 2005.
67. Thomas P.H. Absorption and scattering of radiation by water sprays of large drops. British Journal of Applied Physics. 1952. Vol. 3, No. 12. P. 385-393.
68. Thomas P.H. The use of water to protect buildings from radiated heat. Dept. Sci. Ind. Research and Fire Offices Com. Joint Fire Research Org. Fire Research Notes. 1954. No 115. 14 p.

69. Viking life-saving equipment A/S (2017)/ Viking life-saving equipment. <http://www.viking-life.com>.

70. Walker A., Driller M., Brearley M., Argus C., Rattray B .Cold-water immersion and iced-slush ingestion are effective at cooling firefighters following a simulated search and rescue task in a hot environment. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2015. Vol. 39(10). P. 1159 -1166.

71. Zhang H., Song G., Ren H., Cao J. The effects of moisture on the thermal protective performance of firefighter protective clothing under medium intensity radiant exposure. Textile Research Journal. 2017. P. 847-862.

72. Zhurbinskiy, D., Kostenko, T., Kostenko, V. Evaluation of radial component of thermal load at workplaces in hot shops. Metallurgical and mining industry. 2016. No 9. P.20-26.

73. Автономний теплозахисний пристрій: пат. на к.м. 119925 Україна. №201704971; заявл. 22.05.2017; опубл. 10.10.2017, Бюл.№ 19.

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

75. Аналіз пожеж і причин їх виникнення в Україні у першому півріччі 2018 року. УкрНДІЦЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Ostanni-novini/998.html>

76. Аналіз послідовності розробки і випробування захисних костюмів для рятувальників / Лин А. С., Мичко А. А., Клим'юк М. М., Ковалишии В. В // Пожежна безпека. – 2005. - № 7. – С. 15-21.

77. Аналіз масиву карток обліку пожеж. УкрНДІЦЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html>

78. Баратов А. Н. , Худяков Г. Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Наука. 1979. 516 с.

79. Батлук В.А., Білінський Б.О., Ковалишин В.В., Мірус О.Л. Основы охорони праці в підрозділах МНС України. Львів: Афіша. 2011. 505с.

80. Башкирцев М.П. , Бубырь Н.Ф. и др.; под ред. М. П. Башкицева. Основы пожарной теплофизики: Учеб. для пожарно-технических училищю Москва: Стройиздату 1984. 200 с.

81. Башлыков И.М., Бердышев О.В. и др. под ред. Трефилова В.А. Методы и средства защиты человека от опасных и вредных производственных факторов: Учебное пособие. Пермь: Издательство Пермского государственного технического университета. 2007. 346 с.

82. Бегункова А.Ф. Современные методы оценки теплозащитных свойств одежды и материалов для её построения. Сборник научно-исследовательских трудов ЦНИИШП. 1960. № 9. С. 39–44.

83. Бегункова А.Ф. Создание конструкции одежды с учетом локальных тепловых потоков человека. Сборник научно-исследовательских трудов ЦНИИШП. 1963. № 13. С. 17–21.

84. Беликов А.С., Рагимов С.Ю., Рабич Е.В., Шаранова Ю.Г. Оценка интенсивности тепловго излучения на рабочих местах с применение универсальных номограмм. Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: зб. наук. праць. Дніпро: ДВНЗ «Піднепр. держ. академія буд-ва і архітектури». 2017. Вип. 99. С. 30-34.

85. Беликов А.С., Рагимов С.Ю., Шаранова Ю.Г., Корж Е.Н. К вопросу влияния избыточного тепловыделения на организм человека. Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: зб. наук. праць. Дніпро: ДВНЗ «Піднепр. держ. академія буд-ва і архітектури», 2017. Вип. 98. С. 32-37.

86. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. – Москва: Издательство Центр АГЗ МЧС РФ. 2003. 512 с.

87. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая и др.; под общ. ред. С.В. Белова.– М.: Высшая Школа. 2007. 616 с.

88. Беліков А. С., Касьянов М. А., Гунченко О. М., Тищенко Ю. А. Обґрунтування необхідності управління виробничим ризиком. Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: зб. наук. праць. Дніпро: ДВНЗ «Піднепр. держ. академія буд-ва і архітектури». 2016. Вип. 93. С. 93-105.

89. Блинов В.И., Худяков Г.Н. Диффузионное горение жидкостей. М.: Изд-во АН СССР. 1961. 207с.

90. Боевая одежда и снаряжение пожарного/Д.В.Поповский, В.Ю.Охломенко /Метод. пособие под общей ред.. В.А. Грачева/ Академия ГПС МЧС России. Москва: 2004. 86 с.

91. Болібрux Б. В. Розвиток наукових основ створення високоефективних засобів індивідуального захисту пожежника: автореф. дис....д-ра. техн. наук: 05.26.01. Болібрux Борис Васильович, ДОННТУ, Покровськ. 2017. 26 с.

92. Болібрux Б.В. Визначення граничного часу роботи пожежника в теплозахисному одязі на основі тривимірної моделі / Б.В. Болібрux // Вісник Хмельницького національного університету. 2017. № 1. С. 95–104.

93. Болібрux Б.В., Штайн Б.В., Лозінський Р.Я., Васютяк А.О.Визначення температурних режимів під костюмного простору теплозахисного одягу пожежника під час гасіння пожеж в закритих приміщеннях. Пожежна безпека : збірник наук. праць. ЛДУ БЖД, 2013. № 2. С. 103–110.

94. Бринза В.Н., Зиньковский М.М. Охрана труда в черной металлургии. Москва: Металлургия, 1982. 336 с.
95. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27: 2010.– [Дата введення 2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. Київ: Укрархбудінформ, 2011. 123 с.
96. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1956. 255 с.
97. Вдосконалення методів оцінки виробничого ризику при проведенні аварійно-рятувальних робіт (АРР) на об'єктах будівництва /Касьянов М. О., Гунченко М.А, Корінний В. І., Сабітова О.А., Улітіна М. Ю./ Строительство, материаловедение, машиностроение. ISSN 2415-7031. Серия: Безопасность жизнедеятельности. Вып. 93 – 2016. – С.57-64.
98. Веревкин А.Н. Повышение безопасности пожарных при тушении лесных пожаров. Safer bushfire fighting Austral. Sci. 1998 19, № 1, С. 43-45.
99. Ветров В., Панферова А., Хрупачев И. Структура профессионального риска в производственной сфере России. Охрана труда и социальное страхование. Москва, 1999. №7. С. 45 – 47.
100. Виноградов А.Г., Яхно О.М., Дунюшкин В.А. Взаимосвязь параметров противопожарных водяных завес с эффективностью экранирования теплового излучения. Науковий вісник УкрНДІПБ. 2015. № 1 (31). С. 36-45.
101. Виноградов А.Г., Яхно О.М. Эквивалентный диаметр капель струй распыленной воды и его зависимость от технических параметров. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», серія Машинобудування. 2016. № 1 (76). С.39-45.
102. Виноградов А.Г., Костенко Т.В., Костенко В.К., Зав'ялова О.Л. Застосування плівки води для захисту рятувальників від потужного теплового

випромінювання. Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. Дніпро, 2017. Вип. 134. С. 196-210.

103. Власова Е.А., Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н. Приближенные методы математической физики : [учебн. для вузов / под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко]. Москва: МГТУ им. Баумана, 2001. 700 с.

104. Водяник, А.О. Про концепцію економічного управління охороною праці та регулювання промислової безпеки. Інформаційний бюлетень з охорони праці. Київ: ННДІОП, 2004. № 3. С. 7 – 11.

105. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. М.: Недра, 1984. 151 с.

106. Волков О.М. Современные технологии обеспечения пожарной безопасности резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Транспортирование и хранение нефтепродуктов. 2002. Выпуск 5-6. С. 18-21.

107. Вольский В. А., Карпекин В. В. , Онасенко А. А. Энергозатраты человека в экстремальных микроклиматических условиях. Уголь Украины. – 2005. № 9. С. 38–39.

108. Воронов П.С. Обоснование параметров и создание комплекса противотепловой защиты горноспасателей с использованием сжатого воздуха: дис.канд. техн. наук: 05.26.01 «Охрана труда». МакННН. Макеевка, 2008. 76 с.

109. Глива В.А., Березуцький В.В., Березуцька Н.Л., Халиль В.В. Аудит ризиків безпеки на робочому місці. Технологический аудит и резервы производства. 2016. № /3(28). С.12-17.

110. Глива В.А., Халиль В.В. Методика визначення потенційного ризику професійної некомпетенції працівника. Збірник наукових статей та матеріалів VIII-ї міжнародної науково-методичної конференції та 115-ї міжнародної конференції EAS «Безпека людини у сучасних умовах» 8 – 9

грудня 2016 року. Харків, НТУ "Харківський політехнічний університет". ГО «СФБЖДЛ». 2016. С. 612-622.

111. Глиняна Н.М. Охорона праці у ливарному виробництві: курс лекцій. Краматорськ: ДДМА. 2009. 184 с.

112. Гогіташвілі Г.Г., Карчевські Є.Т., Лапін В.М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навчальний посібник Київ: Знання. 2007. 367 с.

113. Голінько В.І., Смоланов С.М., Грядущий Б.А. Основи гірничорятувальної справи: навчальний посібник. Міністерство освіти і науки України; Національний гірничий університет. 2-ге видання – Дніпропетровськ: НГУ. 2014. 271 с.

114. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

115. ГОСТ ISO 11612-2014 Система стандартов безопасности труда. Одежда для защиты от тепла и пламени. Общие требования и эксплуатационные характеристики.

116. ГОСТ Р 53264-2009 Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний.

117. ГОСТ Р 53264-2009 Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний.

118. Гунченко О.М., Беліков А.С., Касьянов М.А., Шаломов В.А., Стефанович П.І. Методика оцінки виробничого ризику. Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. Дніпро, 2016. Вип. 127. С. 127-140.

119. Гунченко, О.М. Удосконалення системи управління охороною праці на машинобудівних підприємствах: автореф. дис.... канд. техн. наук : 05.26.01 – охорона праці. Гунченко Оксана Миколаївна; СХУ ім. В.Даля, Луганськ, 2007. 20 с.

120. Гущина К.Г., Беляева С.А., Командрикова Е.Я. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества : справочник. Москва: Легкая и пищевая промышленность. 1984. 380 с.

121. Дианич М.М., Семак Б.Д. Ассортимент тканей из смеси волокон Киев : Техника. 1985. 149 с.

122. Довідник керівника гасіння пожежі. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Київ: ТОВ «Літера-Друк». 2016. 320 с.

123. Долженков А.Ф., Назарова В.В., Демидов И.А. Использование научного подхода к выбору средств индивидуальной защиты строителей и шахтостроителей на основе анализа условий труда Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах, 2013. 1(31), С.166-174.

124. Дослідження температурних режимів підкостюмного простору за умов виконання фізичного навантаження різної інтенсивності : звіт з НДР. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. 2010. № ДР 0108U006940 від 08.09.2008.

125. ДСТУ 2273:2006. Протипожежна техніка. Терміни та визначення основних понять.

126. ДСТУ EN 340:2001 Одяг спеціальний захисний. Загальні вимоги (EN 340: 1993, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2003. 12 с.

127. ДСТУ ISO 6942-2001. Одяг захисний тепло- та вогнетривкий. Оцінювання теплопровідності матеріалів, що зазнають дії джерела теплового випромінювання (ISO 6942:1993, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2003. 19 с.

128. ДСТУ Б В.2.6 – 183:2011. Резервуари вертикальні циліндричні сталеві для нафти та нафтопродуктів.

129. ДСТУ EN 4366:2009 Одяг пожежника захисний. Загальні технічні вимоги та методи випробовування.
130. EN 547-3:1997 «Safety of machinery — Human body measurement — Part 3: Anthropometric data»
131. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: Підручник. Львів: УАД, 2008. 336 с.
132. Зигель Р., Хауэлл Д. Теплообмен излучением. Москва: «Мир». 1975. 936 с.
133. Злобинский Б.М. Охрана труда в металлургии. — Москва: Металлургия. 1975. 536 с.
134. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. Москва. 1987. 288 с.
135. Измеров Н.Ф., Денисов Э.И., Молодкина Н.И. Основы управления риском ущерба здоровью в медицине труда. Медицина труда и промышленная экология. 1998. № 3. С. 1–9.
136. Касьянов, М.А., Андріанова О.О., Рибальченко О.О., Климова О.М., Вишневський Д.О. Дослідження наслідків впливу на людину-оператора фізичної роботи і психічного навантаження. Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. Збірник наукових праць. Луганськ: 2009. С. 317 – 324.
137. Кімстач І.Ф. ,Девлішев П. П., Евтюшкін Н. М та ін. Пожежна тактика: Навчальний посібник для пожежно-техн. училищ і поч. складу пожежної охорони. Москва: Стройиздат. 1984. 590 с.
138. Клименко Ю.В., Марийчук И.Ф. Воздействие лучистого потока на человека при тушении подземного пожара. Науковий вісник НГА України. Дніпропетровськ. 2002. №1. С.46-49.

139. Коган В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. Ленинград: Химия. 1977. 592 с.

140. Кодекс цивільного захисту України, № 5403-VI, Введено в дію 2013-07-01, Опубл. «Голос України» № 220 від. 2012. С. 11-20.

141. Колесников П.А. Основы проектирования теплозащитной одежды. Москва: Легкая индустрия, 1971. –112 с.

142. Колесников П.А. Теплозащитные свойства одежды. – М.: Легкая индустрия, 1965. – 346 с.

143. Кондратьев Г.М. Приближенный тепловой расчет одежды. Научно-исследовательские труды ВНИИШП. 1957. № 6. С. 58–63.

144. Корольов Р.А., Ковалишин В. В., Штайн Б. В. Аналіз способів гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами. Scientific Journal «ScienceRise». 2017. №6(35). С.41-50.

145. Костенко В.К., Зав'ялов Г.В., Костенко Т.В., Покалюк В.М., Зав'ялова О.Л., Майборода А.О., Нестеренко А.А., Нуянзін О.М., Гаврилко О.А. Захист рятувальників від впливу тепла. Монографія під загальною редакцією д.т.н., проф. В.К. Костенка, ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, Черкаси, 2017. 144с.

146. Костенко В.К., Зав'ялова О.Л., Костенко Т.В. Теплозахисний костюм з системою водяного охолодження. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2016. №2 (2). С.38-43.

147. Костенко В.К., Зав'ялова О.Л., Костенко Т.В., Журбинський Д.А. Обґрунтування вибору матеріалів для виготовлення спеціального захисного одягу рятувальників від підвищеного теплового впливу. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. № 2(39). С.87-97.

148. Костенко В.К., Костенко Т.В. Разработка метода оперативного прогноза тепловой нагрузки на спасателей при тушении горящих резервуаров с нефтепродуктами. Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, 2017. Т. 1, № 1. С. 54-61.

149. Костенко В.К., Костенко Т.В., Землянский О.Н., Куценко С.В., Майборода А.А. Автоматическое автономное теплозащитное устройство Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, 2018. Т. 2, № 1. С. 40-44.

150. Костенко В.К., Костенко Т.В., Майборода А.О. Дослідження процесів переносу в протитепловому костюмі з відбором тепла. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 18-19 травня 2017. С.199-200.

151. Костенко В.К., Костенко Т.В., Майборода А.О., Лактіонов І.С. Моделювання процесів переносу в протитепловому костюмі з відбором тепла. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. № 1(40). С.52-56.

152. Костенко В.К., Костенко Т.В., Тараненко С.П. Вимоги до комфортного спеціального одягу рятувальників. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 19-20 травня 2016. С.66-67.

153. Костенко Т.В. Визначення екстремальних небезпек під час гасіння пожеж. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 18-19 травня 2018. С.45-47.

154. Костенко Т.В. Захист обличчя рятувальника від дії інтенсивного теплового випромінювання. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2018. №1 (5). С.45-49.

155. Костенко Т.В. Можливості захисту рятувальників від теплового впливу. Пожежна безпека: теорія і практика: збірник наукових праць. Черкаси: АПБ ім.Героїв Чорнобиля, 2015. №20, С.53-60.

156. Костенко Т.В. Особливості травматизму рятувальників в Україні. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. № 1(40). С.165-169.

157. Костенко Т.В. Охолодження пожежників рятувальників шляхом удосконалення терморегуляції. Пожежна безпека: збірник наукових праць. Львів: ЛДУБЖД, 2016. № 29. С.77-86.

158. Костенко Т.В. Охолодження теплозахисного костюму рятувальника за допомогою пінного пристрою. Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. Дніпро, 2017. Вип. 137. С. 42-48.

159. Костенко Т.В. Оценка воздействия солнечной радиации на спасателей, действующих на открытой местности. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2017. №5(235). С. 66-71.

160. Костенко Т.В. Оценка опасности спасателей при ликвидации пожаров. Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве: сб. материалов IV международной заочной научно-практической конференции. г. Минск, 22 декабря 2017. С.68-73.

161. Костенко Т.В. Повышение безопасности и тактических возможностей спасателей при ликвидации пожаров с высоким тепловыделением. Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць (Технічні науки). Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2016. Вип. 33. С. 198-205.

162. Костенко Т.В. Удосконалення протитеплогового захисту рятувальників. Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: матеріали II Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції. м. Кривий Ріг, 14 грудня 2017. С.227.

163. Костенко Т.В. Шляхи покращення термовологісного стану в підподежному просторі рятувальників. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Черкаси, 20-21 жовтня 2017. С. 91-93.

164. Костенко Т.В., Александров С.М. Оцінка небезпек для рятувальників при гасінні пожеж. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. № 2(41). С. 124-131.

165. Костенко Т.В., Александров С.М., Костирка О.В., Березовський А.І. Зовнішнє теплове навантаження на рятувальників під час гасіння пожеж на відкритій місцевості. Пожежна безпека: збірник наукових праць. Львів: ЛДУБЖД, 2017. № 31. С.59-66.

166. Костенко Т.В., Березовський А.І., Костирка О.В. Прогнозування теплового навантаження на рятувальників під час гасіння пожеж у резервуарах з нафтопродуктами. Пожежна безпека: збірник наукових праць. Львів: ЛДУБЖД, 2017. № 30. С.91-98.

167. Костенко Т.В., Землянский О.Н., Майборода А.А., Костырка А.В. Автоматическое автономное теплозащитное устройство. Пожежна безпека: проблеми та перспективи: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, м.Харків, 1-2 березня 2018. С.221-223.

168. Костенко Т.В., Костенко В.К., Александров С.Н. Совершенствование индивидуальных противотепловых средств защиты спасателей. Вісник Приазовського державного технічного університету: зб.

наук. праць (Технічні науки). Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2017. Вип. 35. С. 263-270.

169. Костенко Т.В., Костирка О.В. Визначення безпечних зон ведення аварійних робіт під час гасіння пожеж у резервуарах з нафтопродуктами. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 18-19 травня 2017. С.50-51.

170. Костенко Т.В., Костирка О.В. Пропозиції щодо покращення теплового стану в піддежному просторі рятувальника. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2018. № 1(42). С. 53-60.

171. Костенко Т.В., Костирка О.В., Абдуллаєв А.А. Теплове навантаження на пожежних рятувальників під час аварійно-рятувальних робіт на відкритій місцевості. Стратегія реформування організації цивільного захисту. Том 1. Цивільний захист України: сучасний стан, здобутки, проблеми, перспективи розвитку: матеріали науково-практичної конференції. м.Київ, 16 травня 2018. С. 134-136.

172. Костенко Т.В., Майборода А.О., Костирка О.В. Збільшення захисного ресурсу протитеплових засобів захисту рятувальників. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Черкаси, 20-21 жовтня 2017. С.35-36.

173. Костенко Т.В., Нуянзін О.М., Нестеренко А.А., Майборода А.О. Охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму пожежника-рятувальника. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2017. №2 (4). С.80-84.

174. Костенко Т.В., Поздєєв С.В., Зав'ялова О.Л., Костенко В.К., Журбінський Д.А. Математичне моделювання зовнішнього теплового навантаження на пожежника-рятувальника при горінні рідких нафтопродуктів

в резервуарах. Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: зб. наук. праць. Дніпро: ДВНЗ «Піднепр. держ. академія буд-ва і архітектури», 2017. Вип. 99. С. 85-94.

175. Костенко Т.В., Покалюк В.М., Майборода А.О., Нуянзін О.М., Нестеренко А.А. Особливості теплового впливу пожежі на теплозахисний костюм пожежника. Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м.Львів: ЛДУ БЖД, 2016. С.422-424.

176. Костенко Т.В., Покалюк В.М., Майборода А.О., Нуянзін О.М., Нестеренко А.А. Пропозиції щодо удосконалення засобів протитеплового захисту. Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м.Львів: ЛДУ БЖД, 2016. С. 486-488.

177. Костенко Т.В., Покалюк В.М., Нуянзін О.М., Нестеренко А.А. Екстремальні мікрокліматичні умови професійної діяльності рятувальників. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» (Технічні науки), 2017. №3 (25), 1т.С.159-164.

178. Левченко О. Г., Малахов А. Т., Арламов А. Ю. Ультрафиолетовое излучение при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 155-158.

179. Левченко О.Г., Арламов А. Ю. Дослідження впливу ультрафіолетового випромінювання на працівників під час ручного дугового зварювання. Вісник Національного технічного університету України “КПІ”. Серія “Гірництво”: Збірник наукових праць. 2015. –Вип. 26. С. 163-169.

180. Левченко О.Г., Кулешов В.А., Арламов А.Ю. Характеристики шума при сварке в аргоносодержащих защитных газах. Автомат. сварка. 2015. № 9. С. 56-59.

181. Левченко О.Г., Левчук В.К., Тимошенко О.Н. Экранирующие материалы и средства индивидуальной защиты сварщика от магнитных полей Автомат сварка. 2011. № 3. С. 49 – 55.

182. Лин А. С. Удосконалення обладнання та методики оцінювання термозахисних властивостей засобів індивідуального захисту пожежників : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.02 "пожежна безпека" / Лин Андрій Степанович. Львів, 2011. 20 с.

183. Лин А. С. Аналіз проблем створення та випробування термозахисних властивостей одягу пожежників. Пожежна безпека : зб. наук. пр. Львів : ЛПБ, 2004. № 5. С. 139–143.

184. Логинов В. Н. Общие принципы и особенности разработки различных видов специальной защитной одежды пожарных. Пожарная безопасность. 2002. №5. С. 51-57.

185. Марійчук І. Ф. Положий В. О. Індивідуальна противогазотеплова захиста. Уголь України. 2008. № 12. С. 26–28.

186. Метод конечных элементов в механике твердых тел / [Сахаров А.С., Кислоокий В.М., Киричевский В.В. и др.] ; под ред. А.С. Сахарова, И.А. Альтенбаха. – К.: Вища школа, 1982. – 480 с.

187. Міжнародний стандарт ISO 11612: 2008 «Одяг захисний. Одяг для захисту від тепла і полум'я».

188. Наказ МНС України від 16.12.2011 року № 1342 «Про затвердження Настанови з організації газодимозахисної служби в підрозділах оперативнорятувальної служби цивільного захисту МНС України».

189. Наказ МНС України від 16.12.2011 року №1341 «Про затвердження Методики розрахунку сил і засобів, необхідних для гасіння пожеж у будівлях і на територіях різного призначення».

190. Наказ МНС України від 19 грудня 2011 року № 1328 «Про прийняття та надання чинності стандарту МНС України СОУ МНС 75.2-00013528-005:2011 «Безпека у надзвичайних ситуаціях. Комплекти засобів індивідуального захисту рятувальників. Класифікація й загальні вимоги».

191. НАПБ 05.035-2004 Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами. Затв. Наказом МНС України від 16.02.2004 № 75.

192. Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., Мелехова О.П. Экология. Учебник 3-е изд., Москва: Стереотип. 2004. 624 с.

193. Обґрунтування розміщення контрольних точок для визначення температури підкостюмного простору на манекені. А. С.Лин, А. А. Мичко, Б. В. Штайн, А. М. Бормецький. Пожежна безпека. 2013. №22. С. 167–171.

194. Обґрунтування необхідності управління виробничим ризиком / Беліков А. С., Касьянов М. А., Гунченко О. М., Тищенко Ю. А. Строительство, материаловедение, машиностроение. ISSN 2415-7031. Серия: Безопасность жизнедеятельности. Вып. 93 2016. С.94-106.

195. Обеспечение безопасности жизнедеятельности на рабочих местах с повышенным тепловым излучением / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, А.О. Петренко, В.А. Шаломов, Д.Л. Соколов, Н.Н. Удянский, Ю.Г. Шаранова Харьков: НУГЗУ, 2017. 173с.

196. Одежда защитная. Защита от воздействия тепла и пламени. Метод определения прохождения контактного тепла сквозь защитную одежду или его материалы : ДСТУ EN 702:2005 (EN 702:1994, IDT). – [Чинний від 01.03.2008]. К. : Держспоживстандарт, 2008. 10 с.

197. Одяг захисний від дії тепла і полум'я. Метод оцінювання реакції матеріалів на дію теплового випромінювання : ДСТУ 4125-2002. – [Чинний від 01.01.2004]. К. : Держстандарт, 2002.

198. Одяг захисний тепло- та вогнетривкий. Оцінювання теплопровідності матеріалів, що зазнають дії джерела теплового випромінювання : ДСТУ ISO 6942-2001 (ISO 6942:1993, IDT). – [Чинний від 01.01.2003]. К. : Держстандарт, 2002.

199. Одяг захисний. Загальні вимоги : ДСТУ ISO 13688-2001 (ISO 13688: 1998, IDT). [Чинний від 01.07.2003]. К. : Держспоживстандарт. 14 с.

200. Одяг захисний. Захист від високої температури та полум'я. Метод випробування на обмеженість поширення полум'я : ДСТУ EN 532-2001 (EN 532:1994, IDT) / пер. і наук.-техн. ред. В. Синельникова [та ін.]. – [Чинний від 01.01.2003]. – Офіц. вид. К. : Держстандарт України, 2002. 9 с.

201. Одяг захисний. Захист від впливу тепла та полум'я. Метод визначення проходження контактного тепла скрізь захисний одяг або його матеріали (EN 702:1994, IDT) : ДСТУ EN 702 – 2005 [Чинний від 2008-01-03]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 10 с.

202. Одяг пожежника захисний ТЗОЗТ «TALAN» / <http://talan.net.ua/ua/product/2/teplozaschitnaya-odezhda-pozharnogo-tzozt-talan> (дата звернення 05.06.2018). - Назва з екрана.

203. Одяг пожежника тепловідбивний захисний. Загальні технічні вимоги та методи випробування (EN 1486: 2007, MOD) : ДСТУ 7141 : 2009. – [Чинний від 2011-07-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.

204. Одяг спеціальний захисний. Загальні вимоги : ДСТУ EN 340:2001 (EN 340:1993, IDT). – [Чинний від 01.07.2003]. К. : Державний комітет України з питань техн. регулювання та споживчої політики, 2003. 8 с.

205. Олейник Б. Н. Приборы и методы температурных измерений Москва: Изд. стандартов, 1987. 294 с.

206. Онасенко А.А. Теоретические основы тепломассопереноса в газозащитном костюме с водоледающей системой охлаждения. Проблемы экологии: Сб. науч. тр. ДонНТУ. Донецк, 2005. № 6. С. 67 – 77.

207. Онасенко А.А., Клименко Ю.В., Карпекин В.В. Комплексный показатель шахтного микроклимата – Термоиндекс. 10-я Пленарная сессия международного бюро по Горной теплофизике «18 МТ2005» Гливице (Польша): Силезский Политехнический институт, 2005. С. 455 – 459.

208. Основи тактики гасіння пожеж : навч. посіб. / [В.В. Сировий, Ю.М. Сенчихін, А.А. Лісняк, І.Г Дерев'янка. Х. : НУЦЗУ, 2015. 216 с.

209. Основи теорії розвитку та припинення горіння/ Г.І.Елагін, М.Г.Шкарабура, М.А.Кришталь, О.М.Тіщенко.- Підручник/ Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля. Черкаси: 2013.-460с.

210. Охорона праці та промислова безпека : Навч . посібн / К.Н. Ткачук, В.В. Зацарний, Р.В. Сабарно, С.Ф. Каштанов, Л.О. Мітюк, Л.Д. Третьякова, К.К. Ткачук, А.В. Чадюк / Київ: Лібра, 201 . 560..

211. Павлов А.С. Экстремальная работа и температура тела. Донецк : Норд-Компьютер, 2007. 308 с. 28.

212. Пат. 2043777 Российская Федерация, 6 А 62 В 17/00. Устройство для индивидуальной защиты от теплового воздействия / И. И. Шеховцов, Г.С.Ожог. - № 92005008/23 ; заявл. 06,11,92 ; опубл. 20.09.95.

213. Пат. 32071 Україна, МПК (2006), А 41 D 31/00. Полігон для вогневих випробувань захисного одягу пожежника. № u 2007 02747; заявл. 15.03.2007; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9. С. 6.

214. Патент Китаю CN 102 600 565A, МПК А62В/00, опубліковано 25.07.2012.

215. Патент на корисну модель № 109668 Україна, МПК А62В17/00, А41D13/00. Теплозахисний костюм. № u2016 03119; заявл. 25.03.2016; опубл. 25.08.2016, Бюл. №16.

216. Патент на корисну модель № 114109 UA Україна, МПК (2016.01) А62В17/00, А41D13/002 (2006.01). Пінний охолоджуючий пристрій

теплозахисного костюму. № u2016 09854; заявл. 26.09.2016; опубл. 27.02.2017, Бюл. №4.

217. Патент на корисну модель № 115193 Україна, МПК (2017.01) A62B17/00, A41D13/002 (2006.01). Охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму. № u2016 09849; заявл. 26.09.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. №7.

218. Пінний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму: пат. на к.м. 114109 Україна. №201609854; заявл. 26.09.2016; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4.

219. Пожидаев Н.Н., Симоненко Д.Ф., Савчук Н.Г. Материалы для одежды. М. : Легкая индустрия, 1975. 223 с

220. Поздєєв С.В., Костенко Т.В., Костенко В.К., Зав'ялова О.Л. Моделювання зовнішнього теплового навантаження на пожежника-рятувальника при пожежі в резервуарі з нафтопродуктами. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2017. №1 (3). С.48-56.

221. Показники виробничого травматизму на підприємствах та в підрозділах ДСНС (МНС) України за 2005-2016 роки.

222. Полигон для огневых испытаний защитной одежды пожарника : 3б. науч.-практ . конф. [“Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации”], (Гомель, 2008) / М-во ЧС Республики Беларусь, ГИИ, 2008. 219 с.

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

224. Поповский Д. В., Охломенко В. Ю. Боевая одежда и снаряжение пожарного. Метод. пособие под общей ред. В. А. Грачева. М. : Академия ГПС МЧС России, 2004. 86 с.

225. Правила безпеки в органах і підрозділах МНС України (затв. Нак. МНС України 07.05.2007р, №312).

226. Пристрій для захисту обличчя рятувальника від дії тепла: пат. на к.м. 125065 Україна. №201712363; заявл. 13.12.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл.№ 8.

227. Присяжнюк В.В., Кухарішин С.Д. Аналіз ефективності застосування захисного одягу в підрозділах Оперативно-рятувальної служби МНС України. Науковий вісник УкрНДІПБ » № 1 (25), 2012, С.193-198.

228. Про затвердження Інструкції про порядок розслідування, ведення обліку нещасних випадків в органах і підрозділах МНС України [Електронний ресурс] : наказ : затв. МНС України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 18.08.2006 № 540. – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1106-06>

229. Проблеми промислової безпеки та охорони праці у паливно-енергетичному комплексі України: монографія / В.Г. Здановський, В.А. Глива, Я.О. Ляшок, С.В. Покопаєв, І.В. Іорданов. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. 344 с.

230. Сайт ДСНС України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/laws_up.html.

231. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М.: Наука, 1971. 554 с.

232. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. М.: Едиториал УРСС, 2003. 784 с.

233. Сафонов, В.В., , Беліков А.С., Русін В.І. Інженерні рішення з охорони праці при розробці дипломних проектів інженерно-будівельних спеціальностей: Навч. посіб. Київ: Основа. 2011. 480 с.

234. Сидняев Н.И. Введение в теорию планирования эксперимента : учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. 463 с.

235. Спеціальний термозахисний костюм «Індекс-3» / <http://www.pirena.com.ua/uk/product/spetcialnyie-zachitniye-costumi/teplootrazzaushie/item/3-speczialnyj-teplootrazhayushhij-kostyum-indeks-3/3-speczialnyj-teplootrazhayushhij-kostyum-indeks-3> (дата звернення 05.06.2018). - Назва з екрана.

236. Спеціальний термозахисний костюм «Індекс-1200» / <http://www.pirena.com.ua/uk/product/spetcialnyie-zachitniye-costumi/teplootrazzaushie/item/5-speczialnyj-termozashhitnyj-kostyum-indeks-1200-konstrukciya-%E2%80%94-kombinezon> (дата звернення 05.06.2018). - Назва з екрана.

237. Способи вивчення захисних властивостей спеціального одягу пожежників-рятувальників : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. [“Строительство, материаловедение, машиностроение”], (Дніпропетровськ, 23 берез. 2010 р.) / М-во освіти і науки, ГВУЗ ПГАСА. Дніпропетровськ, 2010. 524 с.

238. Средства индивидуальной защиты / [Каминский С. Л., Смирнов К. М., Жуков В. И., Краснощок Н. А.]. Ленинград : Химия, 1989. 400 с.

239. Статистика пожеж та їх наслідків в Україні за 2009-2012 роки. – Київ: Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, 2017 р, 102с.

240. Статистика пожеж та їх наслідків в Україні за 2013-2016 роки. – Київ: Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, 2017 р, 100с.

241. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту (Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 26 квітня 2018 року № 340).

242. Теплозащитный костюм: пат. RU2125901C1; опубл. 24.03.1997.

243. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справ. в 4;х т. Т.1. Кн.1. М.: Наука, 1978. 496 с
244. Тимофеев А.М., Кравцова О.Н., Малышев А.В., Протоद्याконова Н.А. Теплофизические свойства талых и мерзлых грунтов, загрязненных дизельным топливом. Вестник Самарского федерального университета им. М.К. Амосова. №2, т.8, 2011. С. 15 – 19.
245. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Высшая школа, 1976. 664 с.
246. Топоров А.А. Критерии оценки деградации шахтных водопроводов / А.А.Топоров, Т.В. Костенко, Е.А.Тюрин, О.Н.Лысенко// Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал - 2017 - № 1(40). - С.73-77.
247. Третьякова Л. Д., Остапенко Н. В. Оцінювання ризику у використанні захисного одягу. Проблеми охорони праці в Україні, №32, 2016, С.57-66.
248. Тюганова М. А., Копьев М.А., Кочаров С. А. Огнезащитные материалы. Жур. ВХО им. Д.И. Менделеева. 1981. Т. XXVI. №4. С. 61-68.
249. Физиология и терморегуляция. Ленинград: Наука, 1984. – 470 с.
250. Халіль В.В., Березуцький В.В., Глива В.А., Березуцька Н.Л. Дослідження детермінованих факторів робочої зони International AcademyJorna Web of Scholarl, 4(13), Vol.1, July 2017, P.39-43. <http://webofscholar.com>
251. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. Москва: Книга по Требованию, 2013. 203 с.
252. Хитрин Л. Н. Физика горения и взрыва Москва: МГУ, 1957. 442с.
253. Чвырев В.Г., Ажаев А.Н., Новожилов Г.Н. Тепловой Москва: Медицина, 2000. 296 с.

254. Чернецький В.В. Вплив теплових факторів пожежі на цілісність вертикальних сталевих резервуарів з нафтопродуктами. автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.02 - пожежна безпека / Володимир Володимирович Чернецький. Львів, 2016. 24 с.

255. Чернов С. М. Ізольюючі апарати. Обслуговування та використання / С. М.Чернов, В. В. Ковалишин. – Л.: Сполон, 2002. – 133 с.

256. Шкловер А.М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях. Москва: Энергоиздат, 1961. 350с.

257. Шоботов В.М. Цивільна оборона: Навчальний посібник: Вид. 2-ге, перероб. К.: Центр навчальної літератури, 2006. 438 с.

258. Штайн Б.В., Болібрух Б.В., Чалий Д.О. Результати визначення невідповідності оцінювання теплозахисних показників якості матеріалів захисного одягу. Зб. наук. праць. Львів: ЛДУ БЖД, 2011. №19, С. 170-177.

259. Энциклопедия. Коллективные и индивидуальные средства защиты. Контроль защитных средств. Москва: Деловой экспресс. 2002. С. 9 – 11.

ДОДАТОК А

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор ДВНЗ «Донецький
національний технічний університет»

 Л.М. Банурін
« 12 » 2018 р.



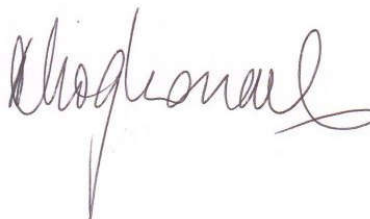
ДОВІДКА

**про практичне використання у навчальному процесі результатів
дисертаційної роботи Костенко Т.В. «Наукові основи підвищення
безпеки рятувальників при веденні оперативних дій в умовах
нагрівуючого мікроклімату»**

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі охорони праці ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» з метою розробки заходів щодо підвищення безпеки рятувальників під час аварійно-рятувальних робіт в умовах нагрівуючого мікроклімату за рахунок удосконалення засобів індивідуального захисту. Результати роботи мають практичну цінність при підготовці фахівців інженерних спеціальностей освітніх ступенів «бакалавр» і «магістр».

Основні положення та результати теоретичних досліджень дисертаційної роботи Костенко Т.В. використовуються викладачами ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» при викладанні дисциплін «Основи охорони праці», «Охорона праці в галузі», «Цивільний захист», а також під час підготовки аспірантів.

Декан
гірничого факультету
д.т.н., проф.



С.В. Подкопаяев

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор з науково-педагогічної роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

 М.С. Коваль
« 26 » _____ 2013 р.

**ДОВІДКА**

про практичне використання у навчальному процесі результатів дисертаційної роботи Костенко Т.В. «Наукові основи підвищення безпеки рятувальників при веденні оперативних дій в умовах нагріваючого мікроклімату»

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі охорони праці ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» з метою розробки заходів щодо підвищення безпеки рятувальників під час аварійно-рятувальних робіт в умовах нагріваючого мікроклімату за рахунок удосконалення засобів індивідуального захисту. Результати роботи мають практичну цінність при підготовці фахівців інженерних спеціальностей освітніх ступенів «бакалавр» і «магістр».

Основні положення та результати теоретичних досліджень дисертаційної роботи Костенко Т.В. впроваджені в курс лекцій із дисциплін «Підготовка газодимозахисника» та «Пожежна тактика», що викладаються на кафедрі пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Заступник начальника кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт
ННІ ПтаТБ ЛДУ БЖД
кандидат технічних наук, доцент



В.І. Луш



ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ТОВ «Науково виробниче
підприємство «Вогнеборець»
Д.т.н., професор
В.В. Ковалишин Ковалишин В.В.

« 20 » 02 2018p.

AKT

впровадження результатів дисертаційної роботи

Костенко Тетяни Вікторівни «Наукові основи підвищення безпеки рятувальників при веденні оперативних дій в умовах нагріваючого мікроклімату»

Комісія у складі:

Голова - Юзьків Т.Б. к.т.н., доцент - заст. директора НВП «Вогнеборець»

Члени комісії - Кирилів Я.Б. с.н.с., к.т.н.- с.н.с. ВОНР ЛДУ БЖД Кирилів Я.Б.

- Лозинський А. Т. – начальник ВТК НВП «Вогнеборець»

склали цей акт про те, що за результатами дисертаційної роботи Костенко Т.В. впроваджено охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму.

Охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму (патент на корисну модель UA №115391, МПК (2017.01), A62B 17/0, A41D 13/002 (2006.01), заявл. 26.09.2016р., заявка № 201609849, опубл. 10.04.2017р, бюл.№ 7) уявляє собою комбінезон, виконаний із оболонкою з вогнетривкого тепловідбивного матеріалу, містить систему трубок з холодоагентом, приєднаних до гнучкого шланга, підключеного за допомогою швидкороз'ємного з'єднання до вставки, встановленої між рукавною лінією і пожежним стволом, при цьому як холодоагент використовується вода або піноутворюючий склад для пожежогасіння з температурою 10...25°C. Також костюм оснащений підключеними до трубок з охолоджувачем розприскувачами, радіально розташованими не нижче шийного отвору.

Дана пропозиція прийнята в якості основи для проектування і конструювання засобів індивідуального захисту від теплового впливу. Запропонований охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму підвищуватиме безпеку рятувальників під час ліквідації пожеж, а також захищатиме матеріал костюму від термодеструкції, що дозволить продовжити термін його служби.

Голова

Т. Б. Юзьків

Члени

А.Б. Кирилів

А.Т. Лозинський

ДОДАТОК Г

ЗАТВЕРДЖУЮ
Генеральний директор
ТОВ НВП «ТАЛАН-ПОЖТЕХ»
Гречаний В.В.
«17» _____ 2018 р.



Акт впровадження
пінного охолоджуючого пристрою теплозахисного костюму

Комісія у складі: голови - Гречаного В.В.
 членів комісії - Єрмола Г.В.
 - Герасименко О.В.

склали цей акт про те, що пінний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму впроваджено в якості основи для проектування і виготовлення засобів індивідуального захисту від теплового впливу.

Пінний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму (патент на корисну модель UA №114109, МПК (2016.01), А62В 17/00, заявл. 26.09.2016р., заявка № u201609854, опубл. 27.02.2017р, бюл.№ 4) уявляє собою комбінезон, виконаний із оболонкою з вогнетривкого тепловідбивного матеріалу, містить систему трубок з холодоагентом, приєднаних до гнучкого шланга, підключеного за допомогою швидкорознімного з'єднання до вставки, встановленої між рукавною лінією і пожежним стволом. Як холодоагент холодоагент використовується пінотворний склад для пожежогасіння з температурою 10...25°C. Крім цього костюм оздоблено підключеними до трубок з охолоджувачем піногенераторами, що розташовані не нижче плечей рятувальника.

Запропонований пінний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму підвищуватиме безпеку рятувальників під час ліквідації пожеж, а також захищатиме матеріал костюму від термодеструкції, що дозволить продовжити термін його служби.

Голова
Члени



Гречаний В.В.
Єрмола Г.В.
Герасименко О.В.



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ЕЛЕКТРА»
18000, Україна, м. Черкаси, вул.Смілянська, 129

Затверджую
Директор ТОВ «ЕЛЕКТРА»

Яценко М.М.

«15» листопада 2017р.

АКТ № 11

впровадження автономного автоматичного теплозахисного пристрою рятувальника

Комісія у складі:	голови	- Яценко М.М.
	членів комісії	- Костенко Т.В.
		- Майборода А.О.

склали цей акт про те, що макетний зразок автономного автоматичного теплозахисного пристрою було випробувано в лабораторних умовах та впроваджено в якості основи для проектування автоматичного пристрою для захисту рятувальників від теплового впливу.

Автономний теплозахисний пристрій рятувальника (патент на корисну модель UA №119925) містить систему трубок для подавання холодоагенту і встановлені вище рівня плечей розприскувачі. З'єднані з розприскувачами трубки під'єднані до резервуара з мобільним запасом холодоагенту. Отвір між резервуаром та трубками перекритий електромагнітним клапаном. Відкриття клапана відбувається під дією команд блока керування, які видаються на підставі сигналу від датчика температури, що розташований в підкостюмному просторі, при досягненні температури 50°C. Закриття клапана відбувається після розприскування порції холодоагенту на поверхню захисного одягу пожежника загального призначення та зниження температури у підкостюмному просторі.

Пропозицію прийнято в якості основи для проектування і конструювання засобів індивідуального захисту від теплового впливу. Запропонований охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму підвищуватиме безпеку рятувальників під час початкових етапів ліквідації пожеж.

Голова
Члени



Яценко М.М.
Костенко Т.В.
Майборода А.О.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Генеральний директор
ТОВ НВП «ТАЛАН-ПОЖТЕХ»
Гречаний В.В.
«17» 05 2018 р.



Акт впровадження
пристрою для захисту обличчя рятувальника від дії тепла

Комісія у складі: голови - Гречаного В.В.
 членів комісії - Єрмола Г.В.
 - Герасименко О.В.

склали цей акт про те, що пристрій для захисту обличчя рятувальника від дії тепла впроваджено в якості основи для проектування і виготовлення засобів індивідуального захисту від теплового впливу.

Пристрій для захисту обличчя рятувальника від дії тепла (патент на корисну модель UA №125065, МПК (2018.01), A42B 3/18, A62B 17/00, A41D 13/00, заявл. 13.12.2017р., заявка № u201712363, опубл. 25.04.2018р., бюл.№ 8) використовується в комплекті з тепловідбивним костюмом та уявляє собою трубки з холодоагентом, що приєднані за допомогою гнучкого шлангу та швидкорознімного з'єднання до розміщеного між рукавною лінією і пожежним стволом вставки, та радіально розташовані не нижче шиї рятувальника розприскувачі. При цьому він додатково складається з виконаних з прозорого матеріалу вікон, які мають герметичне з'єднання між собою по периметру, зазор між вікнами не менше 20мкм, до верхньої частини міжвіконної порожнечі підключені трубки для подавання води, в нижній частині порожнечі вмонтовано розприскувачі.

Запропонований пристрій підвищуватиме безпеку рятувальників під час ліквідації пожеж та захищатиме обличчя рятувальника від дії тепла.

Голова
Члени



Гречаний В.В.
Єрмола Г.В.
Герасименко О.В.





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **119925** (13) **U**

(51) МПК (2017.01)

A62B 17/00**A62C 37/08** (2006.01)**A62C 37/11** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

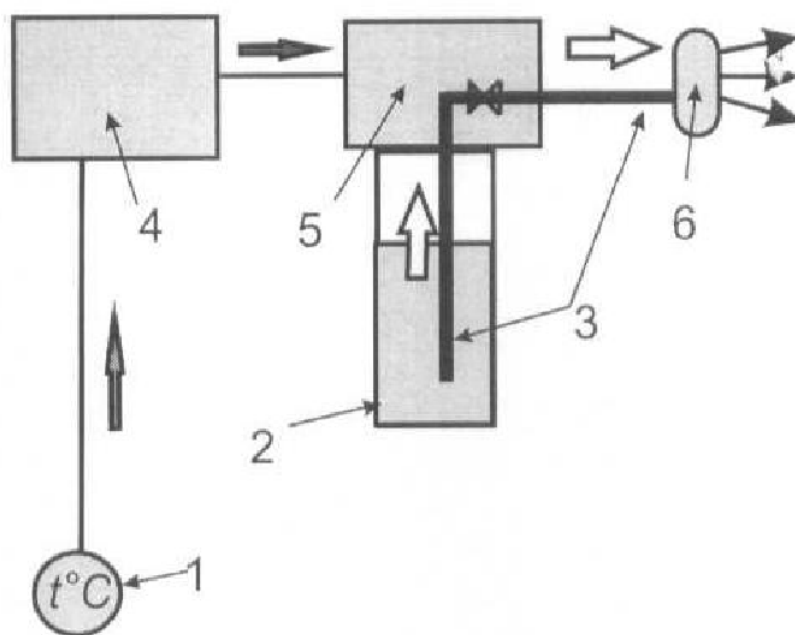
(21) Номер заявки: u 2017 04971 (22) Дата подання заявки: 22.05.2017 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.10.2017 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.10.2017, Бюл.№ 19	(72) Винахідник(и): Костенко Віктор Климентович (UA), Костенко Тетяна Вікторівна (UA), Куценко Станіслав Васильович (UA), Землянський Олег Миколайович (UA), Майборода Артем Олександрович (UA) (73) Власник(и): Костенко Віктор Климентович, вул. Митницька, 45, кв. 25, м. Черкаси, 18015 (UA), Костенко Тетяна Вікторівна, вул. Митницька, 45, кв. 25, м. Черкаси, 18015 (UA), Куценко Станіслав Васильович, вул. Хрещатик, 180, кв. 106, м. Черкаси, 18000 (UA), Землянський Олег Миколайович, вул. Партизанська, 8, м. Городище, Черкаська обл., 19500 (UA), Майборода Артем Олександрович, вул. 30 років Перемоги, 58, кв. 56, м. Черкаси, 18000 (UA)

(54) АВТОНОМНИЙ ТЕПЛОЗАХИСНИЙ ПРИСТРІЙ**(57) Реферат:**

Автономний теплозахисний пристрій містить систему трубок для подавання холодоагенту і встановлені вище рівня плечей рятувальника розприскувачі. З'єднані з розприскувачами трубки під'єднані до резервуара з мобільним запасом холодоагенту. Отвір між резервуаром та трубками перекритий електромагнітним клапаном. Відкриття клапана відбувається під дією команд блока керування, які виробляються на основі сигналу розташованого в підкостюмному просторі датчика температури при досягненні небезпечного для людини рівня температури 50 °С, а закриття - після розприскування порції холодоагенту на поверхню захисного одягу пожежника загального призначення.

UA 119925 U

UA 119925 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до галузі захисного спорядження рятувальників і може бути використана для захисту від дії інтенсивного теплового випромінювання та високих температур повітря у початковий період гасіння пожеж і ліквідації аварійних ситуацій, коли не розгорнуті системи подавання вогнегасних речовин.

5 Відомий теплозахисний костюм [патент № 109668, кл. A62B 17/00, A41D 13/02, надрук. 25.08.2016, бюл. № 16], що містить комбінезон, який виконано із зовнішньою оболонкою з вогнетривкого тепловідбивного матеріалу, внутрішньою оболонкою з гігієнічного повітропроникного матеріалу і проміжною теплоізоляційною оболонкою, яка встановлена з проміжком з боку зовнішньої оболонки і утворена декількома шарами термостійкого нетканого
10 матеріалу, між якими знаходяться наповнені повітрям прокладення у вигляді плоских шайб з еластичного пористого матеріалу. При дії теплового випромінювання в умовах високих температур зовнішня віддзеркалювана поверхня забезпечує часткове зниження зовнішнього прямого теплового навантаження на костюм, подальше зниження температури в підкостюмному просторі здійснюється за рахунок низької теплопровідності шарів захисного одягу.

15 Аналог, внаслідок нагріву та теплопроникності зовнішнього шару костюма, не дозволяє при дії інтенсивного випромінювання і високих температур реалізувати захисні функції костюма, а саме, тривалість забезпечення комфортної для людського організму температури у підкостюмному просторі, оскільки використані наповнені повітрям прокладки у вигляді плоских шайб з еластичного пористого матеріалу, виконують тільки теплоізоляційні функції, мають
20 вельми обмежений ресурс поглинання теплоти, і не запобігають в повній мірі накопиченню тепла в підкостюмному просторі.

Крім цього при використанні аналога критична, небезпечна для організму, температура в підкостюмному просторі визначається суб'єктивно, при цьому людина може недооцінювати ступінь нагріву організму і несвоєчасно включити систему охолодження, засоби об'єктивного контролю нагріву людського тіла відсутні, що створює загрозу перегріву організму рятувальника з отриманням теплової травми.

Найбільш близьким аналогом є охолоджуючий пристрій теплозахисного костюма [патент на корисну модель № 115193, кл. A62B 17/00, A41D 13/002, надрук. 10.04.2017, бюл. № 7], що містить комбінезон виконаний із оболонкою з вогнетривкого матеріалу, систему трубок з холодоагентом, які приєднані до гнучкого шланга, що підключений за допомогою швидкокорознімного з'єднання до вставки, яка встановлена між рукавною лінією і пожежним
30 стволом, як холодоагент використовується вода або піноутворюючий склад для пожежогасіння з температурою 10...25 °C, комбінезон оснащений підключеними до трубок з охолоджувачем розприскувачами, що розташовані не нижче шиї рятувальника.

35 Найбільш близький аналог не може бути реалізований в початковий період ліквідації аварії, коли мережі подавання води або піноутворюючого розчину ще не розгорнуті, та, відповідно, відоме технічне рішення не забезпечує захист рятувальника. Такі ситуації завжди відбуваються при веденні розвідки пожежі особливо в приміщеннях складної конфігурації, також при евакуації людей з осередку пожежі або при виконанні невідкладних дій для локалізації аварії. Таким
40 чином, в початковий період проведення оперативних дій внаслідок відсутності магістралей подавання холодоагенту у вигляді пожежних рукавів найближчий аналог не забезпечує захисні функції.

Крім цього реакція рятувальника на швидке змінення обстановки може сягати 15...20 с, при цьому прийняття рішення про застосування охолоджуючого пристрою приймається суб'єктивно
45 на основі відчуттів людини, що несе небезпеку неправильної дії та, як наслідок, теплового враження рятувальника.

У основу корисної моделі поставлена задача запобігання перегріву організму рятувальника при раптовому впливі інтенсивного теплового поля в початковий період ліквідації надзвичайної ситуації, коли відсутні магістралі подавання холодоагенту, а також зниження небезпеки впливу
50 суб'єктивного фактора на безпеку теплового враження рятувальника.

Поставлена задача вирішується тим, що мобільний запас холодоагенту міститься у резервуарі, з'єднаному з трубками, що підведені до розприскувачів, отвір між резервуаром та трубками перекритий електромагнітним клапаном, відкриття клапана відбувається під дією сигналів блока керування, які виробляються на основі даних датчика температури, що розташований в підкостюмному просторі, відкриття клапана відбувається при досягненні
55 небезпечного для людини рівня температури, а закриття - після охолодження оболонки і підкостюмного простору до безпечного рівня шляхом розприскування холодоагенту на поверхню захисного одягу пожежника загального призначення.

Вказані ознаки складають суть корисної моделі, тому що вони є необхідними і достатніми
60 для досягнення технічного результату - запобігання перегріву організму рятувальника при

UA 119925 U

раптовому впливі інтенсивного теплового поля в початковий період ліквідації надзвичайної ситуації, коли відсутні магістралі подавання холодоагенту, а також уникнення впливу суб'єктивного фактора на небезпеку теплового враження рятувальника.

Наявність мобільного запасу холодоносія, що знаходиться під тиском, дозволяє забезпечити охолодження рятувальника при інтенсивному тепловому впливі в початковий період ліквідації надзвичайної ситуації, коли відсутні магістралі для подавання холодоагенту. Сигнал датчика температури перевищує певне граничне значення при досягненні небезпечної для людського організму температури в підкостюмному просторі незалежно від суб'єктивних відчуттів рятувальника, подавання холодоагенту відбувається в автоматичному режимі, чим вирішується попередження теплового ураження, особливо при раптовій зміні теплової обстановки.

Причинно-наслідковий зв'язок ознак, які складають суть корисної моделі з технічним результатом, який вирішується, пояснюється наступним.

Суть корисної моделі відображена на кресленнях, де на фіг. 1 показана конструктивна схема автономного теплозахисного пристрою, на фіг. 2 показаний вигляд спереду і ззаду рятувальника у захисному одязі загальної призначеності, який оснащений автономним теплозахисним пристроєм.

Автономний теплозахисний пристрій складається з датчика температури 1, який розміщено на грудях рятувальника між тілом і внутрішнім шаром спеціального захисного одягу; резервуара 2, який наповнений холодоагентом, що знаходиться під тиском; трубопроводів 3 для подавання холодоагенту від резервуара 2 до розприскувача 6; розміщеного в підкостюмному просторі блока керування 4 з автономним елементом живлення, з'єднаного проводами з датчиком 1 та електромагнітним клапаном 5; розташованого на горловині резервуара електромагнітного клапана 5, що в початковому стані перекриває трубопровід 3; закріпленого на касці розприскувача 6, поєднаного з клапаном 5 трубопроводом 3. Напрями подавання електричних сигналів позначені на фіг. 1 темними стрілками, холодоагенту - світлими.

Автономний теплозахисний пристрій експлуатується таким чином. На початковому етапі аварійно-рятувальних дій при відправленні на розвідку, евакуацію та рятування людей, виконання невідкладних дій по локалізації надзвичайної ситуації, коли ще не розгорнуті системи водопостачання і відсутні інші джерела постачання холодоагентів, рятувальник одягає захисний одяг загального призначення. Після цього він одягає підвісну систему з резервуаром 2, що наповнений автономним ресурсом холодоагенту під тиском. На горловині резервуара 2 встановлено електромагнітний клапан 5, який в початковому стані закриває трубопровід 3. У внутрішньому кармані встановлюють блок керування 4, проводку від якого підключають до температурного датчика 1. Налаштований на максимально допустиму для людського організму температуру 50 °С температурний датчик 1 закріплюють на грудях рятувальника в районі серця між тілом і внутрішнім шаром білизни. На касці закріплюють розпилювач-форсунку 6, яка гнучким трубопроводом 3 з'єднана з клапаном 5.

При виконанні оперативних дій рятувальник потрапляє в зону екстремального теплового враження, внаслідок цього відбувається інтенсивний нагрів поверхні захисного одягу пожежника загального призначення і внаслідок її теплопровідності - тіла до температури 50 °С. Людина не здатна своєчасно та чітко оцінювати рівень температури, а наявність датчика 1 дозволяє підвищити точність оцінки нагріву тіла і автоматизувати процес приведення в дію охолоджуючого пристрою. Електричний сигнал від датчика 1 потрапляє до блока керування 4, де видається команда до клапана 5 на відкриття трубопроводу 3. По відкритому трубопроводі 3 холодоагент з резервуара 2 під впливом надлишкового тиску потрапляє до розприскувача 6. Тривалість подавання холодоагенту регулюється установками на блоці керування 4 і складає 3...8 с, після закінчення встановленого часу та розприскування порції холодоагенту блок керування 4 подає команду на закриття клапана 5. Зрошення поверхні захисного одягу призводить до охолодження його зовнішньої поверхні та тіла рятувальника за рахунок охолодження поверхні одягу холодоагентом, а також поглинання енергії при випаровуванні холодоагенту. Короткочасне охолодження дозволяє рятувальнику безпечно покинути зону теплового враження. Якщо рятувальник продовжує невідкладні дії в зоні теплового враження то автономний теплозахисний пристрій забезпечує періодичне охолодження в імпульсному режимі до повного опустошення резервуара 2. Імпульсна подача холодоагенту, яка здійснюється при досягненні критичної температури у підкостюмному просторі та припиняється при охолодженні до безпечного рівня, дозволяє економно його витрачати, чим збільшується термін захисної дії пристрою. Охолодження поверхні захисного одягу дозволяє зменшити термодеструкцію матеріалу та збільшити термін його експлуатації.

Були проведені випробування макетного зразка автономного теплозахисного пристрою. Як модель людського тіла використовували пластикову циліндричну ємність об'ємом шість літрів,

UA 119925 U

заповнену водою нагрітою до 37 °С. Датчик температури, що був заздалегідь настроєний на спрацювання при нагріві до 50 °С, було розміщено на поверхні ємності та накритий тканиною. Як датчик був використаний термістор NTC 10K 1 % 3950 вологозахисний для W1209 W1401-20-105 °С. Датчик був з'єднаний з блоком керування, який являє собою мікроконтролер на базі мікропроцесора AT MEGA 16. Як холодоагент використовували три літри води кімнатної температури, приблизно 21 °С, яка була залита до резервуара об'ємом п'ять літрів. В резервуар закачали повітря до тиску 0,02 МПа. На горловині резервуара було встановлено електромагнітний клапан, що витримує максимальний тиск в системі 0,17 МПа. Нагрів модельної ємності здійснювали за допомогою інфрачервоного обігрівача типу УФО Ecoline/30, потужністю 2900...3200 Вт, розташованого на відстані близько одного метра від моделі. Контроль температури в районі розміщення датчика здійснювали за допомогою термопари що входить до комплексу безконтактного термометра типу Mastech MS 6531A. Вимірювання температури здійснювали з інтервалом п'ять секунд, а також при спрацюванні клапана і початку роботи або припинення розбризкування води крізь форсунку на ємність. Подача води крізь форсунку складала 0,1 лс⁻¹. Тривалість подавання води визначалась налаштуванням блока керування і складала п'ять секунд. Результати вимірювань надані в таблиці.

Таблиця

Динаміка температури поверхні моделі
при роботі автономного охолоджуючого пристрою*

T, c	0	5	10	15	17	20	22	25	30	35
t, °C	35	35	42	45	50	38	37	42	50	37

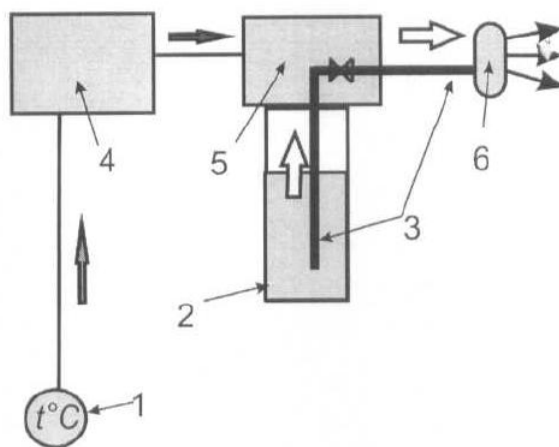
*- курсивом відзначений період нагріву моделі, жирним шрифтом - зрошення водою

Результати випробувань макетного зразка охолоджуючого пристрою свідчать про ефективність його роботи по охолодженню моделі рятувальника. Автоматичний режим роботи пристрою забезпечує надійне позбавлення від суб'єктивної оцінки теплової обстановки у підкостюмному просторі і захист від "людського фактора". Імпульсний режим роботи пристрою забезпечує економну витрату холодоагенту і збільшення тривалості захисту рятувальника від теплового враження.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Автономний теплозахисний пристрій, що містить систему трубок для подавання холодоагенту і встановлені вище рівня плечей рятувальника розприскувачі, який **відрізняється** тим, що з'єднані з розприскувачами трубки під'єднані до резервуара з мобільним запасом холодоагенту, отвір між резервуаром та трубками перекритий електромагнітним клапаном, відкриття клапана відбувається під дією команд блока керування, які виробляються на основі сигналу, розташованого в підкостюмному просторі датчика температури при досягненні небезпечного для людини рівня температури 50 °С, а закриття - після розприскування порції холодоагенту на поверхню захисного одягу пожежника загального призначення.

UA 119925 U



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115193** (13) **U**
 (51) МПК (2017.01)
A62B 17/00
A41D 13/002 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2016 09849**
 (22) Дата подання заявки: **26.09.2016**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.04.2017**
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **10.04.2017, Бюл.№ 7**

(72) Винахідник(и):
Костенко Віктор Климентович (UA),
Костенко Тетяна Вікторівна (UA),
Покалюк Віктор Миколайович (UA),
Майборода Артем Олександрович (UA),
Нуянзін Олександр Михайлович (UA),
Нестеренко Артем Анатолійович (UA)

(73) Власник(и):
Костенко Тетяна Вікторівна,
 вул. Митницька, 45, кв. 25, м. Черкаси,
 18015 (UA),
Покалюк Віктор Миколайович,
 вул. Гагаріна, 47, кв. 51, м. Черкаси, 18021
 (UA)

(54) ОХОЛОДЖУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ ТЕПЛОЗАХИСНОГО КОСТЮМУ**(57) Реферат:**

Охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму являє собою комбінезон, виконаний із оболонкою з вогнетривкого тепловідбивного матеріалу, містить систему трубок з холодоагентом, приєднаних до гнучкого шланга, підключеного за допомогою швидкорознімного з'єднання до вставки, встановленої між рукавною лінією і пожежним стволотом, при цьому як холодоагент використовується вода або піноутворюючий склад для пожежогасіння з температурою 10...25 °С. Також костюм оснащений підключеними до трубок з охолоджувачем розприскувачами, радіально розташованими не нижче шиї рятувальника, при цьому на рівні плечей рятувальника горизонтальні проекції осей факелів розприскувачів спрямовані одне від одного під кутом, що залежить від кута розсіювання струменів окремим розприскувачем, ширини плечей рятувальника та радіуса окружності установки розприскувачів.

U
UA 115193

UA 115193 U



Фиг. 1

UA 115193 U

Корисна модель належить до галузі захисного спорядження рятувальників і може бути використана для захисту від дії інтенсивного теплового випромінювання при наявності іскор, головешок, бризок палаючих рідин та високих температур повітря в ході гасіння пожеж і ліквідації аварійних ситуацій. Може бути використана в гарячих цехах при виконанні технологічних операцій в умовах дії інтенсивного теплового випромінювання та високих температур повітря.

Відомий теплозахисний костюм [патент № 1793582, кл. А62В 17/00, надрук. 10.11.1996], що містить комбінезон, виконаний із зовнішньою оболонкою з вогнетривкого тепловідбивного матеріалу, внутрішньою оболонкою з гігієнічного повітропроникного матеріалу і проміжною теплоізолюючою оболонкою, яка встановлена з проміжком з боку зовнішньої оболонки і утворена декількома шарами термостійкого нетканого матеріалу, між якими знаходяться наповнені повітрям прокладки у вигляді плоских шайб з еластичного пористого матеріалу. При дії теплового випромінювання в умовах високих температур зовнішня відзеркалювальна поверхня забезпечує часткове зниження зовнішнього прямого теплового навантаження на костюм, подальше зниження температури в підкостюмному просторі здійснюється за рахунок низької теплопровідності шарів захисного одягу.

Аналог при дії інтенсивних теплових променевих потоків недостатньо запобігає нагріву зовнішнього шару оболонки костюму до температури, близької до термодеструкції матеріалу, з якого виготовлена оболонка, що призводить до скорочення строку служби костюму. А при нагріві оболонки вище температури термодеструкції матеріалу вона може бути зруйнована та костюм виходить з ладу. Особливо небезпечною є дія іскор, головешок або крапель палаючого пального які попадають на верхню оболонку костюму.

Крім цього наявність двох оболонок визначає значну масу костюму та жорсткість шаруватої системи, це визначає додаткове навантаження та обмеження руху рятувальника.

Крім цього внаслідок нагріву та теплопроникливості зовнішнього шару костюму аналог не дозволяє при тривалій дії високих температур реалізувати захисні функції костюма, а саме - довготривалість забезпечення комфортної для людського організму температури у підкостюмному просторі, оскільки використовувані наповнені повітрям прокладки у вигляді плоских шайб з еластичного пористого матеріалу виконують тільки теплоізолюючі функції, мають вельми обмежений ресурс поглинання теплоти, і не відводять зайве тепло з підкостюмного простору.

Найбільш близьким аналогом є теплозахисний костюм [декларацийний патент на корисну модель № 109668 "Теплозахисний костюм", А62В 17/00, А41D 13/02, за заявкою u201603119 від 25.03.2016, опубл. 25.08.2016, Бюл. № 16], що містить комбінезон, виконаний із зовнішньою оболонкою з вогнетривкого тепловідбивного матеріалу, внутрішньою оболонкою з гігієнічного повітропроникного матеріалу і проміжною оболонкою, в ньому розташована система відведення тепла, яка виконана у вигляді трубок з холодоагентом, приєднаних до гнучкого шланга, підключеного за допомогою швидкорознімного з'єднання до вставки, встановленої між рукавною лінією і пожежним стволом, причому як холодоагент використовується вода або піноутворюючий склад для пожежогасіння з температурою 10...25 °С.

Найбільш близький аналог недостатньо запобігає нагріву зовнішнього шару оболонки костюму тому, що охолоджуючий потік спрямовано з середини костюму від трубок з холодоагентом до тіла рятувальника та поверхневого шару зовнішньої оболонки. При дії інтенсивних зовнішніх теплових променевих потоків такий напрямок не ефективно охолоджує зовнішній шар оболонки костюму, що призводить до інтенсивних теплових деформацій поверхневого шару оболонки, втрати його міцності та скорочення строку служби костюму. Особливо небезпечною є дія іскор, головешок або крапель палаючого пального, які потрапляють на зовнішню оболонку костюму. При нагріві оболонки вище температури термодеструкції матеріалу, з якого вона виготовлена, вона може бути зруйнована та костюм виходить з ладу. При порушенні цілісності оболонки костюм не може виконувати теплозахисні функції, працювати в ньому неможливо.

Крім цього, наявність трубок з холодоагентом визначає значну масу костюму, це визначає додаткове навантаження на рятувальника.

У основу корисної моделі поставлена задача запобігання інтенсивному, такому що близький або перевищує температуру термодеструкції матеріалу, з якого виготовлена оболонка, нагріву зовнішнього шару костюму при дії інтенсивних зовнішніх теплових променевих потоків, а також зниження маси костюму. Це досягається за рахунок того, що трубки з холодоагентом розташовані у області голови та шиї рятувальника, до трубок з охолоджувачем додатково підключено теплозахисний пристрій у вигляді радіально розташованих розприскувачів, при

UA 115193 U

цьому на рівні шиї рятувальника горизонтальні проекції осей факелів розприскувачів спрямовані одне від одного під кутом не більше

$$\beta = 180 - \frac{\alpha}{2} - \arcsin\left[\frac{r}{R} \sin(180 - \alpha / 2)\right],$$

де: α - кут розсіювання струменів окремим розприскувачем;

5 R - ширина плечей рятувальника;

r - радіус окружності установки розприскувачів;

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що теплозахисний костюм, що виконаний із зовнішньою та внутрішньою оболонками та оснащений системою відведення тепла у вигляді трубок з холодоагентом, приєднаних за допомогою гнучкого шлангу та швидкорознімного з'єднання до розміщеної між рукавною лінією і пожежним стволом вставки, та в якому як холодоагент використовується вода або піноутворюючий склад для пожежогасіння з температурою 10...25 °С, згідно з корисною моделлю, додатково оснащений теплозахисним пристроєм у вигляді радіально розташованих розприскувачів, що складається з підключених до трубок з охолоджувачем радіально розташованих не нижче шиї рятувальника розприскувачів, при цьому на рівні плечей рятувальника горизонтальні проекції осей факелів розприскувачів спрямовані одна від одної під кутом не більше:

$$\beta = 180 - \frac{\alpha}{2} - \arcsin\left[\frac{r}{R} \sin(180 - \alpha / 2)\right],$$

де: α - кут розсіювання струменів окремим розприскувачем;

R - ширина плечей рятувальника;

20 r - радіус окружності установки розприскувачів.

Вказані ознаки складають суть корисної моделі, тому що вони є необхідними і достатніми для досягнення технічного результату - збереження цілісності зовнішнього шару костюма рятувальника при тривалій дії високих температур з одночасним зменшенням маси костюму.

При роботі розприскувачів утворюється важкопроникний для інфрачервоних променів бар'єр у вигляді водяного прошарку на поверхні костюму і хмари крапель води. Вся промениста енергія спрямовується на нагрів і випаровування води. Наявність зрошення запобігає нагріву зовнішньої оболонки костюму вище від температури кипіння води, тобто 100 °С. Перетворена енергія променів у вигляді нагрітої води та пари постійно видаляється з поверхні оболонки у зовнішній простір, не даючи підвищуватись температурі у середині костюму за рахунок зовнішнього нагріву. Це дозволяє зменшити товщину теплоізолюючих шарів костюму та кількість трубок з холодоагентом. В свою чергу це дозволяє зменшити вагу і жорсткість шаруватої системи, знизити навантаження та обмеження рухів рятувальника.

При наявності іскор або крапель палаючого пального водяний бар'єр забезпечує їх гасіння та охолодження, зберігаючи в цілісності зовнішню оболонку костюму.

35 Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак, що заявляються, та технічним результатом, який досягається, пояснюється наступним.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 показаний рятувальник в теплозахисному костюмі, що оснащений теплозахисним пристроєм, на фіг. 2 - горизонтальні проекції осей факелів розприскувачів на рівні плечей рятувальника.

40 Теплозахисний пристрій має вигляд радіально розташованих не нижче шиї рятувальника розприскувачів 1, які підключені до трубок 2 з охолоджувачем, при цьому на рівні плечей рятувальника горизонтальні проекції осей факелів розприскувачів спрямовані одне від одного під кутом не більше:

$$\beta = 180 - \frac{\alpha}{2} - \arcsin\left[\frac{r}{R} \sin(180 - \alpha / 2)\right]$$

45 де: α - кут розсіювання струменів окремим розприскувачем, град.;

R - ширина плечей рятувальника м.;

r - радіус окружності установки розприскувачів, м.

Трубки з охолоджувачем 2 підключені до вставки 3, яка встановлена на пожежному рукаві 4 перед пожежним стволом 5. Струмені води з розприскувачів спрямовані на зовнішню поверхню протитеплого костюму 6 і при роботі утворюють на ній текучий шар води, а також створюють навколо рятувальника захисну хмару крапель 7. Розташування розприскувачів під кутом β (не більш) дозволяє створити на рівні плечей рятувальника і нижче суцільний захисний бар'єр з водяного шару та хмари крапель, що забезпечує охолодження протитеплого костюму з усіх боків.

55 Теплозахисний пристрій експлуатується таким чином. Рятівник одягає теплозахисний костюм 6 безпосередньо перед проведенням рятувальних робіт. Перед заходом в зону підвищеного теплового випромінювання і температури повітря він підключає гнучкий шланг за

UA 115193 U

- допомогою швидкорознімного з'єднання до вставки 3, віддає команду на подання води в рукавну лінію 4 і з виходом на бойову позицію відкриває кран-регулятор, заповнює трубки 2 водою з рукавної лінії 4. Потім, залежно від виконуваних робіт, подає воду за допомогою пожежного ствола 5 на гасіння пожежі, захист технологічного устаткування або виконує його відключення. Холодоагент надходить у простір всередині костюму 7 по трубкам 2, забезпечуючи охолодження організму рятувальника. Після проходження по трубкам 2 холодоагент надходить до розприскувачів 1. Холодоагент, а частіше всього це вода, тече по оболонці 6 костюма у вигляді плівкоподібного шару. Крім цього частина холодоагенту рухається над поверхнею 6 у вигляді хмари водяних крапель 7. Потік зовнішнього тепла нейтралізується захисним бар'єром, який являє собою сукупність плівкоподібного водяного шару на зовнішній оболонці костюму 6 та хмари водяних крапель 7. Частина води, що надходить з розприскувачів 1 до бар'єру, після нагрівання стікає на землю, забираючи тепло, інша частина випаровується та виноситься повітряними потоками. Таким чином, наявність захисного бар'єру не дає можливості зовнішній оболонці 6 нагріватись до температури вищої, ніж температура кипіння холодоагенту (води), тобто не вище 100 °С, що значно нижче від температури термодеструкції існуючих матеріалів для виготовлення оболонок протитеплових костюмів. Бар'єр захищає оболонку костюму від іскор, головешок та крапель палаючих рідких речовин, охолоджуючи їх та утворюючи навколо їх флегматизоване водяною парою середовище, що не підтримує горіння.
- Враховуючи те, що температура холодоагенту складає 10...25 °С, бар'єр захищає тіло нижче рівня шиї, при цьому він поглинає значну частину внутрішньої теплоти, що генерує організм рятувальника. Інтенсивно охолоджувати за допомогою трубок 2 з холодоносієм слід не захищені бар'єром голову та руки рятувальника. Отже, приймаючи це до уваги, можна зменшити кількість трубок 2 з холодоагентом в області тулуба та ніг і суттєво зменшити вагу протитеплогового костюму.
- Були проведені полігонні випробування макетного зразка теплозахисного костюма з охолоджуючим пристроєм, який заявляється. Теплове випромінювання від факела горіння висотою 3 м і шириною 1,5 м становило 18 кВт/м², що забезпечує температуру близько 400 °С на поверхні оболонки костюму. Відстань від високотемпературного джерела до випробувача дорівнювала 4,5 м. Час впливу теплового навантаження обмежувалося 30 хв. Витрату води на вході в систему охолодження варіювали у межах 0,1...0,3 м³/год. Температура води становила 10, 15, 20, 25 °С. Як критерій захисної здатності пристрою була вибрана температура поверхні оболонки костюма. Температура термодеструкції матеріалу, з якого виконано оболонку, складає 370 °С. Якщо температура поверхні оболонки досягає цієї відмітки, настає руйнування тканини. Температуру поверхні костюму вимірювали безконтактним способом - пірометром відразу після тимчасового припинення подавання води розприскувачами, цілісність зовнішньої оболонки визначалася візуально.
- Крім цього фіксували температуру підкостюмного простору. Якщо ця температура не перевищує 50 °С, то костюм виконує свої функції. Температуру підкостюмного простору вимірювали за допомогою електротермометра медичного ТПЕМ-1 (з датчиками). Результати експерименту зведені в таблицю.
- Результати експерименту показали, що цілісність зовнішньої оболонки протитеплогового костюму при таких параметрах надійно забезпечувалась. Ефект охолодження підкостюмного простору зберігається при подаванні з розприскувачів воді температурою 25 °С витратою не менш 0,22 м³/год., а при температурі води 10 °С - не менш 0,1 м³/год.
- Використання запропонованого охолоджуючого пристрою теплозахисного костюму забезпечує збереження цілісності зовнішнього шару костюма рятувальника при тривалій дії високих температур з одночасним забезпеченням у підкостюмному просторі комфортних умов роботи рятувальника.

UA 115193 U

Таблиця

Залежність температури підкостюмного простору від відстані між трубками і температури холодоагенту

№	Витрата води, м ³ /год.	Температура холодоагенту, °C	Температура оболонки, °C	Температура у підкостюмному просторі, °C
1	0,1	10	63	50
2	0,2	10	57	38
3	0,25	10	51	30
4	0,3	10	42	23
5	0,1	15	61	30
6	0,2	15	58	54
7	0,25	15	56	51
8	0,3	15	55	44
9	0,1	20	70	38
10	0,2	20	66	46
11	0,25	20	64	42
12	0,3	20	60	35
13	0,1	25	76	57
14	0,2	25	72	49
15	0,25	25	62	46
16	0,3	25	54	38

5

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму, що являє собою комбінезон, виконаний із оболонкою з вогнетривкого тепловідбивного матеріалу, що містить систему трубок з холодоагентом, приєднаних до гнучкого шланга, підключеного за допомогою швидкокорознімного з'єднання до вставки, встановленої між рукавною лінією і пожежним стволом, при цьому як холодоагент використовується вода або піноутворюючий склад для пожежогасіння з температурою 10...25 °C, який **відрізняється** тим, що костюм оснащений підключеними до трубок з охолоджувачем розприскувачами, радіально розташованими не нижче шиї рятувальника, при цьому на рівні плечей рятувальника горизонтальні проекції осей факелів розприскувачів спрямовані одне від одного під кутом β не більше:

$$\beta = 180 - \frac{\alpha}{2} - \arcsin\left[\frac{r}{R} \sin(180 - \alpha / 2)\right],$$

де: α - кут розсіювання струменів окремим розприскувачем;

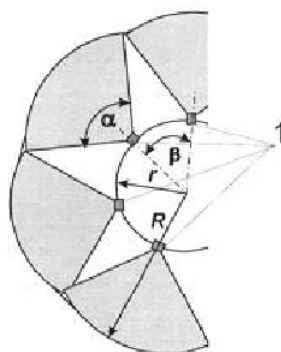
R - ширина плечей рятувальника;

r - радіус окружності установки розприскувачів.

UA 115193 U



Фиг. 1



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ*Публікації у фахових виданнях*

1. Костенко Т.В. Охолодження пожежників рятувальників шляхом удосконалення терморегуляції. Пожежна безпека: збірник наукових праць. Львів: ЛДУБЖД, 2016. № 29. С.77-86.

2. Костенко В.К., Завьялова О.Л., Костенко Т.В. Теплозахисний костюм з системою водяного охолодження. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2016. №2 (2). С.38-43.

3. Костенко В.К., Завьялова О.Л., Костенко Т.В., Журбинський Д.А. Обґрунтування вибору матеріалів для виготовлення спеціального захисного одягу рятувальників від підвищеного теплового впливу. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. № 2(39). С.87-97.

4. Костенко Т.В. Повышение безопасности и тактических возможностей спасателей при ликвидации пожаров с высоким тепловыделением. Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць (Технічні науки). Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2016. Вип. 33. С. 198-205. (*Index Copernicus*)

5. Костенко Т.В. Особливості травматизму рятувальників в Україні. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. № 1(40). С.165-169.

6. Костенко Т.В., Березовський А.І., Костирка О.В. Прогнозування теплового навантаження на рятувальників під час гасіння пожеж у резервуарах з нафтопродуктами. Пожежна безпека: збірник наукових праць. Львів: ЛДУБЖД, 2017. № 30. С.91-98.

7. Поздєєв С.В., Костенко Т.В., Костенко В.К., Зав'ялова О.Л. Моделювання зовнішнього теплового навантаження на пожежника-

рятувальника при пожежі в резервуарі з нафтопродуктами. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2017. №1 (3). С.48-56.

8. Костенко Т.В. Оценка воздействия солнечной радиации на спасателей, действующих на открытой местности. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2017. №5(235). С. 66-71.

9. Костенко Т.В., Александров С.М. Оцінка небезпек для рятувальників при гасінні пожеж. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. № 2(41). С. 124-131.

10.Костенко Т.В., Нуянзін О.М., Нестеренко А.А., Майборода А.О. Охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму пожежника-рятувальника. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2017. №2 (4). С.80-84.

11.Костенко Т.В., Александров С.М., Костирка О.В., Березовський А.І. Зовнішнє теплове навантаження на рятувальників під час гасіння пожеж на відкритій місцевості. Пожежна безпека: збірник наукових праць. Львів: ЛДУБЖД, 2017. № 31. С.59-66.

12.Костенко Т.В., Поздєєв С.В., Зав'ялова О.Л., Костенко В.К., Журбінський Д.А. Математичне моделювання зовнішнього теплового навантаження на пожежника-рятувальника при горінні рідких нафтопродуктів в резервуарах. Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: зб. наук. праць. Дніпро: ДВНЗ «Піднепр. держ. академія будівництва і архітектури», 2017. Вип. 99. С. 85-94.

13.Виноградов А.Г., Костенко Т.В., Костенко В.К., Зав'ялова О.Л. Застосування плівки води для захисту рятувальників від потужного теплового випромінювання. Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. Дніпро, 2017. Вип. 134. С. 196-210.

14.Костенко Т.В. Охолодження теплозахисного костюму рятувальника за допомогою пінного пристрою. Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць. Дніпро, 2017. Вип. 137. С. 42-48.

15.Костенко Т.В., Костенко В.К., Александров С.Н. Совершенствование индивидуальных противотепловых средств защиты спасателей. Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць (Технічні науки). Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2017. Вип. 35. С. 263-270. (*Index Copernicus*)

16.Костенко Т.В., Костирка О.В. Пропозиції щодо покращення теплового стану в підодежному просторі рятувальника. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2018. № 1(42). С. 53-60.

17.Костенко Т.В. Захист обличчя рятувальника від дії інтенсивного теплового випромінювання. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, 2018. №1 (5). С.45-49.

Публікації у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз

18.Kostenko V., Kostenko T., Zemlianskiy O., Maiboroda A., Kutsenko S. Automatization of individual anti-thermal protection of rescuers in the initial period of fire suppression. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. No. 5/10 (89). Pp. 4-11. (*Scopus, Index Copernicus*)

19.Zhurbinskiy D., Kostenko T., Kostenko V. Evaluation of radial component of thermal load at workplaces in hot shops. Metallurgical and mining industry. 2016. №9, Pp.20-26. (*Index Copernicus*)

Публікації у виданнях іноземних держав

20.Костенко В.К., Костенко Т.В. Разработка метода оперативного прогноза тепловой нагрузки на спасателей при тушении горящих резервуаров с

нефтепродуктами. Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, 2017. Т. 1, № 1. С. 54-61.

21.Kostenko T., Pozdejew S., Kostenko W., Makejewa D. Modelowanie obciążenia cieplnego ratowników podczas pożaru w zbiorniku z produktami naftowymi. Zeszyty Naukowe SGSP. Warszawa, 2017. Nr 63/3/2017. S.91-107.

22.Костенко В.К., Костенко Т.В., Землянский О.Н., Куценко С.В., Майборода А.А. Автоматическое автономное теплозащитное устройство Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, 2018. Т. 2, № 1. С. 40-44.

Публікації у яких додатково відображено зміст дисертації

23.Костенко Т.В. Возможности захисту рятувальників від теплового впливу. Пожежна безпека: теорія і практика: збірник наукових праць. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, 2015. № 20. С.53-61.

24.Костенко В.К., Костенко Т.В., Майборода А.О., Лактіонов І.С. Моделювання процесів переносу в протитепловому костюмі з відбором тепла. Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. № 1(40). С.52-56.

25.Костенко Т.В., Покалюк В.М., Нуянзін О.М., Нестеренко А.А. Екстремальні мікрокліматичні умови професійної діяльності рятувальників. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» (Технічні науки), 2017. №3 (25), 1т.С.159-164. (*Index Copernicus*)

Патенти

26.Теплозахисний костюм: пат. на к.м. 109668 Україна. №201603119; заявл. 25.03.2016; опубл. 25.08.2016, Бюл.№ 16.

27.Пінний охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму: пат. на к.м. 114109 Україна. №201609854; заявл. 26.09.2016; опубл. 27.02.2017, Бюл.№ 4.

28.Охолоджуючий пристрій теплозахисного костюму: пат. на к.м. 115193 Україна. №201609849; заявл. 26.09.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл.№ 7.

29.Автономний теплозахисний пристрій: пат. на к.м. 119925 Україна. №201704971; заявл. 22.05.2017; опубл. 10.10.2017, Бюл.№ 19.

30.Пристрій для захисту обличчя рятувальника від дії тепла: пат. на к.м. 125065 Україна. №201712363; заявл. 13.12.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл.№ 8.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

31.Kostenko V., Kostenko T. Scoring method of radiation component of heat load on workers in hot productions. New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics. Series: Monografie. Czestochowa, 2017. Nr68. Pp. 414-421.

32.Kostenko T., Maiboroda A., Pokaliuk V., Nuianzin O., Nesterenko A. Modeling of transportation processes in thermal suits with heat extraction. New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics. Series: Monografie. Czestochowa, 2017. Nr68. Pp. 422-426.

33.Pozdeyev S.V., Kostenko T.V., Krasutska I.M., Kostenko V.K., Zavyalova O.L., Bolibruh B.V. Three-dimensional model of the thermal state of firefighter in the heat protective gear. Monograph Innovations in Protective and e-Textiles in balance with comfort and ecology: Monograph. Lodz, Poland, 2017. Pp.97-109.

34.Костенко Т.В., Костирка О.В. Визначення безпечних зон ведення аварійних робіт під час гасіння пожеж у резервуарах з нафтопродуктами. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 18-19 травня 2017. С.50-51.

35.Костенко В.К., Костенко Т.В., Майборода А.О. Дослідження процесів переносу в протитепловому костюмі з відбором тепла. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VIII

Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 18-19 травня 2017. С.199-200.

36.Костенко В.К., Костенко Т.В., Тараненко С.П. Вимоги до комфортного спеціального одягу рятувальників. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 19-20 травня 2016. С.66-67.

37.Костенко Т.В., Покалюк В.М., Майборода А.О., Нуянзін О.М., Нестеренко А.А. Особливості теплового впливу пожежі на теплозахисний костюм пожежника. Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м.Львів: ЛДУ БЖД, 2016. С.422-424.

38.Костенко Т.В., Покалюк В.М., Майборода А.О., Нуянзін О.М., Нестеренко А.А. Пропозиції щодо удосконалення засобів протитеплового захисту. Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м.Львів: ЛДУ БЖД, 2016. С. 486-488.

39.Bolibrukh B., Kostenko T. Krasutska I. Three-dimensional model of the thermal state of firefighter in the heat-protective clothing. 12th Joint International Conference Clotech2017: Book of abstracts, Lodz, Poland, October 11th-14th, 2017, P.24.

40.Костенко Т.В., Майборода А.О., Костирка О.В. Збільшення захисного ресурсу протитеплових засобів захисту рятувальників. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Черкаси, 20-21 жовтня 2017. С.35-36.

41.Костенко Т.В. Шляхи покращення термовологісного стану в підодежному просторі рятувальників. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Черкаси, 20-21 жовтня 2017. С. 91-93.

42.Костенко Т.В. Удосконалення протитеплогового захисту рятувальників. Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: матеріали II Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції. м. Кривий Ріг, 14 грудня 2017. С.227.

43.Костенко Т.В. Оценка опасности спасателей при ликвидации пожаров. Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве: сб. материалов IV международной заочной научно-практической конференции. г. Минск, 22 декабря 2017. С.68-73.

44.Костенко Т.В., Землянский О.Н., Майборода А.А., Костырка А.В. Автоматическое автономное теплозащитное устройство. Пожежна безпека: проблеми та перспективи: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, м.Харків, 1-2 березня 2018. С.221-223.

45.Костенко Т.В., Костырка О.В., Абдуллаєв А.А. Теплове навантаження на пожежних рятувальників під час аварійно-рятувальних робіт на відкритій місцевості. Стратегія реформування організації цивільного захисту. Том 1. Цивільний захист України: сучасний стан, здобутки, проблеми, перспективи розвитку: матеріали науково-практичної конференції. м.Київ, 16 травня 2018. С. 134-136.

46.Костенко Т.В. Визначення екстремальних небезпек під час гасіння пожеж. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 18-19 травня 2018. С.45-47.

Монографія

47.Костенко В.К., Зав'ялов Г.В., Костенко Т.В., Покалюк В.М., Зав'ялова О.Л., Майборода А.О., Нестеренко А.А., Нуянзін О.М., Гаврилко О.А. Захист рятувальників від впливу тепла. Монографія під загальною редакцією д.т.н., проф. В.К. Костенка, ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, Черкаси, 2017. 144с.