

Національний університет цивільного захисту України
Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Гасанов Халід Шариф огли

УДК 614.84

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛІКВІДАЦІЇ ПОЖЕЖ ЗА РАХУНОК СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ВИЯВЛЕННЯ ОСЕРЕДКУ ПОЖЕЖІ

21.06.02 – Пожежна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

_____ Х.Ш. Гасанов

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Ключка Юрій Павлович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Харків – 2018

АНОТАЦІЯ

Гасанов Х.Ш. Підвищення ефективності ліквідації пожеж за рахунок скорочення часу виявлення осередку пожежі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.02 «Пожежна безпека» (261 – Пожежна безпека). – Національний університет цивільного захисту України, ДСНС України, Харків, 2018.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності ліквідації пожеж за рахунок скорочення часу виявлення осередку пожежі при використанні тепловізорів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету, задачі дослідження.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності ліквідації пожеж за рахунок скорочення часу виявлення осередку пожежі при використанні тепловізорів.

Відповідно до поставленої мети дисертаційної роботи сформульовано наступні задачі дослідження:

1. Провести аналіз використання тепловізорів під час гасіння пожеж, а також ступеня дослідженості процесів, що дозволяють оцінити параметри пожежі на основі термограм.

2. Провести аналіз статистичних даних щодо результативності роботи аварійно-рятувальних підрозділів.

3. Розробити математичну модель, що дозволяє визначити температуру зовнішньої конструкції будівлі при впливі небезпечних факторів пожежі

4. Провести комплекс експериментальних досліджень з визначення адекватності розробленої математичної моделі.

5. Провести експертну оцінку ефективності використання тепловізорів при пожежах.

6. Отримати оцінки ефективності гасіння пожеж з використанням тепловізорів.

Об'єкт дослідження – ефективність ліквідації пожеж при скороченні часу виявлення осередку пожежі.

Предмет дослідження – виявлення осередку пожежі за рахунок використання тепловізорів.

У першому розділі проведено аналіз застосування тепловізорів під час гасіння пожеж.

Показано, що дослідження і гасіння пожеж можна проводити не тільки на основі даних у видимому для людського ока діапазоні світлових хвиль, а й за його межами, за допомогою пірометрів, тепловізорів.

Проведено аналіз допоміжних пристроїв, які працюють в інфрачервоному діапазоні і можуть бути використані під час розвідки (виявлення) і гасіння пожеж. Показано, що використання тепловізорів може привести до: зменшення часу локалізації та ліквідації пожежі; зменшення прямих і непрямих матеріальних збитків; скорочення обсягів вогнегасної речовини, яка використовується при ліквідації пожежі; скорочення часу розвідки; зменшення кількості травмованих людей.

Встановлено, що на сьогодні відсутні рекомендації щодо тактичних дій на основі аналізу інфрачервоного зображення як під час гасіння пожежі, так і під час розвідки. Так, наприклад, у «Статуті дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту» всього лише один раз згадується слово «тепловізор», а саме в п. 4.6.5: «Залежно від наявності сил та засобів пошукові роботи здійснюють на основі та з використанням: показань приладів пошуку (газоаналізаторів, зондів, магнітометрів, тепловізорів, акустичних систем);».

Проведено класифікацію сфер застосування тепловізорів пожежними підрозділами. Встановлено, що пожежам характерний максимум

випромінювання в невидимому для людського ока діапазоні довжин хвиль, що підтверджує доцільність застосування тепловізорів під час гасіння пожеж.

Проведено аналіз математичного апарату щодо використання тепловізорів під час гасіння пожеж. Показано, що існуючі математичні моделі та експериментальні дослідження не дозволяють у достатньому обсязі робити оцінку щодо характеристик пожежі.

У другому розділі проведено аналіз статистичних даних стосовно результативності роботи аварійно-рятувальних підрозділів під час гасіння пожеж.

При визначенні температури зовнішніх огорожувальних конструкцій суттєве значення має час розвитку пожежі, оскільки від цього залежить температура у приміщенні, і, відповідно, і прогрівання стінки будівлі.

З метою визначення часу розвитку пожежі було проведено аналіз значень часу прибуття підрозділів до місця пожежі. В якості вихідних даних було використано значення часу від моменту виникнення пожежі до моменту прибуття, локалізації та ліквідації. В цілому опрацьовано 50000 пожеж.

Отримані ймовірнісні моделі для даних випадкових величин, що можуть бути використані при оцінюванні ефективності дій під час гасіння пожеж, а також основою під час розробки організаційних заходів із підвищення ефективності або при покращенні матеріально-технічного забезпечення, як засобами гасіння, так і засобами з ідентифікації пожежі, місць горіння тощо.

У третьому розділі на основі рівняння нестационарної теплопровідності з граничними умовами третього роду отримано математичну модель впливу небезпечних чинників пожежі на показання тепловізора та запропоновано алгоритм її вирішення.

Моделювання температури зовнішніх поверхонь конструкцій, від

якої залежить можливість визначення пожежі за допомогою тепловізора, залежатиме від величини температури у приміщенні, характеру її зміни, властивостей матеріалу стіни та інших параметрів.

Враховуючи, що геометричні розміри будівель (приміщень), а саме ширина і висота, найчастіше на один-два порядки перевищують товщину, розглянута задача передачі тепла як одновимірна.

Встановлено, що до години часу, за високого теплового опору стіни, майже відсутня різниця у величині температури на зовнішній поверхні стінки. При цьому, зміна режиму теплообміну у приміщенні, а саме коефіцієнта теплообміну на $100 \div 200$ %, призводить до збільшення зовнішньої температури на $12 \div 14$ %.

Досліджено питання впливу товщини стіни на швидкість її прогріву та встановлено, що температура може змінюватися майже на 50 % при зміні товщини стінки лише на $20 \div 25$ %.

Дослідження процесу передачі тепла через склопакети показало, що на момент прибуття пожежних підрозділів, незалежно від умов теплообміну, підвищення температури на них буде достатнім для ідентифікації пожежі за результатами термограм. Це, у свою чергу, призведе до скорочення часу виявлення пожежі.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень температури зовнішніх конструкцій будівель у стаціонарних умовах та в умовах пожежі, а саме:

- експериментальна оцінка температури поверхні стіни при пожежі;
- експериментальна оцінка температури поверхні залежно від характеристик стіни і швидкості вітру;
- експериментальна оцінка температури склопакету в умовах пожежі.

У результаті проведення експериментальних досліджень з оцінки температури огороджувальних конструкцій будівель за стаціонарних умов показана адекватність отриманих раніше залежностей з похибкою до 20%.

Проведення замірів температур зовнішніх конструкцій під час пожеж

показало адекватність математичної моделі з похибкою до 35%, що вказує на можливість її використання при оцінці температур.

Експериментальним шляхом показано, що ідентифікація полум'я за допомогою тепловізора через склопакет на початковій стадії пожежі унеможлиблюється у зв'язку з поглинанням останнім інфрачервоного випромінювання. Ідентифікувати пожежу можна лише в процесі нагрівання склопакету.

Експериментальним шляхом досліджено температуру склопакетів під час пожеж. Проведена оцінка похибки на різницю температур, тобто зміна від початкової температури. В результаті встановлено, що похибка не перевищує 35%.

У п'ятому розділі для оцінки ефективності використання тепловізорів було проведено опитування 15 експертів – співробітників Державної служби України з надзвичайних ситуацій, у підрозділах яких є тепловізори та використовуються в практичній діяльності. Кожному з них було поставлено два питання, а саме:

- на скільки хвилин використання тепловізора може зменшити час ліквідації пожежі (максимальне значення);
- на скільки відсотків використання тепловізора може зменшити час ліквідації пожежі (максимальне значення).

У результаті проведення розрахунків отримані коефіцієнти варіації для отриманих значень скорочення часу в хвилинах та відсотках. Було встановлено, що обидва коефіцієнта варіації показують середню мінливість (до 25%), що є цілком прийнятним.

Визначено, що середнє значення скорочення часу за рахунок використання тепловізора складає 6,3 хв., а максимальне – 10 хв. Для відносних значень, відповідно, отримано 12,8% та 20%.

В якості критеріїв ефективності запропоновано обрати відносні зміни площі пожежі γ_S і ймовірності локалізації γ_F .

Встановлено, що при використанні тепловізора і скороченні часу в

рамках проведеної експертної оцінки, можливе підвищення ймовірності локалізації пожежі на величину до 12% та скорочення площі пожежі в середньому на 25%.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані в роботі результати теоретичних та експериментальних досліджень щодо визначення температури зовнішніх конструкцій під час пожежі разом зі статистичними даними та даними експертних оцінок дозволяють, за умови використання тепловізора, скоротити площу пожежі на величину до 25 % та час локалізації пожежі до 4,5 хв (за ймовірності 0,9).

Результати роботи впроваджено в діяльність Управління пожежної охорони МНС Азербайджану, використовуються під час навчання курсантів в Академії Міністерства надзвичайних ситуацій Азербайджану та у Національному університеті цивільного захисту України.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в підвищенні ефективності ліквідації пожеж за рахунок скорочення часу виявлення осередку пожежі, а саме:

1. Вперше на основі оброблених статистичних даних про результативність роботи аварійно-рятувальних підрозділів отримані статистичні функції розподілу часу прибуття, локалізації та ліквідації пожежі.

2. Подальшого розвитку набула математична модель з використанням рівняння нестационарної теплопровідності з граничними умовами третього роду з опису впливу небезпечних чинників пожежі на показання тепловізора.

3. Обґрунтовано межі величин швидкості вітру на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції, за якої різниця температур на ній (при наявності та відсутності пожежі), в залежності від її характеристик, мінімальна.

4. Проведено експертну оцінку ефективності застосування тепловізорів при пожежах та вперше встановлено, що при використанні

тепловізора і скороченні часу в рамках проведеної експертної оцінки можливо скорочення часу локалізації пожежі на величину до 12 % та скорочення площі пожежі в середньому до 25 %.

Ключові слова: тепловізор, пожежа, випромінювання, теплопередача, локалізація пожежі, ліквідація пожежі, ефективність.

ABSTRACT

Hasanov K.S. Improvement of fire response efficiency by means of reducing the time of initial fire detection. - Qualifying academic paper as a manuscript.

Dissertation in support of candidature of the Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) in specialty 21.06.02 "Fire Safety" (261 – Fire Safety). – National University of Civil Defence of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2018.

Dissertation is devoted to increasing efficiency of fire fighting at the expense of time reduction required for fire spot detection when using thermal imagers.

Introduction grounds the relevance of the topic of research, formulates its purpose and objectives.

The purpose of the dissertation is to increase efficiency of firefighting by reducing the time of fire spot detection with the use of thermal imagers.

In accordance with dissertation purpose, following research objectives have been formulated:

1. To conduct the analysis of using thermal imagers during fire-fighting, as well as the degree of scientific knowledge that allows to estimate the parameters of the fire on the basis of thermograms.

2. To analyze the statistical data on effectiveness of rescue units.

3. To develop a mathematical model that allows determining the temperature of external building structure under influence of hazardous fire factors.

4. To conduct a complex of experimental studies on adequacy determination of developed mathematical model.

5. To conduct an expert assessment of effectiveness of the use of the thermal imagers in firefighting.

6. To obtain the effectiveness evaluation for fire fighting with the use of the thermal imagers.

Research object – effectiveness of fire fighting when reducing time of fire spot detection.

Research subject – detection of fire spot due to the use of the thermal imagers.

In first chapter an analysis of the use of the thermal imagers during fire extinguishing was conducted.

It has been shown that sizing up and extinguishing fire can be carried out not only on the basis of the data which are visible by a human eye through light waves with the certain length range, but also beyond it, using the pyrometers, thermal imagers.

Auxiliary devices, which are operating in the infrared range and which can be used during sizing-up (detection) and fire fighting, have been analyzed. It is shown that using the thermal imagers can lead to: reducing time of fire localization and extinguishment; reducing direct and indirect material losses; reducing volumes of extinguishing agent used for firefighting; reducing time of sizing-up; reducing the number of injured people.

It has been established that today there are no recommendations for tactical actions based on the analysis of the infrared image, both during the fire extinguishing and during the reconnaissance. For example, in the "Statute of Actions in the Emergencies for the Authorities and Units of the Rescue Service of Civil Protection," the word "thermal imager" is mentioned only once, namely,

in clause 4.6.5: "Depending on the availability of forces and means, searching works are carried out on the basis and with the use: the readings of search devices (gas analyzers, probes, magnetometers, thermal imagers, acoustic systems); ".

The classification of the areas of use for the thermal imagers by rescue units has been carried out. It has been found that fires are characterized by a maximum of radiation which wavelength is out of the range of perceptual limits of a human eye that confirms the expediency of using the thermal imagers during fire extinguishing.

The analysis of the mathematical apparatus for the use of the thermal imagers during fire extinguishing was carried out. It has been shown that existing mathematical models and experimental studies do not allow proper assessing the characteristics of a fire.

In the second chapter the analysis of statistical data concerning the performance of rescue units during fire extinguishing was conducted.

When determining the temperature of external fencing structures, the time of fire development is crucial, since the temperature inside the building depends on it, as well as heating up the walls of the building depends on it.

In order to determine the time of the fire development, an analysis of the values of the arrival time to the fire scene by rescue units was carried out. As the initial data, it was used the value of time from the moment when the fire arises to the moment of arrival, localization and liquidation. A total of 50,000 fires have been processed.

Probabilistic models for the random data that can be used to evaluate effectiveness of fire extinguishing, as well as the basis for elaborating organizational measures to improve efficiency or to improve logistics, both by firefighting facilities and means for identifying a fire, fire spots and so on.

In the third chapter, based on the equation of non-stationary heat conductivity with boundary conditions of the third kind, a mathematical model

of hazardous fire factors influence on the thermal imager readings was obtained and an algorithm for its solution was proposed.

Simulation of external surface temperature, on which the ability to determine the fire with the help of a thermal imager depends on, will be related to the value of the temperature inside the building, the nature of its change, the properties of the wall material and other parameters.

Given that the geometric dimensions of buildings (premises), namely the width and height, are most often one or two orders of magnitude larger than the thickness, the problem of heat transfer is considered as one-dimensional.

It has been established that for up to one hour, due to the high thermal resistance of the wall, there is almost no difference in the temperature value on the external surface of the wall. In this case, the change in the heat transfer regime inside the building, namely, the heat transfer coefficient by 100 ÷ 200%, leads to an increase in the external temperature by 12 ÷ 14%.

A question how the wall thickness influences on the rate of its heating has been investigated and was answered that the temperature can change by almost 50% when the thickness of the wall changes by only 20 ÷ 25%.

Investigation of heat transfer through the double-glazed windows showed that at the moment of fire unit arrival, regardless the conditions of heat transfer, increasing temperature of windows would be sufficient to identify the fire according to the results of thermograms. This, in turn, will reduce the time to detect a fire.

In the fourth chapter there are the results of experimental studies on the temperature of building external structures in stationary conditions and in the conditions of fire, namely:

- experimental evaluation of the wall surface temperature during a fire;
- experimental evaluation of the wall surface temperature depending on the characteristics of the wall and wind speed;

- experimental evaluation of the temperature of the double-glazed windows under fire conditions.

As a result of experimental researches on estimation of fencing constructions temperature under stationary conditions it has been shown the adequacy of previously received dependences with an error up to 20%.

Conducting measurements of the external structures temperatures during fires showed the adequacy of the mathematical model with an error up to 35%, that suggests the possibility of its use in temperature assessment.

Experimentally it is shown that the flame identification with the help of the thermal imager through a double-glazed window at the initial stage of a fire is impossible due to the absorption of infrared radiation by the latter. It is possible to identify the fire only in the process of heating the double-glazed window.

Experimentally it has been studied the temperature of the double-glazed windows during the fires. We estimated the error within the temperature difference, that is, the change from the initial temperature. As a result, it was found that the error does not exceed 35%.

In the fifth chapter there are results of a survey for evaluation of effectiveness of the use of the thermal imagers that involved 15 experts of the State Service of Ukraine for Emergency Situations, employed in the rescue units which have the thermal imagers and use them in firefighting actions. Each of them was to answer two questions, namely:

- How fast can the use of the thermal imager reduce the time of fire liquidation? (maximum value in minutes);
- How much the use of the thermal imager can reduce the time of fire liquidation? (maximum value in percentage).

As a result of calculations, we have obtained the coefficients of variation for the values of time reduction in minutes and percentage. It has been found that both coefficients of variation show an average variability (up to 25%), which is quite acceptable.

It is determined that the average value of time reduction due to the use of a thermal imager is 6.3 minutes, and a maximum is 10 minutes. For relative values, respectively, they are 12.8% and 20%.

As criteria of efficiency it is proposed to choose relative fire area changes γ_S and the probability of localization γ_F .

It has been established that when using the thermal imager and reducing time within the framework of the expert assessment, it is possible to increase the probability of fire localization by up to 12% and reduce the area of the fire on average by 25%.

The practical value of the results. The results of theoretical and experimental studies on the determination of the external structures temperature during a fire, together with the statistical data and expert estimates, allow, in the conditions of the use of a thermal imager, to reduce the fire area by up to 25% and the time of fire localization up to 4.5 min (for probability of 0.9).

The results of the work are implemented in the activity of the Fire Department of the Ministry for Emergencies in Azerbaijan, are being used during training of students at the Academy of the Ministry of Emergency Situations of Azerbaijan and the National University of Civil Defence of Ukraine.

The scientific novelty of the obtained results is in the efficiency increase of fire fighting by reducing the time of fire spot detection, namely:

1. For the first time, based on the processed statistical data on the performance of rescue units, statistical functions of distribution of arrival time, localization and fire liquidation were obtained.

2. A mathematical model using the equation of non-stationary heat conductivity with boundary conditions of the third kind for the description of how the hazardous fire factors influence on the readings of the thermal imager received its further development.

3. It has been grounded the limits of the wind velocity value on the external surface of the fencing structure and when the difference of temperatures

on the surface (in the presence and absence of a fire), depending on its characteristics, is minimal.

4. An expert assessment of the thermal imager effectiveness in the fires was carried out and for the first time it was established that using a thermal imager and reducing the time makes possible reduce the time of fire localization by up to 12% and reduce the area of fire on average by 25%.

Keywords: thermal imager, fire, radiation, heat transfer, fire localization, fire liquidation, efficiency.

Список публікацій здобувача

Статті у міжнародних фахових виданнях

1. Гасанов Х.Ш. Оценка эффективности тушения пожаров с использованием тепловизоров/ Гасанов Х. Ш., Ключка Ю.П. // Eastern European Scientific Journal. – 2017. – №10. – Р. 45–49.

Статті у наукових фахових виданнях

2. Ключка Ю.П. Анализ применения тепловизоров при тушении пожаров / Ю.П. Ключка, Х.Ш. Гасанов, Н.В. Крынская // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 36. – С. 109-116.

3. Ключка Ю.П. Особенности определения места пожара в здании при использовании тепловизоров / Ю.П. Ключка, Н.В. Крынская, Х.Ш. Гасанов // Проблемы пожарной безопасности. – 2015. - Вып. 37. – С. 85–92.

4. Klyuchka Y.P. Impact model of hazard emergency situation on the testimony of a thermal imager / Y.P. Klyuchka, N.V. Krynska, S.H. Hasanov // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 22. – С. 70–77.

5. Гасанов Х.Ш. Влияние неравномерности распределения опасных факторов чрезвычайной ситуации в помещении на показания тепловизора / Х.Ш. Гасанов // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2016. – Вип. 23. – С.

9–14.

6. Гасанов Х.Ш. Вплив умов теплообміну всередині та зовні приміщення на можливість ідентифікації пожежі за допомогою тепловизора / Х.Ш. Гасанов, Ю.П. Ключка // Пожежна безпека. – Львів: ЛДУБЖД, 2017.– №31. – С. 17–23.

Матеріали науково–практичних конференцій

7. Ключка Ю.П. Анализ нормативной базы по применению тепловизоров при разведке пожара / Ю.П. Ключка, Х.Ш. Гасанов // Державне управління науково–освітнього забезпечення підготовки конкурентоспроможних фахівців у сфері цивільного захисту: збірник тез Всеукраїнської науково–практичної конференції, 16–17 квітня 2015 р. – Х., 2015. – С. 264–266.

8. Ключка Ю.П. Особенности определения места пожара в здании при использовании тепловизоров / Ю.П. Ключка, Х.Ш. Гасанов // Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали Всеукраїнської науково–практичної конференції з міжнародною участю // Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2015. – С. 245–247.

9. Гасанов Х.Ш. Модель воздействия опасных факторов чрезвычайной ситуации на показания тепловизора / Х.Ш. Гасанов // Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково–практичної конференції молодих учених. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – С. 7–9.

10. Гасанов Х.Ш. Влияние неравномерности распределения опасных факторов чрезвычайной ситуации в помещении на показания тепловизора / Х.Ш. Гасанов // Матеріали Міжнародної науково–практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки». – Х.: НУЦЗУ, 2016. – С. 63–66.

11. Гасанов Х.Ш. Модель воздействия опасных факторов чрезвычайной ситуации на показания тепловизора / Х.Ш. Гасанов // Технические средства предупреждения и ликвидации чрезвычайных

ситуаций: материалы Междунар. науч.–практ. online конф., Гомель, 19 февр. 2016 г. / М–во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь [и др.] – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2016. – С. 117–119.

12. Гасанов Х.Ш. Оценка времени прибытия, локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций на основе статистических данных / Х.Ш. Гасанов // Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали VII Всеукраїнської науково–практичної конференції з міжнародною участю. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. – С. 25–27.

Патенти

13. Пат. 113650 Україна, МПК (2016.01) G08B 17/00. Оперативний спосіб визначення часу розвитку пожежі в приміщенні / Ю. П. Ключка, Х. Ш. Гасанов, заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № u201607769, заяв. 14.07.2016; опубл. 10.02.2017, бюл. № 3.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВІЗОРІВ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖ.....	25
1.1. Аналіз допоміжних пристроїв при гасінні пожеж, які працюють в інфрачервоному діапазоні.....	25
1.1.1. Класифікація тепловізорів.....	31
1.2. Аналіз застосування тепловізорів під час гасіння пожеж в Україні	33
1.2.1. Нормативна база щодо застосування тепловізорів під час гасіння пожеж.....	34
1.3. Аналіз застосування тепловізорів під час гасіння пожеж за кордоном.....	35
1.4. Етапи розвитку пожежі і можливості застосування тепловізорів на даних етапах.....	39
1.4.1. Аналіз стадій розвитку пожежі.....	40
1.5. Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень щодо застосування тепловізорів на різних етапах гасіння пожежі	41
1.6. Формулювання задач дослідження.....	45
1.7. Висновки.....	45
РОЗДІЛ 2. РЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ РОБОТИ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ПРИ ГАСІННІ ПОЖЕЖ.....	47
2.1. Статистика результативності роботи аварійно-рятувальних підрозділів при гасінні пожеж.....	47
2.2. Ідентифікація законів розподілу випадкових величин часу від моменту виникнення пожежі до моменту прибуття, локалізації та ліквідації пожежі.....	50
2.3. Висновки.....	57

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ЗОВНІШНІХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ В УМОВАХ ПОЖЕЖІ.....	59
3.1. Аналіз вивченості досліджень температурних полів зовнішніх конструкцій будівель в умовах пожежі.....	61
3.2. Визначення температури зовнішніх конструкцій будівель в умовах пожежі.....	65
3.2.1. Математична модель температурних полів зовнішніх непрозорих конструкцій будівель в умовах пожежі.....	67
3.2.2. Алгоритм визначення температури зовнішньої поверхні стіни.....	73
3.3. Оцінка впливу умов теплообміну та характеристик стін приміщення на показання тепловізора.....	75
3.4. Оцінка впливу характеристик стіни на показання тепловізорів за стаціонарних умов.....	82
3.5. Висновки.	84
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗОВНІШНІХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ У СТАЦІОНАРНИХ ТА УМОВАХ ПОЖЕЖІ.....	86
4.1. Напрями проведення експериментальних досліджень.....	86
4.2. Експериментальне обладнання	87
4.3. Експериментальна оцінка температури огорожувальних конструкцій будівель	90
4.4. Експериментальна оцінка температури огорожувальних конструкцій будівель в умовах пожежі.....	92
4.5. Експериментальна оцінка температури склопакету в умовах пожежі.....	93
4.6. Висновки.....	96
РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВІЗОРІВ.....	97
5.1. Експертна оцінка ефективності використання тепловізорів під час гасіння пожеж.....	99

5.2. Оцінка ефективності гасіння пожеж із використанням тепловізорів.....	103
5.2.1. Оцінка впливу використання тепловізорів на зміну ймовірності та площі пожежі.....	106
5.3. Висновки.....	109
ВИСНОВКИ.....	110
ЛІТЕРАТУРА.....	112
Додатки.....	126

ВСТУП

Актуальність теми. Одним з відомих способів підвищення ефективності гасіння пожеж є оптимізація тактичних дій, сил та засобів, використання модифікованих вогнегасних речовин тощо.

Питанням підвищення ефективності гасіння пожеж присвячено багато робіт, серед яких слід виділити роботи: Ю.О. Абрамова, О.Є. Басманова, М.М. Брушлинського, Е.М. Гуліди, О.М. Ковалю, М. Obach, А. Strong, Ю.М. Сенчихіна, О.А. Тарасенка та інших.

Сучасний розвиток техніки досяг моменту, коли розвідку та гасіння пожеж можна проводити не тільки на основі даних у видимому для людського ока діапазоні світлових хвиль, а й за його межами, за допомогою тепловізорів. За допомогою використання тепловізорів можна досягти:

- скорочення часу розвідки;
- зменшення часу локалізації та ліквідації пожежі;
- зменшення прямих і непрямих матеріальних збитків;
- зменшення кількості вогнегасної речовини, яку використано під час ліквідації НС;
- зменшення кількості травмованих людей.

Поряд із цим слід зазначити, що недоліком є відсутність методик щодо застосування вказаних пристроїв, рекомендацій до тактичних дій та відповідної нормативної бази.

Питанням використання тепловізорів під час гасіння чи ідентифікації пожеж займалися: В.П. Вавілов, Б.П. Жилкін, О.М. Соболь, Н.С. Шимон та інші. У той же час лише поверхово опрацьовано питання науково-обґрунтованого застосування тепловізорів під час гасіння пожеж, у зв'язку з чим підвищення ефективності ліквідації пожеж за рахунок використання тепловізорів є актуальною науково-практичною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася на кафедрі пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій Національного університету цивільного захисту України (НУЦЗ України) у рамках Концепції Державної цільової програми забезпечення пожежної безпеки на 2011–2015 роки та науково-дослідної роботи "Підвищення ефективності ліквідації пожеж за рахунок використання тепловізорів" (держ. реєстраційний номер – 0107U003091), в якій автор брав участь у якості відповідального виконавця.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності ліквідації пожеж за рахунок скорочення часу виявлення осередку пожежі при використанні тепловізорів.

Відповідно до поставленої мети дисертаційної роботи сформульовано наступні задачі дослідження:

1. Провести аналіз використання тепловізорів під час гасіння пожеж, а також ступеня дослідженості процесів, що дозволяють оцінити параметри пожежі на основі термограм.

2. Провести аналіз статистичних даних щодо результативності роботи аварійно-рятувальних підрозділів.

3. Розробити математичну модель, що дозволяє визначити температуру зовнішньої конструкції будівлі при впливі небезпечних факторів пожежі

4. Провести комплекс експериментальних досліджень з визначення адекватності розробленої математичної моделі.

5. Провести експертну оцінку ефективності використання тепловізорів при пожежах.

6. Отримати оцінки ефективності гасіння пожеж з використанням тепловізорів.

Об'єкт дослідження – ефективність ліквідації пожеж при скороченні часу виявлення осередку пожежі.

Предмет дослідження – виявлення осередку пожежі за рахунок використання тепловізорів.

Методи дослідження. Для досягнення мети і вирішення поставлених

задач були використані теоретичні та експериментальні методи досліджень: експериментальні теплофізичні дослідження; теорії диференціальних рівнянь; методи математичної статистики; метод експертних оцінок.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в підвищенні ефективності ліквідації пожеж за рахунок скорочення часу виявлення осередку пожежі, а саме:

1. Вперше на основі оброблених статистичних даних про результативність роботи аварійно-рятувальних підрозділів отримані статистичні функції розподілу часу прибуття, локалізації та ліквідації пожежі.

2. Подальшого розвитку набула математична модель з використанням рівняння нестационарної теплопровідності з граничними умовами третього роду з опису впливу небезпечних чинників пожежі на показання тепловізора.

3. Обґрунтовано межі величин швидкості вітру на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції, за якої різниця температур на ній (при наявності та відсутності пожежі), в залежності від її характеристик, мінімальна.

4. Проведено експертну оцінку ефективності застосування тепловізорів при пожежах та вперше встановлено, що при використанні тепловізора і скороченні часу в рамках проведеної експертної оцінки можливо скорочення часу локалізації пожежі на величину до 12 % та скорочення площі пожежі в середньому до 25 %.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані в роботі результати теоретичних та експериментальних досліджень щодо визначення температури зовнішніх конструкцій під час пожежі разом зі статистичними даними та даними експертних оцінок дозволяють, за умови використання тепловізора, скоротити площу пожежі на величину до 25 % та час локалізації пожежі до 4,5 хв (за імовірності 0,9).

Результати роботи впроваджені в діяльність Управління пожежної

охорони МНС Азербайджану, а саме – підхід до аналізу статистичних даних про результативність роботи аварійно-рятувальних підрозділів: часу прибуття, локалізації та ліквідації пожеж (акт від 01.11.2017 р.). Запропонований алгоритм визначення температури зовнішньої стінки будівлі в умовах пожежі та математична модель на основі рівняння нестационарної теплопровідності з граничними умовами третього роду використовуються під час навчання курсантів в Академії Міністерства надзвичайних ситуацій Азербайджану (акт від 01.11.2017 р.) та Національному університеті цивільного захисту України (акт від 14.12.2017 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною роботою автора. У наукових роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному:

- у роботах [39, 40] опубліковано результати проведеного автором аналізу використання тепловізорів під час гасіння пожеж, ступеня обґрунтування їх використання;

- у роботах [83, 102, 126] опубліковано результати аналізу статистичних даних про результативність роботи аварійно-рятувальних підрозділів, а також експертної оцінки ефективності гасіння пожеж з використанням тепловізорів;

- у роботах [102, 106, 108] отримано математичну модель впливу небезпечних чинників пожежі на величину температури на зовнішній стінці;

- у роботах [103, 107] досліджено вплив нерівномірності розподілу небезпечних факторів надзвичайної ситуації у приміщенні на показання тепловізора;

- у роботах [57, 105] проведено оцінку температурного режиму зовнішньої поверхні стіни будівлі. Розглянуто особливості зміни температури при зміні швидкості вітру, теплотехнічних характеристик стіни і температури у приміщенні;

- у роботі [104] оцінено вплив умов теплообміну всередині та зовні

приміщення на можливість ідентифікації пожежі за допомогою тепловізора та наведено результати експериментальних досліджень;

- у роботі [109] наведено оперативний спосіб визначення часу розвитку пожежі у приміщенні.

Особистий внесок автора. Основні положення й результати роботи доповідалися та обговорювалися на: Всеукраїнській науково-практичній конференції «Державне управління науково-освітнього забезпечення підготовки конкурентоспроможних фахівців у сфері цивільного захисту» (м. Харків, НУЦЗ України, 16–17 квітня 2015 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2015); міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (м. Харків, НУЦЗ України, 13–14 квітня 2016 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми пожежної безпеки» (м. Харків, НУЦЗ України, 2016 р.); міжнародній науково-практичній online-конференції «Технические средства предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (м. Гомель, ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 5 статтях у фахових спеціалізованих наукових виданнях України, в одній статті в іноземному виданні, у 6 доповідях на міжнародних і національних наукових конференціях і в одному патенті на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з анотації, вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 128 сторінок машинописного тексту і включає: основну частину обсягом 111 сторінок, у тому числі: 67 ілюстрацій, 9 таблиць та список використаних джерел зі 126 найменувань. Дисертаційна робота включає 1 додаток, розміщений на 3 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВІЗОРІВ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖ

Будь-яка стадія пожежі супроводжується процесом виникнення електромагнітного випромінювання в оптичному діапазоні і поза його межами. Випромінювання осередку пожежі або нагрітих конструкцій залежно від температури горіння, виду хімічної реакції має різний спектральний склад [1-3].

У зв'язку з цим можна констатувати, що аналіз і гасіння пожеж можна проводити не тільки на основі даних у видимому для людського ока діапазоні світлових хвиль, а й за його межами, за допомогою пірометрів, тепловізорів та інших пристроїв [1, 4, 5].

1.1. Аналіз допоміжних пристроїв при гасінні пожеж, які працюють в інфрачервоному діапазоні

Пристрої, що працюють в інфрачервоному діапазоні, використовуються в наступних сферах [6-8]:

- розвідка, виявлення замінованих полів [6, 7];
- виявлення і класифікація хімічних, зокрема, вибухових і отруйних речовин [6, 7];
- діагностика захворювань людей і тварин [6, 7];
- контроль стану будівель та інших споруд [6, 7];
- виявлення і гасіння пожеж [9-13];
- астрофізичні дослідження та інші напрямки [6, 7, 14].

Серед пристроїв, які застосовуються в пожежній справі, можна виділити інфрачервоні термометри (пірометри), тепловізори. За допомогою перших можна лише визначити температуру поверхні в заданій точці, в той час як другі – більш функціональні [15 - 17].

Так інфрачервоний термометр (пірометр) – прилад для безконтактного і швидкого вимірювання в локальних зонах, які знаходяться на поверхні об'єкту. В основу його роботи покладено принцип визначення за тепловим електромагнітним випромінюванням практично будь-якого об'єкта температурного значення його поверхні. Крім цього, він широко застосовується для пасивної технічної діагностики електротехнічних установок, у теплоенергетиці, будівництві, а також безпосередньо для вимірювання температури технологічних процесів.

Прилади випускають трьох типів: портативні ІЧ-термометри, безконтактні датчики температури, що вбудовуються в промислові установки, а також дослідницькі системи ТК, в тому числі ІЧ-мікроскопи [3-5].



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд пірометрів

Відносно недорогий прилад ідеальний для використання як у побутових робочих процесах, так і в різних промислових галузях (якщо мова йде про потужний електронний пірометр) та високотехнологічних виробництвах. Галузі їх застосування:

- тепло- і електроенергетика;

- металургія і металообробка;
- цивільне, військове і промислове будівництво;
- перевірка електричного обладнання;
- в харчовій промисловості;
- в лабораторних дослідженнях;
- обстеження двигунів внутрішнього згорання і підшипникових елементів, комп'ютерних складових.

Як стаціонарні, так і мобільні моделі термодетектора особливо доцільні для обстеження об'єктів інфраструктури, рефрижераторної техніки, оснащення мобільних протипожежних бригад, контролю умов зберігання і транспортування харчових і медикаментозних препаратів.

Класифікацію пірометрів можна представити у наступному вигляді [3-5]:

1. За основною використовуваною методикою роботи:

- інфрачервоні (радіометри), що використовують радіаційний метод для обмеженого інфрачервоного хвильового діапазону; для точного наведення на ціль забезпечені лазерним покажчиком;
- оптичні пірометри, які працюють не менше, ніж в двох діапазонах: інфрачервоному випромінюванню і спектрі видимого світла.

2. Оптичні інструменти, в свою чергу, поділяються за:

- яскравістю (пірометри з ниткою, що зникає), засновані на еталонному порівнянні випромінювання предмета з величиною випромінювання нитки, крізь яку пропускається електрострум. Значення сили струму і слугує показником вимірюваної температури поверхні об'єкта.
- колірний (або мультиспектральний), що працює за принципом порівняння енергетичних яскравостей тіла в різних областях

спектру, – використовуються, як мінімум, дві детектуючі ділянки.

3. За способом прицілювання: інструменти з оптичним або лазерним прицілом.

4. За використанням коефіцієнтом випромінювання: змінний коефіцієнт або фіксований.

5. Виходячи з температурного діапазону вимірювань:

- низькотемпературні (від $-35 \dots -30 \text{ } ^\circ \text{C}$);
- високотемпературні (до $+400 \text{ } ^\circ \text{C}$ і вище).

Тепловізори – це відносно нова технологія, яка все частіше знаходить застосування в якості ефективного засобу в пожежній справі. Величезний спектр можливостей оцінений пожежними підрозділами в усьому світі, в першу чергу, завдяки здатності бачити в темряві, в умовах задимлення і нагрітих конструкцій, випромінювання яких недоступне людському оку. Використання тепловізорів дозволяє підрозділам дистанційно отримувати інформацію про джерела загоряння, про охоплені вогнем площі, а також про ефективність процесу гасіння, охолодження або захисту.

Принцип роботи тепловізійних камер ґрунтується на уловлюванні інфрачервоного (теплого) випромінювання, яке випромінює будь-який нагрітий об'єкт. Теплове випромінювання об'єкта через оптику приладу передається на неохолоджуваний термодатчик, оцифровується і відображається на екрані тепловізійної камери. Тепловізори схожі з приладами нічного бачення, але, на відміну від останніх, не посилюють світло, а реєструють тільки тепло, що випромінюється, і не схильні до «засвічування» яскравими об'єктами [1-3].

З моменту першого використання тепловізорів в якості допоміжного інструменту при гасінні пожежі в 1980 р. (тепловізор EEVP 4428), вони зарекомендували себе тим, що допомогли пожежним підрозділам виявити і врятувати людей. Тепловізори також незамінні при ліквідації тліючих

пожеж всередині стін, місць перегріву електропроводки, тривалого нагрівання обладнання на металургійному та хімічному виробництвах. У результаті усувається небезпека витоків, проривів, відключення обладнання на небезпечному виробництві і, як наслідок, знижується загроза здоров'ю і життю персоналу підприємств, не кажучи вже про економію коштів.

На сьогоднішній день існує велика кількість виробників тепловізорів і моделей, адаптованих для пожежних підрозділів [1, 18, 19] (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Тепловізори, адаптовані для використання на пожежах [1, 2]

Результатом роботи тепловізора є термограма – зображення в інфрачервоному діапазоні [20-21]. На рис. 1.3 наведені термограми приміщення під час пожежі.

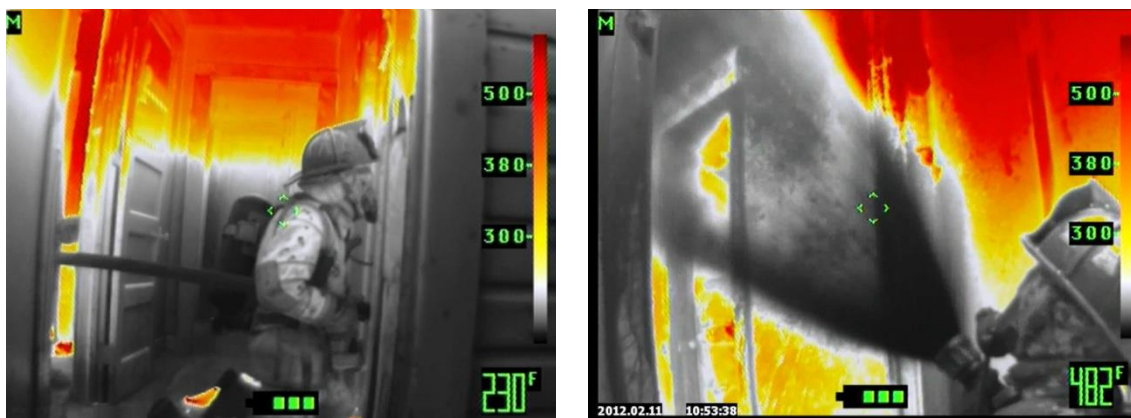


Рис. 1.3. Термограма пожеж в приміщенні

Аналіз рисунків показує, що всередині приміщення існує значний градієнт температур по висоті, який може досягати близько 200 К при висоті приміщення 2,5 м.

На рис. 1.4 наведені термограми пожежі в приватному будинку і температур у горючому приміщенні.

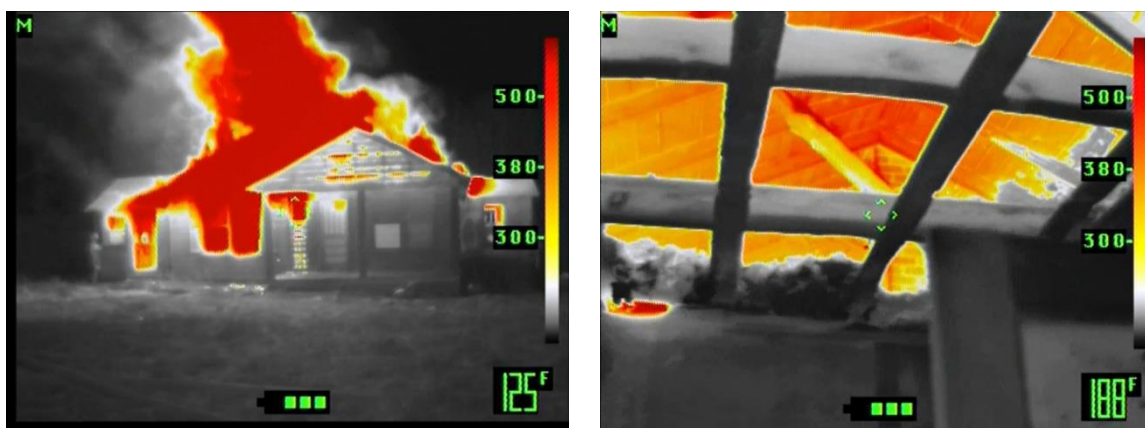


Рис. 1.4. Термограма пожежі приватного будинку

Аналіз малюнків показує, що при пожежах у невеликих приватних будинках ситуація може бути зрозуміла і без використання тепловізорів, оскільки полум'я, продукти згоряння можуть досить безперешкодно проходити крізь дах та стіни будівлі.

Особливим випадком слід виділити пожежі в замкнутих приміщеннях, наприклад, у багатоквартирних будинках, коли пожежні підрозділи під час розвідки пожежі розташовані з боку, де знаходиться глуха стіна [22-24]. При цьому неможливо візуально оцінити, де знаходиться епіцентр пожежі, але це можна зробити за допомогою термограм. Однак у даному випадку можливі нюанси, які пов'язані з неконтрольованими і хаотичними внесеннями змін до конструкції

будівель, що впливає на їх теплофізичні характеристики, і, як наслідок, на показання тепловізорів (рис. 1.5).

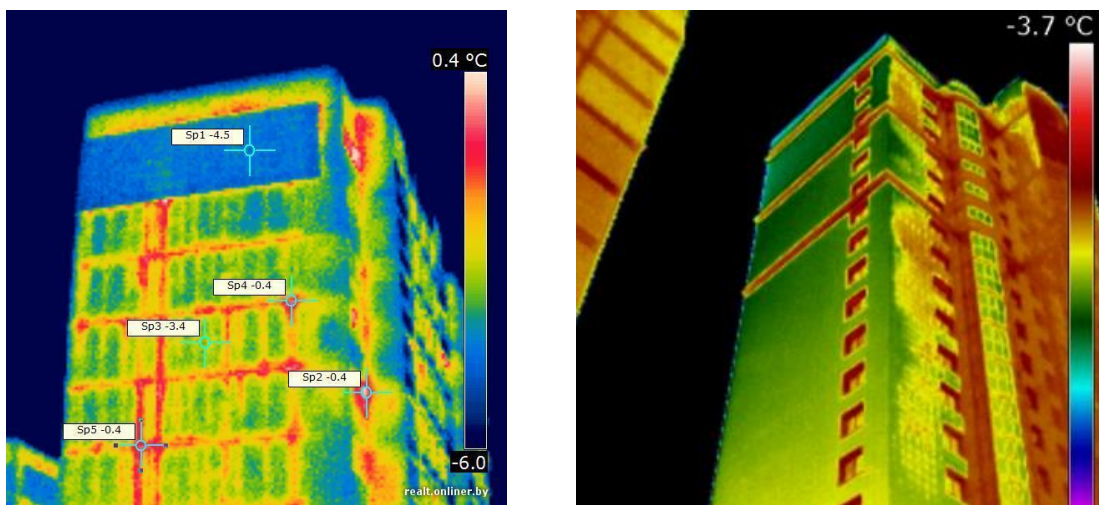


Рис. 1.5. Термограма житлових будинків

Аналіз рисунків показує, що навіть за нормальних умов різниця температур за рахунок внесення змін до конструкції будівлі може досягати декількох градусів або більше 80%, що в свою чергу, може призвести до неправильної оцінки керівником гасіння пожежі оперативної обстановки. Це, в свою чергу, призводить до збільшення часу розвідки, локалізації та гасіння пожежі, зростання прямих і непрямих збитків від пожежі [25-28].

1.1.1. Класифікація тепловізорів

Характеристики тепловізорів можуть лежати в широкому діапазоні параметрів [29-31]. В [29] була запропонована класифікація тепловізорів за трьома категоріями, що враховують технічні параметри, області застосування і вартість.

До 1-ї категорії віднесені тепловізори загального застосування, що використовують неохолоджувані приймачі. Типовим представником цієї категорії є прилад Thermovision 695 фірми FLIR Systems (США) з наступними основними параметрами:

- роздільна здатність (NETD): 0.08°C при 30°C ;

- спектральний діапазон: 7,5-13 мкм;
- показник візування 1,3 мрад;
- формат зображення: 320x240 (мікроболометричний FPA приймач);
- частота зміни зображень: 50/60 Гц (в залежності від частоти промислової мережі).

До 2-ї категорії віднесені тепловізори з охолоджуваними приймачами, наприклад, з силіциду платини (PtSi), що працюють у середньохвильовому ІЧ діапазоні і призначені для вимірювання температури пластмас, в печах тощо. Типовий представник – прилад ThermaCam SC 1000 фірми FLIR Systems (США) з наступними параметрами:

- роздільна здатність (NETD): 0,07°C при 30°C;
- спектральний діапазон: 3,4-5 мкм;
- показник візування: 1,2 мрад;
- формат зображення: 256x256 (PtSi FPA приймач);
- частота зміни зображень: 50/60 Гц.

Нарешті, до 3-ої категорії віднесені довгохвильові високошвидкісні тепловізори гнучкої конфігурації, призначені для наукових досліджень, наприклад, прилад ThermaCam SC 3000 фірми FLIR Systems (США) з наступними основними параметрами:

- роздільна здатність (NETD): 0,02°C при 30°C;
- спектральний діапазон: 8-9 мкм;
- показник візування: 1,1 мрад;
- формат зображення: 320x240 (GaAs QWIP FPA приймач);
- частота зміни зображень: від 50/60 Гц до 750/900 Гц.

У цілому, наведена класифікація може бути представлена у наступному вигляді (рис. 1.6).

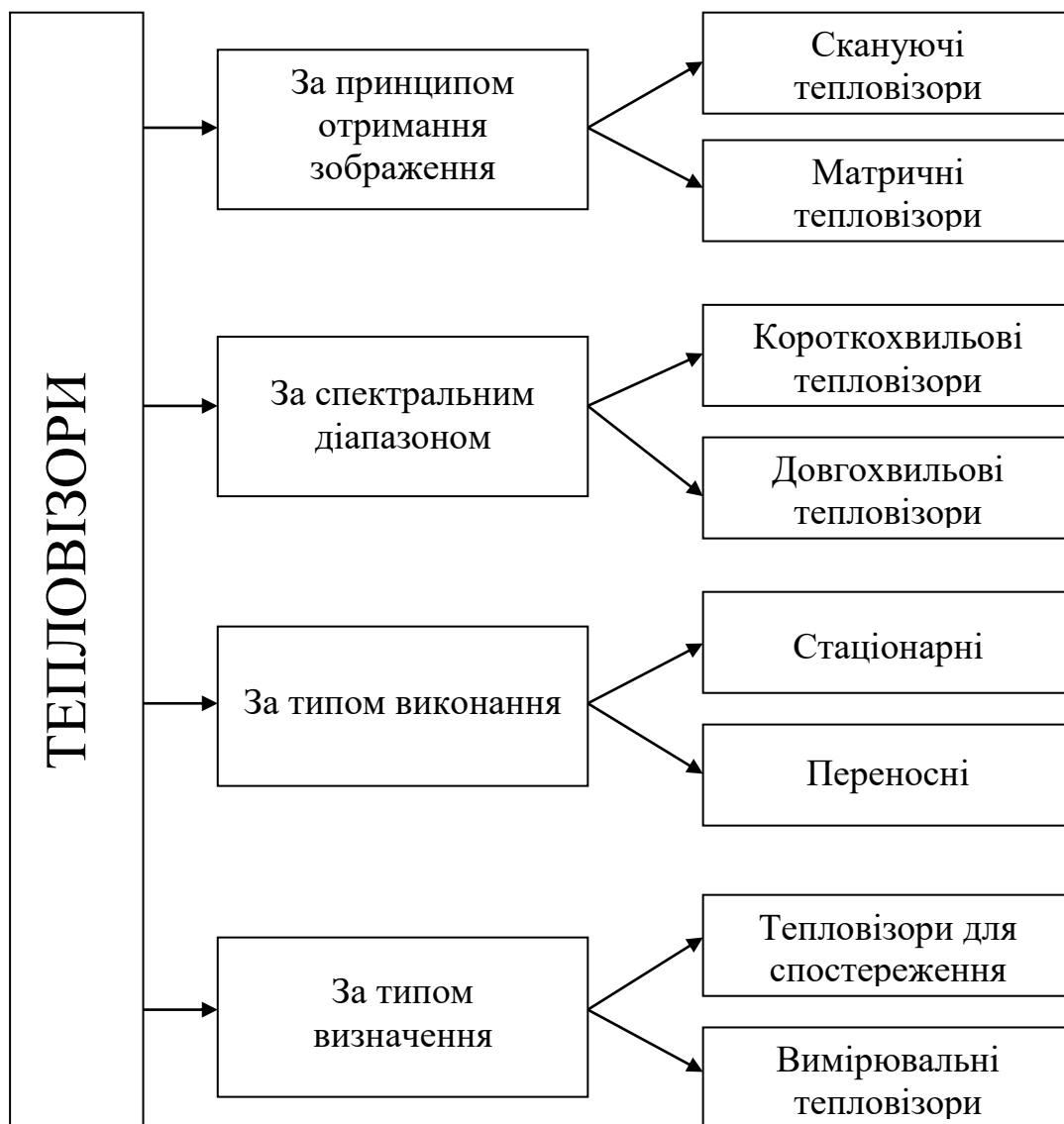


Рис. 1.6. Класифікація тепловізорів [1–4]

Найбільшого поширення на сьогодні мають матричні переносні тепловізори [32-35].

1.2. Аналіз застосування тепловізорів під час гасіння пожеж в Україні

Одним із ключових моментів ефективного застосування тепловізорів є наявність методик та рекомендацій щодо застосування цих пристроїв.

У роботах [36-40] вивчений вітчизняний і зарубіжний досвід застосування тепловізорів під час гасіння пожеж. Встановлено, що відсутні рекомендації щодо тактичних дій на основі аналізу інфрачервоного зображення як при гасінні пожежі, так і під час розвідки [41-44]. Так, наприклад, в [44] всього лише один раз згадується слово «тепловізор», а саме в п. 4.6.5:

«Залежно від наявності сил та засобів пошукові роботи здійснюються на основі та з використанням:

- свідчень очевидців;
- візуальних ознак (по залишках одягу та речей на поверхні застabilізованого прошарку);
- показань приладів пошуку (газоаналізаторів, зондів, магнітометрів, тепловізорів, акустичних систем);
- пошукових собак».

1.2.1. Нормативна база щодо застосування тепловізорів під час гасіння пожеж

На даний момент нормативна база з гасіння пожежі не має не тільки чіткої методики застосування тепловізорів, але й конкретних вимог щодо їх використання під час ліквідації пожеж.

Існує, однак, ряд вітчизняних і зарубіжних нормативних документів, що стосуються використання методів і приладів тепловізійних систем в різних галузях [45-56]:

- ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий. Классификации видов и методов»;
- ГОСТ Р 8.619-2006 «Приборы тепловизионные измерительные. Методика поверки»;

- ISO 834: Fire-resistance tests; Elements of building construction [Feuerbeständigkeitsprüfungen; Baukonstruktionsteile], first edition 1998 see also forthcoming EN 1363-1 (1999);
- ISO 3009: Fire-resistance tests; Glazed elements [Feuerbeständigkeitsprüfungen; verglaste Bauteile], first edition 1976-10 see also forthcoming EN 1364 Serie (1999);
- тощо.

1.3. Аналіз застосування тепловізорів під час гасіння пожеж за кордоном

У роботі [8] представлені результати натурних експериментів із вивчення виникнення і поширення степових пожеж (рис. 1.7). Наведені значення характерних температур у фронті горіння, швидкість поширення фронту пожежі залежно від швидкості вітру. Досліджено виникнення степової пожежі від точкового джерела запалювання та ймовірність його виникнення залежно від розмірів і типу джерела запалювання.

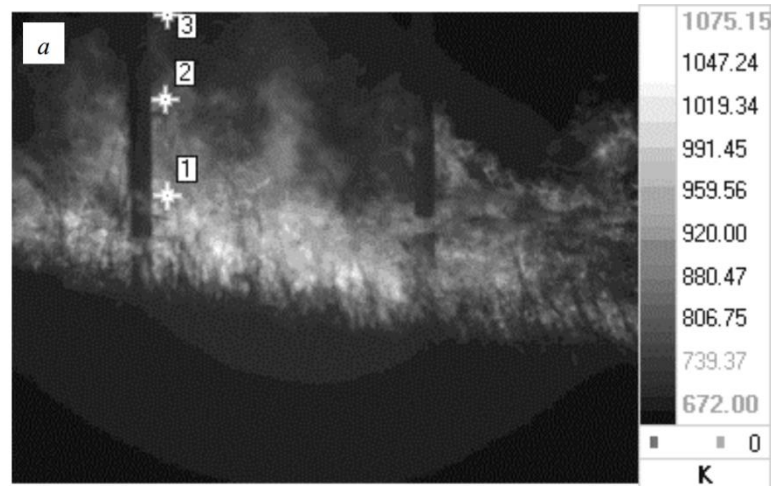


Рис. 1.7. Термограма за даними, отриманими з тепловізора JADE J530SB [8]

У роботі [9] показані нові можливості тепловізійного методу для виявлення осередків полум'яного горіння. Розроблено методику, яка дозволяє диференціювати теплове випромінювання полум'я і нагрітих твердих поверхонь. Метод у даній роботі заснований на тому, що температура різних об'єктів має різну частоту пульсації.

Робота [10] присвячена аналізу проблеми гасіння великих пожеж і порятунку постраждалих у зв'язку з погіршенням видимості. Розглянуто можливі способи вирішення проблеми огляду й орієнтації ланок газодимозахисної служби. Показано, що при боротьбі з пожежами в сильно задимлених будівлях, коли першочерговим завданням є пошук і порятунок людей, застосування тепловізорів може стати найбільш ефективним виходом із подібних ситуацій, а використання системи відеозапису з можливістю дистанційної бездротової передачі – підвищити керованість діями рятувальників.

У роботі [11], на основі опитування пожежних рятувальників, проводилася оцінка небезпеки пожежі виходячи із зображення на тепловізорі. Для цього змінювалися такі характеристики як роздільна здатність екрану, контрастність, яскравість, шум тощо. Отримані результати були використані для створення функціональної моделі для прогнозування впливу якості зображення на продуктивність рятувальника. Модель була рекомендована для включення в методи випробувань якості зображення в Національному інституті стандартів і технологій, а також надана Національній асоціації протипожежного захисту для включення до стандарту з пожежогасіння із застосуванням тепловізорів.

У роботі [38] проведено дослідження розвитку маломірних натурних пожеж лісових масивів з використанням тепловізора, запропоновано модель прогнозування поширення полум'я залежно від геометричних параметрів осередку горіння.

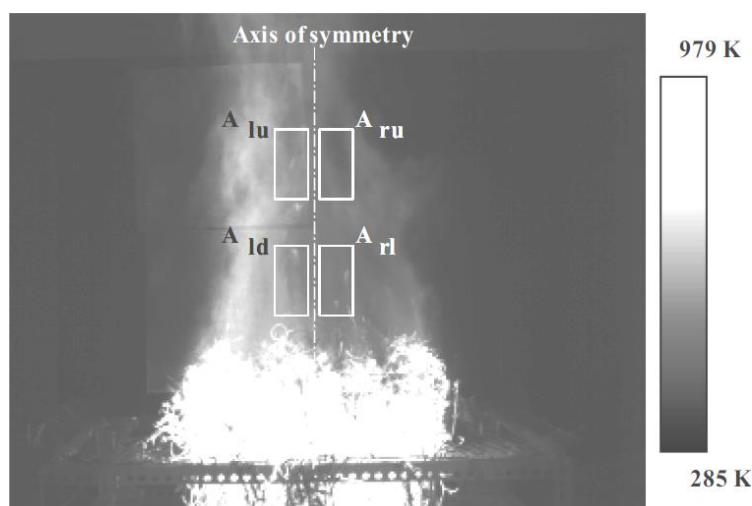


Рис. 1.8. Термограма маломірного осередку горіння за даними тепловізора

У роботі [12] описується застосування тепловізорів для дослідження лісових пожеж. З цією метою ліською службою США і Space Instruments використаний тепловізор FireMapper. Дослідницький комплекс, побудований на даному тепловізорі, дозволяє відображати інтенсивність горіння і розвиток пожежі (рис. 1.9).

У роботі [13] розглядається проблема відсутності стандарту для спеціалізованих тепловізорів, а саме для пожежних підрозділів. При цьому були проведені експерименти для визначення умов, за яких повинні працювати ці пристрої, а також наголошено на необхідності урахування перешкод у вигляді диму.

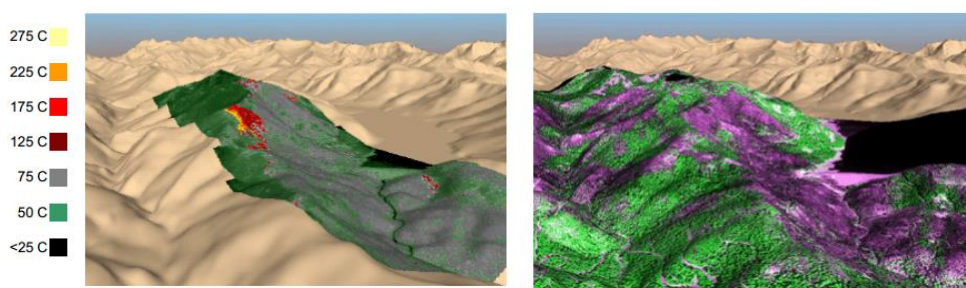


Рис. 1.9. Приклад накладення кадрів з тепловізора на рельєфну поверхню

У роботі [14] розглянуто математичну модель тепловізорного моніторингу пожеж на полігонах твердих побутових відходів на ранній стадії їх виникнення. Наведено загальну постановку задачі оптимального розміщення засобів моніторингу.

У роботі [12] представлені результати експериментальних досліджень спостереження температури в приміщенні під час пожежі (стандартної) залежно від температури елементів скління з використанням тепловізора (рис. 1.10 - 1.13).



Рис. 1.10. Зображення елементів скління на 5-й хвилині вогневих випробувань



Рис. 1.11. Зображення елементів скління на 10-й хвилині вогневих випробувань

Показано можливість визначення мінімальної і максимальної температури всередині приміщення залежно від температури скла та елементів скління,

Крім цього, ряд робіт [34-36] присвячено використанню тепловізорів для визначення температур і їх градієнтів під час горіння розливів різних легкозаймистих рідин, показано можливість прогнозування температурних областей.

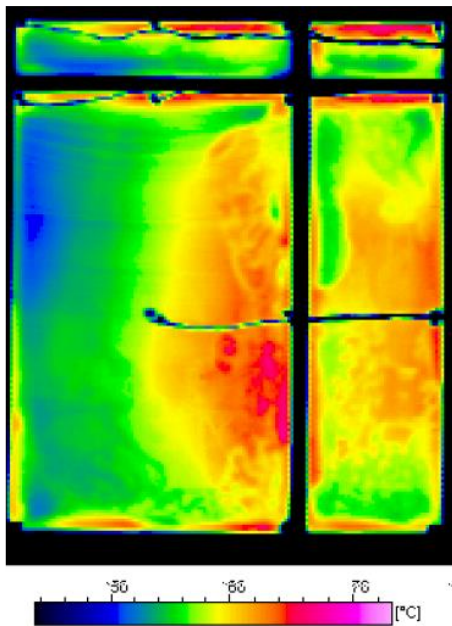


Рис. 1.12. Термограма елементів скління на 5-й хвилині вогневих випробувань

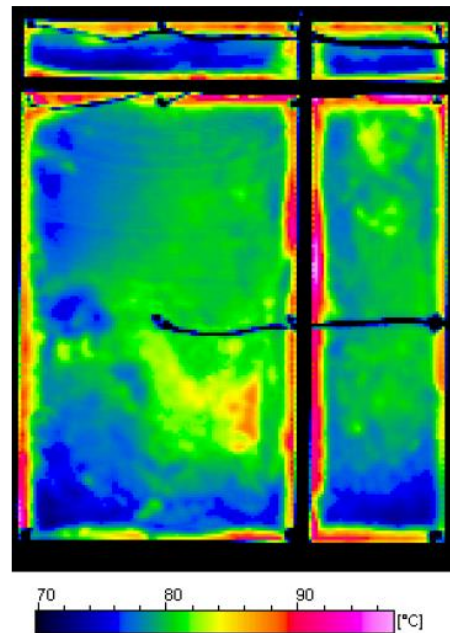


Рис. 1.13. Термограма елементів скління на 10-й хвилині вогневих випробувань

1.4. Етапи розвитку пожежі і можливості застосування тепловізорів

Аналіз нормативних документів та рекомендацій з гасіння пожеж [39-41] дозволив класифікувати сфери застосування тепловізорів пожежними підрозділами (рис. 1.14).

Таким чином, використання тепловізорів можливе від моменту прибуття до місця пожежі і до повної його ліквідації. При цьому слід зазначити, що внаслідок їх використання буде досягнуто:

- зменшення часу локалізації та ліквідації пожежі;
- зменшення прямих і непрямих матеріальних збитків;
- скорочення кількості вогнегасної речовини, яку використано під час ліквідації НС;
- скорочення часу розвідки;
- зменшення кількості травмованих людей тощо.



Рис. 1.14. Класифікація сфер застосування тепловізорів пожежними підрозділами

Це досягається за рахунок швидшої ідентифікації пожежі, нагрітих елементів, зон необхідного охолодження, гасіння, тощо.

1.4.1. Аналіз стадій розвитку пожежі

Для визначення сфер застосування тепловізорів у процесі ліквідації пожежі необхідно визначити стадії його розвитку. Згідно з [15-17] у процесі розвитку пожежі розрізняють три стадії:

- початкова стадія розвитку пожежі;
- основна (розвинена) стадія розвитку пожежі;
- кінцева стадія пожежі.

Ці стадії характерні для всіх пожеж, незалежно від того, де сталася пожежа: на відкритому просторі або в приміщенні.

Перша фаза (до 10 хв.) – початкова стадія, що включає перехід загоряння в пожежу за час приблизно в 1-3 хвилини і зростання зони горіння протягом 5-6 хвилин. При цьому відбувається переважно лінійне поширення вогню уздовж горючих речовин і матеріалів, що супроводжується значним димовиділенням. На цій фазі дуже важливо забезпечити ізоляцію приміщення від надходження зовнішнього повітря, так як у деяких випадках у герметичному приміщенні настає саме загасання пожежі.

Друга фаза – стадія об'ємного розвитку пожежі, яка триває 30-40 хвилин. Характеризується бурхливим процесом горіння з переходом в об'ємне горіння; процес поширення полум'я відбувається дистанційно за рахунок передачі енергії горіння на інші матеріали.

Через 15-20 хвилин відбувається руйнування скління, різко збільшується приплив кисню, максимальних значень досягають температура (до 800-900°C) і швидкість вигорання. Стабілізація пожежі при максимальних її значеннях відбувається на 20-25 хвилинах і триває ще 20-30 хвилин.

При цьому вигорає основна маса горючих матеріалів.

Третя фаза – стадія загасання пожежі, тобто догорання у вигляді повільного тління, після якого пожежа припиняється.

1.5. Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень щодо застосування тепловізорів на різних етапах гасіння пожежі

Проведений аналіз показав, що на сьогоднішній день відсутні цілеспрямовані теоретичні та експериментальні дослідження щодо застосування тепловізорів на різних етапах гасіння пожежі [39, 57-60]. Встановлено, що більшість робіт, які присвячені використанню

тепловізорів є оглядовими, вузькоспеціалізованими або носять декларативний характер і не мають відношення до використання при ліквідації пожеж.

Поряд із застосуванням тепловізорів важливим є прогнозування розвитку пожежі та впливу небезпечних факторів пожежі на огорджувальні конструкції [61, 63]. В [63] описані основні процедури та область застосування розрахункового методу оцінки вогнестійкості несучих кам'яних стін, що заснований на моделюванні їх поведінки в умовах нагріву за стандартною температурною кривою пожежі.

У свою чергу, температурний режим під час пожежі може варіюватися в широкому інтервалі значень (рис. 1.15), відповідно, описуватися різними функціональними залежностями [63].

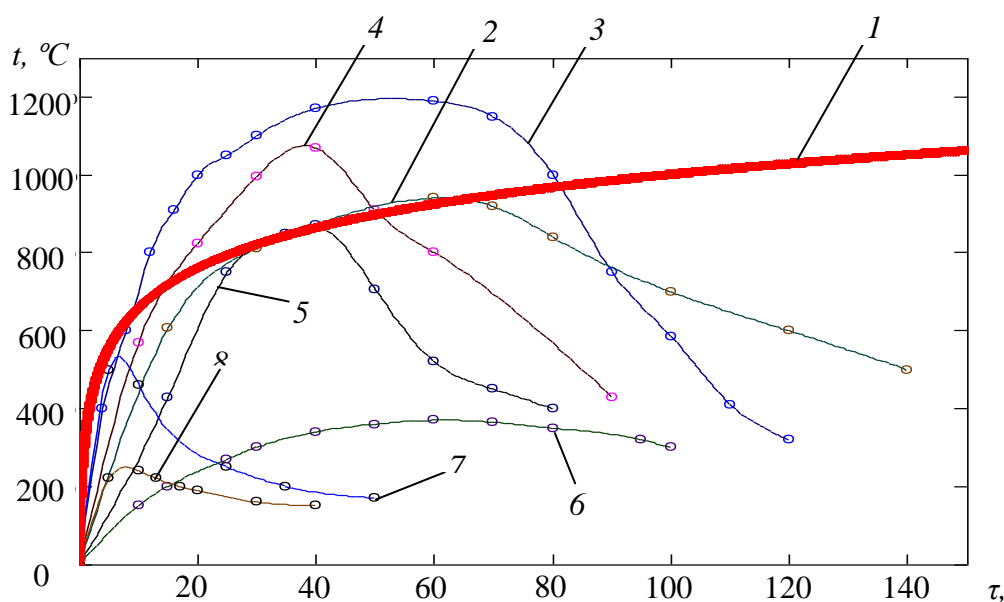


Рис. 1.15. Температурні режими пожежі в приміщеннях залежно від виду і величини пожежного навантаження [63]: 1 — стандартна температурна крива пожежі; 2 — гума, 100 кг/м^2 ; 3 — деревина, 100 кг/м^2 ; 4 — каучук, 50 кг/м^2 ; 5 — гума, 50 кг/м^2 ; 6 — деревина, 50 кг/м^2 ; 7 — фенопласти, 50 кг/м^2 ; 8 — папір, 50 кг/м^2

Наближено температура в приміщенні може описуватися стандартним температурним режимом під час пожежі [63]:

$$T = 345 \cdot \lg(8 \cdot \tau + 1) + T_0 + 273. \quad (1.1)$$

Тоді, з урахуванням закону зміщення Віна [3-7], залежності для визначення часу досягнення температури під час пожежі і довжини хвилі випромінювання від температури можна представити в наступному вигляді (рис. 1.16).

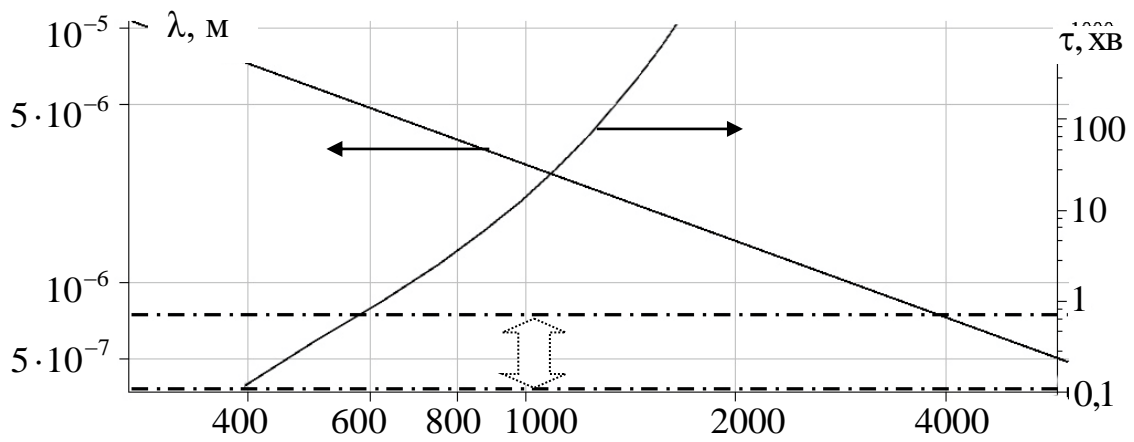


Рис. 1.16. Залежність часу досягнення температури під час пожежі і довжини хвилі випромінювання від температури [39]

Аналіз рисунку показує, що в інтервалі часу до 100 хвилин максимум випромінювання припадає на невидимий для людського ока діапазон довжин хвиль, що підтверджує доцільність застосування тепловізорів під час гасіння пожеж.

З метою визначення спектральної щільності енергетичної світимості $r(\lambda, \tau)$ залежно від часу, запишемо [3-5]

$$r(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (1.2)$$

де h – стала Планка, c – швидкість світла, λ – довжина хвилі.

Підставивши в (1.2) вираз (1.1), отримаємо [39]

$$r(\tau, T) = \frac{3,745 \cdot 10^{-16}}{\lambda^5 \left[e^{\frac{0,01439}{\lambda(345 \cdot \lg(8 \cdot \tau + 1) + T_0 + 273)}} - 1 \right]} \quad (1.3)$$

Цей вираз показує залежність спектральної щільності енергетичної світності від часу з початку пожежі і довжини хвилі з допущенням, що температура об'єктів дорівнює температурі за стандартним температурним режимом (рис. 1.17, 1.18) [39].

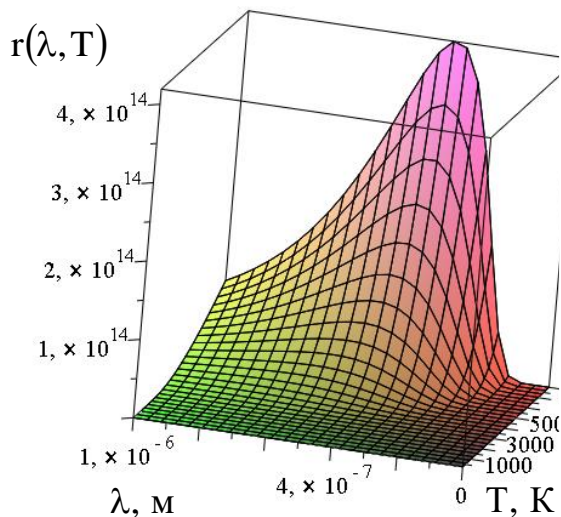


Рис. 1.17. Залежність спектральної щільності енергетичної світності від температури і довжини хвилі

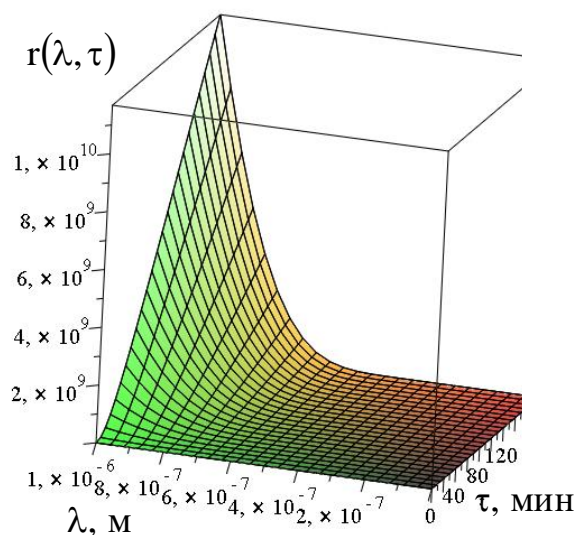


Рис. 1.18. Залежність спектральної щільності енергетичної світності від часу з початку пожежі і довжини хвилі

Використання виразів (1.1) – (1.3) при побудові математичних моделей, номограм тощо дозволить розробити рекомендації щодо використання тепловізорів в умовах пожежі і тактичних дій пожежних підрозділів.

1.6. Формулювання задач дослідження

1. Провести аналіз використання тепловізорів під час гасіння пожеж, а також ступеня дослідженості процесів, що дозволяють оцінити параметри пожежі на основі термограм.

2. Провести аналіз статистичних даних щодо результативності роботи аварійно-рятувальних підрозділів.

3. Розробити математичну модель, яка дозволяє визначити температуру зовнішньої конструкції будівлі під впливом небезпечних факторів пожежі

4. Провести комплекс експериментальних досліджень з визначення адекватності розробленої математичної моделі.

5. Провести експертну оцінку ефективності використання тепловізорів при пожежах.

6. Отримати оцінки ефективності гасіння пожеж з використанням тепловізорів.

1.7. Висновки

1. Проведено аналіз допоміжних пристроїв, які працюють в інфрачервоному діапазоні і можуть бути використані під час гасіння пожеж, а також визначено, що в інтервалі часу до 100 хвилин максимум випромінювання припадає на невидимий для людського ока діапазон довжин хвиль, що підтверджує доцільність застосування тепловізорів під час гасіння пожеж. Показано, переваги застосування тепловізорів під час гасіння пожеж.

2. Вивчено вітчизняний і зарубіжний досвід застосування тепловізорів під час гасіння пожеж. Проаналізовано нормативну базу з їх використання.

3. Проведено класифікацію сфер застосування тепловізорів пожежними підрозділами. Показано, що внаслідок їх використання може бути досягнуто: зменшення часу локалізації та ліквідації пожежі; зменшення прямих і непрямих матеріальних збитків; скорочення кількості вогнегасної речовини, яку використано при ліквідації НС; скорочення часу розвідки; зменшення кількості травмованих людей.

4. Встановлено, що відсутні науково обґрунтовані рекомендації щодо тактичних дій на основі аналізу інфрачервоного зображення, як при гасінні пожежі, так і при її розвідці.

5. Проведено аналіз теоретичних і експериментальних досліджень щодо застосування тепловізорів на різних етапах гасіння пожежі.

6. Сформульовано задачі дослідження.

РОЗДІЛ 2.

РЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ РОБОТИ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ПРИ ГАСІННІ ПОЖЕЖ

При визначенні температури зовнішніх огорожувальних конструкцій суттєве значення має час розвитку пожежі [64-66], так як від цього залежить температура в приміщенні, а, відповідно, і прогрів стінки будівлі. З метою визначення часу розвитку пожежі було проведено аналіз значень часу прибуття підрозділів до місця пожежі [67-70].

У роботах [71-73] показано, що виникнення та ліквідація НС (пожеж) на території регіонів України може розглядатися як випадковий марківський процес, що дозволяє отримувати ймовірності знаходження території в стані ліквідації НС. За результатами проведеного аналізу зроблено висновок про ймовірність одночасної ліквідації декількох НС. При цьому не проаналізовано часові характеристики НС (пожеж).

2.1. Статистика результативності роботи аварійно-рятувальних підрозділів при гасінні пожеж

У якості вихідних даних було використано [83] значення часу від моменту виникнення пожежі до моменту прибуття, локалізації та ліквідації [74-77]. В цілому було опрацьовано понад 50000 пожеж. Приклад вихідних даних наведено в табл. 2.1 [64-66].

Таким чином, було отримано $5 \cdot 10^4$ можливих варіантів часу від моменту виникнення пожежі до моменту прибуття, локалізації та ліквідації пожежі (τ_{pr} , τ_{lok} та τ_{lik}) [78-79].

З метою визначення законів розподілу випадкових величин для τ_{pr} , τ_{lok} , τ_{lik} було проведено розбиття на n інтервалів $(\tau_{i(\min)}; \tau_{i(\max)})$, виходячи з наступного виразу [80-82]

$$n = 3,3 \cdot \lg(N) + 1 \approx 17. \quad (2.1)$$

Таблиця 2.1.

Час виникнення пожежі, повідомлення, прибуття підрозділів до
місця пожежі, її локалізації та ліквідації

Виникнення	Повідомлення	Прибуття	Локалізація	Ліквідація
1:20	1:30	1:34	1:39	1:45
4:21	4:29	4:36	4:38	4:41
9:30	10:19	10:35	10:37	10:38
13:45	13:53	14:16	14:24	14:29
14:30	14:43	14:50	15:07	15:20
20:40	20:59	21:04	21:06	21:06
16:15	16:31	16:45	16:53	16:57
13:15	13:18	13:26	13:33	13:38
20:00	20:27	20:35	20:47	20:53
23:00	1:11	1:18	1:25	1:29
10:55	11:13	11:28	11:31	11:33
14:30	15:06	15:27	15:30	15:32
18:10	18:28	18:32	18:33	18:35
5:45	6:03	6:31	6:20	6:27
9:50	10:46	11:21	11:03	11:05
5:00	5:15	5:21	5:22	5:23
20:15	20:19	20:24	20:21	20:22
1:30	1:37	1:41	1:43	1:44
12:00	13:26	13:32	13:37	13:50
8:10	9:33	9:52	9:58	10:00
12:40	13:06	13:22	13:26	13:30
17:10	17:20	17:28	17:35	17:37
21:05	21:17	21:33	21:36	21:40
21:45	21:54	21:58	22:11	22:20
8:35	8:48	8:50	8:59	9:01
18:08	18:14	18:17	18:18	18:19
11:30	11:49	11:53	11:58	11:59

Аналіз даних дозволив отримати значення математичного очікування μ і дисперсії σ^2 для трьох випадкових величин, які наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Параметри випадкових величин

Час прибуття (τ_{pr})		Час локалізації (τ_{lok})		Час ліквідації (τ_{lik})	
μ_{pr}, XB	$\sigma^2_{pr}, \text{XB}^2$	μ_{lok}, XB	$\sigma^2_{lok}, \text{XB}^2$	μ_{lik}, XB	$\sigma^2_{lik}, \text{XB}^2$
28,13	1015,9	47,04	2183	75,9	5001

Окрім того встановлено, що σ_i змінюється пропорційно μ_i (рис. 2.1).

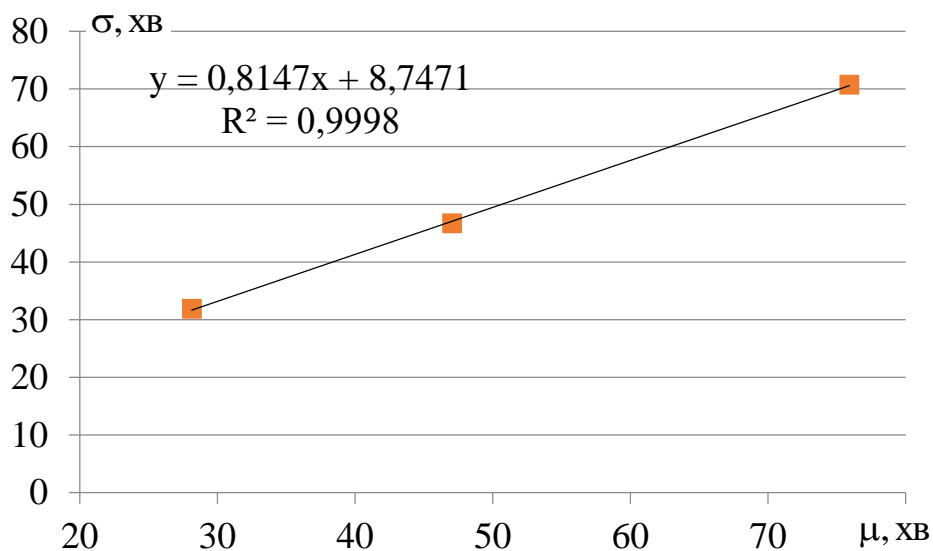


Рис. 2.1. Залежність середньоквадратичного відхилення від математичного очікування

Під часом прибуття τ_{pr} розуміється час від початку виникнення пожежі до моменту прибуття підрозділів до місця пожежі. Час локалізації

τ_{lok} – це час від початку виникнення пожежі до моменту локалізації пожежі.
 Час ліквідації $\tau_{\text{лік}}$ – це час від початку виникнення пожежі до моменту ліквідації пожежі.

Це дозволяє зробити висновок, що випадкова величина часу виконання тієї чи іншої операції під час ліквідації НС має свій характер зміни, який підпорядковується наступній залежності

$$\sigma_i = 0,814\mu_i + 8,747, \quad \mu_i \in [28,13; 75,9]. \quad (2.2)$$

2.2. Ідентифікація законів розподілу випадкових величин часу від моменту виникнення пожежі до моменту прибуття, локалізації та ліквідації пожежі

Встановлено, що випадкова величина часу до моменту прибуття підрозділів може бути описана розподілом Релея [80, 83]

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma^2} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot \sigma^2}\right), & x \geq 0; \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (2.3)$$

Для розподілу Релея σ визначається виходячи з

$$\mu = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}, \quad (2.4)$$

де μ – математичне сподівання.

Тоді вираз (2.3) для $\tau_{\text{пр}}$, $\tau_{\text{лок}}$ і $\tau_{\text{лік}}$ з урахуванням (2.4) можна записати у вигляді

$$f(\tau_i) = \frac{\pi\tau}{2\mu_i^2} \cdot \exp\left(-\frac{\tau^2\pi}{\mu_i^2}\right), \quad \tau \in [0; +\infty). \quad (2.5)$$

Оцінка узгодженості обраного теоретичного розподілу з експериментальними даними проводилась відповідно до критерію Пірсона (критерій χ^2)

$$\chi_p^2 = N \sum_i^n \frac{(P_i^{\text{th}} - P_i^{\text{emp}})^2}{P_i^{\text{th}}}, \quad (2.6)$$

де P_i^{th} – передбачувана ймовірність попадання в i -й інтервал

$$P_i^{\text{th}} = \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} f(\tau) d\tau. \quad (2.7)$$

За таблицею критичних точок χ^2 -розподілу, виходячи з того, що число ступенів свободи $r = 17 - 1 - 1 = 15$, визначимо $\chi_{\text{кр}}^2$ ($\chi_{\text{кр}}^2 = 25,0$).

Час прибуття підрозділів до місця пожежі залежить від часу повідомлення та часу, який витрачено на збір та прямування до місця пожежі. Час повідомлення про пожежу, в свою чергу, залежить від наявності автоматичних систем пожежної сигналізації, наявності людей, котрі можуть про неї повідомити, динаміки розвитку пожежі тощо.

На рис. 2.2 наведені залежності частот, отриманих емпіричним і теоретичним шляхом, і значення χ_i^2 для часу до моменту прибуття підрозділів.

При цьому χ_i^2 визначалися, як [80-81]

$$\chi_i^2 = N \frac{(P_i^{\text{th}} - P_i^{\text{emp}})^2}{P_i^{\text{th}}}. \quad (2.7)$$

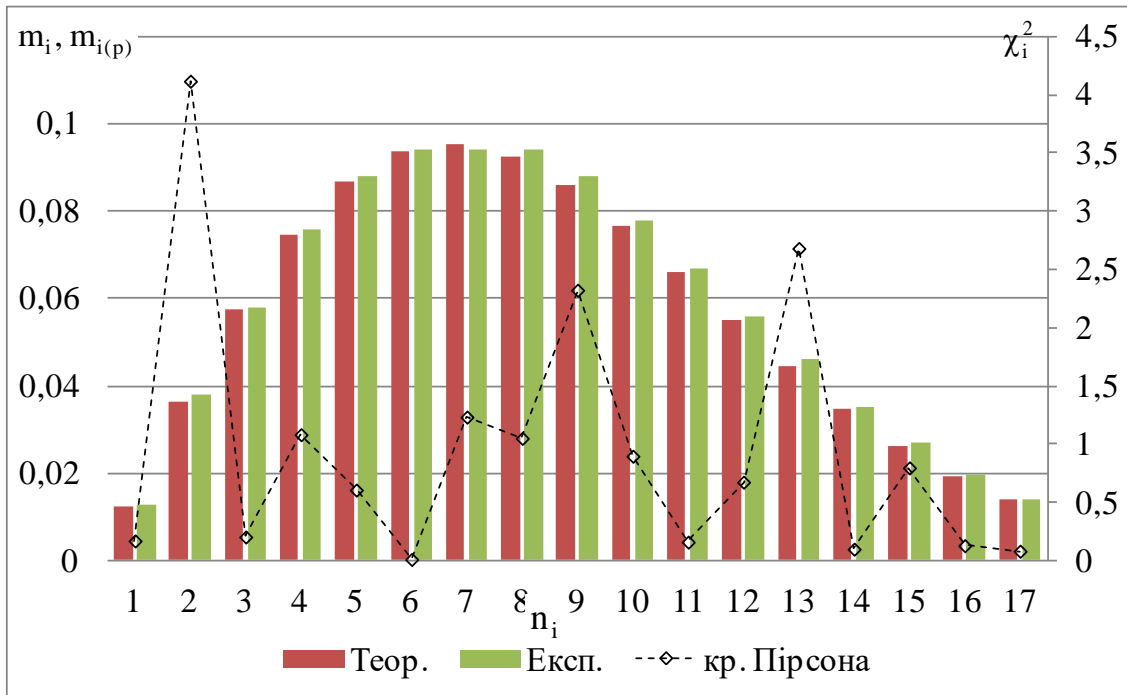


Рис. 2.2. Залежність частот, отриманих емпіричним і теоретичним шляхом, а також значення χ_i^2 для часу до моменту прибуття підрозділів

Визначено, що критерій Пірсона $\chi_p^2 = 16,31$. Оскільки $\chi_p^2 < \chi_{кр}^2$, то прийнята гіпотеза про розподіл Релея не суперечить наявним вибірковим даним при рівні значущості 0,05.

Аналогічним чином були отримані теоретичні частоти для часу до моменту локалізації пожежі (рис. 2.3) за гіпотези, що випадкова величина теж має розподіл Релея.

Визначено, що критерій Пірсона $\chi_p^2 = 15,16$. Оскільки $\chi_p^2 < \chi_{кр}^2$, то прийнята гіпотеза про розподіл Релея не суперечить наявним вибірковим даним при рівні значущості 0,05.

Час локалізації пожежі залежить від ряду факторів, серед яких, звісно, і час прибуття. З метою дослідження взаємозв'язку між цими

величинами було проведено дослідження щодо наявності кореляційного зв'язку.

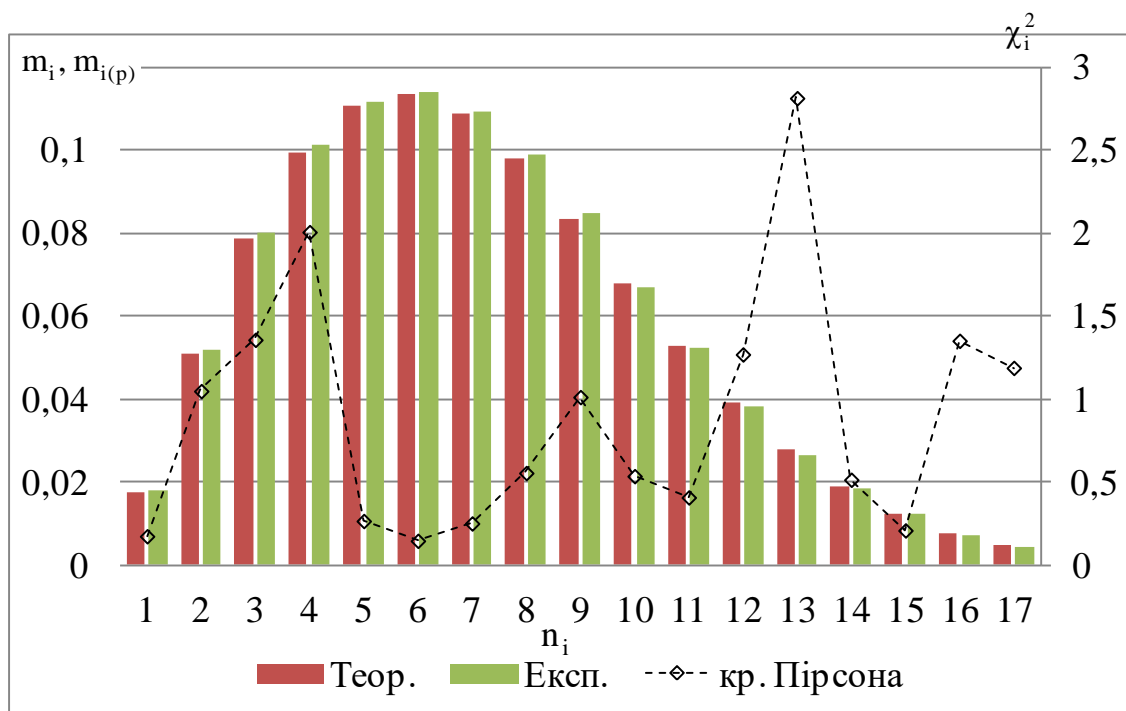


Рис. 2.3. Залежність частот, отриманих емпіричним і теоретичним шляхом, а також значення χ_i^2 для часу до моменту локалізації пожежі

Зображення залежності часу до локалізації пожежі від часу до прибуття від моменту його виникнення зображено на рис. 2.4. При цьому осі наведено по логарифмічній шкалі.

Аналіз рисунку показує, що між цими двома величинами відсутній суттєвий кореляційний зв'язок ($r=0,43$).

Іншою досліджуваною випадковою величиною є час ліквідації пожежі. Звісно, що дана величина більша, ніж час локалізації, і саме цей інтервал часу є досить значним, виходячи зі статистичних даних. Час до ліквідації пожежі може на 100 та більше відсотків перевищувати час локалізації. Нерідкими є випадки, коли ці дві величини однакові. Зазвичай це відбувається при незначних пожежах або загораннях.

Для часу до моменту ліквідації пожежі (рис. 2.5) теж були отримані

теоретичні частоти за гіпотези, що випадкова величина має розподіл Релея.

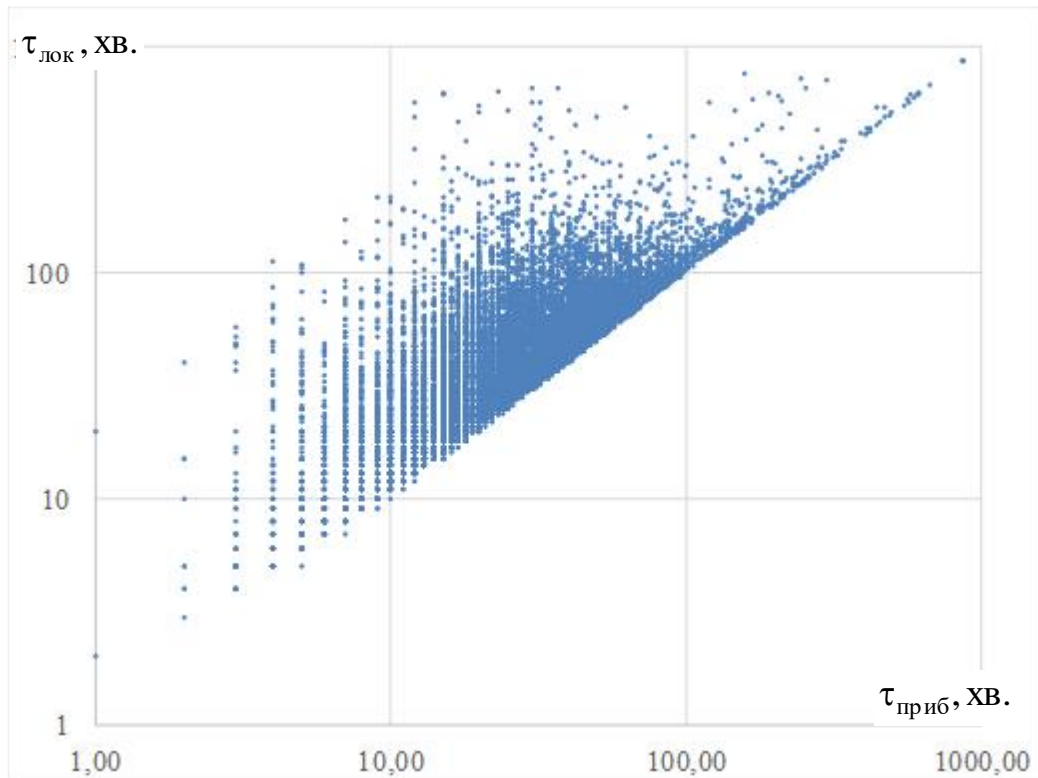


Рис. 2.4. Залежність часу до локалізації пожежі від часу до прибуття від моменту його виникнення

$m_i, m_{i(p)}$

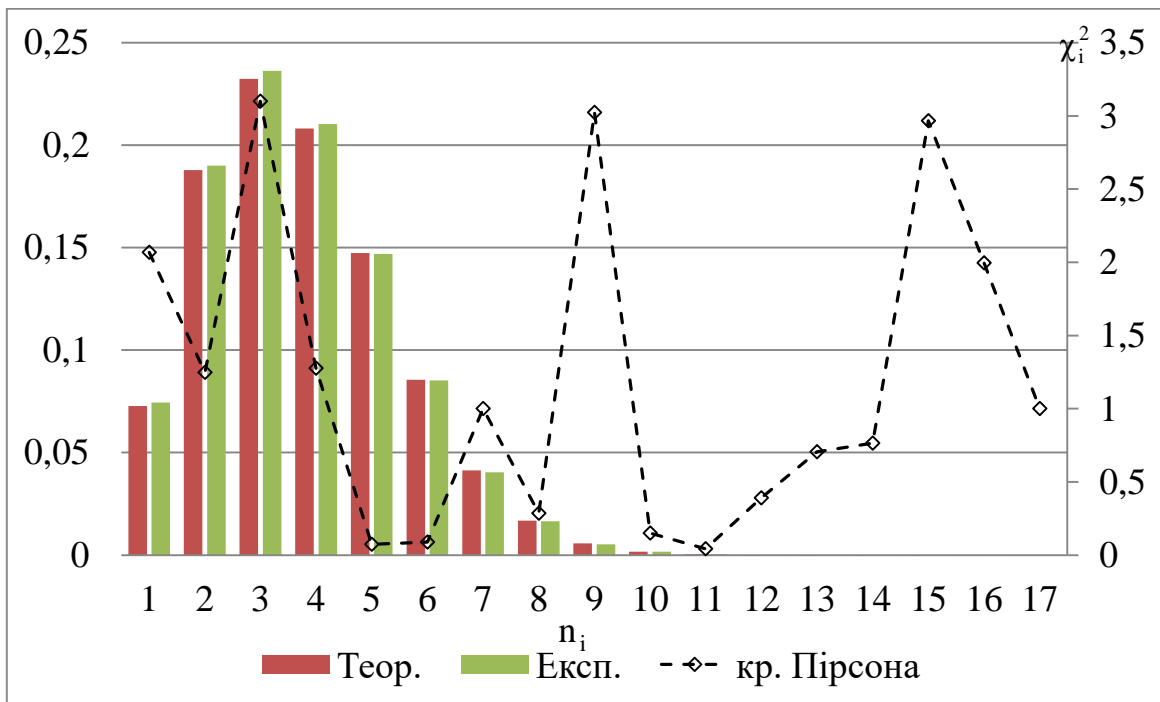


Рис. 2.5 Залежність частот, отриманих емпіричним і теоретичним шляхом, а також значення χ_i^2 для часу до моменту ліквідації пожежі

Визначено, що критерій Пірсона $\chi_p^2 = 20,17$. Оскільки $\chi_p^2 < \chi_{кр}^2$, то прийнята гіпотеза про розподіл Релея не суперечить наявним вибірковим даним при рівні значущості 0,05.

Масштаб пожежі залежить від ряду факторів, таких як: пожежне навантаження, час вільного розвитку, вид горючого матеріалу, його розташування тощо. Звісно, що чим масштабніша пожежа, тим більший час локалізації та ліквідації. З метою дослідження взаємозв'язку між цими величинами було проведено аналіз наявних даних.

Аналіз випадкових величин часу локалізації та часу ліквідації пожежі показав, що між цими двома величинами відсутній суттєвий кореляційний зв'язок ($r=0,67$) (рис. 2.6).

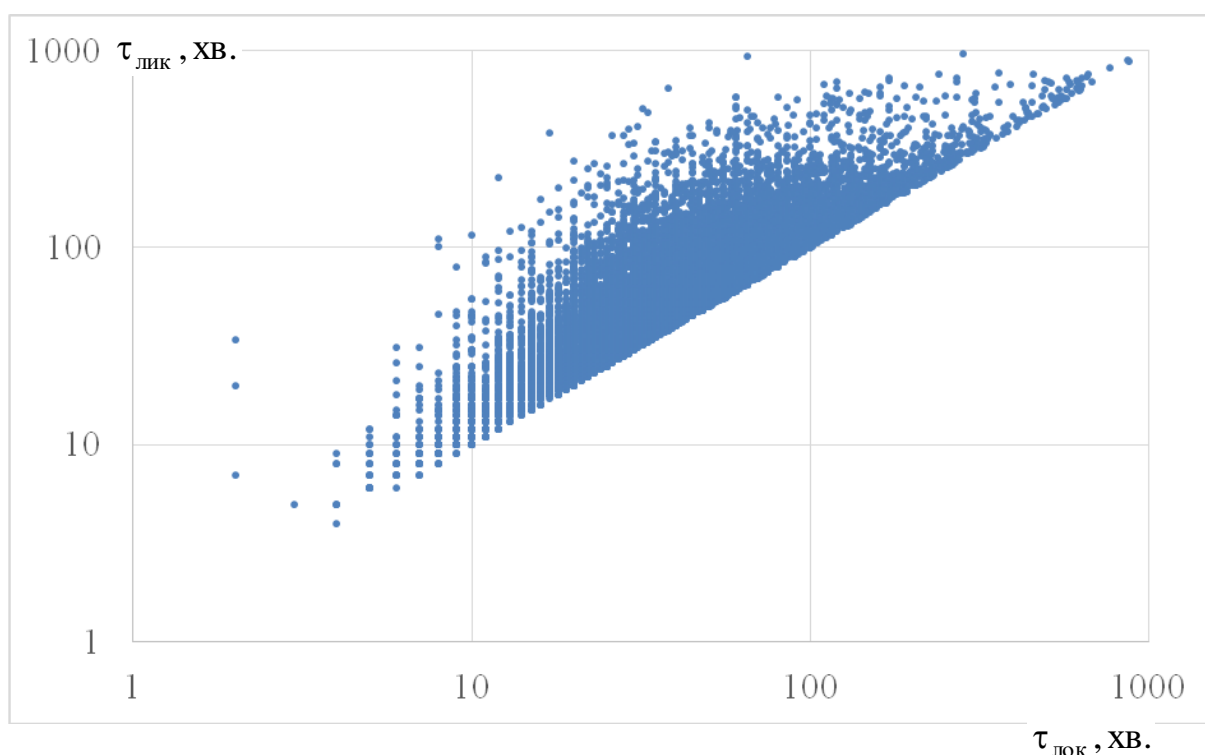


Рис. 2.6. Залежність часу до ліквідації пожежі від часу до локалізації від моменту його виникнення

На основі отриманих значень математичного сподівання були побудовані щільності ймовірності та функції розподілу [83] для τ_{pr} , τ_{lok} і τ_{lik} відповідно до (2.4), які представлені на рис. 2.7 та рис. 2.8.

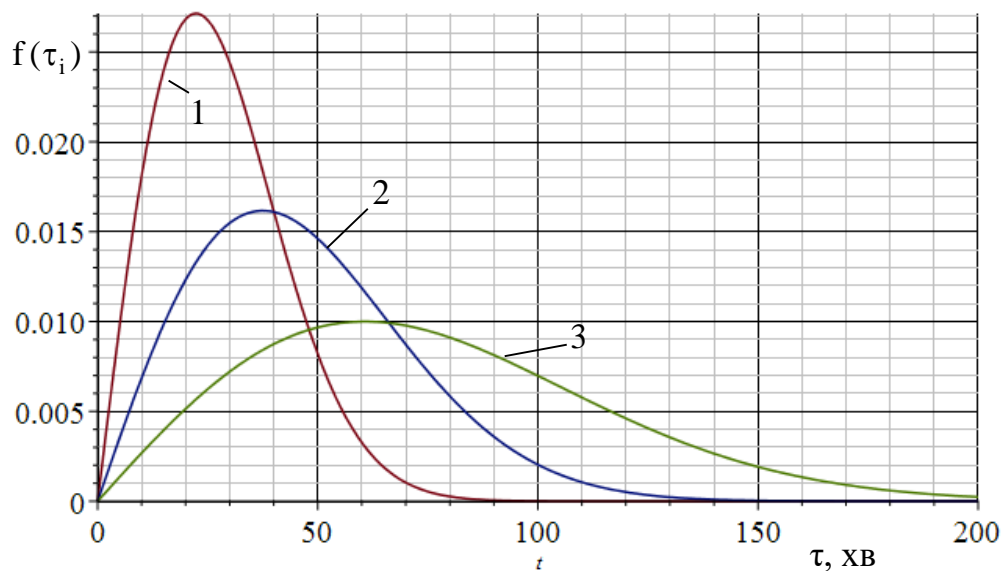


Рис. 2.7. Щільності ймовірності: 1 - часу прибуття підрозділів до місця пожежі; 2 - часу до локалізації; 3 - часу до ліквідації

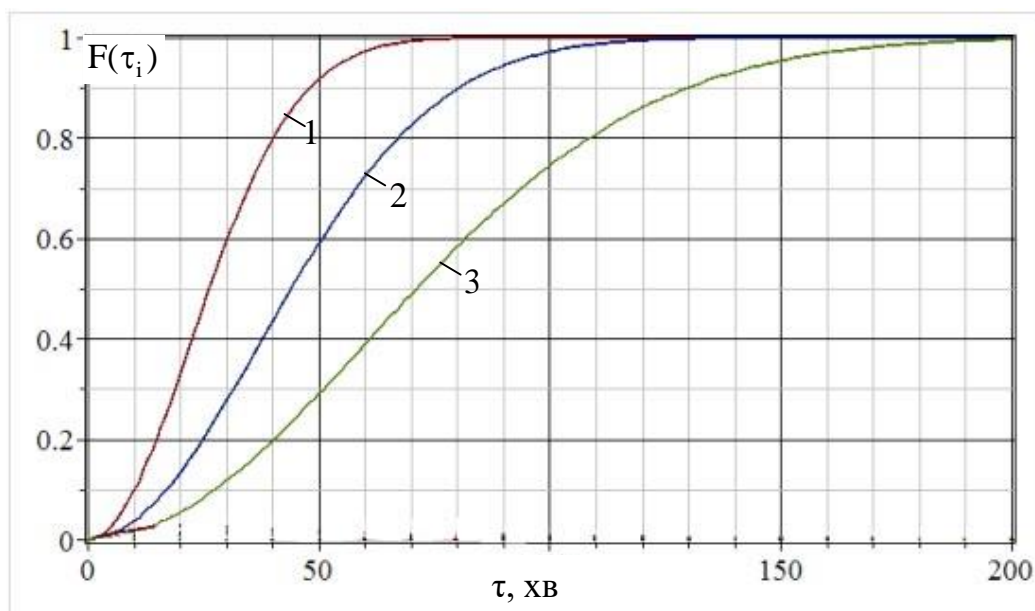


Рис. 2.8. Функція розподілу: 1 - часу прибуття підрозділів до місця пожежі; 2 - часу до локалізації; 3 - часу до ліквідації

Аналіз рисунку показує, що після початку пожежі протягом години імовірність прибуття аварійно рятувальних підрозділів складає понад 95%, локалізації – 70% і ліквідації – 40%.

Таким чином, отримані ймовірнісні моделі для даних випадкових величин можуть бути використані при оцінці ефективності дій при гасінні пожеж, а також основою при розробці організаційних заходів із підвищення ефективності або при покращенні матеріально-технічного забезпечення, як засобами гасіння, так і засобами з ідентифікації пожежі, місць горіння тощо.

2.3. Висновки.

1. На основі інформації про 50000 пожеж проведено аналіз часу прибуття аварійно-рятувальних підрозділів, локалізації та ліквідації пожежі. Встановлено зв'язок між математичним очікуванням і середньоквадратичним відхиленням даних випадкових величин.

2. Для випадкової величини часу від виникнення пожежі до повідомлення про неї отримано величини математичного сподівання та середньоквадратичного відхилення. Встановлено, що критерій Пірсона на рівні значущості 0,05 $\chi_p^2 = 16,31$ менше за критичне значення. Побудовані щільності ймовірності та функції розподілу для $\tau_{пр}$.

3. Для випадкової величини часу від виникнення пожежі до локалізації пожежі отримані величини математичного сподівання та середньоквадратичного відхилення. Підтверджено гіпотезу про розподіл даної величини згідно з розподілом Релея. Побудовано щільності ймовірності та функції розподілу для $\tau_{лок}$. Отриманий закон розподілу буде використано при оцінці ефективності гасіння пожеж із використанням тепловізорів.

4. Для випадкової величини часу від виникнення пожежі до ліквідації пожежі отримані величини математичного сподівання та

середньоквадратичного відхилення. Встановлено, що критерій Пірсона на рівні значущості 0,05 $\chi_p^2 = 16,31$ менше за критичне значення. Побудовані щільності ймовірності та функції розподілу для $\tau_{лік}$. Отриманий закон розподілу буде використано при оцінці ефективності гасіння пожеж із використанням тепловізорів.

5. Отримані ймовірнісні оцінки ефективності дій при гасінні пожеж можуть бути основою при розробці заходів для підвищення ефективності локалізації і ліквідації пожеж.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ЗОВНІШНІХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ В УМОВАХ ПОЖЕЖІ

Будь-яка стадія пожежі супроводжується процесом виникнення електромагнітного випромінювання в оптичному діапазоні і поза ним. Випромінювання полум'я пожежі або нагрітих конструкцій залежно від температури горіння, виду хімічної реакції має різний спектральний склад [3-7]. У зв'язку з цим можна констатувати, що аналіз і гасіння пожеж можна проводити не тільки на основі даних у видимому для людського ока діапазоні світлових хвиль, а й за його межами, за допомогою пірметрів чи тепловізорів [84-90].

Оскільки в умовах пожежі за допомогою тепловізора можна визначити температуру тієї чи іншої конструкції, слід провести моделювання впливу небезпечних чинників пожежі на дані елементи будівель і споруд.

При виникненні горіння в замкненому просторі приміщення над осередком горіння виникають конвективні потоки продуктів горіння і нагрітого повітря. При збільшенні площі горіння потужність теплового потоку збільшується, а продукти горіння, в свою чергу, після охолодження за рахунок теплопередачі у стелі і стін приміщення, опускаються донизу. Дані процеси супроводжуються підвищенням середньооб'ємної температури в приміщенні.

При цьому кількість тепла, що виділяється, залежить від пожежного навантаження, типу матеріалу, характеру його розташування, теплоти згорання та інших характеристик.

У цілому, основні елементи, за якими можна вивчати обстановку при пожежі за допомогою тепловізора, можна представити в наступному вигляді (рис. 3.1).

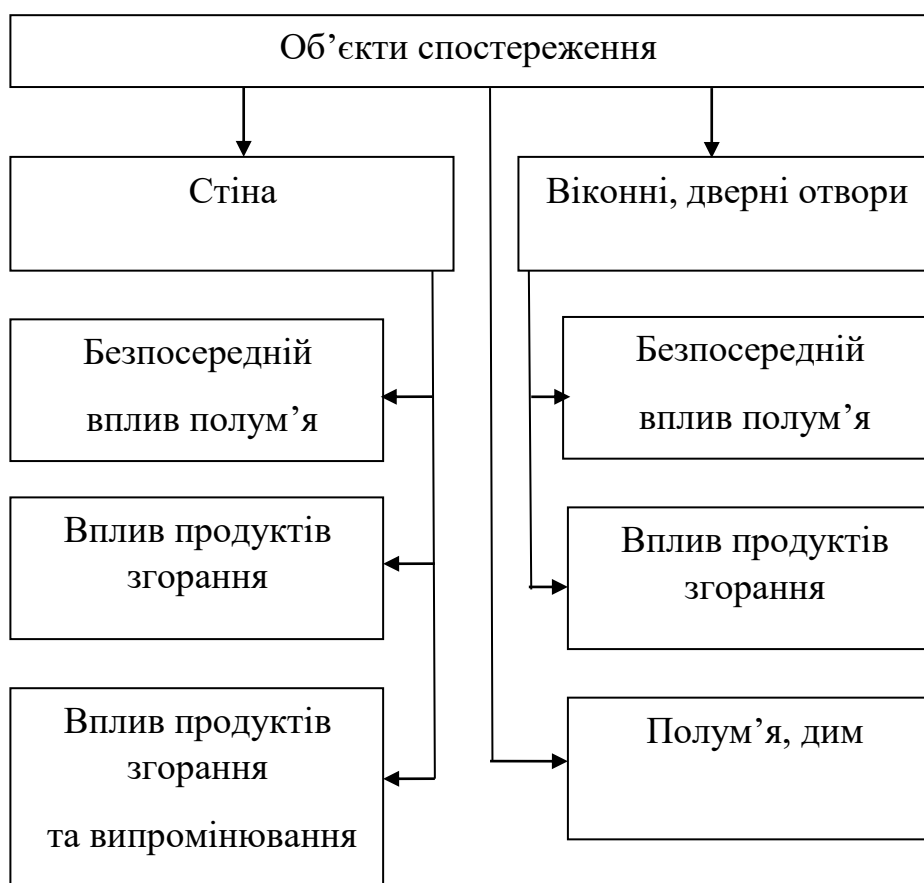


Рис. 3.1. Об'єкти спостереження при пожежі за допомогою тепловізора

Таким чином, можна розглядати як первинні ознаки пожежі через віконні, дверні та інші отвори, а також вторинні – наслідки впливу підвищених температур на огорожувальні конструкції. При цьому основними елементами, за якими можна спостерігати за допомогою тепловізора, є стіни, віконні, дверні отвори і, безпосередньо, полум'я і дим.

Очевидно, що дослідження температури огорожувальних конструкцій (стіл) є більш інерційним, ніж дослідження через віконні, дверні отвори, на які впливають теплофізичні характеристики даних елементів.

3.1. Аналіз вивченості досліджень температурних полів зовнішніх конструкцій будівель в умовах пожежі

Температура зовнішньої стінки конструкцій будівель залежить від температури всередині приміщення [84 - 86], температури поза приміщенням [87 - 88], теплотехнічних характеристик конструкцій і параметрів теплообміну [87, 89, 90].

Існує ряд робіт, присвячених вивченню температурного режиму пожежі в приміщенні [91 - 94].

Велика кількість моделей пояснюється різними типами обмежень і припущень, що накладаються при їх застосуванні. В основному, для інтегральних і зонних моделей застосовується стаціонарність умов горіння. В [96] розглядається інтегральна модель динаміки температури в приміщенні на початковій стадії пожежі за припущення, що питома масова швидкість вигорання є постійною величиною. У той же час у [97] показано, що величина питомої масової швидкості вигорання вуглеводнів змінюється приблизно в два рази на початковому етапі пожежі. Разом з цим, ряд робіт говорить про нестаціонарний характер усіх фізико-хімічних процесів у початковій стадії пожежі в приміщенні [91].

У [62] отримано математичну модель для визначення температури в будь-якій точці закритого приміщення при пожежі (рис. 3.2)

$$T_i = T_{tg} \frac{C_t \cdot G^{0,28} \cdot \tau_{sg}^{0,218} \cdot Z^{1,116+0,105 \ln(z)} \cdot S_n^{0,24}}{x^{0,479}}, \quad (3.1)$$

де T_{tg} – температура горіння, °С; G — пожежне навантаження, кг/м²; τ_{sg} – час вільного горіння, хв.; Z – висота, на якій визначається температура, м; S_n – площа пожежі, м²; x – відстань, на якій визначається температура, м; C_t – коефіцієнт пропорційності, $C_t = 0,0172 \text{ хв}^{0,218} \cdot \text{кг}^{0,28} \cdot \text{м}^{-0,557}$.

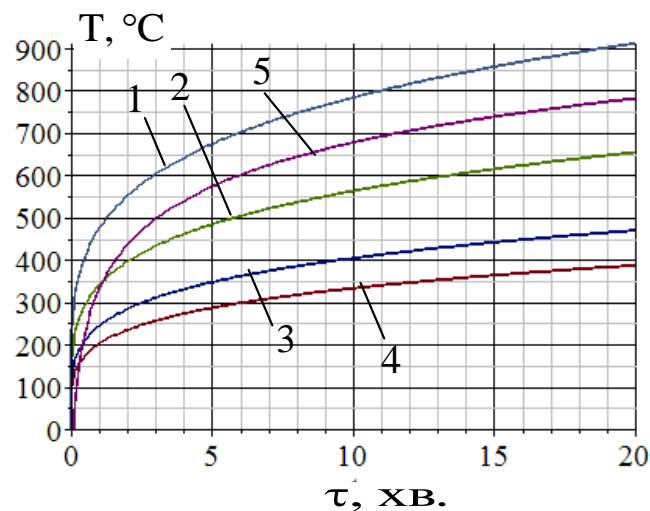


Рис. 3.2 Залежність температури в локальній точці приміщення при $Z=2,5$ м: 1 – $x=0,25$ м; 2 – $x=0,5$ м; 3 – $x=1$ м; 4 – $x=1,5$ м; 5 – «стандартна температурна крива»

Аналіз рисунка показує, що дана модель в шарі поблизу стелі (крива 1) дає значення температури вище значень стандартного температурного режиму пожежі на 10-20%.

у [88] локальне значення температури середовища в приміщенні під час пожежі для будь-якого моменту часу τ визначалося відповідно

$$T_{x,y,\tau} = T_{m,\tau} \left(0,8 + \frac{0,2y}{0,5H} \right) \cdot \left(1,33 - \frac{x}{2x + 0,5 \cdot \ell} \right), \quad (3.2)$$

де $T_{m,\tau}$ – середньо об'ємна температура в приміщенні, °C; H, L – висота і довжина приміщення, м; x, y – відстань від границі горіння і від підлоги, м.

У [91] розглянуто базову системну модель початкової стадії пожежі з урахуванням негерметичності приміщення. Авторами наведено результати системного аналізу зміни середньооб'ємної температури газового середовища.

Досить часто при аналізі пожеж, проведенні досліджень на вогнестійкість і тощо, оперують стандартним температурним режимом під час пожежі. Тоді залежність середньооб'ємної температури можна записати у вигляді [63]

$$T = 345 \cdot \lg(8 \cdot \tau + 1) + T_0, \quad (3.3)$$

де T_0 – початкова температура в приміщенні; τ – тривалість пожежі.

У роботах [87, 58] розподіл температур в приміщенні

$$T = \frac{T_{\text{ср}}}{1 + a(1 - 2z/H)}, \quad (3.4)$$

де $a = f(T_m)$ – експериментальний безрозмірний коефіцієнт.

Аналіз залежностей (3.1), (3.2) і (3.4) показує, що результати розрахунків за даними моделям можуть мати відхилення більше 100% (рис. 3.3).

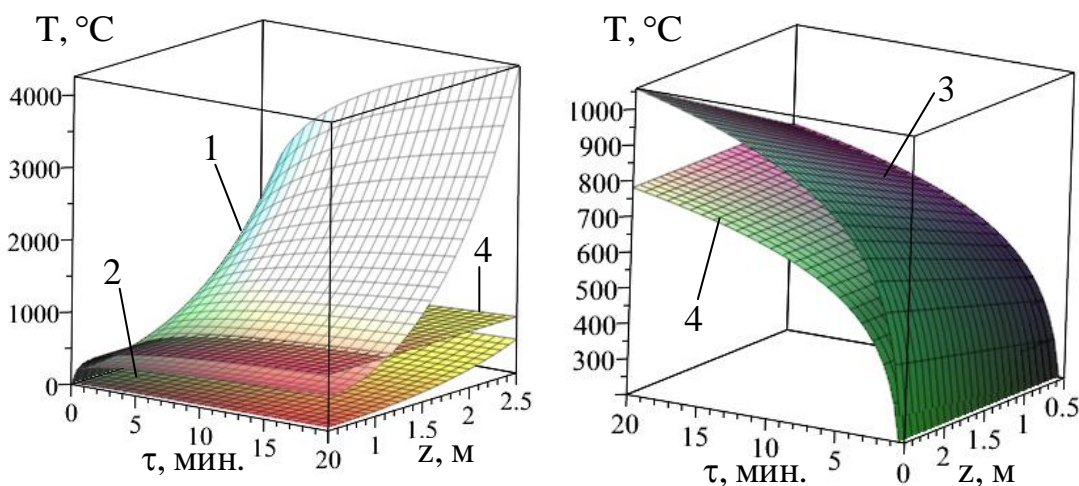


Рис. 3.3. Залежність температури в приміщенні від висоти точки вимірювання і часу: 1 - $x = 0,01$ м (3.2); 2 - $x = 1$ м (3.2); 3 - $x = 1$ м (3.4); 4 - стандартна температурний режим під час пожежі

Слід також зазначити різний характер зміни температури зі зростанням z (степеневий і лінійний).

У [58] представлено результати чисельного експерименту з розвитку пожежі в залі кінотеатру з використанням польової (диференціальної) математичної моделі розрахунку тепломасообміну (рис. 3.4, рис. 3.5).

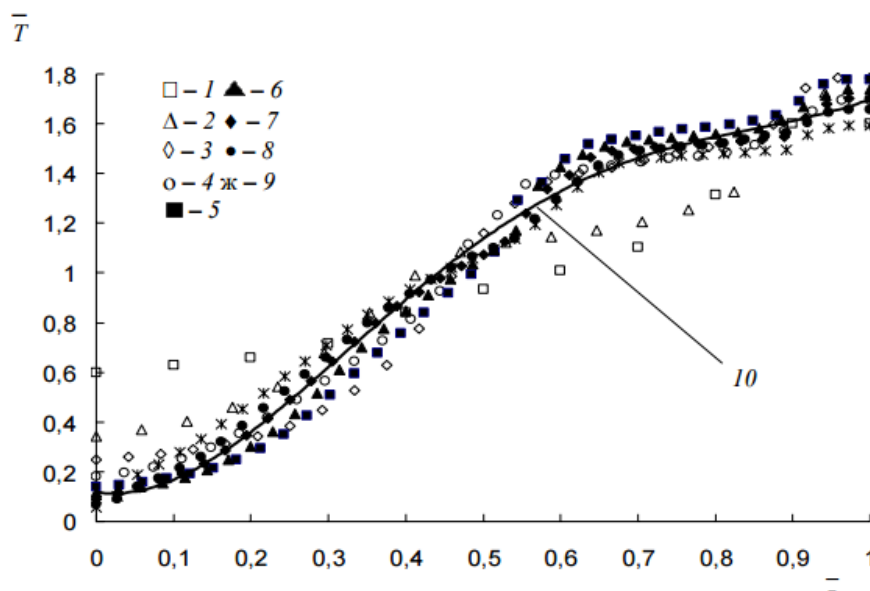


Рис. 3.4. Розподіл температур по товщині шару біля стелі в різні моменти часу [58]: 1 - 120 с.; 2 - 180 с.; 3 - 240 с.; 4 - 300 с.; 5 - 360 с.; 6 - 420 с.; 7 - 480 с.; 8 - 540 с.; 9 - 600 с.; 10 - апроксимуюча крива

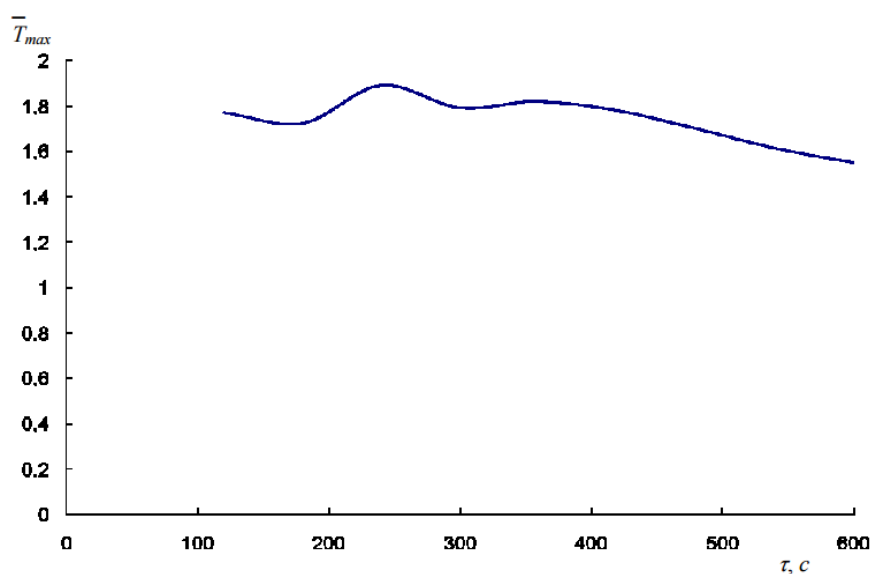


Рис. 3.5. Залежності співвідношення максимальної температури шару біля стелі до його середній температурі від часу з початку пожежі [58]

Аналіз малюнків показує, що градієнти температури по товщині нагрітого шару біля стелі є суттєвими.

Таким чином, встановлено, що роботи, присвячені розвитку пожеж у приміщеннях, приділяють увагу здебільшого лише температурі газового середовища, вогнестійкості конструкцій і не розглядають процес впливу пожежі на зовнішню поверхню огорожувальних конструкцій, і, як наслідок, на можливі покази тепловізорів.

3.2. Визначення температури зовнішніх конструкцій будівель в умовах пожежі

Температура зовнішніх поверхонь конструкцій, від якої залежить можливість визначення пожежі за допомогою тепловізора (рис. 3.6), буде залежати від величини температури в приміщенні, характеру її зміни, властивостей матеріалу стіни й інших параметрів.

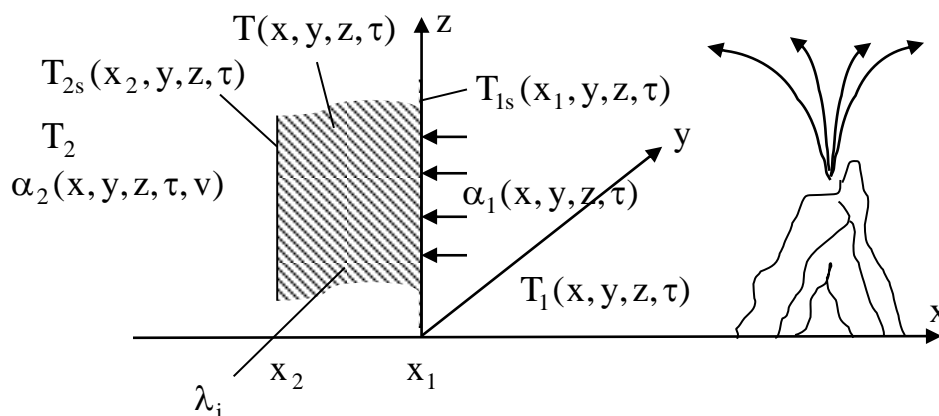


Рис. 3.6. Схема приміщення і пожежі в ньому: $T_1(x, y, z, \tau)$, T_2 – температура всередині приміщення і зовнішнього середовища; $T_{1s}(x_1, y, z, \tau)$, $T_{2s}(x_2, y, z, \tau)$ – температура внутрішньої і зовнішньої поверхні стіни; $\alpha_1(x, y, z, \tau)$, $\alpha_2(x, y, z, \tau)$ – коефіцієнт тепловіддачі біля внутрішньої і зовнішньої поверхні стіни; λ_i – коефіцієнти теплопровідності конструкції стіни, утеплювача, оздоблювального матеріалу ($i=1..n$)

У разі виникнення пожежі відбувається зміна температури всередині приміщення, що спричиняє зміну параметрів стіни відповідно до виразу [92, 93, 95]

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a_{st} \cdot \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right], \quad (3.5)$$

де a_{st} – коефіцієнт теплопровідності стіни, m^2/c .

Характер теплообміну в даному випадку доцільно описати граничними умовами третього роду на зовнішній і на внутрішній поверхні стіни

$$\lambda_{st2} \frac{\partial T_{2s}(x_2, y, z, \tau)}{\partial x} = \alpha_2 \cdot (T_{2s}(x_2, y, z, \tau) - T_2); \quad (3.6)$$

$$\lambda_{st1} \frac{\partial T_{1s}(x_1, y, z, \tau)}{\partial x} = \alpha_1 \cdot (T_1(x_1, y, z, \tau) - T_{1s}(x_1, y, z, \tau)). \quad (3.7)$$

Початкові умови можна записати в наступному вигляді [89]

$$T(x, 0)|_{x \in [x_1; x_2]} = f(x, T_{0vs}, T_0, \lambda_i), \quad (3.8)$$

$$T_1(x_1, 0) = T_0, \quad (3.9)$$

$$T_2(x_2, 0) = T_{0vs}, \quad (3.10)$$

де T_{0vs} – початкова температура зовнішнього середовища, $^{\circ}C$.

Залежність (3.8), що характеризує розподіл температури в стіні до початку пожежі, залежить від характеристик стіни, а також від величини температури на зовнішній та внутрішній поверхні.

3.2.1. Математична модель температурних полів зовнішніх непрозорих конструкцій будівель в умовах пожежі

При аналізі швидкості прогріву стінки будівлі, а, відповідно, і температури, слід враховувати, що використовувані матеріали можуть мати характеристики в досить широкому діапазоні. У таблиці 3.1 наведено характеристики деяких будівельних матеріалів.

З таблиці видно, що теплопровідність матеріалів може відрізнятись в десятки разів.

Одним з параметрів, що впливає на швидкість передачі тепла, є коефіцієнт тепловіддачі всередині і поза приміщенням.

У роботі [89], на основі методів подібності, коефіцієнт тепловіддачі для будівель запропоновано визначати відповідно до

$$\alpha_2 = 5,07 \frac{v^{0,8}}{\ell^{0,2}}, \quad (3.11)$$

де v – швидкість вітру, м/с, ℓ – характерний розмір, м.

У разі, якщо невідомі розміри будівель, то коефіцієнт тепловіддачі можна визначати виходячи з виразу

$$\alpha_2 = 5,07v^{0,656} + 3,25e^{-1,91v}. \quad (3.12)$$

У [99] на основі експериментальних і теоретичних досліджень, отримані значення коефіцієнта тепловіддачі для температурного режиму

стандартної пожежі. Показано, що його величина знаходиться в інтервалі від 114 до 260 Вт/(м²К).

Таблиця 3.1.

Характеристики стінових матеріалів [84, 86]

Матеріал	Щільність, ρ кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м °С)
Керамзитобетон	1 000	0,33
Керамзитопінобетон	800	0,21
Газосилікат	600	0,14
Газобетон	400	0,10
Пінобетон	700	0,16
Цегла силікатна	1 800	0,70
Цегла керамічна	1 800	0,56
Базальтові плити	250	0,052
Базальтовий утеплювач	100	0,037
Пінопласт	25	0,036
Пінокераміка	300	0,085
Ракушняк	1 200 — 1 800	0,46 — 0,73
Шлакоблок	1 200	0,47
Деревина	500	0,09

Виходячи з робіт [85-86] у [84] для розрахунку коефіцієнта конвективного теплообміну в приміщенні для вертикальних огорожуювальних конструкцій отримана залежність

$$\alpha_1 = 1,66\Delta T^{1/3}. \quad (3.13)$$

При зміні температури в будь-якому напрямку від 20 °С, для яких отримана дана залежність, коефіцієнти у формулах зміняться в бік зменшення на 1% при збільшенні температури повітря на 10 °С і навпаки [86]. Тоді вираз (3.13) можна переписати у вигляді

$$\alpha_1 = 1,66 \cdot (1 + 10^{-3}(T_{1s} - 20)) \cdot \Delta T^{1/3}. \quad (3.14)$$

На рис. 3.7 наведені залежності коефіцієнтів тепловіддачі на зовнішній і внутрішній поверхні стіни будівлі [103].

Аналіз виразів і малюнків показує, що коефіцієнт тепловіддачі всередині приміщення практично не залежить від температури повітряного середовища на початковому етапі і залежить лише від різниці температур.

Окрім того, встановлено, що при визначенні коефіцієнта тепловіддачі зовні приміщення вирази (3.11) і (3.12) дозволяють отримувати значення з різницею до 30%.

Для оцінки впливу коефіцієнта випромінювання ε на значення температури сірих тіл, без урахування випромінювання навколишніх об'єктів, допустимо застосувати залежність [3-7]

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{4} \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}. \quad (3.15)$$

Коефіцієнти випромінювання будівельних матеріалів, за якими, в більшості випадків, визначається температура, можна представити у вигляді табл. 3.2.

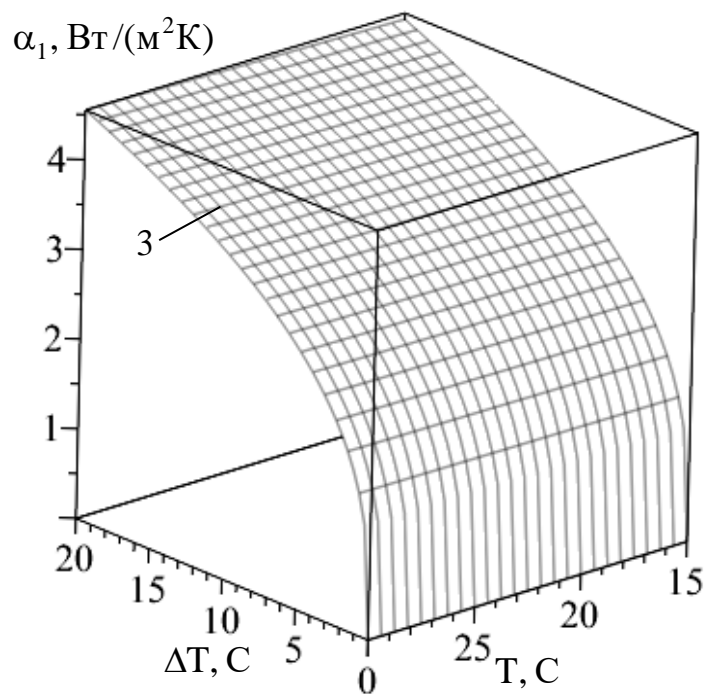
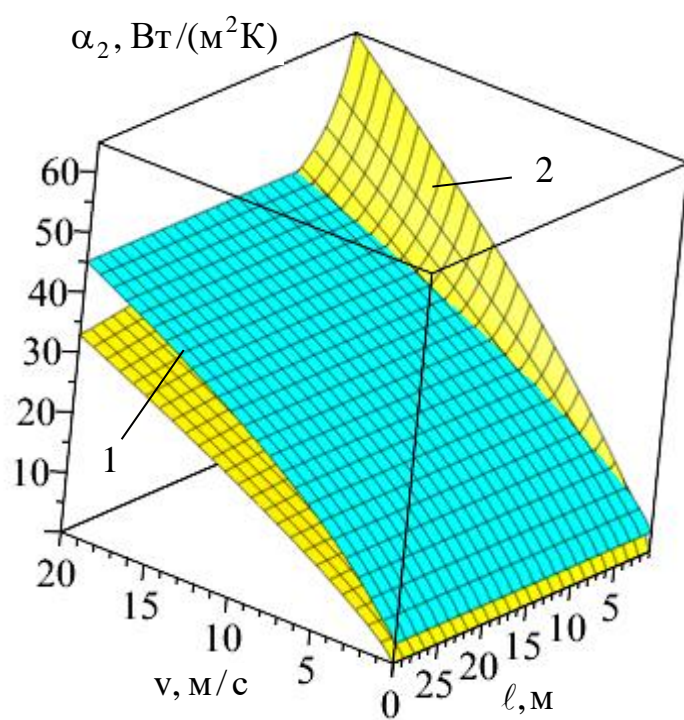


Рис. 3.7. Залежність коефіцієнтів тепловіддачі на зовнішній і внутрішній поверхні стіни будівлі: 1 - (3.12); 2 - (3.11); 3 - (3.14)

Таблиця 3.2.

Значення коефіцієнтів випромінювання [4-7]

Матеріал	Коефіцієнт випромінювання
Алюміній	0,04-0,19
Біла шпаклівка	0,88
Гіпсова штукатурка	0,90
Листова сталь	0,50-0,60
Масляна сіра глянцева фарба	0,96
Масляна сіра матова фарба	0,97
Масляна чорна глянцева фарба	0,92
Масляна чорна матова фарба	0,94
Матовий лак	0,93
Лицьова червона цегла	0,92
Оцинковане листове залізо	0,23-0,28
Сіра штукатурка	0,92

Аналіз виразу (3.15) дозволяє зробити висновок, що похибка визначення температури при незнанні типу матеріалу може становити більше 10 °С.

Враховуючи, що геометричні розміри будівель (приміщень), а саме ширина і висота, найчастіше в десятки, сотні разів вище, ніж товщина, розглянемо задачу передачі тепла як одновимірну [84, 85, 57]. Тоді, у разі виникнення пожежі, відбувається зміна температури всередині приміщення, що призводить до зміни параметрів стіни відповідно до виразу

$$\frac{\partial}{\partial \tau} T(x, \tau) = a_{st} \cdot \frac{\partial^2}{\partial x^2} T(x, \tau), \quad (3.16)$$

де a_{st} – коефіцієнт теплопровідності стіни; $T(x, \tau)$ – значення температури на відстані x від внутрішньої сторони стіни в момент часу τ .

Тоді математичну модель (3.16) з опису впливу небезпечних факторів пожежі і типу матеріалу стін на покази тепловізора, з урахуванням граничних умов третього роду (3.6)–(3.10), (3.12), (3.14) та зміни температури всередині приміщення відповідно до стандартного температурного режиму пожежі, можна записати у вигляді [102-109]

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial \tau} T(x, \tau) = a_{st} \cdot \frac{\partial^2}{\partial x^2} T(x, \tau); \\ \lambda_{st1} \frac{\partial}{\partial x} T(x, \tau) \Big|_{x=x_1} = 1,66 \cdot (1 + 10^{-3}(T_{1s} - 20)) \cdot \Delta T^{1/3} (T_{1s} - T_1); \\ \lambda_{st2} \frac{\partial}{\partial x} T(x, \tau) \Big|_{x=x_2} = \left(5,07 v^{0,656} + 3,25 e^{-1,91v} \right) (T_{vs} - T_2); \\ T(x, 0) = T_0; T_1 = 345 \cdot \lg(8 \cdot \tau + 1) + T_0; \\ \lambda = \frac{0,002899}{T_{vs}}; r(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k T_{vs}}} - 1}; \\ \frac{\Delta T}{T_2} = \frac{1}{4} \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}. \end{array} \right. \quad (3.17)$$

Початкові умови, а саме розподіл температури в стіні, визначався теж на основі даної моделі при $\tau \rightarrow \infty$.

3.2.2. Алгоритм визначення температури зовнішньої поверхні стіни

З метою визначення характеристик стінки під час впливу небезпечних факторів пожежі, в тому числі рішення рівняння (3.17), розіб'ємо інтервал часу від 0 до τ на N інтервалів τ_{int} , з умовою, що рішення задачі на інтервалі часу $(n \cdot \tau_{\text{int}} \div (n + 1) \cdot \tau_{\text{int}})$ дозволить визначити початкові умови для вирішення задачі нестационарної теплопровідності на інтервалі $((n + 1) \cdot \tau_{\text{int}} \div (n + 2) \cdot \tau_{\text{int}})$.

На рис. 3.8 наведено алгоритм роботи програми з розрахунку температури зовнішньої стінки будівлі в умовах пожежі.

Блок «А» - початок роботи програми.

Введення вихідних даних: $T(r, 0)$ - значення температури на інтервалі; $x \in (x_1, x_2)$; $T(x_1, \tau)$, $T(x_2, \tau)$ - значення температури на межах стіни; T_1 , T_{2s} - температура всередині приміщення і температура зовнішньої поверхні стіни; $\alpha_{\text{st}}(T)$, $\lambda_{\text{st}}(T)$ - залежність температуропровідності і теплопровідності матеріалу стіни; α_1 , α_2 - коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній і зовнішній поверхні стіни; $\tau_{\text{заг}}$ - час, по закінченні якого необхідно визначити температуру стінки; τ_{int} - відрізок часу, на якому виконується рішення диференціального рівняння.

Визначення кількості циклів

$$N = \frac{\tau_{\text{общ}}}{\tau_{\text{int}}}. \quad (3.18)$$

Блок «В» - організація циклу.

Блок «С» - рішення диференціального рівняння (3.17). Отримання залежності $T(x, \tau_{\text{int}})$, визначення $\frac{\partial}{\partial r} T(x_2, \tau_{\text{int}})$.

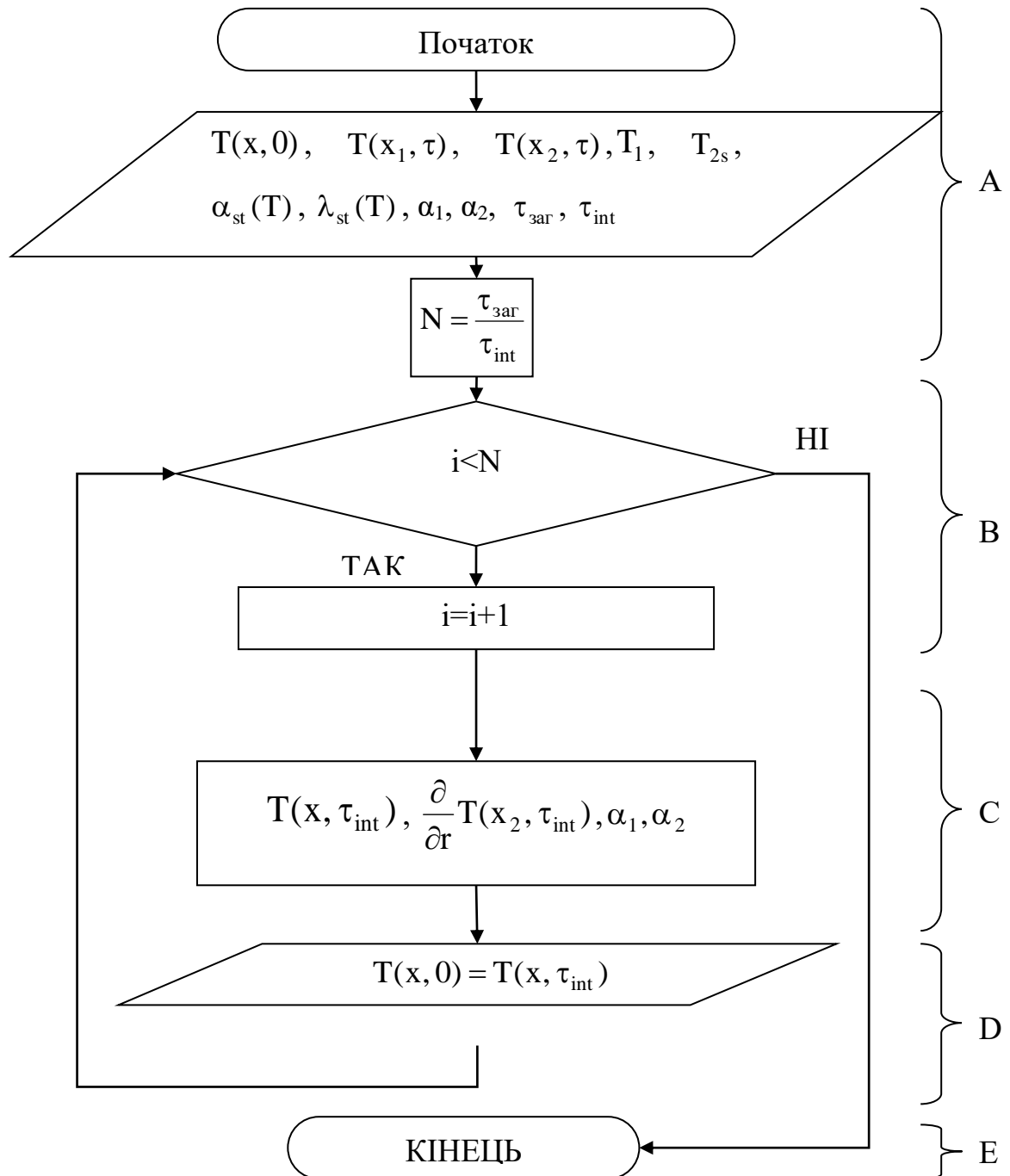


Рис. 3.8 Алгоритм роботи програми з визначення температури зовнішньої поверхні стінки

Блок «D» - визначення граничних і початкових умов на наступний ЦИКЛ

$$\frac{\partial}{\partial r} T(x_2, \tau) = \frac{\alpha_2 (T_2 - T_{2s})}{\lambda_{st}(T)}, \quad (3.19)$$

$$T(r, 0) = T(r, \tau_{int}). \quad (3.20)$$

Крім цього, визначаються коефіцієнти тепловіддачі α_1, α_2 .

Блок «Е» - Закінчення роботи програми, виведення результатів.

Таким чином, відповідно до алгоритму (рис. 3.8), визначається температура зовнішньої поверхні стінки.

Кількість інтервалів N обиралася таким чином, щоб $\tau_{int}=6$ с. Сучасних можливостей комп'ютерної техніки достатньо для вирішення задачі з такою дискретністю. На кожному етапі рішення задачі час τ_{int} розбивався на 50 інтервалів та ширина стінки на 100 інтервалів.

3.3. Оцінка впливу умов теплообміну та характеристик стін приміщення на показання тепловізора

Не дивлячись на залежність коефіцієнту тепловіддачі (3.14), яка наведена на рис. 3.9, слід відзначити, що його величина може змінюватися в широкому діапазоні значень. Так, при проведенні досліджень на вогнестійкість, використовують значення $25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ [99].

У [99] на основі експериментальних і теоретичних досліджень, отримано значення коефіцієнта тепловіддачі для температурного режиму стандартної пожежі. При цьому встановлено, що величина коефіцієнта може сягати $300 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, а також відрізнятися залежно від дослідження більше, ніж на 50%.

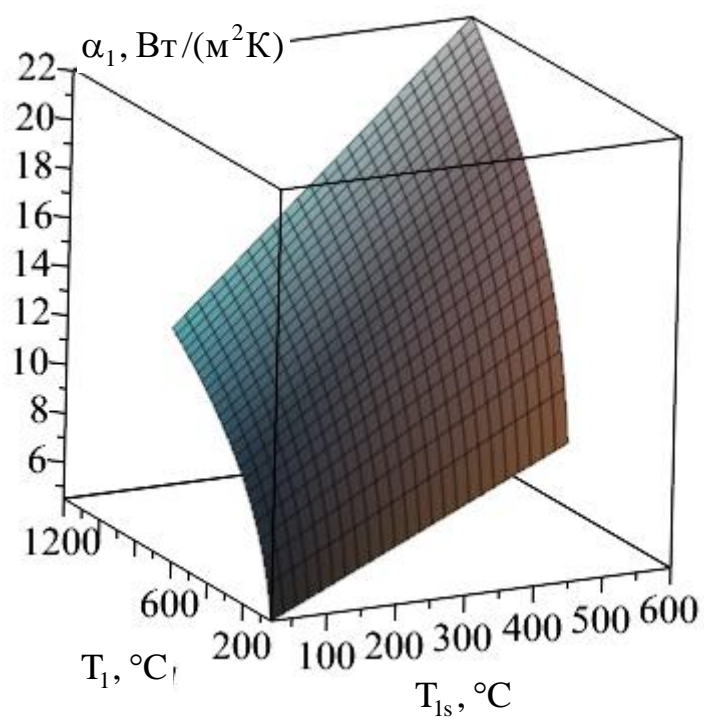


Рис. 3.9. Залежність коефіцієнту тепловіддачі від температур

На рис. 3.10 та рис. 3.11 відповідно до (3.17), наведено графіки температури в перерізі стіни від часу.

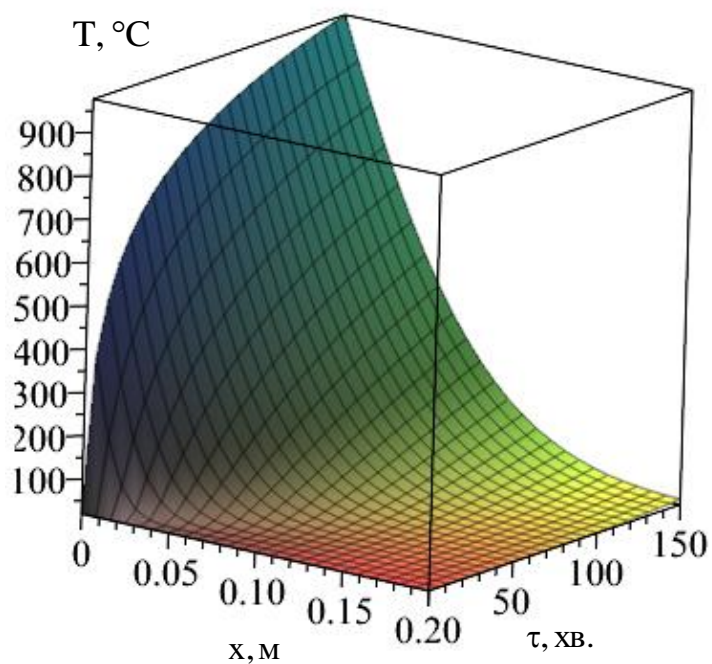


Рис. 3.10. Залежність температури в перерізі стіни від часу

Аналіз рис. 3.11 показав, що криві 1-4 та 5-8 мають схожий характер змін, у результаті чого було отримано залежність, яка пов'язує між собою зовнішню температуру, температуру стінки на зовнішній поверхні та коефіцієнт тепловіддачі всередині приміщення

$$T^*(\tau) = \frac{T_{2s}(\tau, \alpha_1, \alpha_2, T_1, T_2) - T_2}{\alpha_1^{0.5}}, \quad (3.21)$$

Відповідно до (3.21) на рис. 3.12 наведені залежності $T^*(\tau)$ від часу при різних величинах зовнішньої температури.

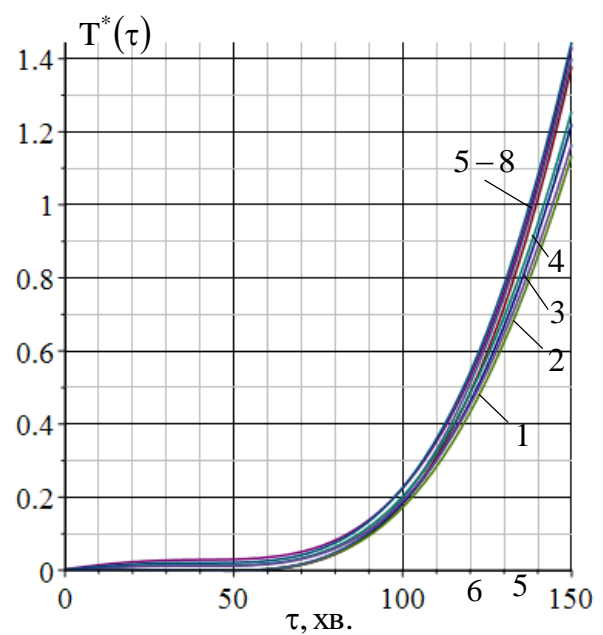
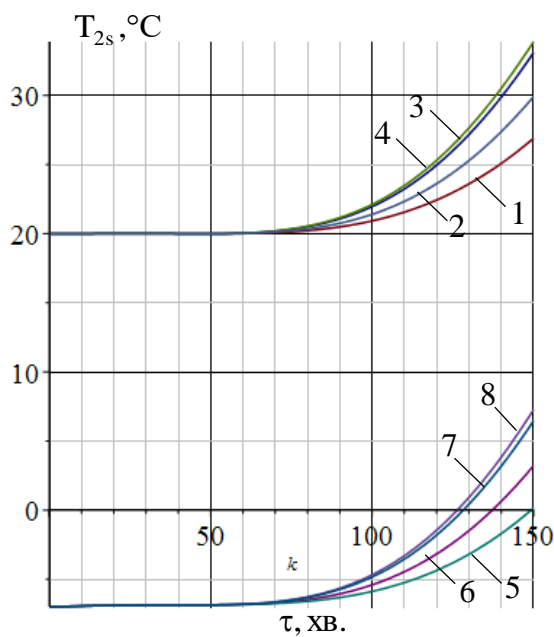


Рис. 3.11. Залежність температури зовнішньої поверхні стіни від часу: 1, 5 – $\alpha_1=25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 2, 6 – $\alpha_1=50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 3, 7 – $\alpha_1=115 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 4, 8 – $\alpha_1=150 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 1–4 – $T_2=20^\circ\text{C}$; 5–8 – $T_2=-20^\circ\text{C}$

Рис. 3.12 . Залежність $T^*(\tau)$ від часу: 1, 5 – $\alpha_1=25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 2, 6 – $\alpha_1=50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 3, 7 – $\alpha_1=115 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 4, 8 – $\alpha_1=150 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 1–4 – $T_2=20^\circ\text{C}$; 5–8 – $T_2=-20^\circ\text{C}$

Аналіз рис. 3.11 – 3.12 показує, що майже до години часу, за заданих теплотехнічних характеристик стіни, практично відсутня різниця в величині температури на зовнішній поверхні стінки. При цьому зміна режиму теплообміну в приміщенні, а саме коефіцієнту теплообміну на 100÷200% призводить, до збільшення зовнішньої температури на 12÷14%.

На рис.3.13 наведено усереднені значення $T^*(\tau)$, які визначалися як

$$T_s^*(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N T^*(\tau, \alpha_{2(i)})}{N}. \quad (3.18)$$

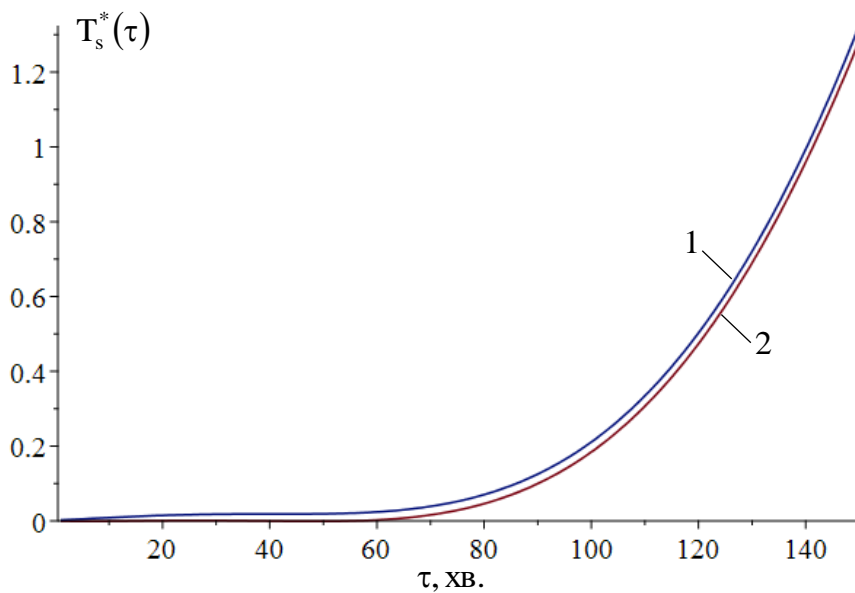


Рис. 3.13. Залежність усереднених значень $T^*(\tau)$ від часу: 1 – $T_2=20^\circ\text{C}$; 2 – $T_2=-20^\circ\text{C}$

Аналіз рисунку показує, що при зміні T_2 на 10%, $T_s^*(\tau)$ змінюється менше ніж на відсоток. Таким чином, можна говорити про інваріантність величини $T_s^*(\tau)$ до T_2 . Дану особливість можна використати при дослідженні пожеж та їх наслідків, а також при рішенні оберненої задачі теплопровідності.

Покази тепловізора залежать і від геометричних параметрів огорожувальних конструкцій, а саме від товщини даної конструкції. У зв'язку з цим слід дослідити дане питання [57].

Товщина зовнішніх несучих стін з цегли, зазвичай, становить від 380 мм до 640 мм. При багатоповерховому будівництві допускається зменшувати товщину несучих зовнішніх стін по висоті. Зниження коефіцієнту теплового опору компенсується за рахунок більшого шару теплоізоляції. Товщина стін з газобетону може бути від 250 мм до 600 мм.

У більшості багатоквартирних будівель в якості зовнішніх стін використані керамзитобетонні одношарові панелі товщиною 350 мм. Вони мають як несучу здатність, так і енергозберігаючу.

Розглядаючи промислові та складські будівлі і споруди, де в якості огорожувальних конструкцій можуть бути використані металоконструкції, SIP панелі, сендвіч панелі, слід брати до уваги, що товщина може знаходитись в інтервалі від міліметра до кількох сотень міліметрів.

Одним із перспективних матеріалів є сендвіч панелі, які знаходять все більш широке застосування в будівництві будівель та споруд. Стінові та покрівельні сендвіч панелі мають тришарову структуру. Складаються вони з двох металевих листів і утеплювача. При цьому товщина може варіюватися в інтервалі від 50 мм до 250 мм.

На рис. 3.14 наведено залежності температури на зовнішній поверхні стіни від часу при різних умовах теплообміну.

Аналіз рисунку показує, що швидкість прогріву стінки може змінюватися майже на 50% при зміні товщини стінки лише на 20÷25%. У зв'язку з цим, при визначенні місця пожежі за допомогою тепловізора, суттєвим фактором, що може вплинути на правильність результату, є в тому числі й геометричні параметри стінки.

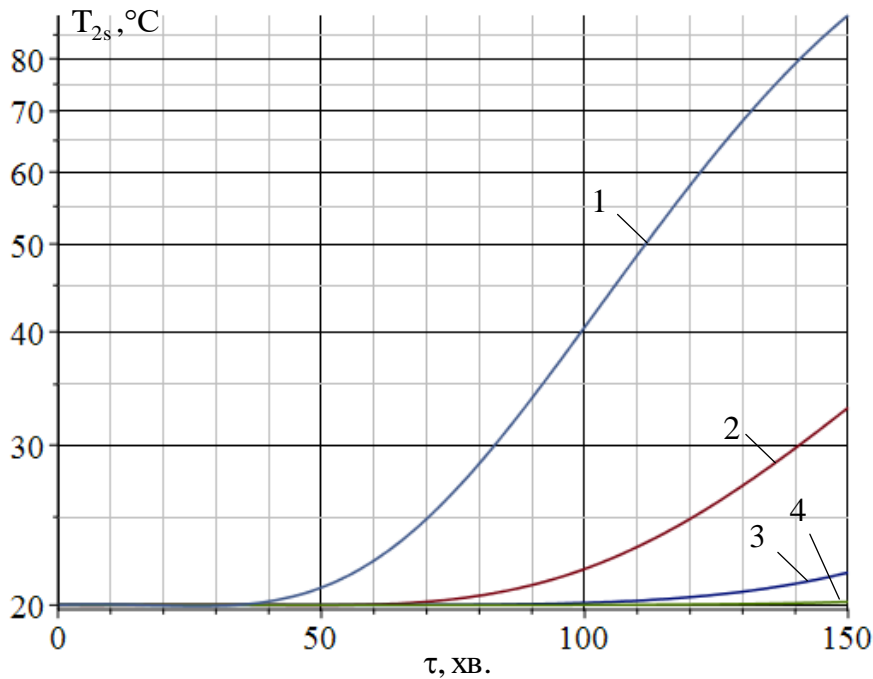


Рис. 3.14. Залежність температури на зовнішній поверхні стіни від часу при різних умовах теплообміну: 1 – $b=0,15$ м.; 2 – $b=0,2$ м.; 3 – $b=0,25$ м.; 4 – $b=0,3$ м.

Іншим елементом огорожувальних конструкцій будівель є віконні отвори. Як відомо [3-6], інфрачервоне випромінювання майже не проходить через скло, тому зробити висновки про наявність підвищеної температури в приміщенні можна лише за рахунок нагрівання скла з зовнішнього боку вікна.

Оскільки конструкція склопакетів направлена на мінімізацію передачі тепла за рахунок конвекції, що досягається шляхом встановлення відповідних відстаней між склом, то в подальшому проведені розрахунки за допущення щодо нагрівання зовнішнього боку склопакету відбувається лише за рахунок теплопровідності [110, 111]. На рис. 3.15 наведена схема склопакету та передачі тепла крізь нього.

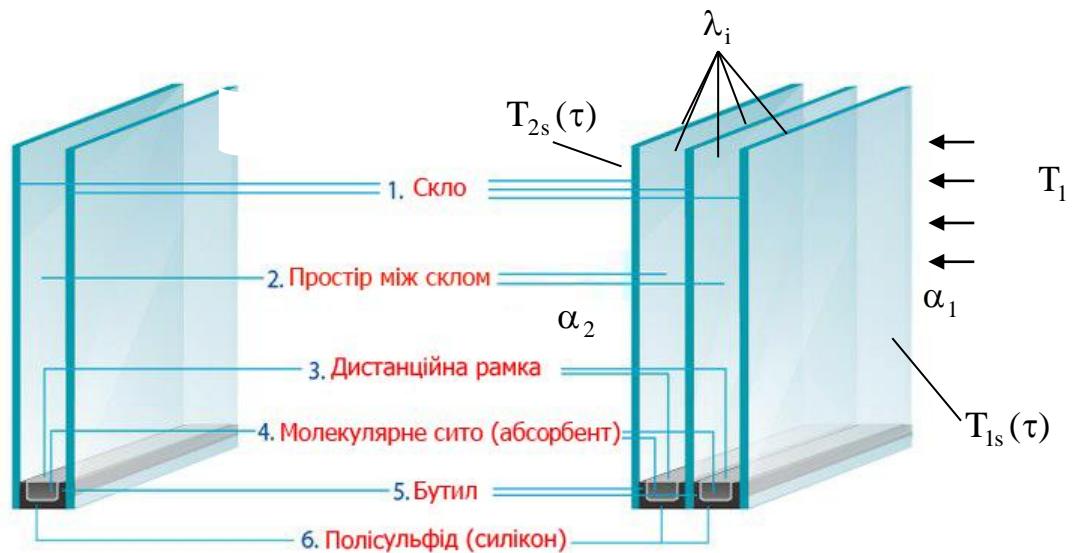


Рис. 3.15. Схема склопакету та передачі тепла крізь нього

У результаті рішення рівняння (3.17) для склопакету було отримано залежності температури на зовнішній поверхні склопакету від часу за стандартного температурного режиму пожежі (рис. 3.16).

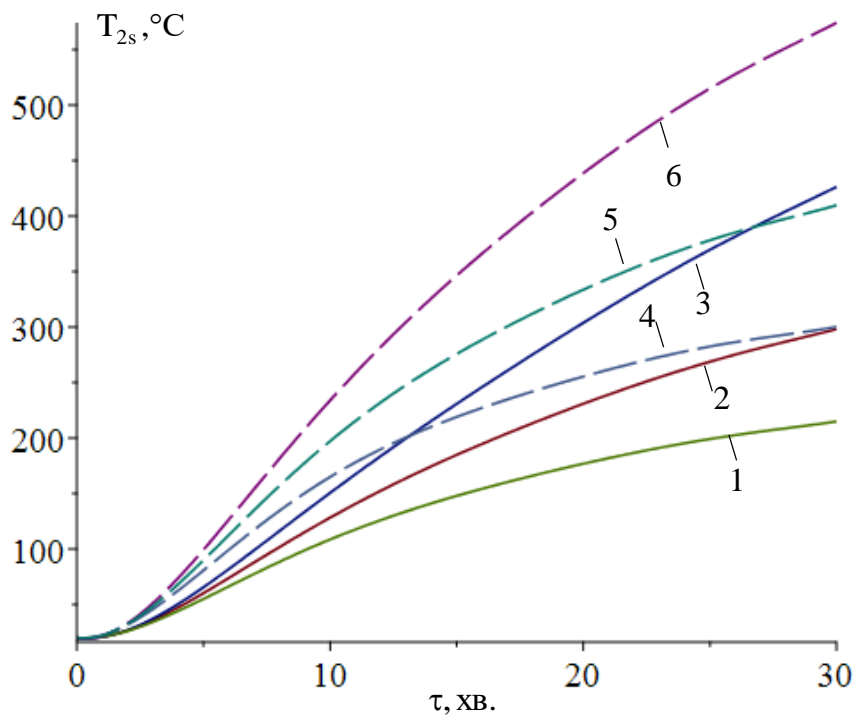


Рис. 3.16. Залежність температури зовнішньої поверхні від часу: 1, 4 – $\alpha_2=50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 2, 5 – $\alpha_2=25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 3, 6 – $\alpha_2=5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 1-3 – $\alpha_1=25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 4-6 – $\alpha_1=50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$

Аналіз рисунку показує, що на момент прибуття пожежних підрозділів (2 хв та більше), незалежно від умов теплообміну підвищення температури на сучасних склопакетах буде достатнім для ідентифікації пожежі за результатами термограм.

3.4. Оцінка впливу характеристик стіни на показання тепловізорів за стаціонарних умов

Сьогоднішня ситуація зі зростанням вартості енергоресурсів призводить до того, що в будівлях проводяться реконструкції, ремонтні роботи з утеплення, які досить часто є несанкціонованими. У зв'язку з цим необхідно враховувати, що будівлі можуть мати конструктивні зміни, які суттєво впливатимуть на їх характеристики [105].

Розглянемо випадок із впливом температури в приміщенні на глухі стіни будівлі і на покази тепловізорів виходячи з різних характеристик стіни. На рис. 3.17 схематично зображено конструкції зовнішньої стіни багатоповерхового будинку до і після внесення змін.

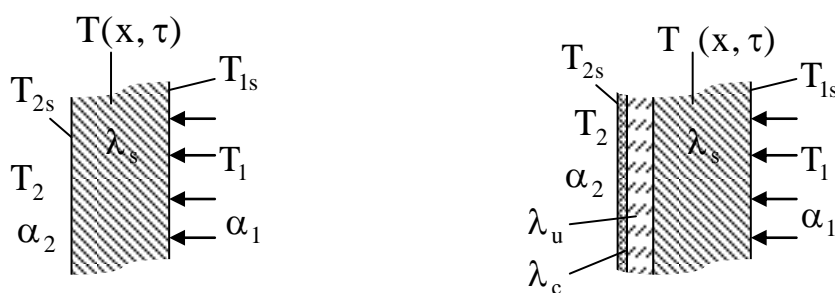


Рис. 3.17. Схема конструкції стіни до і після утеплення теплоізоляційними матеріалами: T_1 , T_2 - температура всередині приміщення і зовнішнього середовища; T_{1s} , T_{2s} - температура внутрішньої і зовнішньої поверхні стіни; α_1 , α_2 - коефіцієнт тепловіддачі у внутрішній і зовнішній поверхні стіни; λ_s , λ_c , λ_u - коефіцієнти теплопровідності конструкції стіни, утеплювача, оздоблювального матеріалу

За відсутності пожежі або на початковій її стадії температурний режим стінки знаходиться в стаціонарному режимі. Тоді температура зовнішньої поверхні стінки буде залежати від:

- температури в приміщенні і навколишнього середовища;
- коефіцієнтів тепловіддачі;
- характеристик стіни.

При цьому її температура і випромінювальна здатність будуть визначатися системою рівнянь [105]

$$\left\{ \begin{array}{l} q_1 = \alpha_2 \cdot (T_{2s} - T_2); q_2 = \alpha_1 \cdot (T_1 - T_{1s}); \\ q_3 = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \right]^{-1} \cdot (T_{1s} - T_{2s}); \\ q_1 = q_2 = q_3 = \text{const}; \\ \alpha_1 = 1,66\Delta T^{1/3}; \\ \alpha_2 = 5,07v^{0,656} + 3,25e^{-1,91v}; \\ \lambda = \frac{0,002899}{T_{2s}}; r(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k T_{2s}}} - 1}. \end{array} \right. \quad (3.23)$$

На рис. 3.18, відповідно до (3.23), наведено залежності температури поверхні стін будівлі від швидкості вітру при різних значеннях T_1 і характеристиках стіни. Криві 2, 3, 4 побудовані за умови стаціонарних температур у приміщенні 150°C та 400°C .

Аналіз рисунку показує, що температура зовнішньої поверхні стінки істотно змінюється при швидкостях вітру менше 5 м/с. Крім того, при

великих швидкостях вітру (вище 10 м / с) практично повністю зникає різниця в температурному режимі стіни при зміні T_1 і теплотехнічних характеристик стіни.

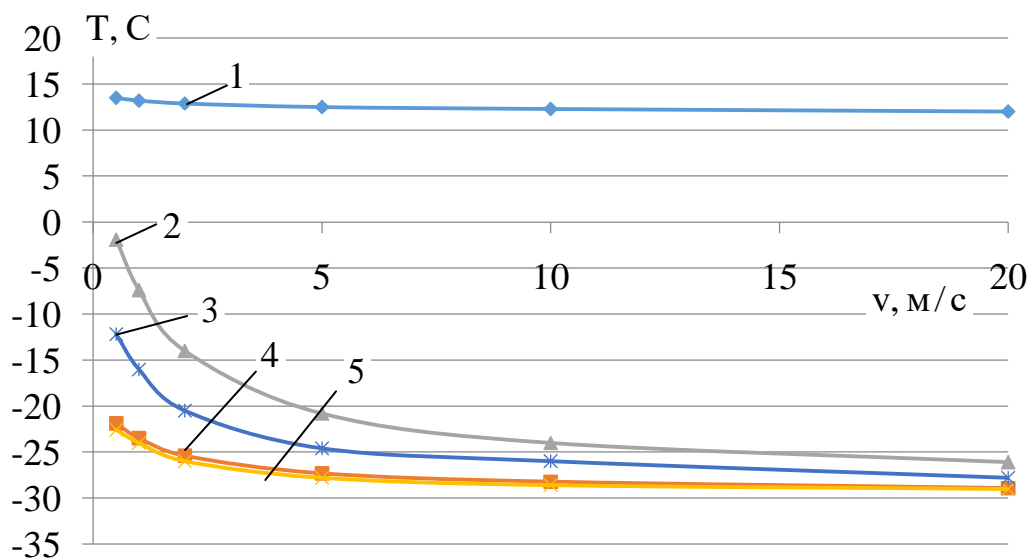


Рис. 3.18. Залежність температури поверхні стін будівлі від швидкості вітру [105]: 1 - T_{1s} ; 2 - T_{2s} ($T_1 = 150^\circ\text{C}$); 3 - T_{2s} ($T_1 = 400^\circ\text{C} + 10\text{ см}$ утеплення); 4 - T_{2s} ($T_1 = 150^\circ\text{C} + 10\text{ см}$ утеплення); 5 - T_{2s}

Таким чином, внесення місцевих змін до характеристик огорожувальних конструкцій будівель може ускладнювати ідентифікацію пожежі.

3.5. Висновок

1. Встановлено, що роботи, присвячені розвитку пожеж в приміщеннях, в основному, приділяють увагу лише температурі газового середовища, вогнестійкості конструкцій і не розглядають процес впливу пожежі на зовнішню поверхню огорожувальних конструкцій, і, як наслідок, на можливі свідчення тепловізорів.

1. Проведена класифікація основних елементів, за якими можна вивчати обстановку під час пожежі за допомогою тепловізора.

2. На основі рівняння нестационарної теплопровідності з граничними умовами третього роду, отримано математичну модель впливу небезпечних чинників пожежі на показання тепловізора.

3. Запропоновано алгоритм визначення температури зовнішньої стінки будівлі в умовах пожежі з урахуванням залежності величин коефіцієнтів тепловіддачі, температури в приміщенні від часу, тощо.

4. Досліджено вплив швидкості вітру на температуру на зовнішній поверхні стіни. Встановлено, що температура зовнішньої поверхні стінки істотно змінюється при швидкостях вітру менше 5 м/с, а при швидкостях вітру вище 10 м/с різниця в температурному режимі стіни мінімальна.

5. Встановлено, що на момент прибуття пожежних підрозділів, незалежно від умов теплообміну, підвищення температури на сучасних склопакетах буде достатнім для ідентифікації пожежі за результатами термограм.

6. Досліджено питання внесення місцевих змін до характеристик огорожувальних конструкцій будівель та встановлено, що це може ускладнювати ідентифікацію пожежі.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗОВНІШНІХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ У СТАЦІОНАРНИХ УМОВАХ ТА УМОВАХ ПОЖЕЖІ

4.1. Напрями проведення експериментальних досліджень

З метою підтвердження адекватності математичної моделі (3.17) та отриманих теоретичних результатів у третьому розділі слід провести ряд експериментальних досліджень. Структуру (перелік) експериментальних досліджень можна представити в наступному вигляді (рис. 4.1).

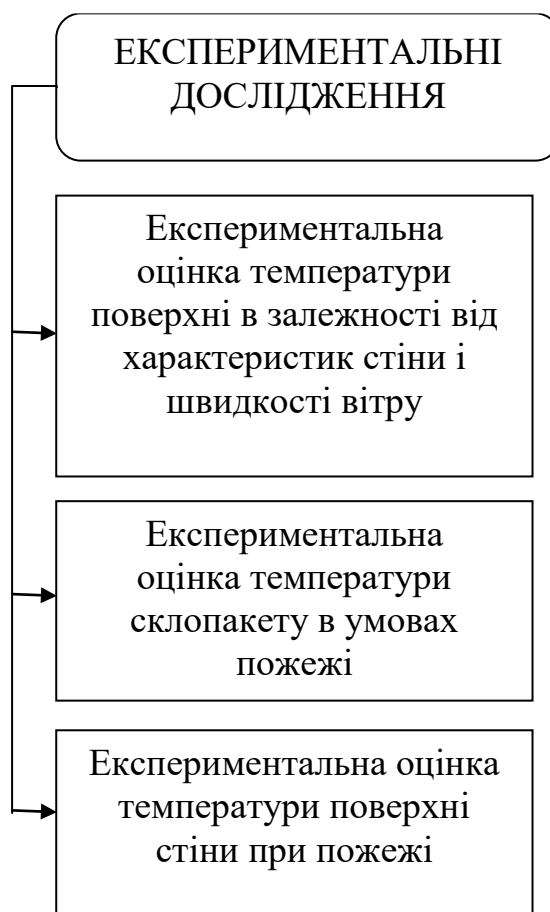


Рис. 4.1. Перелік експериментальних досліджень

При експериментальній оцінці температури поверхні залежно від характеристик стіни і швидкості вітру, а саме в стаціонарних умовах, з метою впливу двох останніх показників на величину температури під час досліджень використовувався тепловізор та анемометр.

При експериментальній оцінці температури склопакету використовувався тепловізор, пірометр та анемометр.

При експериментальній оцінці температури поверхні стіни при пожежі використовувався тепловізор та анемометр.

4.2. Експериментальне обладнання

В якості експериментального обладнання при оцінці температури поверхонь на основі інфрачервоного випромінювання використовувалися:

- тепловізор Seek Thermal Reveal;
- пірометр GM-900;
- анемометр MT-905C.

Перші два пристрої дають можливість налаштування коефіцієнта випромінювання для точної ідентифікації температури.

Під час проведення експериментальних досліджень використовувався тепловізор Seek Thermal Reveal (рис. 4.2), що має наступні технічні характеристики:

- термальний сенсор розміром 206 x 156 пікселей;
- робоча температура від -40°C до $+330^{\circ}\text{C}$;
- кут обзору – 36° ;
- дальність вимірювання до 150 метрів;
- розмір екрану 240x320 пікселей;
- вбудована батарея – 14 годин роботи;
- вбудований ліхтарик потужністю 300 люмен;
- можливість зберігання інформації – SD карта для зберігання фотографій;

- геометричні розміри – 12x7x3 см;
- мікроболометр – оксид-ванадієвий;
- діапазон вимірювання 7,2 - 13 мікрометрів;
- налаштування коефіцієнта випромінювальної здатності: від 0,1 до 1,00.



Рис. 4.2. Тепловізор Seek Thermal Reveal

Поряд з тепловізором використовувався пірометр GM-900, який має порівняно обмежені властивості, але ширший діапазон вимірювання. Технічні характеристики пірометра GM-900 (рис. 4.3) можна навести в наступному вигляді:

- діапазон вимірювання температур – від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- оптична роздільна здатність: 12:1;
- налаштування коефіцієнта випромінювальної здатності: від 0,1 до 1,00;
- функція тривоги із звуковою сигналізацією;
- індикація перевищення діапазону вимірювання;

- функція збереження і відтворення даних вимірів;
- встановлення значення: MIN, / MAX, / AVG, / DIF.
- діапазон вимірювання 8 - 14 мікрометрів;
- час відгуку: 500 мс;
- похибка вимірювань: 1,5% або 1,5 °C \ °F;
- геометричні розміри – 175 мм x 100 мм x 49 мм.



Рис. 4.3. Пірометр GM-900

Анемометр FLUS MT-905C, що використовувався в процесі досліджень, – це компактний портативний прилад для вимірювання швидкості потоку повітря, з чутливою шестилопастевою крильчаткою.

Його основні характеристики наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Одиниця вимірювання	Діапазон	Роздільна здатність	Похибка
Температура, °C	-30..+60 °C	0,1 °C	±1.5 °C
Швидкість, м/с	0,4...30 м/с	0,1 м/с	± (3%+0,30 м/с)

4.3. Експериментальна оцінка температури огорожувальних конструкцій будівель

З метою дослідження впливу теплотехнічних характеристик стіни на величину температури її зовнішньої поверхні та підтвердження адекватності отриманих результатів у третьому розділі було проведено [104] дослідження з визначення температури зовнішніх поверхонь будівель залежно від теплотехнічних характеристик стіни за стаціонарних умов.

Схема проведення досліджень наведена на рис. 4.4.

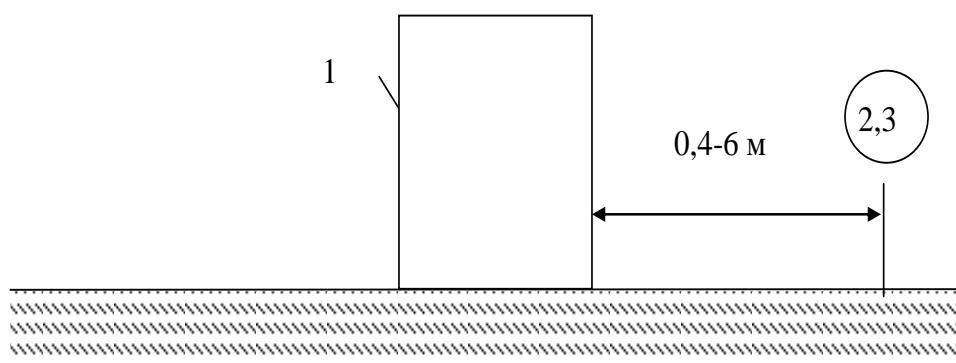


Рис. 4.4. Схема експериментального майданчика: 1 – будівля; 2 – тепловізор; 3 – пірометр

Слід відзначити, що під час цих досліджень необхідно, щоб протягом декількох годин були стаціонарними такі показники:

- температура зовні приміщення;
- коефіцієнт тепловіддачі зовні приміщення (основний вплив швидкість повітря);
- температура всередині приміщення.

У результаті проведення експериментальних досліджень було отримано наступні дані, що наведені на рис. 4.5. Фото деяких термограм наведено на рис. 4.6. Протягом проведення експерименту швидкість вітру мала відхилення не більше 30% та не більше 2 м/с, що пов'язано з коливаннями швидкості з природних причин.

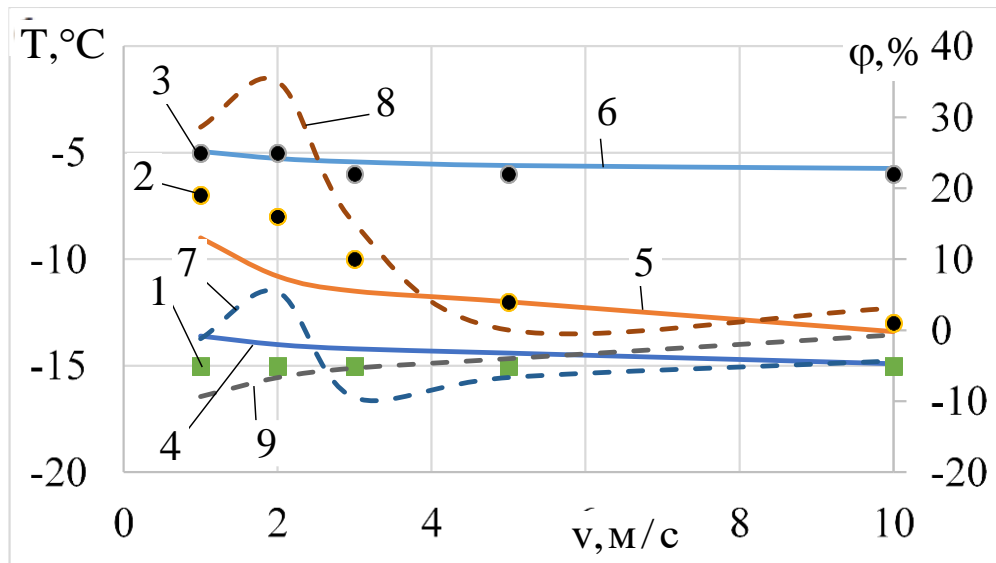


Рис. 4.5. Залежність теоретичних та експериментальних значень температури поверхні й відносні похибки (ϕ) залежно від швидкості вітру: 1-3 – експериментальні дані; 4-6 – теоретичні; 7-9 – відносні похибки; 1, 4, 7 – ($T_2 = -15$ °C; 10 см утеплення); 2, 5, 8 – ($T_2 = -15$ °C); 3, 6, 9 – ($T_2 = -6$ °C; 10 см утеплення)

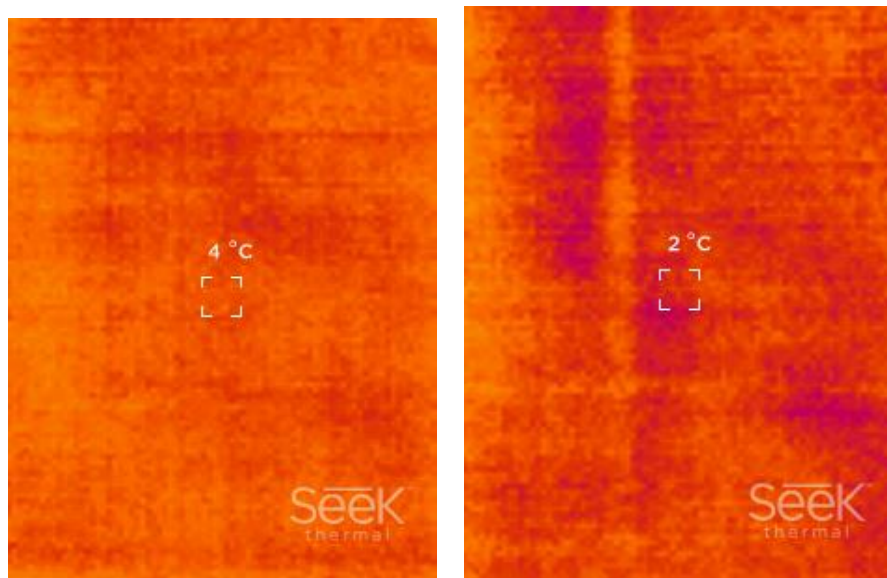


Рис. 4.6. Термограмми з тепловізора поверхні будівлі

Аналіз рис. 4.5. показує, що різниця теоретичних значень та експериментальних значень здебільшого не перевищує 20%, що є цілком прийнятним для такого типу досліджень.

4.4. Експериментальна оцінка температури огорожувачих конструкцій будівель в умовах пожежі

Під час проведення експериментальних досліджень з оцінки температури огорожувальних конструкцій будівель в умовах пожежі було проведено заміри температури зовнішніх конструкцій в реальних умовах пожежі під час їх гасіння підрозділами ДСНС України (рис. 4.7).

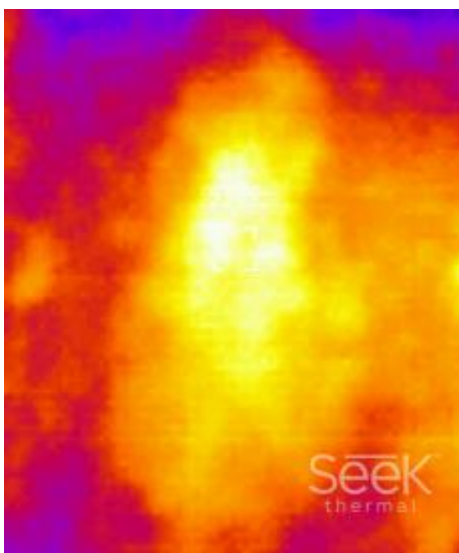


Рис. 4.7. Термограми з тепловізора поверхні будівлі

Схема експериментальних досліджень аналогічна до схеми на рис. 4.5. Слід відзначити, що проблемою в даних умовах була відсутність точного початку пожежі, характеру теплообміну всередині та зовні приміщення.

Різниця теоретичних значень та експериментальних не перевищувала 35% і лише в деяких випадках досягала 45%.

4.5. Експериментальна оцінка температури склопакету в умовах пожежі

На першому етапі були проведені дослідження [104] з метою визначення можливості ідентифікації пожежі (полум'я) на початковій стадії пожежі, коли склопакет не нагрітий, відповідно до наступної схеми (рис. 4.8).

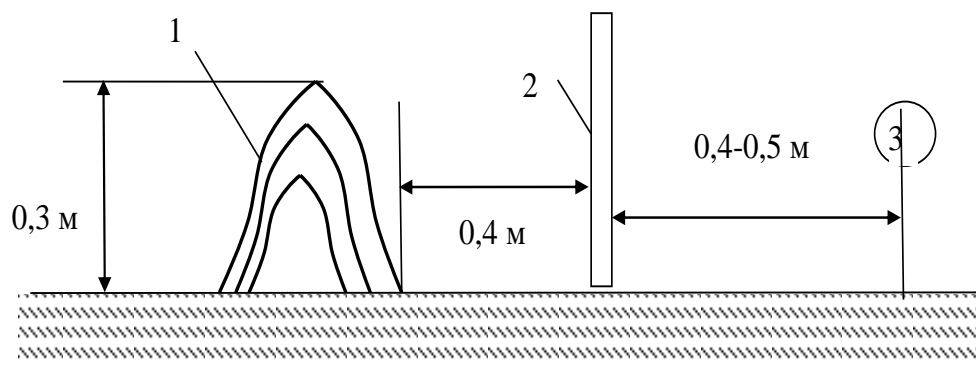


Рис. 4.8. Схема експериментального майданчика: 1 - полум'я; 2 - склопакет; 3 - тепловізор

На рис. 4.9.а наведено результати проведених експериментальних досліджень, а саме фото полум'я в інфрачервоному спектрі, а на рис. 4.9.б вигляд даного полум'я через склопакет у тому ж самому спектрі. З рисунку видно, що ідентифікувати полум'я через склопакет неможливо. В той же час на рис. 4.9.в наведено фото склопакету з внутрішнього боку під впливом полум'я в інфрачервоному спектрі.

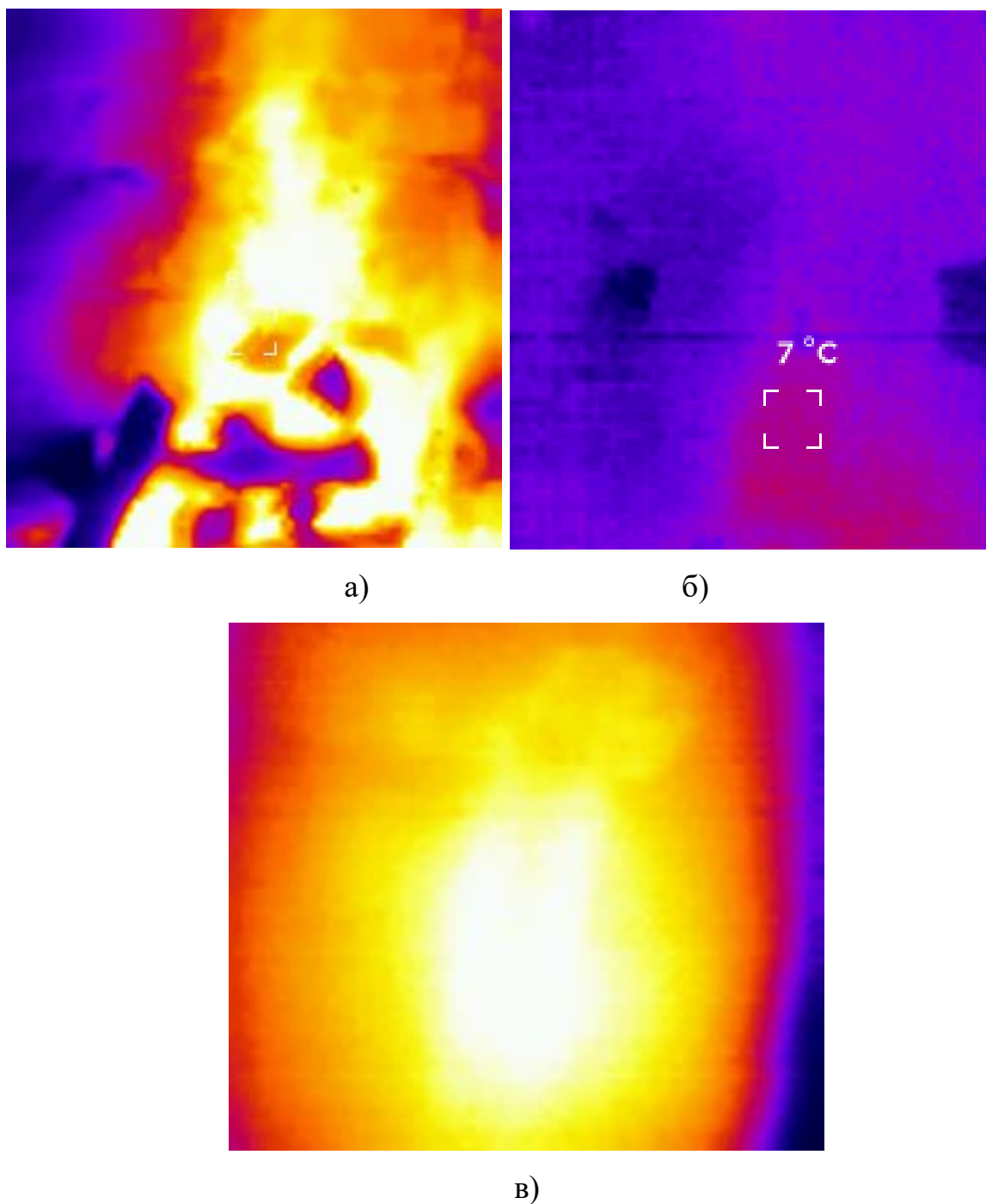


Рис. 4.9. Термограми з тепловізора: а – термограма полум'я; б, – термограма полум'я скрізь скло; в – термограма нагрітої сторони скла (через 2 хв)

Таким чином, експериментально було підтверджено, що виявити пожежу за рахунок проходження випромінювання від полум'я через склопакет на початковій стадії пожежі неможливо. Ідентифікувати можна лише в процесі нагрівання склопакету.

Далі були проведені експериментальні дослідження під час пожежі. На рис. 4.10 наведено експериментальні дані та області теоретичних даних згідно (3.17), які могли бути на той момент часу.

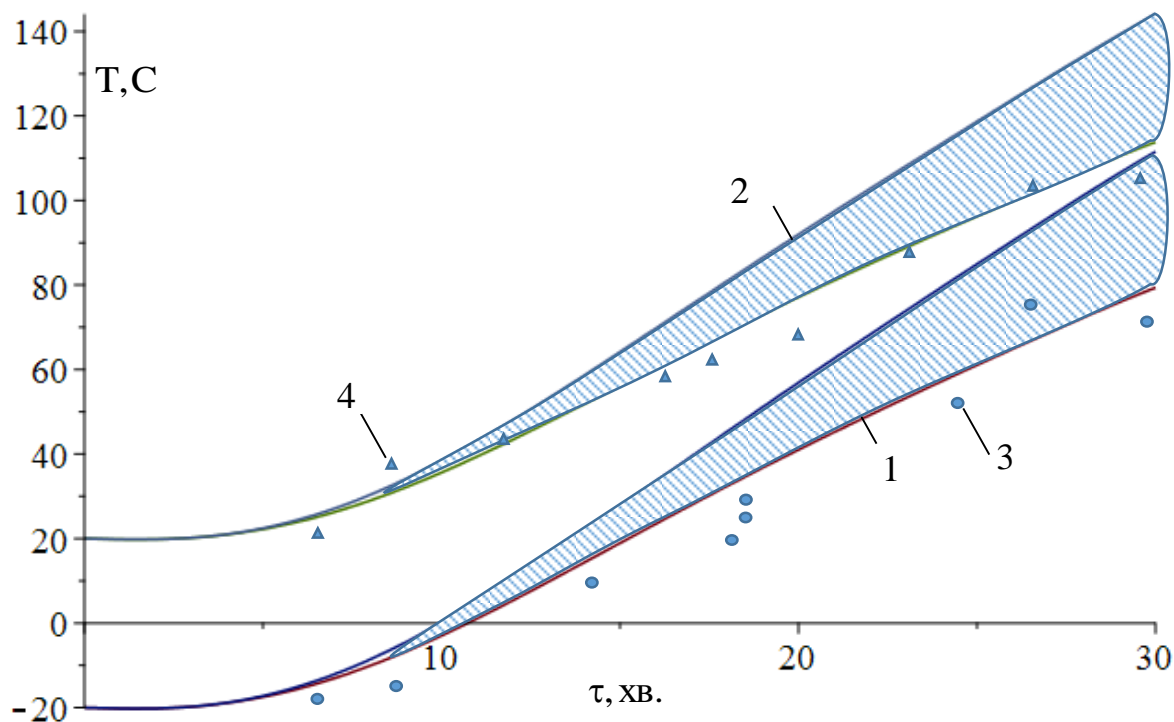


Рис. 4.10. Порівняння експериментальних та теоретичних результатів щодо температури склопакету під час пожежі: 1, 2 – теоретичні області температур склопакету; 3, 4 – відповідно, експериментальні дані щодо температури склопакету

Аналіз рисунку показує, що відносна різниця теоретичних та експериментальних значень у деяких випадках складає до 100%, що пов'язано з близькістю до 0. В той же час абсолютна похибка має максимальне значення 15 °С. У результаті встановлено, що похибка не перевищує 35% [112].

4.6. Висновки

1. Проведено систематизацію необхідних експериментальних досліджень, розроблено вимоги та визначено початкові умови для їх проведення.

2. У результаті проведення експериментальних досліджень з оцінки температури огорожувальних конструкцій будівель за стаціонарних умов показана адекватність отриманих раніше залежностей з похибкою до 20%.

3. Проведення замірів температур зовнішніх конструкцій під час пожеж показало адекватність математичної моделі (3.17) з похибкою до 35%, що говорить про можливість її використання при оцінці температур.

4. Експериментальним шляхом показано, що ідентифікація полум'я за допомогою тепловізора через склопакет на початковій стадії пожежі унеможлиблюється у зв'язку з поглинанням останнім інфрачервоного випромінювання. Ідентифікувати пожежу можна лише в процесі нагрівання склопакету.

5. Експериментальним шляхом досліджено температуру склопакетів під час пожеж. Проведена оцінка похибки на різницю температур, тобто зміна від початкової температури. В результаті встановлено, що похибка не перевищує 35%.

РОЗДІЛ 5

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВІЗОРІВ

Ефективність гасіння пожеж має неоднозначне тлумачення, а оцінка ефективності гасіння може проводитися за різними критеріями, а саме [113-115]:

- кількість жертв на пожежі [116-118];
- матеріальні збитки від пожежі [115, 116, 122];
- час локалізації та гасіння пожежі [122-124];
- кількість витрачених вогнегасних засобів [119-121];
- площа пожежі, імовірність гасіння пожежі тощо [125, 75-79].

Статистичні дані показують [64-66], що кількість пожеж, кількість жертв та збитки від них мають тенденцію до зростання. Для суб'єктів господарювання та населення важливими є площа пожежі та, як наслідок, матеріальні збитки.

Було проведено аналіз 50000 пожеж (рис. 5.1) щодо взаємозв'язку часу до ліквідації пожежі і матеріальним збитком [126]. Виявлено відсутність кореляційного зв'язку між цими величинами, тобто зростання часу ліквідації пожежі не завжди призводить до збільшення матеріальних збитків.

Середня величина матеріального збитку залежно від часу ліквідації пожежі наведена на рис. 5.2.

Таким чином, при оцінці ефективності гасіння пожеж можна використати ймовірність локалізації або гасіння пожежі на основі функцій розподілу, отриманих у розділі 2.

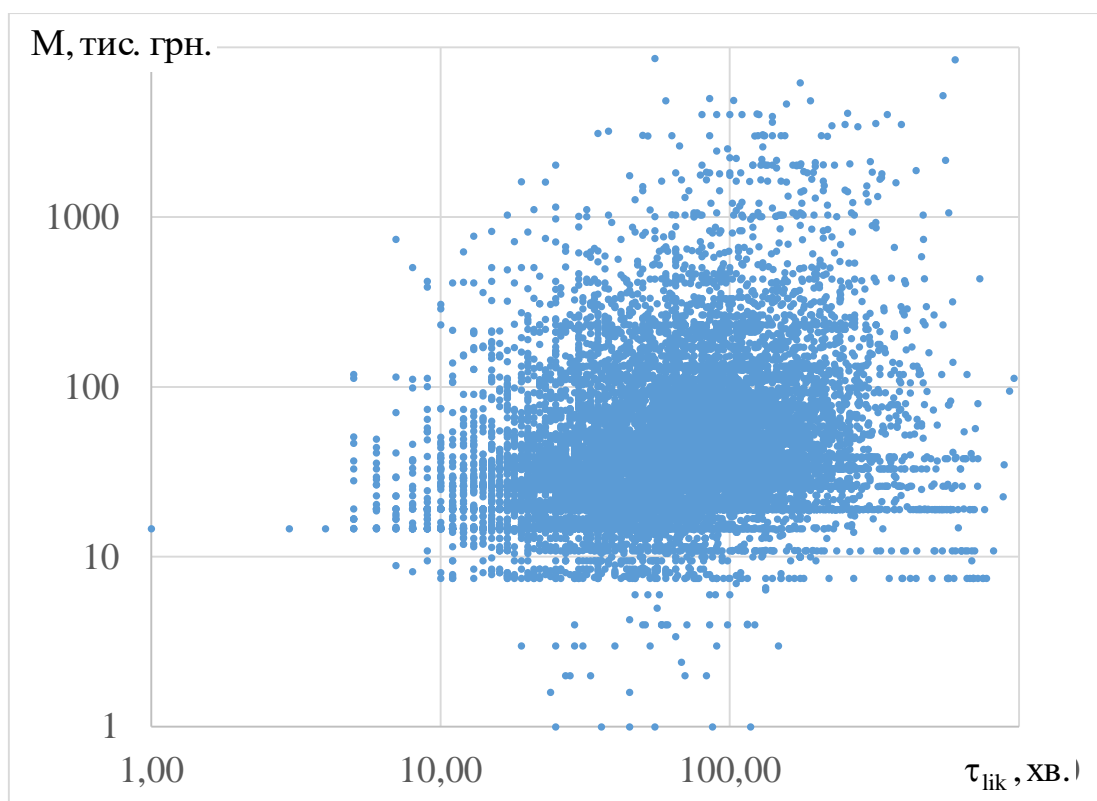


Рис. 5.1. Залежність збитку від часу до ліквідації від моменту його виникнення

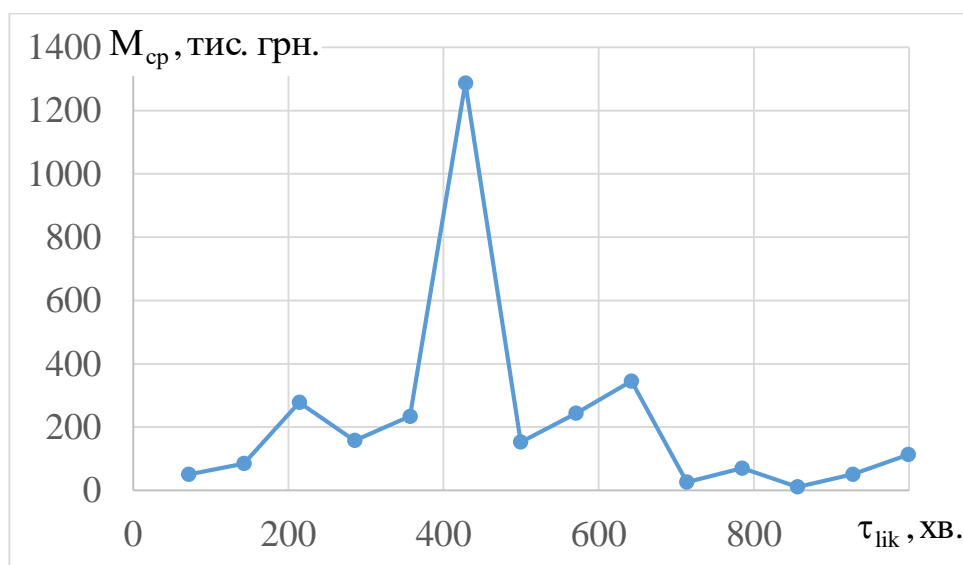


Рис. 5.2. Залежність середньої величини матеріального збитку від часу до ліквідації пожежі

При цьому за рахунок організаційних заходів чи покращення матеріального забезпечення можна підвищувати ефективність гасіння

пожеж, а саме за рахунок використання тепловізорів скорочувати час розвідки, та, як наслідок, час локалізації і ліквідації, а також площу пожежі.

При цьому необхідно мати оцінки ефективності використання тепловізорів, які, як варіант, можна отримати на основі проведення експертної оцінки.

5.1. Експертна оцінка ефективності використання тепловізорів при гасінні пожеж

Оскільки на сьогоднішній день використання тепловізорів не регламентоване, тому, відповідно, ефективність їх використання залежить від практичного досвіду, розуміння основ роботи пристрою та термодинаміки.

Для оцінки ефективності використання тепловізорів було проведено опитування 15 експертів – співробітників Державної служби України з надзвичайних ситуацій, у підрозділах яких є тепловізори, що використовуються в практичній діяльності. Кожному з них було поставлено два питання, а саме:

- на скільки хвилин використання тепловізора може зменшити час ліквідації пожежі (максимальне значення);
- на скільки відсотків використання тепловізора може зменшити час ліквідації пожежі (максимальне значення).

Результати відповіді експертів зведені в табл. 5.1.

Оскільки обидва запитання мають схожий зміст, була проведена оцінка узгодженості кожного експерта як співвідношення η_i / η_i^* відповідно до

$$\eta_i = \frac{z_i}{z_{cp}}, \quad \eta_i^* = \frac{z_i^*}{z_{cp}^*}, \quad (5.1)$$

$$z_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N z_i}{N}, \quad z_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^N z_i^*}{N}, \quad (5.2)$$

де z_i, z_i^* – скорочення часу в хвилинах та відсотках з відповіді i -го експерта.

Таблиця 5.1.

Експертна оцінка ефективності використання тепловізорів

№, з/п	Скорочення часу, хв, z_i	Скорочення часу, %, z_i^*
1	5	15
2	6	10
3	5	10
4	5	10
5	7	15
6	5	10
7	7	15
8	6	15
9	7	15
10	6	10
11	5	10
12	10	15
13	8	20
14	7	10
15	5	12

Внаслідок обробки результатів було встановлено, що відхилення у відповідях експертів, в основному, не перевищують 20% (рис. 5.3).

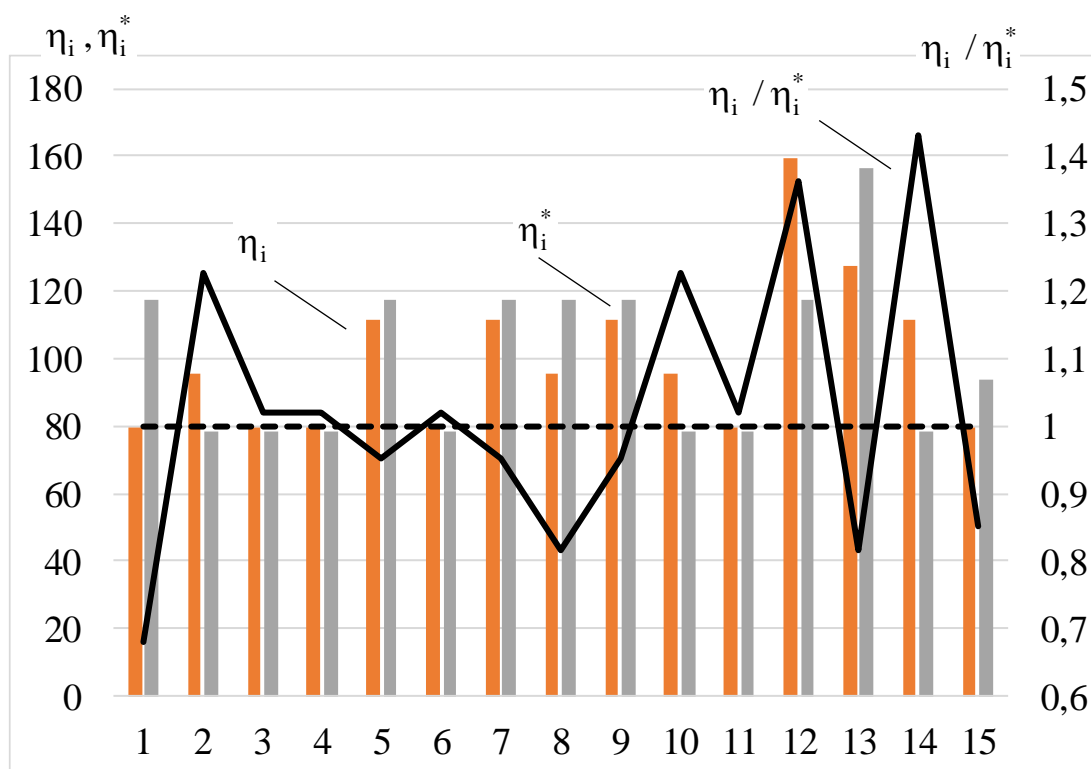


Рис. 5.3. Залежність η_i , η_i^* и η_i / η_i^*

Наявність вказаної розбіжності можна пояснити специфікою і місцем роботи того чи іншого співробітника, і, як наслідок, зітканням з пожежами, які характерні тій місцевості.

Для того ж, щоб говорити про однотайність експертів, необхідно провести оцінку коефіцієнту варіації [80, 81]. Для цього слід розраховувати такі показники:

середнє значення експертних оцінок (точковий прогноз), яке характеризує узагальнену думку експертів

$$M[Z_j] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{ij}, \quad (5.3)$$

дисперсію оцінок, яка характеризує розкидання думок експертів відносно середнього значення

$$D[Z_j] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (z_{ij} - M[Z_j]), \quad (5.4)$$

коефіцієнт варіації, який характеризує ступінь однодушності експертів щодо оцінки j фактора

$$V_j = \frac{\sigma[Z_j]}{M[Z_j]}. \quad (5.5)$$

У результаті проведення розрахунків отримано коефіцієнти варіації для отриманих значень скорочення часу в хвилинах та відсотках. На рис. 5.4. наведені експертні, надані експертами, та внесок кожного експерта в величину коефіцієнта варіації.

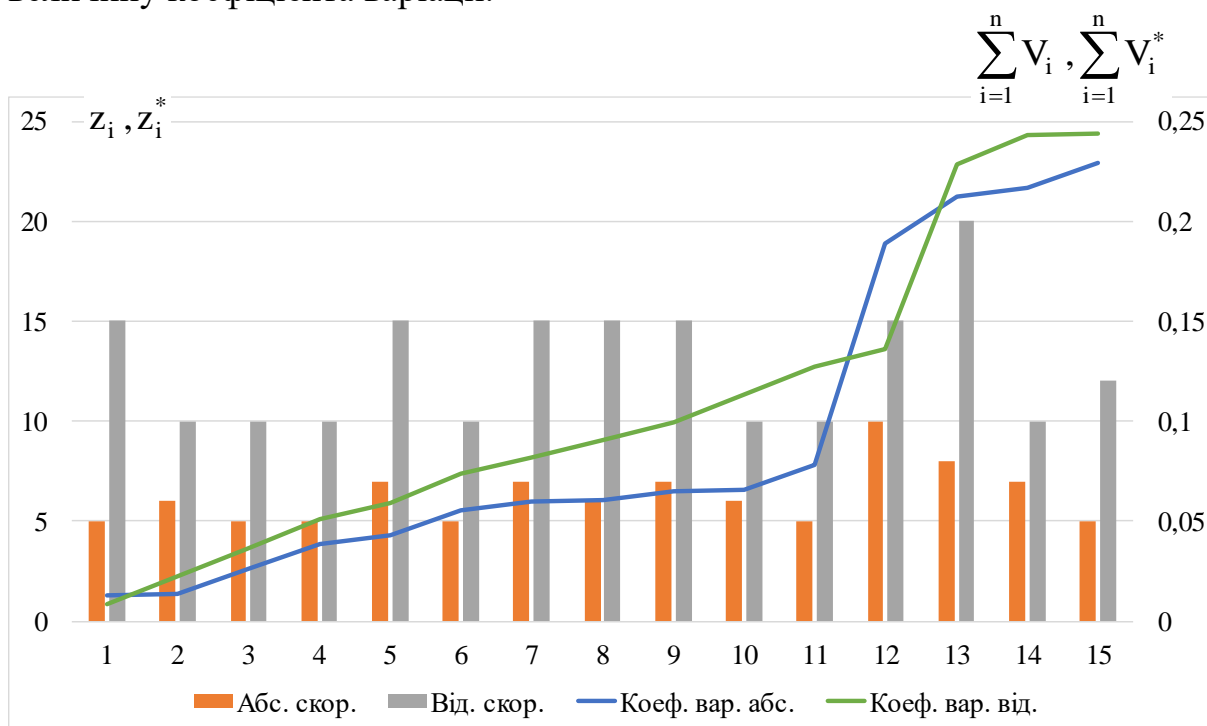


Рис. 5.4. Експертні оцінки та внесок експерта в величину коефіцієнта варіації

У результаті було встановлено, що обидва коефіцієнти варіації показують середню мінливість (до 25%), що є цілком прийнятним.

Таким чином визначено, що середнє значення скорочення часу за рахунок використання тепловізора (відповідно до табл. 5.1.) складає 6,3 хв., а максимальне – 10 хв. Для відносних значень, відповідно, отримано 12,8% та 20%.

5.2. Оцінка ефективності гасіння пожеж із використанням тепловізорів

У другому розділі зроблено висновок, що випадкова величина часу виконання тієї чи іншої операції під час ліквідації НС має свій характер зміни. Виходячи з залежності (2.2) та (2.3) на рис. 5.5, наведено залежність імовірності виконання операції від математичного сподівання та часу.

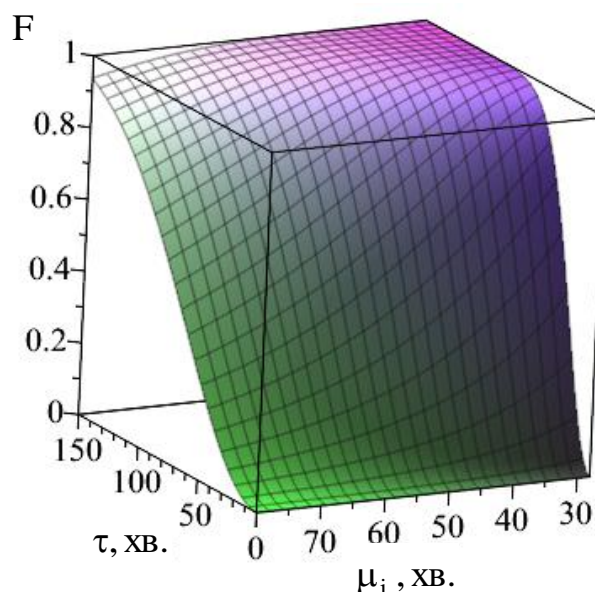


Рис. 5.5. Імовірність виконання операції (локалізації, ліквідації) від математичного сподівання та часу

Аналіз рисунку показує, що при малих значеннях часу ймовірність слабо залежить від математичного сподівання. У даному випадку під

математичним сподіванням приймається час локалізації або ліквідації пожежі, і який можна зменшити за рахунок використання тепловізорів.

Тоді зміну ймовірності можна розрахувати наступним чином

$$\Delta F = F(\mu_i^*; \tau) - F(\mu_i; \tau), \quad (5.6)$$

де μ_i^* – математичне сподівання для розподілу Релея з урахуванням його зміни. У даному випадку під зміною математичного сподівання приймається його зміна на основі експертної оцінки, що досягається за рахунок використання тепловізорів.

На рис. 5.6. наведено залежність ΔF при зміні μ_i на 10% та 15%.

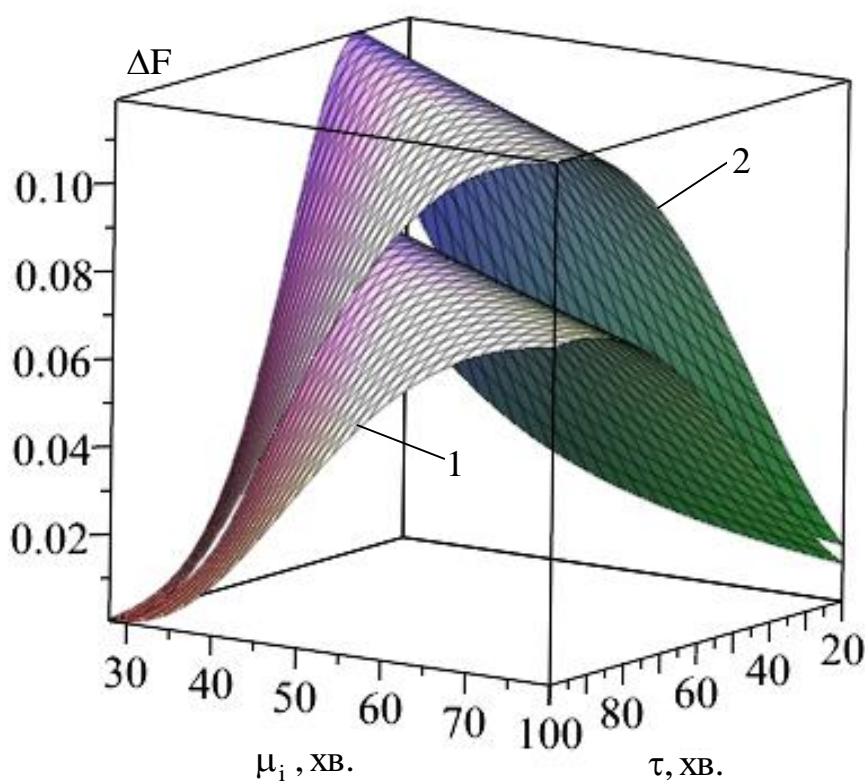


Рис 5.6. Зміна ймовірності виконання операції (локалізації, ліквідації) залежно від математичного сподівання і часу від початку пожежі: 1 – $\mu_i^* = 0,9\mu_i$; 2 – $\mu_i^* = 0,85\mu_i$

Аналіз рисунку показує, що найбільша зміна ймовірності відбувається за умови коли, час за своєю величиною близький до μ_i , а максимальне значення сягає 0,12 при $\mu_i^* = 0,85\mu_i$ і 0,7 при $\mu_i^* = 0,9\mu_i$.

Якщо ж зміну μ_i розглядати не в відсотках, а в абсолютній величині - хвилинах, то ΔF можна визначити відповідно до [126]

$$\Delta F = F(\mu_i - z; \tau) - F(\mu_i; \tau). \quad (5.7)$$

На рис. 5.7. наведено залежність ΔF при зміні μ_i на 3 та 10 хв.

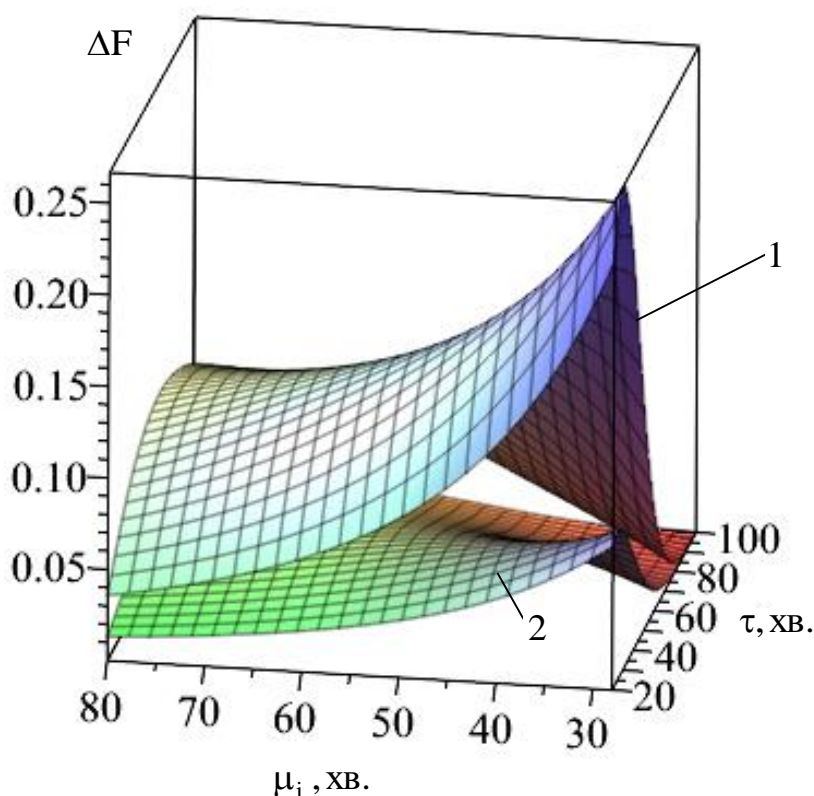


Рис. 5.7. Зміна імовірності виконання операції залежно від математичного сподівання і часу від початку пожежі: 1 – $z=10$ хв.; 2 – $z=3$ хв.

Аналіз залежностей показує, що найбільша зміна ймовірності відбувається за умови, коли час за своєю величиною близький до μ_i . При $z=10$ хв максимальне значення ΔF сягає 0,26, а при $z=3$ хв – $\Delta F=0,07$.

5.2.1. Оцінка впливу використання тепловізорів на імовірність локалізації, ліквідації пожежі її площу

Скорочення часу гасіння пожежі за рахунок використання тепловізора може призводити, в тому числі, й до скорочення площі пожежі. Для кільцевої форми пожежі можна записати

$$S_{\Pi} = w \cdot \pi R_{\Pi}^2, \quad (5.8)$$

де R_{Π} – радіус пожежі; w – коефіцієнт, який залежить від форми пожежі.

Радіус пожежі після 10 хвилин вільного розвитку визначається відповідно до виразу [41, 44]

$$R_{\Pi} = 0.5V_{\text{л}} \cdot 10 + V_{\text{л}} \cdot (\tau_{\text{віль}} - 10), \quad (5.9)$$

$V_{\text{л}}$ – лінійна швидкість поширення пожежі; $\tau_{\text{віль}}$ – час вільного розвитку пожежі.

Тоді при круговій формі пожежі площа буде визначатися виразом

$$S_{\Pi} = w \cdot \pi (V_{\text{л}} (\tau_{\text{віль}} - 5))^2. \quad (5.10)$$

Тоді, відповідно до (5.8), площа пожежі залежно від часу та лінійної швидкості можна представити в наступному вигляді (рис. 5.8).

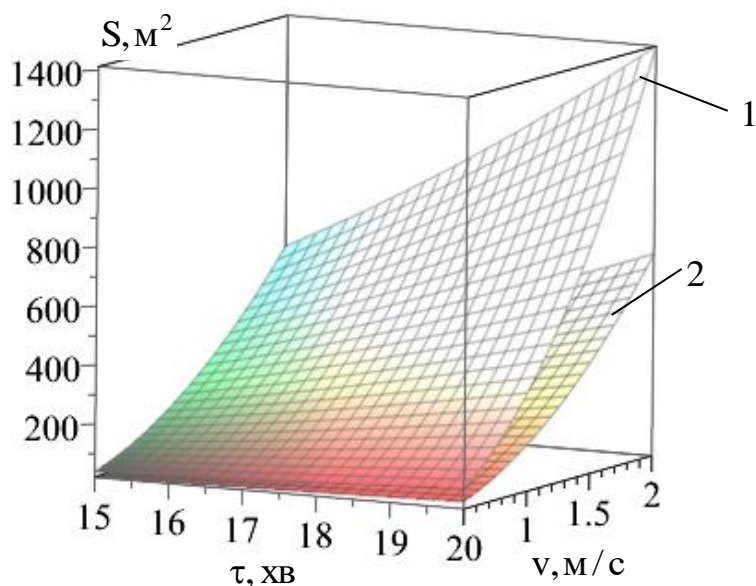


Рис. 5.8. Залежність площі пожежі від часу й лінійної швидкості: 1 – $w=0,5$; 2 – $w=0,25$

Тоді з урахуванням (2.3), (2.5), (5.10) вплив z на площу та ймовірність локалізації можна представити у наступному вигляді (рис. 5.9).

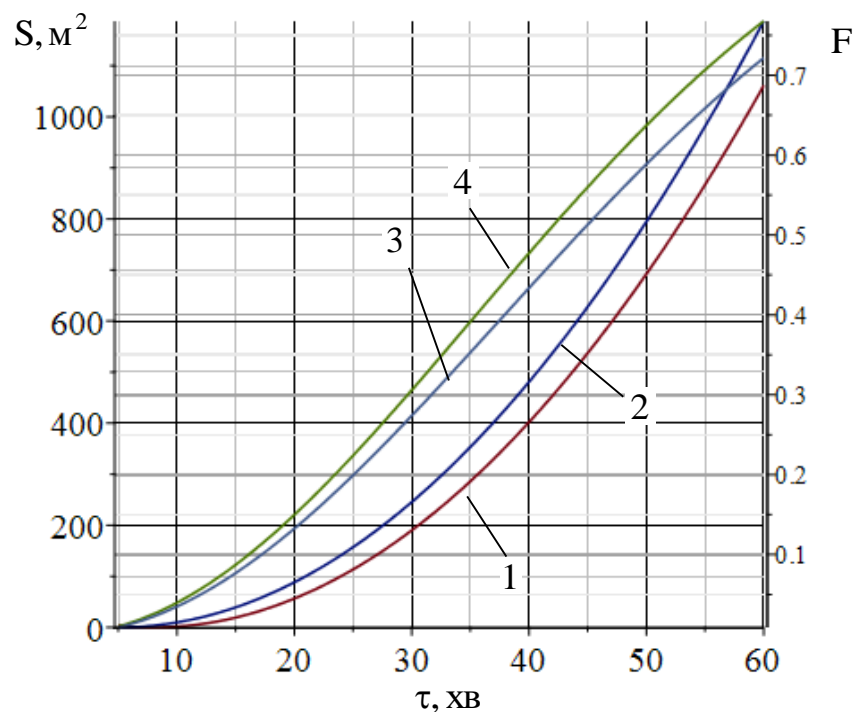


Рис. 5.9. Залежність площі пожежі і ймовірності локалізації від часу:
1 – $S|_{z=3}$; 2 – S ; 3 – $F|_{\mu=47}$; 4 – $F|_{\mu=44}$

На даному рисунку крива 1 показує залежність площі пожежі при зміні часу розвитку пожежі на три хвилини, а крива 4, відповідно, за тих же умов відображає ймовірність локалізації пожежі.

Аналіз рисунку показує, що у разі локалізації пожежі на три хвилини раніше площа пожежі зменшується на 20%, а ймовірність збільшується на 0,1.

Проведена оцінка (рис. 5.10) відносної зміни площі пожежі γ_S і ймовірності локалізації γ_F від часу і величини z відповідно до наступних залежностей [126]

$$\gamma_F = \frac{F(\mu_i - z; \tau) - F(\mu_i; \tau)}{F(\mu_i; \tau)}, \quad (5.11)$$

$$\gamma_S = \frac{S(\tau) - S(\tau - z)}{S(\tau)}. \quad (5.12)$$

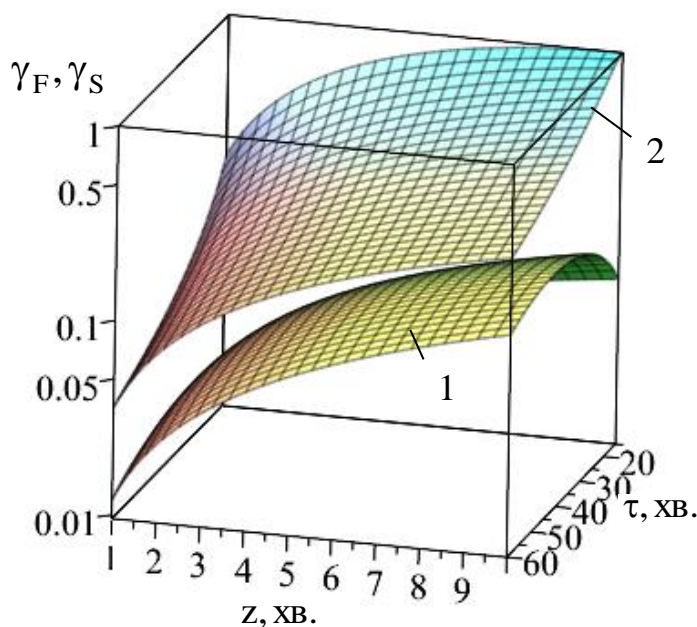


Рис. 5.10. Відносна зміна площі пожежі і відносна зміна ймовірності локалізації від часу і величини z : 1 – γ_F ; 2 – γ_S

Аналіз залежностей показує, що при використанні тепловізора і скороченні часу в рамках проведеної експертної оцінки, можливе підвищення імовірності локалізації пожежі на величину до 12% (зменшення часу локалізації 4,5 хв за імовірності 0,9 для $z=3$ хв) та скорочення площі пожежі в середньому на 25%.

5.3. Висновки

1. Проведено експертну оцінку ефективності використання тепловізорів при гасінні пожеж. Визначено, що коефіцієнти варіації показують середню мінливість (до 25%), що є цілком прийнятним.

2. На основі експертної оцінки встановлено, що середнє значення скорочення часу за рахунок використання тепловізора складає 6,3 хв., а максимальне 10 хв. Для відносних значень, відповідно, отримано 12,8% та 20%.

3. У якості критеріїв ефективності запропоновано обрати відносні зміни площі пожежі γ_S і ймовірності локалізації γ_F .

4. Встановлено, що при використанні тепловізора і скороченні часу в рамках проведеної експертної оцінки, можливе підвищення ймовірності локалізації пожежі на величину до 12% та скорочення площі пожежі в середньому на 25%.

ВИСНОВКИ

1. На основі оброблених статистичних даних про результативність роботи аварійно-рятувальних підрозділів отримано функції розподілу часу прибуття, локалізації та ліквідації пожежі.

2. Проведено аналіз допоміжних пристроїв, які працюють в інфрачервоному діапазоні й можуть бути використані під час гасіння пожеж, а також визначено, що в інтервалі часу до 100 хвилин максимум випромінювання припадає на невидиму для людського ока область довжини хвиль. Показано, що використання тепловізорів може призвести до: зменшення часу локалізації та ліквідації пожежі; зменшення прямих і непрямих матеріальних збитків; скорочення обсягів вогнегасної речовини, які використано при ліквідації пожежі; скорочення часу розвідки; зменшення кількості травмованих людей.

3. Подальшого розвитку набула математична модель з використанням рівняння нестационарної теплопровідності з граничними умовами третього роду на внутрішній та зовнішній поверхні, з опису температурного впливу пожежі на показання тепловізора.

4. З метою адекватної інтерпретації отриманих даних з тепловізора визначено межі величин швидкості повітря на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції, при якій різниця температур на ній, залежно від її характеристик, при пожежі, є мінімальною.

5. Проведено комплекс експериментальних досліджень з визначення температур при пожежі і її вплив на зовнішні конструкції, вплив небезпечних чинників пожежі на склопакети. Встановлено, що отримана математична модель дозволяє визначити значення температур зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції з похибкою не більше 35 %.

6. Проведено експертну оцінку ефективності використання тепловізорів при пожежах та встановлено, що використання останніх може скоротити на величину до 10 хвилин час від моменту виникнення до її

гасіння або ж до 10–15 %.

7. У якості критеріїв ефективності запропоновано обрати відносні зміни площі пожежі γ_S і часу локалізації τ_F та вперше отримано оцінки ефективності ліквідації пожеж. Встановлено, що при використанні тепловізора і скороченні часу в рамках проведеної експертної оцінки можливе скорочення часу локалізації пожежі на величину до 12 % та скорочення площі пожежі в середньому до 25 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тепловизоры для пожарных [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.pergam.com.ua/catalog_103.htm?PHPSESSID=j5848etppm6l6v4h9d9tbl08c1.
2. Тепловизор для пожарных [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://ircam.ru/teplovizor_pozharny.htm.
3. Коротаяев В.В. Основы тепловидения / В.В. Коротаяев, Г.С. Мельников, С.В. Михеев, В.М. Самков, Ю.И. Солдатов. – СПб: НИУ ИТМО, 2012 – 122 с.
4. Джемисон Д.Э. Физика и техника инфракрасного излучения / Джемисон Д.Э., Мак-Фи Р.Х., Пласс Д.Н. – М.: Изд-во "Советское радио", 1965. – 642 с.
5. Тарасов В.В. Инфракрасные системы «смотрящего» типа / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков. – М.: Логос, 2004. – 452 с.
6. Вавилов В.П. Тепловизоры и их применение / В.П. Вавилов, А.Г. Климов. – М.: Интел универсал, 2002. – 88 с.
7. Вавилов В.П. Тепловые методы неразрушающего контроля: справочник/ В.П. Вавилов. – М.: Машиностроение, 1991 г. – 240 с.
8. Гришин А.М. Экспериментальные исследования возникновения и распространения степного пожара в природных условиях / А.М. Гришин [и др.] // Вестник Томского государственного университета "Математика и механика". – 2011. – №2. – С. 91 – 102.
9. Жилкин Б.П. Применение тепловизионного метода для обнаружения очагов пламенного горения / Б.П. Жилкин [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21. № 4. – С. 38–40.
10. Османов Ш.А. Дым как основное препятствие на пути к спасению / Ш.А. Османов, А.П. Корольков // Вестник Санкт-

Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2013. – Вып. 2. – С. 54 – 57.

11. The Impact of Thermal Imaging Camera Display Quality on Fire Fighter Task Performance [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire09/PDF/f09030.pdf>.

12. Application of the FireMapper Thermal-Imaging Radiometer for Wildfire Suppression [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.fireimaging.com/reference/F1523_3.pdf.

13. Amon F. Meaningful performance evaluation conditions for fire service thermal imaging cameras / Amon F, Hamins A., Bryner N., Rowe J. // Fire Safety Journal. – 2008. – № 43. – P. 541–550.

14. Собина В.А. Математическая модель тепловизионного мониторинга пожаров на полигонах твёрдых бытовых отходов / В. А. Собина, А. Н. Соболев, В. В. Тригуб, Ю. А. Олениченко // Проблемы надзвичайних ситуацій. - 2014. - Вип. 19. - С. 126-132. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Pns_2014_19_18.pdf.

15. Friedman, R., Principles of Fire Protection Chemistry and Physics, 3rd ed., p. 165, NFPA, MA, 1998.

16. Norman, J., Fire Officer's Handbook of Tactics, 2nd ed., pp. 284-285, A PennWell Publication, NJ, 1998.

17. Bastian, J., "The Basic of a Thermal Imager", International Fire Fighter, 5:Feb, 13-16, 2005.

18. Woodworth, S.P., "Thermal Imaging for the Fire Service, Part 1: The basics of thermal imaging", Fire Engineering, 149:7, 22-26, 1996.

19. Woodworth, S.P., "Thermal Imaging for the Fire Service, Part 2: The electromagnetic spectrum", Fire Engineering, 149:8, 24-26, 1996.

20. Woodworth, S.P., "Thermal Imaging for the Fire Service, Part 3: Thermal characteristics", Fire Engineering, 149:11, 22-26, 1996.

21. Woodworth, S.P., "Thermal Imaging for the Fire Service, Part 4: Thermal imaging devices", Fire Engineering, 150:2, 16-18, 1997.

22. M.T. Richardson, Thermal triage, *Fire Chief* 45 (2001) 24–27.
23. F.K. Amon, N.P. Bryner, A. Hamins, Thermal Imaging Research Needs for First Responders: Workshop Proceedings, NIST Special Publication 1040, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2005.
24. R.M. Silverstein, G.C. Bassler, T.C. Morrill, Spectrometric Identification of Organic Compounds, third ed., Wiley, New York, 1974. [34] R. Siegel, J.R. Howell, Thermal Radiation Heat Transfer, fourth ed., Taylor and Francis, New York, NY, 2002.
25. A. Hamins, A. Maranghides, E. Johnsson, M. Donnelly, J. Yang, G. Mulholland, R. Anleitner, Report of experimental results for the international fire model benchmarking and validation exercise no. 3, NIST Special Publication 1013-1, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2005b.
26. A. Hamins, A. Maranghides, K. McGrattan, E. Johnsson, T. Ohlemiller, M. Donnelly, J. Yang, G. Mulholland, K. Prasad, S. Kukuck, R. Anleitner, T. McAllister, Experiments and Modeling of Multiple Workstations Burning in a Compartment. Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster. NIST Special Publication NCSTAR 1-5B,, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2005.
27. R.D. Peacock, S. Davis, B.T. Lee, Experimental data set for the accuracy assessment of room fire models, Report NBSIR 88-3752, National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, 1988.
28. W.M. Pitts, E.L. Johnsson, N.P. Bryner, Carbon monoxide formation in fires by high-temperature anaerobic wood pyrolysis, *Proc. Combust. Inst.* 25 (1994) 69–70.
29. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Ключева. Т.5: В 2 кн. Кн. 1: Тепловой контроль./В.П. Вавилов. – М.: Машиностроение, 2004. – 679 с.
30. Maldague X. P. V., Jones T. S., Kaplan H., Marinetti S. and Prystay M. "Chapter 2: Fundamentals of Infrared and Thermal Testing: Part 1. Principles

of Infrared and Thermal Testing," in *Nondestructive Handbook, Infrared and Thermal Testing, Volume 3*, X. Maldague technical ed., P. O. Moore ed., 3rd edition, Columbus, Ohio, ASNT Press, 2001, 718 p.

31. Francine Amon. Performance Metrics for Fire Fighting Thermal Imaging Cameras – Small and Full-Scale Experiments, Nist Technical Note 1999, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, July 2008.

32. Пожарный тепловизор - восходящий тренд в пожарной безопасности / Ю. А. Жуковский, Д. Н. Симкин, А. В. Михневич, С. В. Зеленков // Безопасность и охрана труда на железнодорожном транспорте : Науч. - практич. журн. - 2016. - N 3. - С. 35-41 : ил. - Библиогр.: с. 41 (7 назв.)

33. Prof. Dr. rer. nat. Hermann Heinrich / Dipl.-Ing. Karl-Heinz Dahlem Universität Kaiserslautern Bauphysik - Technische Gebäudeausrüstung - Baulicher Brandschutz, Thermography in fire tests of glazing elements, VDI-Nachrichten, 09.11.2004.

34. Oka, Y. and Sugawa, S., "Temperature Visualization of Extended Flame from Opening Using Infrared Image Processor", *Fire Science and Technolocy*, Vol.9(2), pp.15-22, 1989.

35. Hayasaka, H., Koseki, H., and Tashiro, Y., "Radiation Measurements in Large-Scale Kerosene Pool Flames using High-Speed Thermography", *Fire Technology*, Vol.28(2), pp.110-122, 1992.

36. Hayasaka, H., Koseki, H., and Tashiro, Y., "Radiation Measurements in Pool Flames using High-Speed Thermography", *HTD-Vol. 203*, ASME, pp.71-77, 1992.

37. Maldague X. Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing. John Wiley & Sons, Inc., U.S.A., 2001.– 684.

38. E. Pastor, A. Rigueiro, L. Zárata, A. Giménez, J. Arnaldos & E. Planas. Experimental methodology for characterizing flame emissivity of small

scale forest fires using infrared thermography techniques. Forest Fire Research & Wildland Fire Safety, Viegas (ed.) 1-10 p.

39. Ключка Ю. П. Анализ применения тепловизоров при тушении пожаров / Ю. П. Ключка, Х. Ш. Гасанов, Н. В. Крынская // Проблемы пожарной безопасности. - 2014. - Вып. 36. - С. 109-116. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb_2014_36_21.

40. Ключка Ю.П. Анализ нормативной базы по применению тепловизоров при разведке пожара / Ю.П. Ключка, Х.Ш. Гасанов. Державне управління науково-освітнього забезпечення підготовки конкурентоспроможних фахівців у сфері цивільного захисту : Збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції, 16–17 квітня 2015 р. / за заг. ред. В. П. Садкового. – Х., 2015. – С. 264-266.

41. Повзик Я.С. Пожарная тактика: [учебное пособие] / Я.С. Повзик. – М.: Спецтехника, 2004. – 416 с.

42. Сыровой В.В. Разведка пожара: [учебное пособие] / В.В. Сыровой. – Харьков: ХИПБ, 1995. – 59 с.

43. Сенчихін Ю.М. Засоби захисту від дії каскадних пожеж на промислових підприємствах / Ю.М. Сенчихін // Безпека життєдіяльності. – 2006. – №3. – С.9 – 11.

44. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE21147.html.

45. ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий. Классификации видов и методов».

46. ГОСТ 23483-79 «Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования».

47. ГОСТ 26629-85 «Метод тепловизионного контроля качества. Теплоизоляция ограждающих конструкций».

48. ГОСТ 23483-79 «Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования».
49. ГОСТ 26782-85 «Контроль неразрушающий. Дефектоскопы оптические и тепловые. Общие технические требования».
50. ГОСТ 25314-82 «Контроль неразрушающий тепловой. Термины и определения».
51. ГОСТ 1.42107-81 Минавиапрома СССР «Источники теплового нагружения».
52. ОСТ 3-4408-82 Минмедпрома СССР «Приборы тепловизионные медицинские. Методы измерений основных параметров».
53. ОСТ 92-1482 Минобщемаша СССР «Неразрушающий контроль теплозащитных покрытий».
54. ГОСТ Р 8.619-2006 «Приборы тепловизионные измерительные. Методика поверки».
55. ISO 834: Fire-resistance tests; Elements of building construction [Feuerbeständigkeitsprüfungen; Baukonstruktionsteile], first edition 1998 see also forthcoming EN 1363-1 (1999).
56. ISO 3009: Fire-resistance tests; Glazed elements [Feuerbeständigkeitsprüfungen; verglaste Bauteile], first edition 1976-10 see also forthcoming EN 1364 Serie (1999).
57. Ключка Ю. П. Особенности определения места пожара в здании при использовании тепловизоров / Ю. П. Ключка, Н. В. Крынская, Х. Ш. Гасанов // Проблемы пожарной безопасности. - 2015. - Вып. 37. - С. 85-92. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb_2015_37_18.
58. Пузач С.В. Теплофизические основы пожаровзрывобезопасности водородной энергетики: дис. ...доктора техн. наук: 05.26.03 / Пузач Сергей Владимирович. – М., 2000. – 383 с.
59. Нестерук Д.А., Вавилов В.П. Тепловой контроль и диагностика. Учебное пособие для подготовки специалистов I, II, III уровня / Нестерук Д.А. – Томск, 2007. – 104 с.

60. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.5: В 2 кн. Кн. 1: Тепловой контроль / В.П. Вавилов. – М.: Машиностроение, 2004. – 679 с.

61. Пузач С.В., Нгуен Тхань Хай, Лебедченко О.С. Неоднородность температурного поля в припотолочном газоздушном слое при пожаре в помещении // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 5 (21). – 2008. – С. 1–9.

62. Гулида Э.Н., Ренкас А.А. Модель пожара в закрытом помещении на основе полного факторного эксперимента // Вестник ВИ ГПС МЧС России. – 2013. – №4 (9). С.78-81.

63. Поздеев С.В. Развитие научных основ определения пределов огнестойкости несущих железобетонных конструкций: дис. ... докт. техн. наук: 21.06.02 / Поздеев Сергей Валерьевич. –Х., 2012. – 365 с.

64. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році. УНДІ ЦЗ ДСНС України. Київ, 2014. – 384с.

65. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.mns.gov.ua/content/annual_report_2014.html.

66. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2015 році. УНДІ ЦЗ ДСНС України. Київ, 2016. – 279 с.

67. Брушлинский Н.Н., Глуховенко Ю.М., Коробко В.Б. [и др.]. Пожарные риски: основные понятия, динамика, управление, прогнозирование : монография. М. : ВНИИПО, 2007. – 370 с.

68. Брушлинский Н.Н. О вероятностном характере потока вызовов пожарных подразделений/ Н.Н. Брушлинский, Г.К. Брушлинская, Л.Ю.Тяжелова // Труды Высшей школы МВД СССР. – М.: 1972., – Вып. 33. – С .214-218.

69. Брушлинский Н.Н. Применение экономикоматематических методов для решения организационно-управленческих задач

противопожарной службы/ Н.Н. Брушлинский // Вопросы экономики в пожарной охране. – М., 1972. – С. 138-145.

70. Брушлинский Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы/ Брушлинский Н.Н. – М.: Стройиздат, 1981. – 95 с.

71. Рогозін А. С. Результати аналізу виникнення та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, як випадкового марківського процесу / А. С. Рогозін, О. В. Пирогов, Є. А. Яровий // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2017. - Вип. 25. - С. 100-105. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pns_2017_25_17.

72. Рогозін А.С. Аналіз перехідного процесу зміни ймовірностей знаходження сил цивільного захисту в стані ліквідації наслідків НС / А.С. Рогозін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2014. – Вип. 19. – С. 107–114. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol19/15.pdf>.

73. Рогозін А. С. Математичний опис процесу виявлення об'єктів авіацією під час проведення авіаційних робіт з пошуку і рятування / А. С. Рогозін, А. В. Гурник // Системи обробки інформації. - 2014. - Вип. 8. - С. 191-193. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2014_8_41.

74. Модель визначення чисельності особового складу оперативно-рятувальних підрозділів / О.М. Соболев та ін. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2015. –Вип. 22. – С. 130-136.

75. Брушлинский Н.Н. Анализ мировой пожарной статистики и ее роль в обеспечении пожарной безопасности на планете. М.: Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, № 1. 1998.

76. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. М.: МИПБ МВД России, 1998. 255 с.

77. Брушлинский Н.Н. О вероятностном характере потока вызовов пожарных подразделений. В кн.: Труды ВШ МВД СССР, – вып. 33. – М. ВШ МВД СССР, 1972. С. 214-218.

78. Брушлинский Н.Н., Соболев Н.Н. Математическая модель оперативной деятельности пожарной охраны города. В кн.: Стационарные и передвижные средства борьбы с пожарами. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985. – С. 69-76.

79. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Коломиец Ю.И. Теоретические основы организации и управления деятельностью противопожарной службы. Моделирование процесса ее функционирования. М.: Пожаровзрывобезопасность, № 1.2002.

80. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций/ А.А.Свешников – М.: Наука, 1968. – 464 с.

81. Боровков А.А. Теория вероятностей /А.А. Боровков – М.: Наука, 1986. – 432 с.

82. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1962. – 564 с.

83. Гасанов Х.Ш. Оценка времени прибытия, локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций на основе статистических данных / Х.Ш. Гасанов Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. – С. 25–27.

84. Ильинский В.М. Строительная теплофизика: учеб. пособие для инженерно-строительных ВУЗов / В.М. Ильинский - М.: Высшая школа. – 1974. – 320 с.

85. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: учеб. для вузов. - 2-е изд., перераб.и доп. / В.Н. Богословский - М.: Высшая школа. – 1982. – 424 с.

86. Шкловер А.М., Васильев Б.Ф., Ушков Ф.В. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий / А.М. Шкловер - М.: Госстройиздат, – 1956. – 188 с.

87. Астапенко В. М. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В. М. Астапенко, Ю. А. Кошмаров, И. С. Молчадский, А. Н. Шевляков; под ред. Ю. А. Кошмарова. – М.: Стройиздат, – 1988. – 448 с.
88. А.А. Кузьмин, Н.Н. Романов. Теплотехника. / Под ред. В.С. Артамонова. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2011. – 33 с.
89. Рябова І.Б. Термодинаміка і теплопередача у пожежній справі/ І.Б. Рябова, І.В. Сайчук, А.Я. Шаршанов// Навчальний посібник. – Харків, АПБУ, 2002. – С.352.
90. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2000. - 118 с.
91. Поспелов Б. Б. Системный анализ моделей возникновения пожара в негерметичном помещении / Б. Б. Поспелов, Р. И. Шевченко, А. Н. Коленов // Проблемы пожарной безопасности. - 2013. - Вып. 34. - С. 140-149.
92. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл. – М.: Стройиздат, 1990. – 421 с.
93. Кошмаров Ю.А. Термогазодинамика пожаров в помещениях / Ю.А. Кошмаров. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
94. Брушлинский Н.Н. Моделирование пожаров и взрывов / Н.Н. Брушлинский, А.Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2000. – 482 с.
95. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С.В. Пузач. – М.: АГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
96. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю.А. Кошмаров. – М.: АГПС МВД России, 2000. – 118 с.
97. Башкирцев М.П. Исследование температурного режима при горении жидкостей в помещении: Дисс. канд. техн. наук. – М.: МИСИ им. В.Куйбышева, 1967. – 226 с.

98. Романенко П.Н. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле / П.Н. Романенко, Ю.А. Кошмаров, М.П. Башкирцев. – М: ВИПТШ МВД СССР, 1977. – 405 с.

99. Молчадский И.С. Пожар в помещении. – М.: ВНИИПО, 2005. – 456 с.

100. Поздеев С.В. Розробка уточненого розрахункового методу для визначення межі вогнестійкості несучих залізобетонних конструкцій. / Поздеев С.В., Левченко А.Д. // Науковий вісник національного технічного університету «Львівська політехніка». – Львів: НТУ «Львівська політехніка». - 2011. – С. 264 – 269.

101. Поздеев С. В. Розрахунковий метод оцінки вогнестійкості кам'яних несучих стін / С. В. Поздеев // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. - 2014. - № 1. - С. 72-78.

102. 4. Klyuchka Y. P. Impact model of hazard emergency situation on the testimony of a thermal imager / Y. P. Klyuchka, N. V. Krynska, S. H. Hasanov // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2015. - Вип. 22. - С. 70-77.

103. Гасанов Х. Ш. Влияние неравномерности распределения опасных факторов чрезвычайной ситуации в помещении на показания тепловизора / Х. Ш. Гасанов // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2016. - Вип. 23. - С. 9-14.

104. Гасанов Х. Ш. Вплив умов теплообміну всередині та зовні приміщення на можливість ідентифікації пожежі за допомогою тепловізора / Ю. П. Ключка, Х. Ш. Гасанов // Пожежна безпека. – Львів: ЛДУБЖД, 2017.– №31. – С. 17-23.

105. Ключка Ю.П. Особенности определения места пожара в здании при использовании тепловизоров / Ю.П. Ключка, Х.Ш. Гасанов Надзвичайні ситуації: безпека та захист. Матеріали Всеукраїнської

науково-практичної конференції з міжнародною участю. // Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2015. – С. 245-247.

106. Гасанов Х.Ш. Модель воздействия опасных факторов чрезвычайной ситуации на показания тепловизора / Х.Ш. Гасанов Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – С. 7-9.

107. Гасанов Х.Ш. Влияние неравномерности распределения опасных факторов чрезвычайной ситуации в помещении на показания тепловизора / Х.Ш. Гасанов Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки». – Х.: НУЦЗУ, 2016. – С. 63–66.

108. Гасанов Х.Ш. Модель воздействия опасных факторов чрезвычайной ситуации на показания тепловизора / Х.Ш. Гасанов Технические средства предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : материалы Междунар. науч.-практ. online конф., Гомель, 19 февр. 2016 г. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – С. 117–119.

109. Пат. 113650 Україна, МПК (2016.01) G08B 17/00. Оперативний спосіб визначення часу розвитку пожежі в приміщенні / Ю. П. Ключка, Х. Ш. Гасанов, заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № u201607769, заяв. 14.07.2016; опубл. 10.02.2017, бюл. № 3.

110. Терехов В.И., Экаид А.Л. Ламинарная свободная конвекция между вертикальными параллельными пластинами с различными температурами // Теплофизика и Аэромеханика. – 2012. –Том 19, № 4.– С.415-429.

111. Терехов В.И., Экаид А.Л. Турбулентная свободная конвекция между вертикальными изотермическими пластинами с несимметричным

нагревом // Теплофизика и Аэромеханика. – 2013. – Том 20, № 2. –С.153-164.

112. Зайдель А.Н. Погрешности измерений физических величин.- Л.: Наука, 1985.-112 с.

113. Кодекс цивільного захисту України. №5403-VI від 02.10.2012 р.

114. 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».

115. НАПБ 04.012-2002 Вказівка з вивчення та аналізу пожеж.

116. НАПБ Б.07.020-2003 Порядок обліку пожеж та їх наслідків.

117. ДСТУ EN 2:2014 Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN2:1992/A1:2004, IDT).

118. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования».

119. ДСТУ 2273:2006 Протипожежна техніка. Терміни та визначення основних понять.

120. ДСТУ 2272:2006 ССБП. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять.

121. Основи тактики гасіння пожеж: Навч. посібник / В.В. Сировий, Ю.М. Сенчихін, А.А. Лісняк, І.Г. Дерев'янку. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – 216 с.

122. Основи пожежної тактики: Навч. посібник / А.А. Лісняк, В.В. Сировий, Ю.М. Сенчихін. – Х. : НУЦЗУ, 2014. – 218 с.

123. Пожежна тактика / П.П. Ключ, В.Г. Палюх, А.С. Пустовой, Ю.М. Сенчихін, В.В. Сировий. – Харків, – 1998 – 458 с.

124. Довідник керівника гасіння пожеж / За загальною редакцією В.С. Кропивницького. – К.: ТОВ «Літера-Друк», 2016 . – 320 с.

125. Іванников В.П., Ключ П.П. “Справочник руководителя тушения пожара”. М.: Стройиздат,1987 – 288 с.

126. Гасанов Х. Ш. Оценка эффективности тушения пожаров с использованием тепловизоров / Гасанов Х. Ш., Ключка Ю.П. // Eastern European Scientific Journal. – 2017. – №10. – Р. 45-49.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи НУЦЗУ
кандидат психологічних наук, професор

«14» 12 2014 року
О.О. Ключка



Акт

про використання результатів дисертаційної роботи «Підвищення ефективності ліквідації пожеж за рахунок скорочення часу виявлення осередку пожежі» у навчальному процесі.

Комісія в складі:

Голова комісії – начальник кафедри пожежної та техногенної безпеки об'єктів та технологій НУЦЗУ д.т.н., с.н.с. Ключка Ю.П.

Члени комісії:

– професор кафедри пожежної та техногенної безпеки об'єктів та технологій НУЦЗУ к.т.н., доц. Михайлюк О.П.;

– старший викладач кафедри пожежної та техногенної безпеки об'єктів та технологій НУЦЗУ к.т.н. Липовий В.О.,

склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи Гасанова Халіда Шарифа огли «Підвищення ефективності ліквідації пожеж за рахунок скорочення часу виявлення осередку пожежі» – математична модель з опису впливу впливу небезпечних чинників пожежі на показання тепловізора та алгоритм її рішення, впроваджені в навчальний процес Національного університету цивільного захисту України при вивченні дисципліни «Пожежна безпека промислових об'єктів та управління ризиками» в змістовному модулі «Імовірності виникнення ІС та управління ризиками».

Це дозволило підвищити ефективність навчального процесу та якість викладання аспектів теплопередачі та її впливу на величину ризиків.

Голова комісії

Ю.П. Ключка

Члени комісії

О.П. Михайлюк

В.О. Липовий

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Начальник Академії Міністерства Надзвичайних Ситуацій Азербайджану

кандидат технічних наук генерал-майор

/Підпис/ Панах Сулейманов

«01» листопада 2017 р.

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи
Гасанова Халіда Шариф огли на тему «Підвищення ефективності
ліквідації пожеж за рахунок скорочення часу визначення осередку пожежі»

Комісія у складі: начальник навчального відділу кандидат технічних наук, доцент, полковник Малік Гараєв, начальник факультету Пожежної безпеки полковник внутрішньої служби Азер Рустамов, начальник кафедри спеціалізованих дисциплін Пожежної безпеки, кандидат технічних наук, підполковник внутрішньої служби Кязим Кязимов склала цей акт про використання матеріалів дисертаційної роботи Гасанова Халіда Шариф огли в навчальному процесі.

Запропонований автором алгоритм визначення температури зовнішньої стінки будівлі в умовах пожежі і математична модель використовується під час навчання курсантів з дисциплін «Фізика» (розділ теплофізика) і «Тактика пожежогасіння та аварійно-рятувальних робіт». Проведений аналіз показав, що при цьому підвищується правильність вибору курсантами вирішального напрямку пожежогасіння на 12%.

Голова комісії:

Начальник навчального відділу
кандидат технічних наук, доцент, полковник

/підпис/

Малік Гараєв

Члени комісії:

Начальник факультету Пожежної
безпеки полковник внутрішньої служби

/підпис/

Азер Рустамов

Начальник кафедри спеціалізованих
дисциплін Пожежної безпеки
кандидат технічних наук
підполковник внутрішньої служби

/підпис/

Кязим Кязимов

Печатка: Міністерство надзвичайних ситуацій Республіки Азербайджан

Переклад з російської та азербайджанської мов на українську виконано перекладачем Даняєвим Максимом Вікторовичем



-ків, Україна, шістнадцятого травня дві тисячі вісімнадцятого року.

Я, Белінська Катерина Валеріївна, приватний нотаріус Харківського міського нотаріального округу, засвідчую справжність підпису перекладача Даняєва Максима Вікторовича, зробленого у моїй присутності. Особу перекладача встановлено, його дієздатність та кваліфікацію перевірено.

Зареєстровано в реєстрі за № 1709
Стягнуто плати за домовленістю
Приватний нотаріус



Всього цьому документі прокуеровано, прошито, скріплено печаткою та підписом
аркуші.

Переклад з російської та азербайджанської мов на українську

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Начальник Державної служби пожежної охорони

МНС Азербайджану

генерал-майор внутрішньої служби

/Підпис/ Фізулі Асадов

«01» листопада 2017 р.

А К Т

використання результатів дисертаційної роботи
Гасанова Халіда Шариф огли
на тему «Підвищення ефективності ліквідації пожеж за рахунок скорочення
часу визначення осередку пожежі»

Комісія у складі: голови комісії - заступника начальника Державної служби пожежної охорони МНС Азербайджану полковника внутрішньої служби Рза Худієва і членів комісії: заступника начальника Державної служби пожежної охорони МНС Азербайджану полковника внутрішньої служби Расіма Керімова, начальника штабу Державної служби пожежної охорони МНС Азербайджану полковника внутрішньої служби Акбера Новрузова, склала цей акт про використання матеріалів дисертаційної роботи Гасанова Халіда Шариф огли.

Застосування математичної моделі і номограм дозволило прогнозувати ситуації з впливу небезпечних чинників пожежі на огорожувальні конструкції і тим самим підвищити ефективність застосування тепловізорів під час гасіння пожеж.

Підхід до аналізу статистичних даних про результативність роботи аварійно-рятувальних підрозділів, а саме: часу прибуття, локалізації та ліквідації пожеж, матеріальних збитків та загибелі людей від пожеж, використовується Управлінням пожежної охорони МНС Азербайджану для оцінки результативності роботи підрозділів, внаслідок чого дані характеристики покращилися до 10%.

Голова комісії:

Заступник начальника Державної служби пожежної охорони МНС Азербайджану полковник внутрішньої служби

/підпис/

Рза Худієв

Члени комісії:

Заступник начальника Державної служби пожежної охорони МНС Азербайджану полковник внутрішньої служби

/підпис/

Расім Керімов

Начальник штабу Державної служби пожежної охорони МНС Азербайджану полковник внутрішньої служби

/підпис/

Акбер Новрузов

Печатка: Міністерство надзвичайних ситуацій Республіки Азербайджан. Державна пожежна служба

Переклад з російської та азербайджанської мов на українську виконано перекладачем Даняєвим Максимом Вікторовичем



-ків, Україна, шістнадцятого травня дві тисячі вісімнадцятого року.

Я, Белінська Катерина Валеріївна, приватний нотаріус Харківського міського нотаріального округу, засвідчую справжність підпису перекладача Даняєва Максима Вікторовича, зробленого у моїй присутності. Особу перекладача встановлено, його дієздатність та кваліфікацію перевірено.

Зареєстровано в реєстрі за № 1703

Стягнуто плати за домовленістю.

Приватний нотаріус



Всього в цьому документі пронумеровано, прошито, скріплено печаткою та підписом 2 (два) аркуші.