

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ
УКРАЇНИ**

Гасанов Халід Шариф огли

УДК 614.84



**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛІКВІДАЦІЇ ПОЖЕЖ
ЗА РАХУНОК СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ВІЯВЛЕННЯ
ОСЕРЕДКУ ПОЖЕЖІ**

Спеціальність 21.06.02 – пожежна безпека

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті цивільного захисту України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник Ключка Юрій Павлович, Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, начальник кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук Коваль Олександр Мирославович, комерційний директор (ТОВ «Всесвіт комфорту», м. Львів);

кандидат технічних наук Ніжник Вадим Васильович, Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, м. Київ, начальник науково-дослідного центру технічного регулювання.

Захист відбудеться «28» вересня 2018 року о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.707.01 в Національному університеті цивільного захисту України за адресою: вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету цивільного захисту України за адресою: вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023.

Автореферат розісланий «22» серпня 2018 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



А.О. Михайлюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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, A. Strong, Ю.М. Сенчихіна, О.А. Тарасенка та інших.

Сучасний розвиток техніки досяг моменту, коли розвідку 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 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 і відповідної нормативної бази.

Питанням використання тепловізорів під час гасіння чи ідентифікації пожеж займалися: В.П. Вавілов, Б.П. Жилкін, О.М. Соболев, 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 приймав 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 [2, 7] опубліковано результати проведеного автором аналізу використання тепловізорів під час гасіння пожеж, ступеня обґрунтування їх використання;
- у роботах [1, 4, 12] опубліковано результати аналізу статистичних даних про результативність роботи аварійно-рятувальних підрозділів, а також експертної оцінки ефективності гасіння пожеж з використанням тепловізорів;
- у роботах [4, 9, 11] отримано математичну модель впливу небезпечних чинників пожежі на величину температури на зовнішній стінці;
- у роботах [5, 10] досліджено вплив нерівномірності розподілу небезпечних факторів надзвичайної ситуації у приміщенні на показання тепловізора;
- у роботах [3, 8] 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 [6] оцінено вплив умов теплообміну усередині та ззовні приміщення на можливість ідентифікації пожежі за допомогою тепловізора та наведено результати експериментальних досліджень;
- у роботі [13] 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 ім. 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 і 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету, задачі дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, показано особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертаційного дослідження.

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. На рис. 1 наведені термограми житлових будинків до пожежі (із внесенням змін у теплотехнічні характеристики) та під час пожежі.

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);».

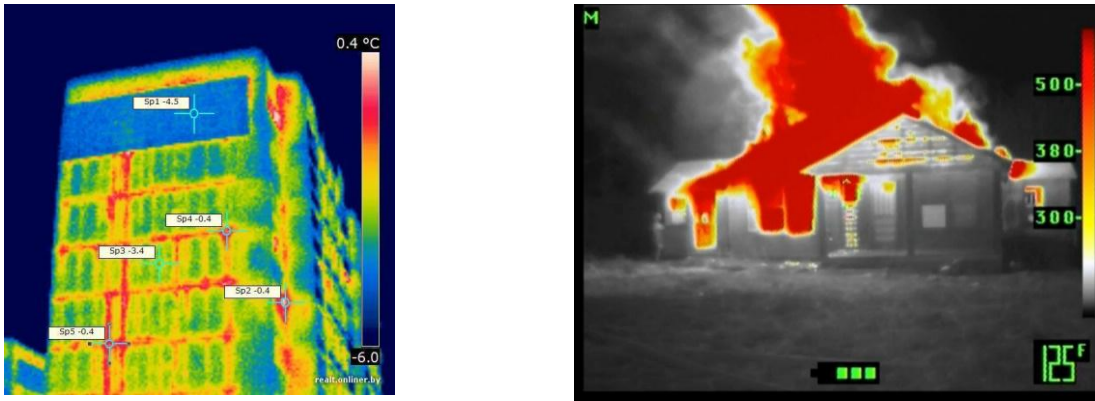


Рис. 1. Термограма житлових будинків

Проведено класифікацію сфер застосування тепловізорів пожежними підрозділами (рис. 2).

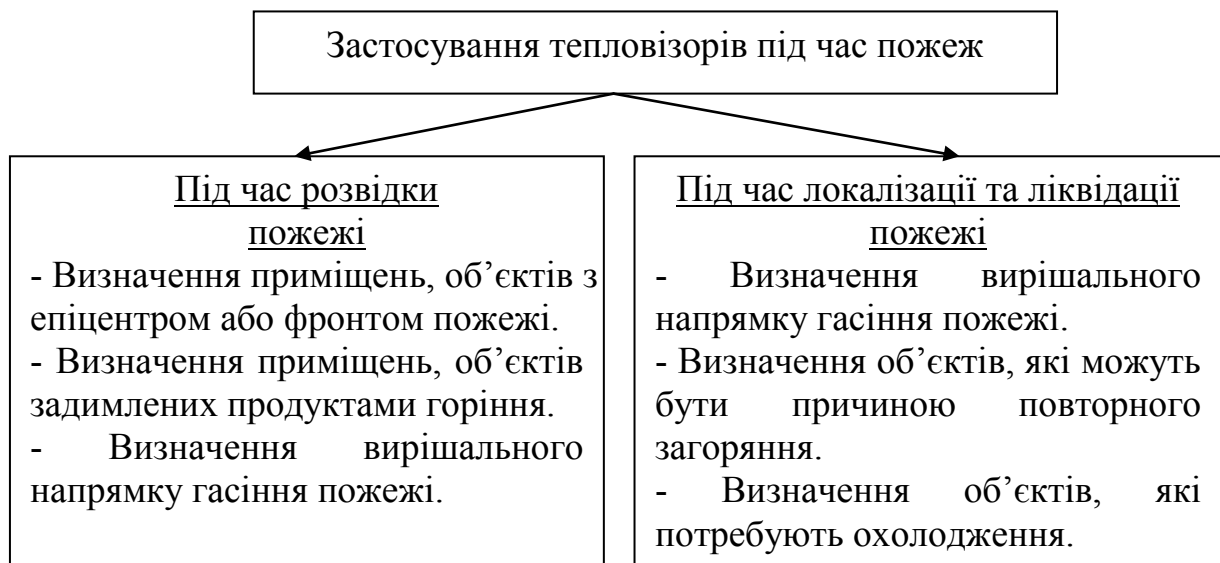


Рис. 2. Класифікація сфер застосування тепловізорів пожежними підрозділами

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 з 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, а відповідно, і прогрів стінки будівлі. З метою визначення часу розвитку пожежі було проведено аналіз значень часу прибуття підрозділів до місця пожежі. У якості вихідних даних було використано значення часу від моменту виникнення пожежі до моменту прибуття, локалізації та ліквідації. Приклад вихідних даних наведено в табл. 1. Було оброблено $N=5 \cdot 10^4$ статистичних даних часу від моменту виникнення пожежі до моменту прибуття, локалізації та ліквідації пожежі (τ_{pr} , τ_{lok} та τ_{lik}).

Таблиця 1

Час виникнення пожежі, повідомлення, прибуття підрозділів до місця пожежі, 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

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

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

Аналіз даних дозволив отримати значення математичного очікування і дисперсії для трьох випадкових величин, які представлені в табл. 2.

Встановлено, що σ_i змінюється пропорційно μ_i . Це дозволяє дійти висновку, що випадкова величина часу виконання тієї чи іншої операції під час ліквідації пожеж має свій характер зміни, який підпорядковується наступній залежності

$$\sigma_i = 0,814\mu_i + 8,747, \quad \mu_i \in [28,13; 75,9] \quad (2)$$

Таблиця 2

Параметри випадкових величин

Час прибуття (τ_{pr})		Час локалізації (τ_{lok})		Час ліквідації (τ_{lik})	
$\mu_{pr}, \text{ХВ}$	$\sigma_{pr}^2, \text{ХВ}^2$	$\mu_{lok}, \text{ХВ}$	$\sigma_{lok}^2, \text{ХВ}^2$	$\mu_{lik}, \text{ХВ}$	$\sigma_{lik}^2, \text{ХВ}^2$
28,13	1015,9	47,04	2183	75,9	5001

Проведений аналіз показав, що випадкова величина часу до моменту прибуття підрозділів може бути описана розподілом Релея

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma^2} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot \sigma^2}\right), & x \geq 0; \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (3)$$

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

$$\chi_i^2 = N \frac{(P_i^{\text{th}} - P_i^{\text{emp}})^2}{P_i^{\text{th}}}, \quad (4)$$

де P_i^{th} , P_i^{emp} – передбачувана теоретична та експериментальна ймовірність попадання в i -й інтервал.

На рис. 3 наведено залежності частот, отриманих емпіричним і теоретичним шляхом, і значення χ_i^2 для часу до моменту прибуття підрозділів.

Аналогічним чином було отримано теоретичні частоти для часу до моменту локалізації пожежі, ліквідації пожежі за гіпотез, що випадкові величини так само мають розподіл Релея.

Визначено, що критерій Пірсона $\chi_p^2 < \chi_{кр}^2$, тому прийняті гіпотези про розподіли Релея не суперечать наявним вибірковим даним на рівні значущості 0,05.

На основі отриманих значень математичного сподівання побудовано щільності ймовірності та функції розподілу (рис. 4) для τ_{pr} , τ_{lok} і τ_{lik} відповідно до (3).

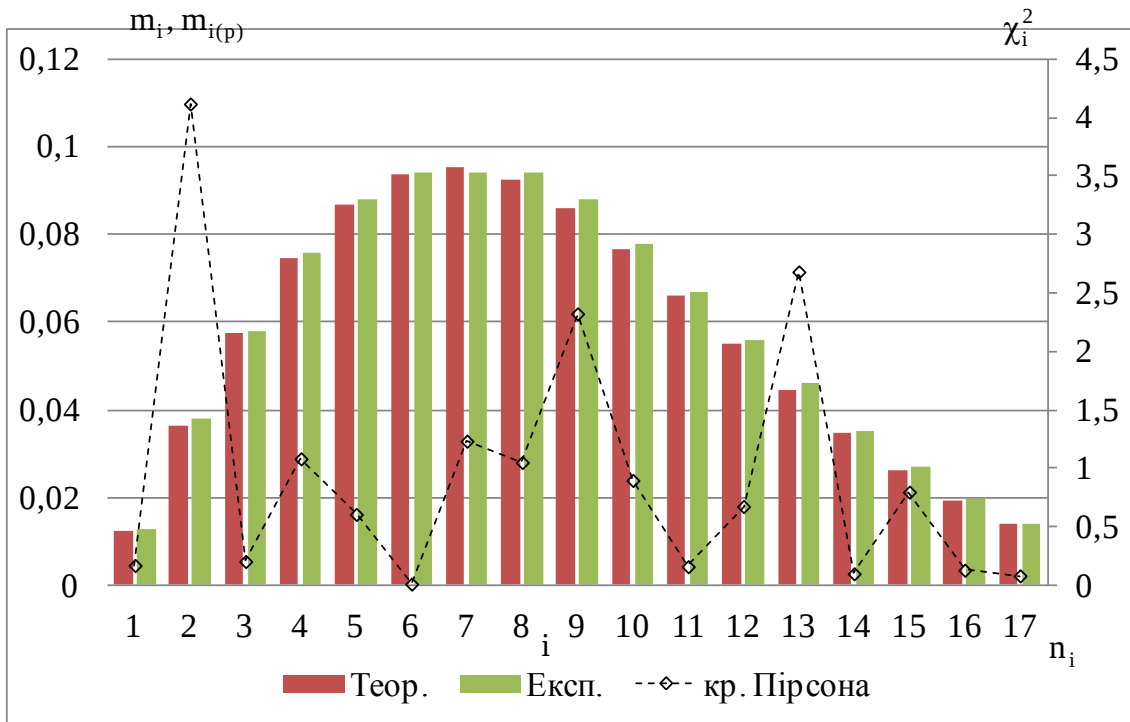


Рис. 3. Залежність частот, отриманих емпіричним (m_i) і теоретичним шляхом ($m_{i(p)}$), а також значення χ_i^2 для часу до моменту прибуття підрозділів

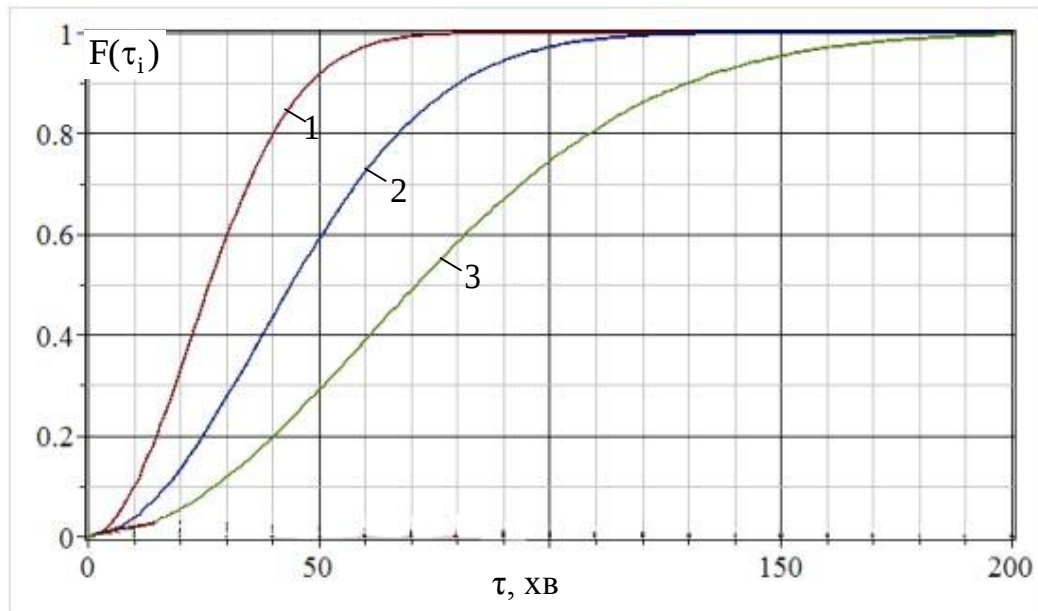


Рис. 4. Статистична функція розподілу: 1 – часу прибуття підрозділів до місця пожежі; 2 – часу до локалізації; 3 – часу до ліквідації

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

Таким чином, отримані імовірнісні моделі для даних випадкових

величин можуть бути використані при оцінці ефективності дій під час гасіння 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.

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 (рис. 5), буде залежати від величини температури у приміщенні, характеру її зміни, властивостей матеріалу стіни та інших параметрів.

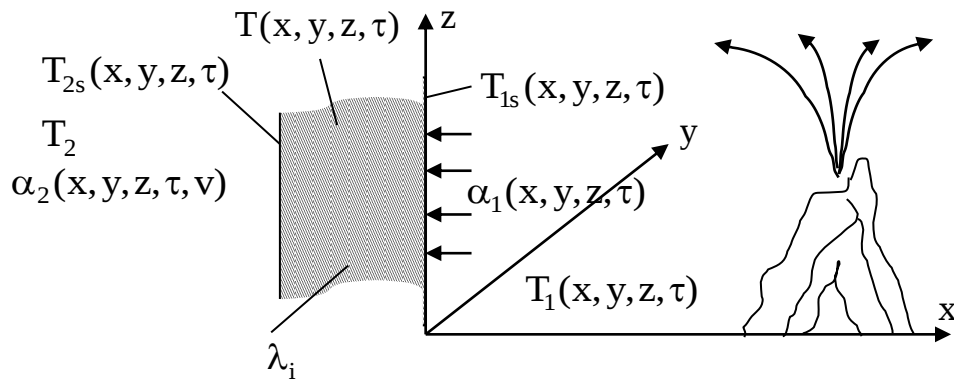


Рис. 5. Схема приміщення і пожежі в ньому: $T_1(x, y, z, \tau)$, T_2 – температура усередині приміщення і зовнішнього середовища; $T_{1s}(x, y, z, \tau)$, $T_{2s}(x, y, z, \tau)$ – температура внутрішньої й зовнішньої поверхонь стінки; $\alpha_1(x, y, z, \tau)$, $\alpha_2(x, y, z, \tau)$ – коефіцієнт тепловіддачі біля внутрішньої і зовнішньої поверхні стіни; λ_i – коефіцієнти теплопровідності конструкції стіни, утеплювача, оздоблювального матеріалу ($i=1..n$)

Важливе місце при розрахунку теплових полів мають коефіцієнти тепловіддачі. Результати теоретичних та експериментальних досліджень ряду авторів коефіцієнта тепловіддачі в приміщенні під час пожеж показали, що їх величина може знаходитися в інтервалі від 114 до 260 Вт/(м²К).

Коефіцієнт тепловіддачі зовні приміщення суттєво залежить від швидкості вітру. У роботі було використано найбільш поширені вирази для даних коефіцієнтів

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

$$\alpha_1 = 1,66 \cdot (1 + 10^{-3}(T_{1s} - 20)) \cdot \Delta T^{1/3}, \quad (6)$$

де v – швидкість вітру, м/с; T_{1s} – температура внутрішньої поверхні стіни, °C; ΔT – різниця температур середовища всередині приміщення T_{pom} та T_{1s} , °C.

Враховуючи, що геометричні розміри будівель (приміщень), а саме ширина і висота, найчастіше на один-два порядки перевищують товщину, розглянемо задачу передачі тепла як одновимірну. Тоді, у разі виникнення пожежі, відбувається зміна температури усередині приміщення, що призводить до зміни параметрів стіни відповідно до виразу

$$\frac{\partial}{\partial \tau} T(x, \tau) = a_{st} \cdot \frac{\partial^2}{\partial x^2} T(x, \tau), \quad (7)$$

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 з опису впливу небезпечних факторів пожежі й типу матеріалу стін (огорожувальні конструкції) на показання тепловізора можна записати у вигляді

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

де ϵ , $\Delta \epsilon$ – коефіцієнт випромінювання та його зміна при зміні температури; $h=6,62 \cdot 10^{-34}$, Дж·с; $c=3 \cdot 10^8$, м/с; λ – довжина хвилі, м; $r(\lambda, T)$

– спектральна щільність енергетичної світності; T_{vs}, T_2 – температура середовища зовні приміщення та температура зовнішньої поверхні стіни, °C.

Розроблений алгоритм рішення моделі наведено на рис. 6.

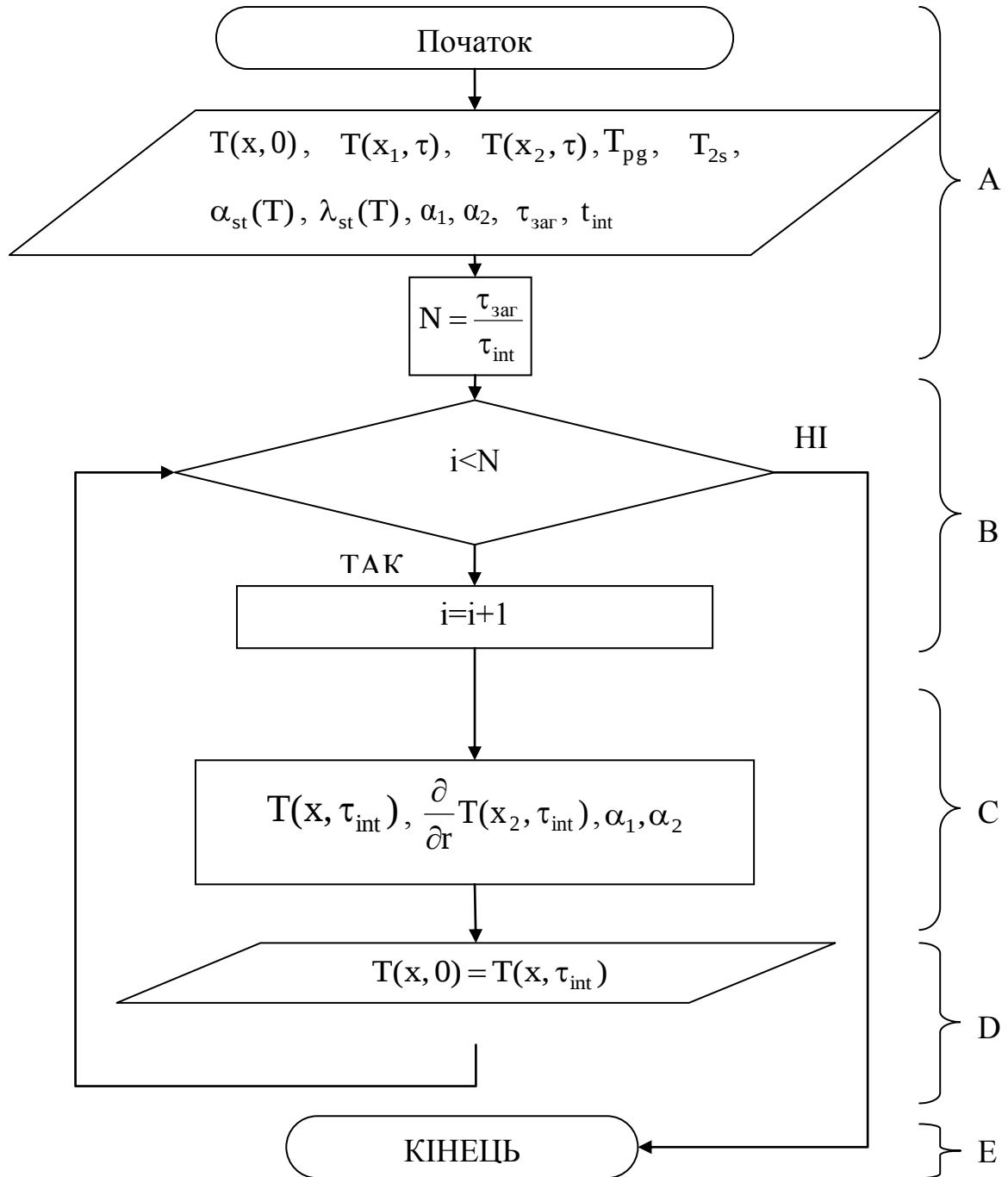


Рис. 6. Алгоритм роботи програми з визначення температури зовнішньої поверхні стінки

На рис. 7 та 8 відповідно до (8) наведені залежності температури в перерізі стіни від часу.

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 $12 \div 14 \%$.

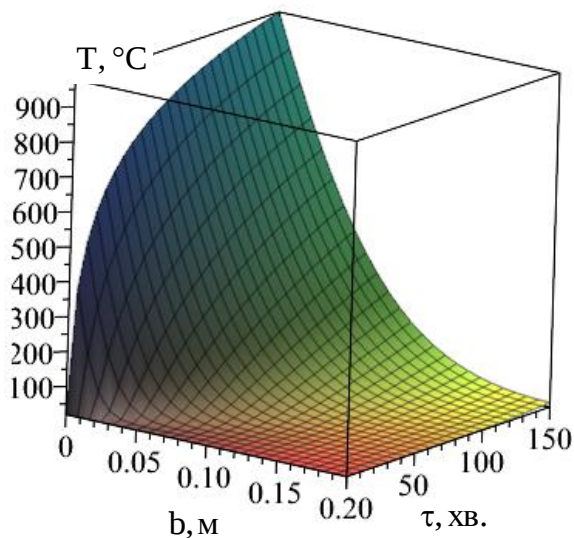


Рис. 7. Залежність температури в перерізі стіни (b) від часу (τ)

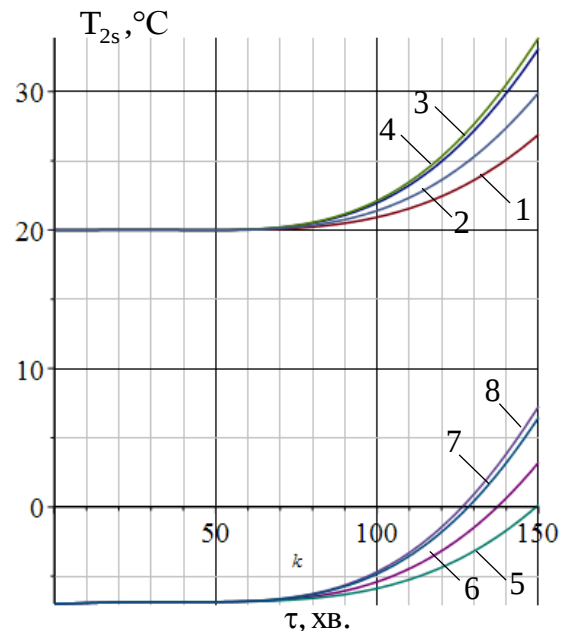


Рис. 8. Залежність температури зовнішньої поверхні стіни від часу: 1, 5 – $\alpha_1 = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 2, 6 – $\alpha_1 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 3, 7 – $\alpha_1 = 115 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 4, 8 – $\alpha_1 = 150 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; 1–4 – $T_2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

На рис. 9 наведено залежності температури поверхні стін будівлі від швидкості вітру за різних значень T_1 і характеристик стіни. Криві 2, 3, 4 побудовані за умови температур у приміщенні 150°C та 400°C , які досягаються вже через декілька хвилин пожежі.

Аналіз рисунка 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. Таким чином, внесення місцевих змін у характеристики огорожувальних конструкцій будівель не дає змоги достовірно визначити наявність пожежі у приміщенні.

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.

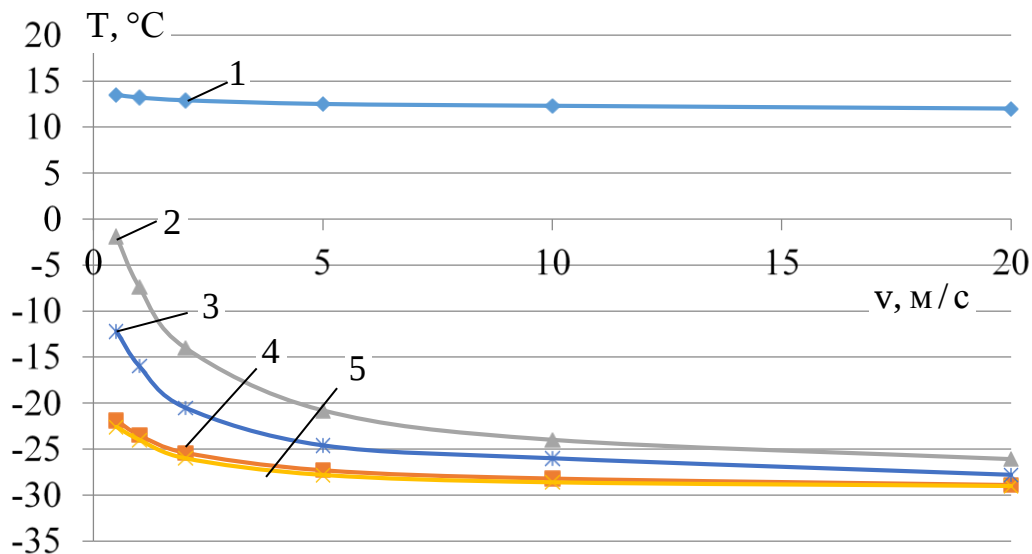


Рис. 9. Залежність температури поверхні стін будівлі від швидкості вітру: 1 – T_{1s} ; 2 – T_{2s} ($T_1 = 150$ °C); 3 – T_{2s} ($T_1 = 400$ °C + 10 см утеплення); 4 – T_{2s} ($T_1 = 150$ °C + 10 см утеплення); 5 – T_{2s}

У четвертому розділі наведені 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 якості експериментального обладнання використовувалися:

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

Перші два пристрої мають можливість змінювати коефіцієнт випромінювання для точної ідентифікації температури.

Залежність теоретичних та експериментальних значень температури поверхні й відносні похибки в залежності від швидкості вітру за стаціонарних умов наведені на рис. 10 ($\alpha_2 = 25$ Вт/(м²К)). Фото термограми наведено на рис. 11. Протягом проведення експерименту швидкість вітру мала відхилення не більше 2 м/с, що пов'язано з коливаннями швидкості з природних причин.

Аналіз рис. 10 показує, що різниця теоретичних значень та експериментальних здебільшого не перевищує 20 %, що є цілком прийнятним для такого типу досліджень.

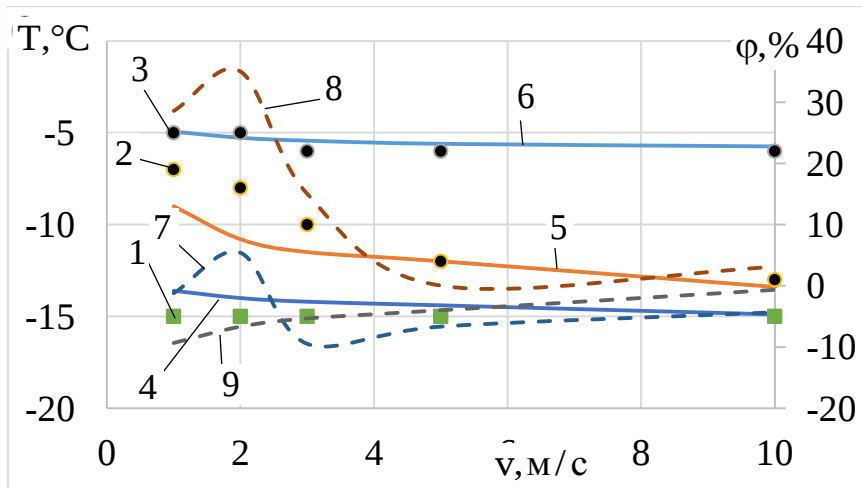


Рис. 10. Залежність теоретичних та експериментальних значень температури поверхні й відносні похибки (ϕ) в залежності від швидкості вітру: 1-3 – експериментальні дані; 4-6 – теоретичні; 7-9 – відносні похибки; 1, 4, 7 – ($T_2 = -15^\circ\text{C}$; 10 см утеплення); 2, 5, 8 – ($T_2 = -15^\circ\text{C}$); 3, 6, 9 – ($T_2 = -6^\circ\text{C}$; 10 см утеплення)



Рис. 11. Термограма поверхні будівлі

Експериментальні дослідження зі склопакетом проводились згідно з наступною схемою (рис. 12). На першому етапі були виконані дослідження з метою визначення можливості ідентифікації пожежі (полум'я) на початковій стадії пожежі.

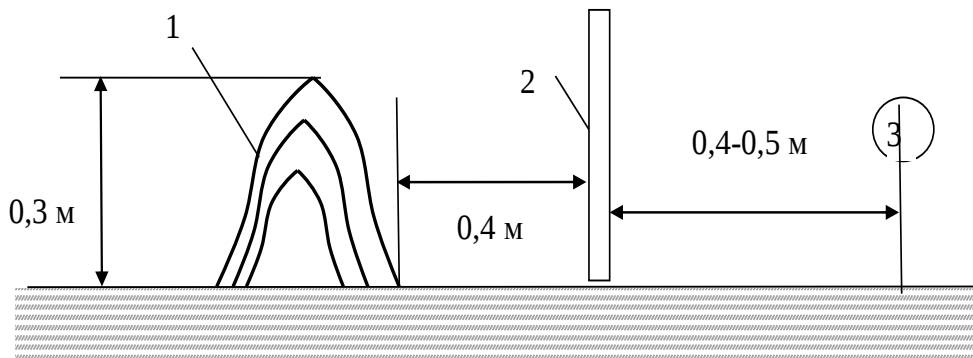


Рис. 12. Схема експериментального майданчика: 1 – полум'я; 2 – склопакет; 3 – тепловізор

На рис. 13,а наведено результати проведених експериментальних досліджень, а саме фото полум'я в інфрачервоному спектрі, а на рис. 13,б – вигляд цього полум'я через склопакет у тому ж спектрі. З рисунка видно, що ідентифікувати полум'я через склопакет неможливо. У той же час на рис. 13,в наведено фото склопакета із внутрішньої сторони від впливу полум'я в інфрачервоному спектрі.

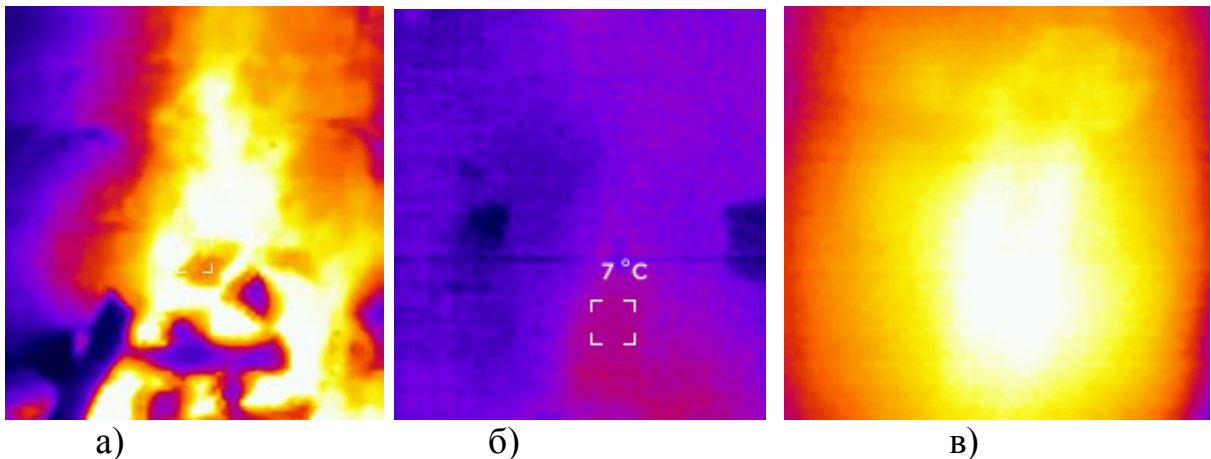


Рис. 13. Термограми з тепловізора: а – полум'я; б – термограма полум'я крізь скло; в – нагрітої сторони скла (через 2 хв)

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

Далі було проведено експериментальні дослідження температури склопакета під час пожежі. На рис. 14 наведено експериментальні значення температур та області теоретичних значень температури, які могли бути на той момент часу.

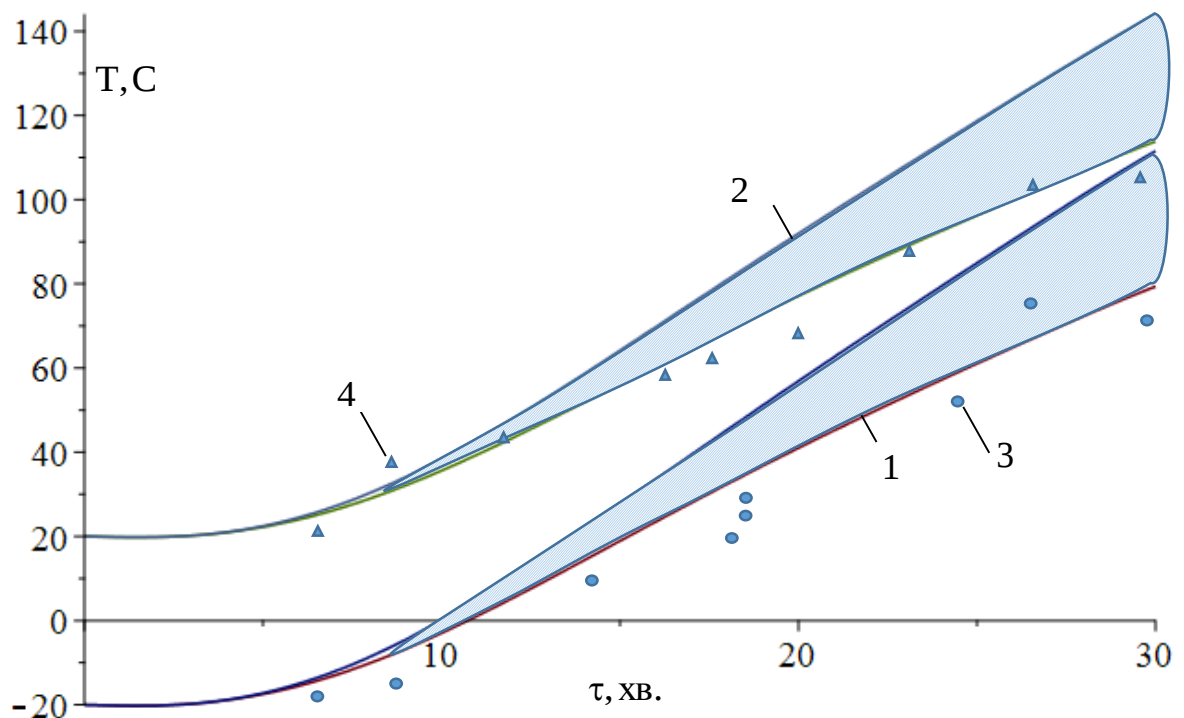


Рис. 14. Порівняння експериментальних та теоретичних результатів температури склопакета під час пожежі: 1, 2 – теоретичні області температур склопакета; 3, 4 – відповідно експериментальні дані щодо температури склопакета

Області 1 ($T_{2s0}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\alpha_2 \in [25;50]\text{ Вт/(м}^2\text{К)}$) та 2 ($T_{2s0}=-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\alpha_2 \in [25;50]\text{ Вт/(м}^2\text{К)}$) відповідають можливим теоретичним областям температури, за умови коливань швидкості вітру та температури всередині приміщення під час пожежі.

Було проведено оцінку похибки на різницю температур, тобто зміни від початкової. У результаті чого було встановлено, що похибка не перевищує 35 %.

У п'ятому розділі проведено експертну оцінку ефективності використання тепловізорів під час гасіння пожеж, запропоновано критерії ефективності та проведено оцінку ефективності використання тепловізорів.

Оскільки на сьогодні використання тепловізорів не регламентоване, то, відповідно, ефективність його використання залежить від практичного досвіду, розуміння основ роботи пристрою та основ термодинаміки.

Для оцінки ефективності використання тепловізорів було проведено опитування 15 експертів, котрі у своїй практичній діяльності використовують вказані пристрої та застосовувати їх під час гасіння пожеж. Кожному з них було поставлено два запитання, а саме:

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

Результати відповіді експертів зведені до табл. 3.

Таблиця 3

Експертна оцінка ефективності використання тепловізорів

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

У результаті обробки даних отримано коефіцієнти варіації для значень скорочення часу у хвилинах та відсотках. На рис. 15 наведено внесок кожного експерта у величину коефіцієнта варіації.

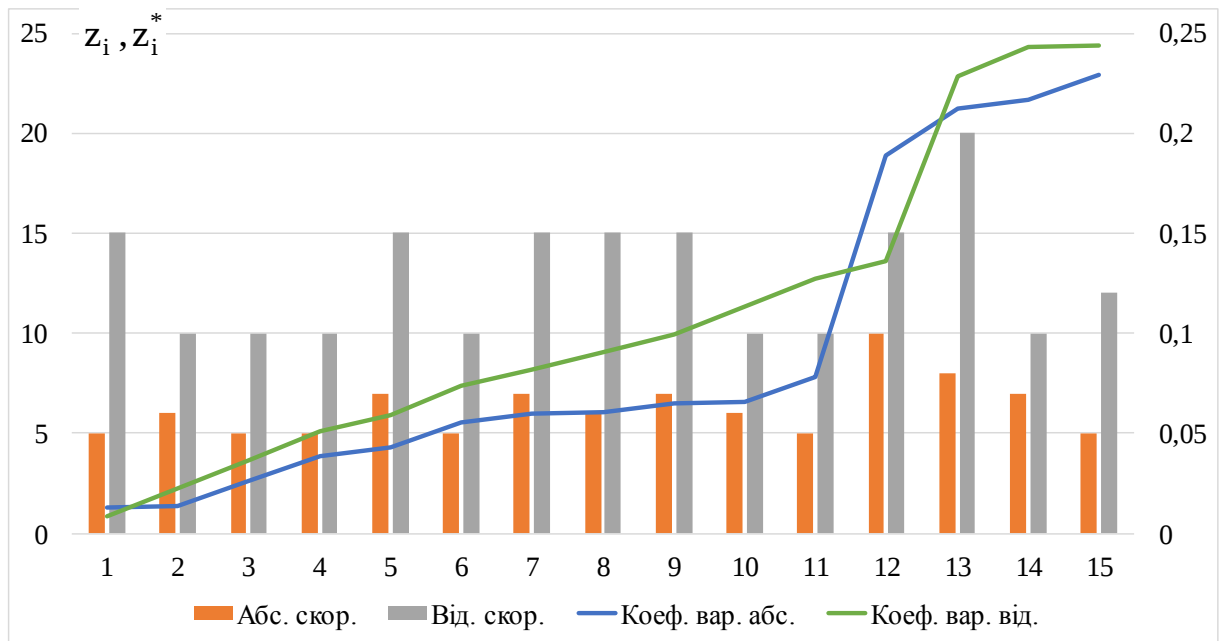


Рис. 15. Внесок експерта у величину коефіцієнта варіації

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

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

На основі отриманих експертних оцінок проведено оцінку ефективності використання тепловізорів за критерієм відносної зміни площі пожежі γ_S та ймовірності локалізації γ_F .

Так, при круговій формі пожежі площа після 10 хв буде визначатися виразом

$$S_{\Pi} = w \cdot \pi (V_{\Pi} (\tau_{\text{віль}} - 5))^2, \quad (9)$$

де w – коефіцієнт, який залежить від форми пожежі; V_{Π} – лінійна швидкість поширення пожежі; $\tau_{\text{віль}}$ – час вільного розвитку пожежі.

Тоді, з урахуванням (2), (3), (8), (9) і табл. 3, вплив скорочення часу з виявлення пожежі та, відповідно, математичного сподівання μ на площу та ймовірність локалізації можна графічно відобразити у наступному вигляді (рис. 16).

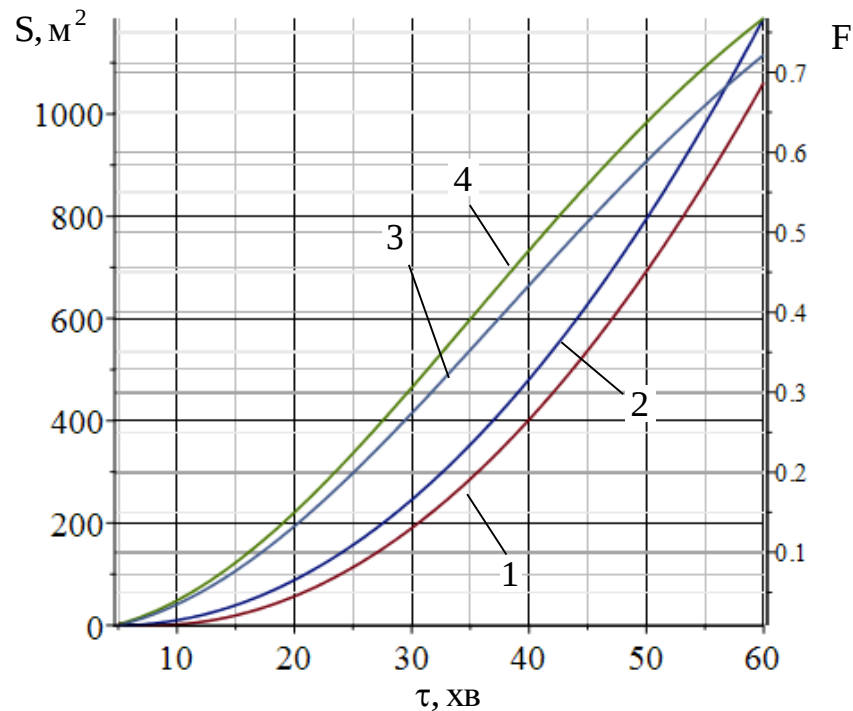


Рис 16. Залежність площі пожежі (S) та імовірності локалізації (F) від часу: 1 – $S|_{\mu=47}$; 2 – S ; 3 – $F|_{\mu=47}$; 4 – $F|_{\mu=44}$

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

У цілому ж встановлено, що при використанні тепловізора і скороченні часу в рамках проведеної експертної оцінки можливе підвищення імовірності локалізації пожежі на величину до 12 % та скорочення площі пожежі в середньому на 25 %.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеним науковим дослідженням, наведено результати розв'язання актуальної науково-практичної задачі підвищення ефективності ліквідації пожеж за рахунок скорочення часу виявлення осередку пожежі при використанні тепловізорів.

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 %.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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 тепловізора / 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.

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.

В роботі проведено аналіз роботи аварійно–рятувальних підрозділів та 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, які використано при ліквідації пожежі; скорочення часу розвідки; зменшення кількості травмованих людей.

Розроблено математичну модель з опису температурного впливу пожежі на показання тепловізора та проведено комплекс експериментальних досліджень для перевірки адекватності математичної моделі.

Проведено експертну оцінку ефективності використання тепловізорів при пожежах. Запропоновано критерії та отримано оцінки ефективності ліквідації пожеж.

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

АННОТАЦИЯ

Гасанов Х.Ш. Повышение эффективности ликвидации пожаров за счет сокращения времени обнаружения очага пожара. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 21.06.02 «Пожарная

безопасность» (261 – Пожарная безопасность). – Национальный университет гражданской защиты Украины, ГСЧС Украины, Харьков, 2018.

Диссертация посвящена повышению эффективности ликвидации пожаров за счет сокращения времени обнаружения очага пожара при использовании тепловизоров.

В работе проведен анализ работы аварийно-спасательных подразделений и вспомогательных устройств, работающих в инфракрасном диапазоне и которые могут быть использованы при тушении пожаров. Показано, что использование тепловизоров может привести к: уменьшению времени локализации и ликвидации пожара; уменьшению прямых и косвенных материальных убытков; сокращению объемов огнетушащего вещества, которые использованы при ликвидации пожара; сокращению времени разведки; уменьшению количества травмированных людей.

Разработана математическая модель по описанию температурного воздействия пожара на показания тепловизора и проведен комплекс экспериментальных исследований для проверки адекватности математической модели.

Проведена экспертная оценка эффективности использования тепловизоров при пожарах. Предложены критерии и получены оценки эффективности ликвидации пожаров.

Ключевые слова: тепловизор, пожар, излучение, теплопередача, локализация пожара, ликвидация пожара, эффективность.

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.

The dissertation is dedicated to the improvement of fire response efficiency by means of reducing the time of initial fire detection using thermographic cameras.

The paper analyzes the operation of fire emergency response units and auxiliary devices which operate in the infrared range and can be used to extinguish fires.

It is shown that the use of thermographic cameras can lead to:

- reduction of the control time and fire suppression time;
- reduction of direct and indirect material losses;
- reduction of the fire extinguishing agent amount used during the

fire suppression;

- reduction of fire reconnaissance time;
- reduction in the number of injured people.

Taking into account the Wien's displacement law, it is established that in the time interval up to 100 minutes the maximum emission falls on the wavelength range invisible to the human eye which confirms the practicability of using thermographic cameras in extinguishing fires.

The analysis of the mathematical tool on the use of thermographic cameras in extinguishing fires has been carried out. It has been revealed that the existing mathematical models and experimental studies do not allow to make a full-scale assessment of the fire or its development.

In order to determine the fire spread time the time values of fire emergency response unit arrivals to the site of the fire were analyzed. Time values from the moment of fire break-out to the moment of arrival, control and suppression were used as initial data. 50,000 cases of fire have been processed.

There has been a mathematical model developed using the transient heat conduction equation with boundary conditions of the third kind on the inner and outer surfaces with a description of the thermal effect of the fire on the readings of a thermographic camera.

A complex of experimental studies has been conducted to determine the temperatures during a fire and its influence on external structures, as well as the influence of dangerous fire factors on double-glazed windows. It has been found that the obtained mathematical model allows to determine the temperature values to a tolerance of no more than 35%.

An expert assessment has been carried out regarding the efficiency of using thermographic cameras during fires. There have been criteria proposed and estimates of the fire response efficiency obtained.

Key words: thermographic camera, fire, emission, heat transfer, fire control, fire suppression, efficiency.

Підписано до друку 19.01.18. Формат 60х84/16..
Папір 80 г/м2 . Друк ризограф. Авт. арк. 1,0.
Тираж 100 прим. Вид. № 58/18.
Сектор редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94