

Інформаційна технологія прогнозування основних параметрів зони можливого ураження ймовірної пожежі внаслідок впливу теплового випромінювання

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»

Вступ

Унаслідок впливу уражальних чинників (УЧП) 45000...60000 пожеж, які щорічно виникають в Україні, гинуть і отримують тяжкі ураження близько 6000 осіб, знищується вогнем понад 20000 будівель і споруд, більше 2500 одиниць техніки, а тільки прямі збитки сягають 500 млн гривень [1]. При цьому чи не найбільшим у цю сумну статистику є «внесок» впливу уражального чинника – теплового випромінювання пожежі. Такі тяжкі наслідки пожеж зумовлюються передусім запізненням введення в дію угруповання пожежних підрозділів, кількісний і якісний склад сил і засобів якого був би достатнім для забезпечення гарантованого рятування людей та ефективної локалізації та ліквідації кожної з конкретних пожеж.

1. Формулювання проблеми

Указане запізнення виникає через відсутність (на момент надходження оповіщення про виникнення чергової конкретної пожежі) інформації, конче необхідної для своєчасного створення і направлення на місце пожежі адекватного за складом і чисельністю угруповання пожежних підрозділів. Зокрема, повністю відсутня інформація щодо форми, геометричних розмірів, просторового розташування та інших параметрів зони можливого ураження цієї пожежі внаслідок впливу її теплового випромінювання. Така інформація необхідна для проведення завчасного визначення потрібної кількості (за типами і моделями) основних і спеціальних пожежних машин і позицій їхнього бойового розгортання, потрібної кількості рятувальників, номеклатури їхнього оснащення тощо. Цю інформацію в наш час здобувають [1, 2, 3] проведенням пожежної розвідки в процесі локалізації та гасіння конкретної пожежі, що призводить до суттєвого запізнення введення в дію необхідних сил і засобів пожежогасіння, а отже, й до зростання людських і матеріальних втрат.

Але її можна здобути завчасно шляхом прогнозування можливих екологічних і соціально-економічних наслідків імовірних пожеж. Тому розробка інформаційної технології прогнозування основних параметрів зони можливого ураження ймовірної пожежі внаслідок впливу її теплового випромінювання ($ЗМУ_{\text{тепл}}$) є ще не вирішеною і дуже актуальною задачею.

2. Вирішення проблеми

2.1. Модель зони можливого ураження пожежі внаслідок впливу її теплового випромінювання

Зона можливого ураження $ЗМУ_{\text{тепл}}$ утворюється в оточуючому середовищі

(ОС) навколо зони горіння (ЗГ) будь-якої з пожеж унаслідок впливу її уражального чинника (УЧП) – теплового випромінювання (тобто випромінювання електромагнітних хвиль в інфрачервоному, видимому і ультрафіолетовому діапазонах). Основним джерелом указанного УЧП є розігріті молекули та інші мікрочастинки (далі - мікрочастинки), які переміщуються в межах підфакельного простору, «об'єднаного факела» полум'я і висхідної гілки «димових газів» - єдиного замкненого газового потоку ЗМУ пожежі. На рис. 1 зображено: 1 – «запаси» горючого матеріалу; 2 – підфакельний простір; 3 – «об'єднаний факел» полум'я; 4 – висхідна гілка «димових газів»; 5 – низхідні гілки ЗМУ пожежі; 6 – зовнішні межі ЗМУ пожежі; 7 – атмосферне повітря оточуючого середовища.

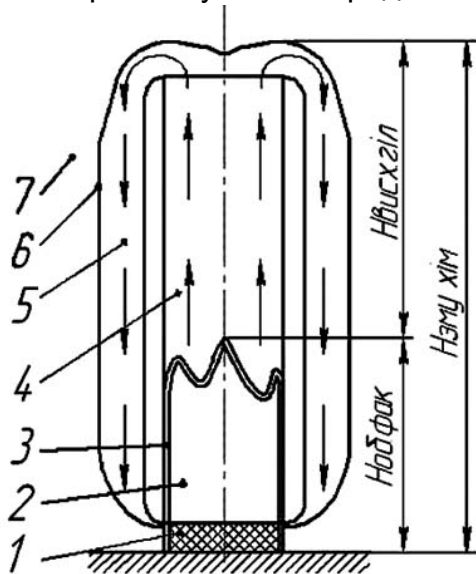


Рис. 1. Структура ЗМУ пожежі

Саме у підфакельному просторі 2 кожна мить утворюється множина $\{M_1\}$ мікрочастинок горючих газів - ГГ (пари та аерозолів горючих рідин (Грід) чи твердих горючих матеріалів (ТГМ)) і мікрочастинок насиченого киснем атмосферного повітря (яке надходить із середовища, що оточує ЗГ, і тим спричинює виникнення низхідних гілок 5). Вказані мікрочастинки «підігріваються» у підфакельному просторі та надходять до «об'єднаного факела» полум'я у вигляді хімічно однорідної горючої суміші (ХОГС). При цьому величина власної температури кожної конкретної з таких мікрочастинок ($t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}}$) змінюється в межах від значення температури випаровування конкретного горючого матеріалу ($t_{\text{вип.Гмконкр}}$) до значення температури його факелу полум'я ($t_{\text{фак.Гмконкр}}$).

У тонкостінній оболонці «об'єднаного факела» полум'я пожежі відбувається екзотермічна реакція перетворення мікрочастинок ХОГС у множину $\{M_2\}$ мікрочастинок продуктів повного і неповного згоряння, власна температура кожної з яких має значення $t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}} \approx t_{\text{фак.Гмконкр}}$.

Зазначені мікрочастинки під впливом архімедової піднімальної сили виходять за межі «об'єднаного факела» полум'я і утворюють (разом з мікрочастинками продуктів повного і неповного згоряння, які виникли в «об'єднаному факелі» у попередні моменти) множину $\{M_3\}$ мікрочастинок висхідної гілки «димових газів». У процесі руху вздовж висхідної гілки мікрочастинки «димових газів» охолоджуються. При цьому величина їхньої власної температури змінюється в межах від значення $t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}} = t_{\text{фак.Гмконкр}}$ до значення $t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}} = t_{\text{ос}}$ (де $t_{\text{ос}}$ – температура оточуючого середовища).

Відомо [4], що при нагріванні матеріальних тіл (зокрема, мікрочастинок множин $\{M_1\}$, $\{M_2\}$ і $\{M_3\}$) частина (55...60%) теплової енергії трансформується у «теплове випромінювання» у інфрачервоному, видимому і ультрафіолетовому діапазонах електромагнітних хвиль. Отже, кожна з конкретних мікрочастинок множин $\{M_1\}$, $\{M_2\}$ і $\{M_3\}$ є своєрідним «елементарним генератором» електромагнітних коливань, довжина хвилі власного максимального теплового випромінювання якого згідно із законом Віна визначається співвідношенням

$$\lambda_{\text{max.влас.конкр}} = \frac{2880 \cdot 10^{-6}}{(t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}} + 273)}, \quad (1)$$

де $\lambda_{\text{мах.влас.конкр}}$ – довжина хвилі власного максимального теплового випромінювання конкретної нагрітої мікрочастинки, м;

$t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}}$ - власна температура конкретної нагрітої мікрочастинки, °C.

У свою чергу, частоту електромагнітних коливань максимального теплового випромінювання кожного конкретного з таких «елементарних генераторів» можна визначити за формулою

$$f_{\text{мах.влас.конкр}} = 1,042 \cdot 10^{11} \cdot (t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}} + 273), \quad (2)$$

де $f_{\text{мах.влас.конкр}}$ – частота електромагнітних коливань власного максимального теплового випромінювання конкретної нагрітої мікрочастинки, Гц;

$t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}}$ - власна температура конкретної нагрітої мікрочастинки, °C.

Кожна конкретна з нагрітих мікрочастинок множин $\{M_1\}$, $\{M_2\}$ і $\{M_3\}$ народжується і функціонує протягом певного терміну як конкретний «елементарний генератор» незалежно від умов «народження і функціонування» інших мікрочастинок. Крім того (при будь-якому законі розподілення), ймовірність одночасного виникнення двох, трьох і т.д. нагрітих мікрочастинок, які мають однакові величини $t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}}$, на два і більше порядків менша від імовірності одночасного виникнення нагрітих мікрочастинок, величини власних температур яких (хоч і не дуже суттєво) відрізняються одна від іншої. Тому електромагнітні коливання, що випромінюються абсолютною більшістю вказаних «елементарних генераторів», є некогерентними і розрізняються за значенням їхніх частот.

Згідно із законом Стефана – Больцмана інтенсивність теплового випромінювання кожної з нагрітих мікрочастинок (у місці її розташування) прямо пропорційна четвертому степеню її абсолютної температури:

$$I_{\text{мікрочаст.конкр}} = \epsilon_{\text{мікрочаст}} \cdot \sigma \cdot (t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}} + 273)^4, \quad (3)$$

де $I_{\text{мікрочаст.конкр}}$ – інтенсивність теплового випромінювання (на частоті $f_{\text{мах.влас.конкр}}$) у місці розташування конкретної нагрітої мікрочастинки (тобто потужність електромагнітних коливань, що випромінюються з одиниці поверхні вказаної мікрочастинки), Вт/м²;

$\epsilon_{\text{мікрочаст}}$ - коефіцієнт “чорноти” нагрітої мікрочастинки;

σ - стала Стефана – Больцмана ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²);

$t_{\text{влас.мікроч.конкр}}$ - власна температура конкретної нагрітої мікрочастинки, °C.

Оскільки лінійні розміри кожної з нагрітих мікрочастинок (наприклад, для молекул газів вони не перевищують значення $10^{-8} \dots 10^{-9}$ м) значно менші, ніж довжина хвилі, що ними випромінюється ($\lambda_{\text{мах.влас.конкр}} = 10^{-4} \dots 10^{-6}$ м), то діаграму спрямованості кожного з таких «елементарних генераторів» можна вважати сфероподібною. Тому теплове випромінювання кожного з таких «елементарних генераторів» розповсюджується в оточуючому середовищі рівномірно у всіх напрямках (відносно місця розташування конкретної нагрітої мікрочастинки) у межах сфери із швидкістю, близькою до значення $3 \cdot 10^8$ м/с. При цьому потужність електромагнітних коливань вказаного “елементарного генератора” визначається формулою

$$\begin{aligned} P_{\text{тепл.випр.ел.ген}} &= I_{\text{мікрочаст.конкр}} \cdot S_{\text{пов.мікрочаст.конкр}} = \\ &= \epsilon_{\text{мікрочаст}} \cdot \sigma \cdot (t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}} + 273) \cdot \pi \cdot d_{\text{мікрочаст}}^2, \end{aligned} \quad (4)$$

де $P_{\text{тепл.випр.ел.ген}}$ - потужність електромагнітних коливань теплового випромінювання елементарного генератора, Вт;

$I_{\text{мікрочаст.конкр}}$ - інтенсивність теплового випромінювання конкретної нагрітої мікрочастинки, Вт/м²;

$S_{\text{пов.мікрочаст.конкр}}$ - площа поверхні конкретної нагрітої мікрочастинки, м²;

$\epsilon_{\text{мікрочаст}}$ - коефіцієнт “чорноти” нагрітої мікрочастинки ($\epsilon_{\text{мікрочаст}} \approx 1$);

σ - стала Стефана – Больцмана;

$t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}}$ - власна температура конкретної нагрітої мікрочастинки, °С;

$d_{\text{мікрочаст}}$ - діаметр розігрітої мікрочастинки, м.

У процесі такого розповсюдження інтенсивність первинного електромагнітного поля, що випромінюється конкретною нагрітою мікрочастинкою (тобто поверхнева густина потужності теплового потоку ($\text{ПГПТП}_{\text{мікрочаст.конкр}}$)), зменшується згідно з виразом

$$\text{ПГПТП}_{\text{мікрочаст.конкр}}(r) = \frac{P_{\text{тепл.випр.ел.ген}}}{4\pi r^2} \approx \frac{\sigma}{4r^2} (t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}} + 273)^4 \cdot d_{\text{мікрочаст}}^2, \quad (5)$$

де $\text{ПГПТП}_{\text{мікрочаст.конкр}}(r)$ – величина поверхневої густини потужності теплового потоку залежно від відстані r до конкретної нагрітої мікрочастинки, Вт/м²;

$P_{\text{тепл.випр.ел.ген}}$ - потужність електромагнітних коливань “теплового випромінювання” елементарного генератора, Вт;

σ - стала Стефана – Больцмана;

$t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}}$ - особиста температура конкретної нагрітої мікрочастинки, °С;

$d_{\text{мікрочаст}}$ - діаметр розігрітої мікрочастинки, м;

r – відстань від конкретної нагрітої мікрочастинки, м.

Указане первинне електромагнітне поле при досягненні будь-якого з конкретних матеріальних об'єктів (який розташований в оточуючому середовищі та має температуру – $t_{\text{об'єкт.конкр}} = t_{\text{OC}}$) наводить у ньому струми електропровідності i (або) струми електрозміщення. У результаті виникнення цих струмів:

- частина енергії первинного електромагнітного поля (поглинута цим матеріальним об'єктом) перетворюється у теплову енергію, яка нагріває об'єкт, унаслідок чого підвищується його температура ($t_{\text{об'єкт.конкр}} > t_{\text{OC}}$);

- інша частина поглинутої цим об'єктом енергії витрачається на створення вторинного поля теплового випромінювання нагрітого описаним способом об'єкта, що сприяє його охолодженню.

Зазначене вторинне електромагнітне поле поширюється, як правило, і в напрямку конкретного «елементарного генератора», який створює первинне електромагнітне поле, що призводить до зниження ефективності нагріву конкретного матеріального об'єкта тепловим випромінюванням конкретної нагрітої мікрочастинки згідно із співвідношенням

$$\text{ПГПТП}_{\text{мікрочаст.конкр}}(r_{\text{об'єкт.конкр}}) = \frac{\sigma \cdot d_{\text{мікрочаст}}^2}{4r_{\text{об'єкт.конкр}}^2} (t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}}^4 - t_{\text{об'єкт.конкр}}^4), \quad (6)$$

де $\text{ПГПТП}_{\text{мікрочаст.конкр}}(r_{\text{об'єкт.конкр}})$ – величина поверхневої густини потужності теплового потоку, що створюється в оточуючому середовищі тепловим випромінюванням конкретної нагрітої мікрочастинки на відстані $r_{\text{об'єкт.конкр}}$ від неї), яка ефективно використовується для нагріву конкретного матеріального об'єкта, Вт/м²;

σ - стала Стефана – Больцмана;

$d_{\text{мікрочаст}}$ - діаметр розігрітої мікрочастинки, м;

$t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}}$ - власна температура конкретної нагрітої мікрочастинки, °С;

$t_{\text{об'єкт.конкр}}$ - температура конкретного матеріального об'єкта, що опромінюється тепловим випромінюванням нагрітої мікрочастинки, °С;

$r_{\text{об'єкт.конкр}}$ - відстань від конкретної нагрітої мікрочастинки до конкретного опромінюваного матеріального об'єкта, м.

Згідно з виразом (6) конкретна нагріта мікрочастинка може продовжувати нагрівати своїм тепловим випромінюванням матеріальний об'єкт, що опромінюється нею, тільки за умови $t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}} > t_{\text{об'єкт.конкр}}$, а величина енергії, яка витрачається на здійснення такого нагріву цього матеріального об'єкта, визначається співвідношенням

$$E_{\text{нагр.об'єкт.конкр}} = \frac{T_{\text{нагр.мікрочаст.конкр}} \cdot \sigma \cdot d_{\text{мікрочаст}}^2}{4r_{\text{об'єкт.конкр}}^2} (t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}}^4 - t_{\text{об'єкт.конкр}}^4), \quad (7)$$

де $E_{\text{нагр.об'єкт.конкр}}$ - величина енергії теплового випромінювання конкретної розігрітої мікрочастинки, яка витрачається на нагрівання конкретного об'єкта, розташованого на відстані $r_{\text{об'єкт.конкр}}$ від указаної мікрочастинки, Дж;

$T_{\text{нагр.мікрочаст.конкр}}$ - термін «нагрівання» тепловим випромінюванням конкретної розігрітої мікрочастинки конкретного матеріального об'єкта, с;

σ - стала Стефана – Больцмана;

$d_{\text{мікрочаст}}$ - діаметр розігрітої мікрочастинки, м;

$t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}}$ - власна температура конкретної нагрітої мікрочастинки, °С;

$t_{\text{об'єкт.конкр}}$ - температура конкретного матеріального об'єкта, що опромінюється тепловим випромінюванням нагрітої мікрочастинки, °С;

$r_{\text{об'єкт.конкр}}$ - відстань від конкретної нагрітої мікрочастинки до конкретного опромінюваного матеріального об'єкта, м.

Енергію природного охолодження зазначеного конкретного матеріального об'єкта можна оцінити з використанням співвідношення

$$E_{\text{охол.об'єкт.конкр}} = T_{\text{охол}} \cdot \sigma \cdot (t_{\text{об'єкт.конкр}}^4 - t_{\text{ОС}}^4), \quad (8)$$

де $E_{\text{охол.об'єкт.конкр}}$ - величина енергії «природного охолодження» конкретного матеріального об'єкта, Дж;

$T_{\text{охол}}$ - термін охолодження конкретного матеріального об'єкта, с;

$t_{\text{об'єкт.конкр}}$ - температура конкретного матеріального об'єкта, що опромінюється тепловим випромінюванням, °С;

$t_{\text{ОС}}$ - температура оточуючого середовища, °С.

Якщо протягом терміну $T_{\text{нагр.мікрочаст.конкр}} = T_{\text{охол}}$ величина енергії «нагріву» конкретного матеріального об'єкта ($E_{\text{нагр.об'єкт.конкр}}$) перевищує величину енергії його «природного охолодження» ($E_{\text{охол.об'єкт.конкр}}$), то температура поверхні цього об'єкта ($t_{\text{об'єкт.конкр}}$) зростає. Зростання величини $t_{\text{об'єкт.конкр}}$ припиняється в момент, коли виконується співвідношення $E_{\text{нагр.об'єкт.конкр}} = E_{\text{охол.об'єкт.конкр}}$.

Описані вище процеси впливу теплового випромінювання на матеріальні об'єкти (розташовані в ОС навколо ЗГ первинної пожежі) характерні для будь-якої з нагрітих мікрочастинок, що входять до складу множин $\{M_1\}$, $\{M_2\}$ чи $\{M_3\}$. Враховуючи, що кожна з абсолютної більшості нагрітих мікрочастинок випромінює неко-

герентні з іншими електромагнітні коливання на своїй власній частоті $f_{\text{max.влас.конкр}}$ (величина якої відрізняється від величин частот випромінювання всіх інших розігрітих мікрочастинок), можна вважати, що величина енергії нагріву конкретного матеріального об'єкта $E_{\text{нагр.об'єкт.конкр}\{M_1\}, \{M_2\} \text{ і } \{M_3\}}$ від одночасного впливу теплового випромінювання кожної з нагрітих мікрочастинок множин $\{M_1\}$, $\{M_2\}$ і $\{M_3\}$ пропорційна сумі величин поверхневої густини потужності теплових потоків усіх розігрітих мікрочастинок зазначених множин $(\sum \text{ПГПТП}_{\text{мікрочаст.конкр.і}\{M_1\}} + \sum \text{ПГПТП}_{\text{мікрочаст.конкр.і}\{M_2\}} + \sum \text{ПГПТП}_{\text{мікрочаст.конкр.і}\{M_3\}})$. Тому з моменту виникнення первинної пожежі і аж до початку фази «стале горіння» у нагріванні конкретних матеріальних об'єктів (розташованих в ОС навколо ЗГ) беруть участь всі «елементарні генератори» (тобто всі розігріті мікрочастинки), що переміщуються в межах підфакельного простору, «об'єданого факела» полум'я і висхідної гілки «димових газів».

З плином часу через зростання величини температури $t_{\text{об'єкт.конкр}}$ кожного з опромінюваних матеріальних об'єктів з процесу їх нагрівання поступово усуваються ті з нагрітих мікрочастинок, у яких величина температури $t_{\text{влас.мікрочаст.конкр}}$ стає меншою, ніж значення величини температури конкретних об'єктів $t_{\text{об'єкт.конкр}}$. Таким чином, вже на початку фази пожежі «стале горіння» з процесу нагрівання конкретних матеріальних об'єктів (розташованих в ОС навколо ЗГ) усуваються все більше і більше нагрітих мікрочастинок множини $\{M_3\}$, а згодом – все більше і більше мікрочастинок множини $\{M_1\}$. Отже, впродовж майже всього терміну тривалості фази «стале горіння» у процесі нагрівання конкретних матеріальних об'єктів продовжують брати участь тільки нагріті мікрочастинки «об'єданого факела» полум'я, які утворюють множину $\{M_2\}$.

Описане нагрівання матеріальних об'єктів свідчить про наявність в оточуючому середовищі (навколо ЗГ первинної пожежі) зони можливого ураження ($\text{ЗМУ}_{\text{тепл}}$), яка утворюється внаслідок впливу первинного уражального чинника – теплового випромінювання пожежі. Через сфероподібність діаграми спрямованості кожного з «елементарних генераторів» ця $\text{ЗМУ}_{\text{тепл}}$ являє собою просторову об'ємну геометричну фігуру, яка «охоплює» просторову об'ємну фігуру зони горіння первинної пожежі. Існуючий практичний досвід свідчить, що в межах цієї $\text{ЗМУ}_{\text{тепл}}$ (саме внаслідок впливу «теплового випромінювання» пожежі) люди можуть отримати опіки відкритих ділянок шкірних покривів і слизових оболонок, а будівлі, споруди, інші матеріальні об'єкти можуть зазнати термічного пошкодження і навіть загорітися у разі виконання співвідношення

$$t_{\text{об'єкт.конкр}} \geq t_{\text{спалахГМконкр}}, \quad (9)$$

де $t_{\text{об'єкт.конкр}}$ – температура «нагріву» конкретного матеріального об'єкта, °С;

$t_{\text{спалахГМконкр}}$ – температура спалахування конкретного горючого матеріалу ($\text{ГМ}_{\text{конкр}}$), який входить до складу цього об'єкта, °С.

Виникнення вторинної пожежі на конкретній (що опромінюється тепловим випромінюванням первинної пожежі) будівлі (споруді і т.ін.) стає можливим при виконанні співвідношення

$$\text{ПГПСТП}_{\text{об'єкт.конкр}} \geq \text{КПГПТП}_{\text{конкр.ГМ}}, \quad (10)$$

де $\text{ПГПСТП}_{\text{об'єкт.конкр}}$ – величина поверхневої густини потужності сумарного (від випромінювання всіх розігрітих мікрочастинок множини $\{M_2\}$) теплового потоку у місці розташування конкретного матеріального об'єкта, кВт/м² (як показано

вище, впродовж фази «стале горіння» первинної пожежі $\text{ПГПСТП}_{\text{об'єкт.конкр}} = \sum \text{ПГПТП}_{\text{мікрочаст.конкр.і}\{M2\}}$;

$\text{КПГПТП}_{\text{конкр.ГМ}}$ - величина критичного (мінімального) значення поверхневої густини потужності теплового потоку, за якої виникає стале горіння конкретного горючого матеріалу, що входить до складу опромінюваної будівлі (споруди і т.ін.), кВт/м^2 .

Державним стандартом України ДСТУ Б.В.1.1-2-97 встановлено такі групи займистості будівельних і оздоблювальних ГМ залежно від величини їхньої КПГПТП: В1 (при $\text{КПГПТП} \geq 35 \text{ кВт/м}^2$); В2 (при $20 \text{ кВт/м}^2 \leq \text{КПГПТП} < 35 \text{ кВт/м}^2$); В3 (при $\text{КПГПТП} < 20 \text{ кВт/м}^2$). У роботі [5] наведено значення $\text{КПГПТП}_{\text{конкр.ГМ}}$ для різних горючих матеріалів залежно від часу їх опромінювання $T_{\text{опр}}$ (180 с, 300 с і 900 с відповідно). Абсолютна більшість з відомих будівельних і оздоблювальних горючих матеріалів займається при $10 \text{ кВт/м}^2 \leq \text{ПГПСТП}_{\text{об'єкт.конкр}} \leq 30 \text{ кВт/м}^2$ (за умови $T_{\text{опр}} \geq 900 \text{ с}$). Водночас люди майже миттєво ($T_{\text{опр}} \leq 15 \text{ с}$) отримують опіки: першого ступеня – при $\text{ПГПСТП} = 30 \dots 60 \text{ кВт/м}^2$; другого ступеня – при $\text{ПГПСТП} = 60 \dots 150 \text{ кВт/м}^2$; третього ступеня – при $\text{ПГПСТП} = 150 \dots 220 \text{ кВт/м}^2$; четвертого ступеня – при $\text{ПГПСТП} > 220 \text{ кВт/м}^2$.

Враховуючи викладене, зоною можливого ураження «тепловим випромінюванням» первинної пожежі є частина простору навколо зони горіння, в межах якої величина ПГПСТП перевищує значення 10 кВт/м^2 . Зовнішньою межею $\text{ЗМУ}_{\text{тепл}}$ (за відсутності вітру) є поверхня просторової об'ємної геометричної фігури:

- яка «охоплює» просторову геометричну фігуру ЗГ первинної пожежі та має з нею спільну вертикальну вісь симетрії, що проходить через геометричний центр горизонтальної проекції зони горіння первинної пожежі;

- в кожній точці якої величина ПГПСТП дорівнює 10 кВт/м^2 .

Горизонтальною проекцією зовнішньої межі $\text{ЗМУ}_{\text{тепл}}$ є замкнена лінія, в кожній точці якої $\text{ПГПСТП} = 10 \text{ кВт/м}^2$. Тому горизонтальною проекцією $\text{ЗМУ}_{\text{тепл}}$ є ділянка території пожежонебезпечного об'єкта (навколо горизонтальної проекції ЗГ первинної пожежі), в межах якої можуть виникнути вторинні пожежі на розташованих там будівлях (спорудах і т.ін.), а також загальні та санітарні втрати людей внаслідок впливу теплового випромінювання первинної пожежі. При цьому в кожній точці горизонтальної проекції зовнішньої межі $\text{ЗМУ}_{\text{тепл}}$ виконується співвідношення

$$10 \text{ кВт/м}^2 = \frac{\sigma \cdot (t_{\text{об.фак.конкр}} + 273)^4 \cdot d_{\text{мікрочаст}}^2}{4} \left(\frac{1}{r_{1-КТ10}^2} + \frac{1}{r_{2-КТ10}^2} + \dots + \frac{1}{r_{m2-КТ10}^2} \right), \quad (11)$$

де σ – стала Стефана – Больцмана;

$t_{\text{об.фак.конкр}}$ – температура «об'єднаного факела» полум'я, $^{\circ}\text{C}$;

$d_{\text{мікрочаст}}$ - діаметр розігрітої мікрочастинки, м;

$r_{1-КТ10}$, $r_{2-КТ10}$, ..., $r_{m2-КТ10}$ – значення величин відстаней від будь-якої з конкретних точок (КТ10) на зовнішній межі горизонтальної проекції $\text{ЗМУ}_{\text{тепл}}$ до першої, другої, ..., m_2 -ї розігрітих мікрочастинок «об'єднаного факела» полум'я первинної пожежі, м.

На думку авторів, для визначення форми, геометричних розмірів і просторового розташування зовнішньої межі горизонтальної проекції $\text{ЗМУ}_{\text{тепл}}$ конкретної первинної пожежі (за даними про форму, геометричні розміри і просторове розташування горизонтальної проекції зони горіння цієї пожежі) найпродуктивнішим є застосування чисельно-графічних методів розв'язання співвідношення (11) з викори-

станням ПЕОМ. При цьому з метою запобігання втратам інформації (через недостатню коректність вибору «кроків подрібнення») доцільно замінити множник вира-

зу (10) $\frac{\sigma \cdot (t_{\text{об.фак.конкр}} + 273)^4 \cdot d_{\text{мікрочаст}}^2}{4}$ на:

- множник $\frac{0,6 \cdot m_{\text{зап.ГМконкр}} \cdot H_{\text{Тконкр.ГМ}}}{4 \cdot \pi \cdot T_{\text{виг}} \cdot m_2}$ – у разі первинної пожежі з горінням

розгерметизованих «запасів» горючих газів, горючих рідин чи складованих твердих горючих матеріалів (де $m_{\text{зап.ГМконкр}}$ – маса «запасів» конкретного виду ГМ, кг; $H_{\text{Тконкр.ГМ}}$ – теплотворна здатність конкретного виду ГМ, Дж/кг; $T_{\text{виг}}$ – час вигорання вказаних «запасів» ГМ, с; m_2 – кількість «кроків подрібнення» ЗГ (тобто кількість розігрітих умовних мікрочастинок у складі «об'єданого факела» полум'я первинної пожежі), одиниць);

- множник $\frac{K}{4 \cdot \pi \cdot m_2} (S_{\text{буд.ел1}} \cdot \beta_{\text{буд.ел1}} + S_{\text{буд.ел2}} \cdot \beta_{\text{буд.ел2}} + \dots + S_{\text{буд.елn}} \cdot \beta_{\text{буд.елn}})$ – у разі

пожежі на будівлях (спорудах і т.ін.), будівельні й оздоблювальні елементи яких виготовлені з використанням ГМ (де K – значення величини «питомого теплового навантаження» (тобто величина ПГПСТП, що випромінюється в ОС з 1 м² площі будівельного елемента, Вт/м², для ТГМ з $H_T \leq 21 \cdot 10^6$ Дж/кг $K = 233000$ Вт/м²); $S_{\text{буд.ел1}}, S_{\text{буд.ел2}}, \dots, S_{\text{буд.елn}}$ – величини можливої площі горіння першого, другого, ... n-го будівельних елементів; $\beta_{\text{буд.ел1}}, \beta_{\text{буд.ел2}}, \dots, \beta_{\text{буд.елn}}$ – величини коефіцієнтів «доступності для вигорання» першого, другого, n-го будівельних елементів ($0 \leq \beta_{\text{буд.ел}} \leq 1$); m_2 – кількість «кроків подрібнення» ЗГ, одиниць).

Процеси визначення і відображення горизонтальної проекції зовнішньої межі ЗМУ_{тепл} на плані пожежонебезпечного об'єкта (ПНО) показано на рис. 2, 3 і 4.

На рис. 2 відображено аксонометричні проекції зон горіння різних видів первинних пожеж: пожежі на будівлі (довжиною $D_{\text{буд}}$ і шириною $Ш_{\text{буд}}$) – рис. 2,а; пожежі з горінням горючої рідини (розлитої на горизонтальну підстеляючу поверхню в «калюжу» у формі круга з діаметром $d_{\text{кал}}$) – рис. 2,б; пожежі при аварійній розгерметизації газопроводу (з основою витoku горючого газу у формі круга з діаметром $d_{\text{осн}} = 5d_{\text{тр}}$) – рис. 2,с.

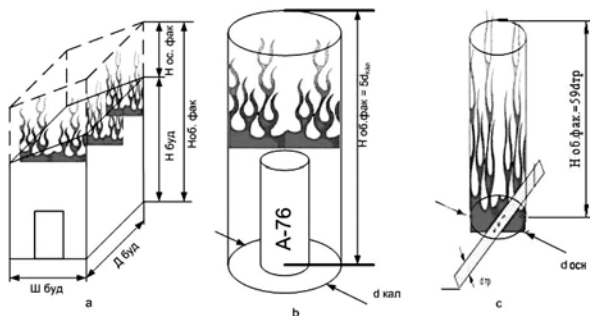


Рис. 2. Види пожеж

На рис. 3 відображено горизонтальні проекції зон горіння вказаних первинних пожеж, форма, лінійні розміри і просторове розташування яких збігаються з відповідними параметрами горизонтальних проекцій ділянок розташування «запасів» ГМ: на рис. 3,а – у формі прямокутника із сторонами $D_{\text{буд}}$ і $Ш_{\text{буд}}$; на рис. 3,б – у формі круга з діаметром $d_{\text{кал}}$; на рис. 3,с – у формі круга з діаметром $d_{\text{осн}}$. Зазначені горизонтальні проекції

відображають на плані ПНО за допомогою тактичного знака «зона горіння» («ЗГ»), зовнішню межу якого виконують у вигляді замкненої штрихової лінії відповідної форми і лінійних розмірів червоного кольору, а внутрішнє поле цього знака заштриховують нахиленими паралельними прямими червоного кольору (див. позиції 2 на рис. 3,а, б, с і рис. 4,а, б, с). У геометричному центрі цих тактичних знаків відображають тактичний знак «Центр займання» («ЦЗ») у вигляді круга червоного кольору діаметром п'ять міліметрів (див. позиції 1 на рис. 3,а, б, с і рис. 4,а, б, с).

Форму, лінійні розміри і просторове розташування горизонтальної проекції зовнішньої межі ЗМУ_{тепл} кожного з видів пожеж визначають (за даними про такі ж параметри ЗГ цих пожеж, а також за даними про величини температури «об'єднаного факела» полум'я цих пожеж $t_{об.фак.конкр}$) шляхом розв'язання співвідношення (11) чисельно-графічними методами. Отримані результати відображають на плані ПНО за допомогою тактичного знака «Зовнішня межа ЗМУ_{тепл}» (див. позиції 3 на рис. 4, а, б, с) у вигляді замкненої суцільної лінії червоного кольору (відповідної форми і лінійних розмірів), яка «охоплює» ЗГ первинної пожежі та у розриві якої чорним кольором виконують пояснювальний напис «10» (тобто 10 кВт/м²).

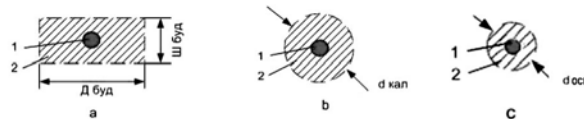


Рис. 3. Відображення зон горіння пожеж

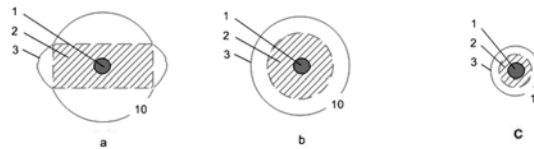


Рис. 4. Відображення ЗМУ_{тепл}

Наочне відображення форми, лінійних розмірів і просторового розташування горизонтальної проекції зовнішньої межі ЗМУ_{тепл} дозволяє спрогнозувати можливі місця виникнення вторинних пожеж і можливі величини загальних і санітарних втрат людей внаслідок впливу теплового випромінювання.

На будівлях, спорудах, інших матеріальних об'єктах з вмістом ГМ, які за прогнозом опиняються в межах ЗМУ_{тепл} первинної пожежі, під впливом її теплового випромінювання можуть виникнути вторинні пожежі. Результати такого прогнозу відображають на плані ПНО за допомогою тактичного знака «Вторинна пожежа» червоного кольору у вигляді круга діаметром три міліметра з трьома «язиками полум'я». Цей тактичний знак наносять поряд з умовними зображеннями вказаних будівель (споруд і т.ін.) на плані ПНО.

У свою чергу, особи виробничого персоналу найбільшої працюючої зміни (населення), робочі місця (місця перебування) яких за прогнозом опиняються в межах ЗМУ_{тепл}, можуть загинути або отримати тяжкі ураження внаслідок впливу теплового випромінювання первинної та вторинних пожеж. При цьому можливу величину загальних і санітарних втрат людей рекомендується визначати з використанням формул

$$M_{заг.тепл} = N_{НПЗ.ЗМУ_{тепл}} \text{ (або } N_{нас.ЗМУ_{тепл}} \text{) ,} \quad (12)$$

$$M_{сан.тепл} = 0,95 \cdot M_{заг.тепл} , \quad (13)$$

де $M_{заг.тепл}$ – величина загальних втрат людей внаслідок впливу теплового випромінювання первинної та вторинних пожеж, осіб;

$N_{НПЗ.ЗМУ_{тепл}}$ – кількість виробничого персоналу найбільшої працюючої зміни, робочі місця якого за прогнозом опиняються в межах ЗМУ_{тепл}, осіб;

$N_{нас.ЗМУ_{тепл}}$ – кількість населення, місця перебування якого за прогнозом опиня-

ються в межах $3MU_{\text{тепл}}$, осіб;

$M_{\text{сан.тепл}}$ – величина санітарних втрат людей внаслідок впливу теплового випромінювання первинної та вторинних пожеж, осіб.

2.2. Розробка інформаційної технології

Викладене у підрозд. 2.1 дозволяє встановити такі основні закономірності.

1. Теплове випромінювання із зони горіння первинної пожежі в оточуюче середовище є одним з її найпотужніших уражальних чинників, вплив якого призводить (може призвести) до загибелі і (або) тяжкого ураження людей (тварин, рослин), значних матеріальних збитків, суттєвого погіршення стану навколишнього природного середовища.

2. Джерелами цього уражального чинника впродовж першої фази конкретної пожежі є розігріті мікрочастинки: множини $\{M_1\}$ (які переміщуються у підфакельному просторі ЗГ); множини $\{M_2\}$ (що переміщуються в межах «об'єднаного факела» полум'я); множини $\{M_3\}$ (що переміщуються у висхідній гілці «димових газів»). Упродовж фази «стале горіння» і до ліквідування пожежі основним джерелом УЧП теплове випромінювання пожежі є множина $\{M_2\}$ розігрітих мікрочастинок «об'єднаного факела» полум'я, що мають власну температуру $t_{\text{влас.мікрочаст.}\{M_2\}}$, величина якої лежить в межах діапазону температур $t_{\text{об.фак.конкр.ГМ}} (1 \pm 10^{-2})$.

3. Абсолютна більшість з нагрітих мікрочастинок множини $\{M_2\}$ має свою (відмінну від інших) власну температуру $t_{\text{влас.мікрочаст.конкр.}}$. Тому вони являють собою «елементарні генератори» електромагнітних коливань, кожен з яких має «свою» (відмінну від інших) довжину хвилі максимального теплового випромінювання $\lambda_{\text{мах.влас.мікрочаст.конкр.}} = 2880 \cdot 10^{-6} / t_{\text{влас.мікрочаст.конкр.}}$.

4. Через малі (порівняно з величиною $\lambda_{\text{мах.влас.мікрочаст.конкр.}}$) розміри нагрітих мікрочастинок діаграму спрямованості теплового випромінювання кожного з таких «елементарних генераторів» можна вважати сфероподібною.

5. З цієї причини (а також через відмінність значень величин власної частоти максимального теплового випромінювання $f_{\text{мах.влас.мікрочаст.конкр.}}$ кожного з таких «елементарних генераторів») поверхнева густина сумарної потужності теплового потоку $ПГСПТП_{\text{конкр.пож.і}}$, що випромінюється із зони горіння конкретної первинної пожежі, у будь-якій і-й точці оточуючого середовища є сумою величин поверхневої густини потужності теплових потоків кожної з конкретних нагрітих мікрочастинок множини $\{M_2\}$ - $ПГСПТП_{\text{конкр.пож.і}} = \sum ПГСПТП_{\text{мікрочаст.конкр.}}$.

6. Вплив сумарного теплового випромінювання із ЗГ первинної пожежі призводить до нагріву розташованих навколо неї матеріальних об'єктів, коефіцієнт чорноти яких (ϵ) задовольняє співвідношення $0 < \epsilon \leq 1$. Внаслідок такого впливу:

- мікрочастинки атмосферного повітря ОС практично не нагріваються (бо $\epsilon_{\text{пов}} \approx 0$);

- будівлі, споруди, інші матеріальні об'єкти з вмістом ГМ ($0 < \epsilon_{\text{буд}} \leq 1$) отримують термічні пошкодження і можуть навіть загорітися (при $ПГСПТП_{\text{конкр.пож}} \geq КПГПТП_{\text{об'єкт.конкр.}}$), в результаті чого виникають вторинні пожежі;

- люди можуть отримати опіки відкритих ділянок шкірних покривів і слизових оболонок, а їх одяг може загорітися (бо $\epsilon_{\text{люд}} \approx 1$).

7. Ділянка території ПНО навколо ЗГ конкретної первинної пожежі, де внаслідок впливу її теплового випромінювання можуть виникнути вторинні пожежі, а також загальні та санітарні втрати людей, є $3MU_{\text{тепл}}$ цієї пожежі.

8. Форму, лінійні розміри і просторове розташування горизонтальної проекції зовнішньої межі ЗМУ_{тепл} первинної пожежі визначають (за даними про такі ж параметри її ЗГ, а також про величину температури «об'єднаного факела» полум'я $t_{об.фак}$) шляхом розв'язання чисельно-графічними методами співвідношення (11). Вказану горизонтальну проекцію відображають на плані ПНО за допомогою тактичного знака «Зовнішня межа ЗМУ_{тепл}».

9. Вторинні пожежі, ініційовані тепловим випромінюванням первинної пожежі, можуть виникнути на тих будівлях, спорудах, інших матеріальних об'єктах з вмістом ГМ, які за прогнозом «опиняються» в межах ЗМУ_{тепл}. Можливі місця виникнення вторинних пожеж відображають на плані ПНО за допомогою тактичного знака «Вторинна пожежа».

10. Можливі величини загальних і санітарних втрат людей внаслідок впливу теплового випромінювання первинної та ініційованих нею вторинних пожеж рекомендується визначати з використанням формул (12) і (13).

Враховуючи викладене, розроблювана інформаційна технологія ІТ_{III} щодо визначення і відображення основних параметрів зони можливого ураження тепловим випромінюванням імовірної пожежі передбачає завчасне створення «Характеристики досліджуваного пожежонебезпечного об'єкта (ХДО)», а також електронних копій «Карток очікуваної пожежної обстановки...» (ЕК «Картки...») і електронних копій документа «Прогнозовані параметри зони можливого ураження внаслідок впливу теплового випромінювання» (ЕК «ПП ЗМУ_{тепл}») (за числом будівель, споруд, технологічних систем і т.ін., розташованих на території ПНО) та почергове виконання операцій інформаційних моделей (ІМ_{III1}, ІМ_{III2}, ІМ_{III3}) згідно з алгоритмом, відображеним на рис. 5.

«Характеристика досліджуваного пожежонебезпечного об'єкта (ХДО)» складається за результатами обстеження і вимірювання кожного із фактично існуючих (після проведення останньої реконструкції, ремонту, добудови і т.ін.) будівельно-конструктивних елементів кожної з будівель (споруд, технологічних систем та ін.), розташованих на території цього ПНО. Вона повинна містити опис основних відомостей щодо форми, геометричних розмірів і просторового розташування кожного з таких елементів з вмістом «запасів» ГМ, виду, агрегатного стану, маси (теплового навантаження) та інших теплофізичних характеристик указаних ГМ, а також необхідні таблиці та довідкові матеріали.

Кожна з електронних копій «Картки очікуваної пожежної обстановки...» (ЕК «Картки...») являє собою:

- електронний варіант заголовку бланка «Картка очікуваної пожежної обстановки, що може виникнути на території (назва досліджуваного ПНО) у результаті пожежі на (номер і назва конкретного елемента ПНО)»;
- розміщений на тому ж бланку (під указаним заголовком) електронний варіант Плану досліджуваного ПНО;
- «прив'язану» до зазначеного Плану електронну координатну мережу (з метою подальшого використання цієї мережі для визначення координат кожної з конкретних будівель (споруд і т.ін.) ДПНО, а також відображення на Плані відповідних тактичних знаків і пояснювальних написів).

Кожна з електронних копій документа «Прогнозовані параметри зони можливого ураження тепловим випромінюванням» (ЕК «ПП ЗМУ_{тепл}») являє собою:

- електронний варіант заголовку бланка «Прогнозовані параметри зони можливого ураження внаслідок впливу теплового випромінювання ймовірної пожежі на (номер і назва конкретного елемента ПНО)»;

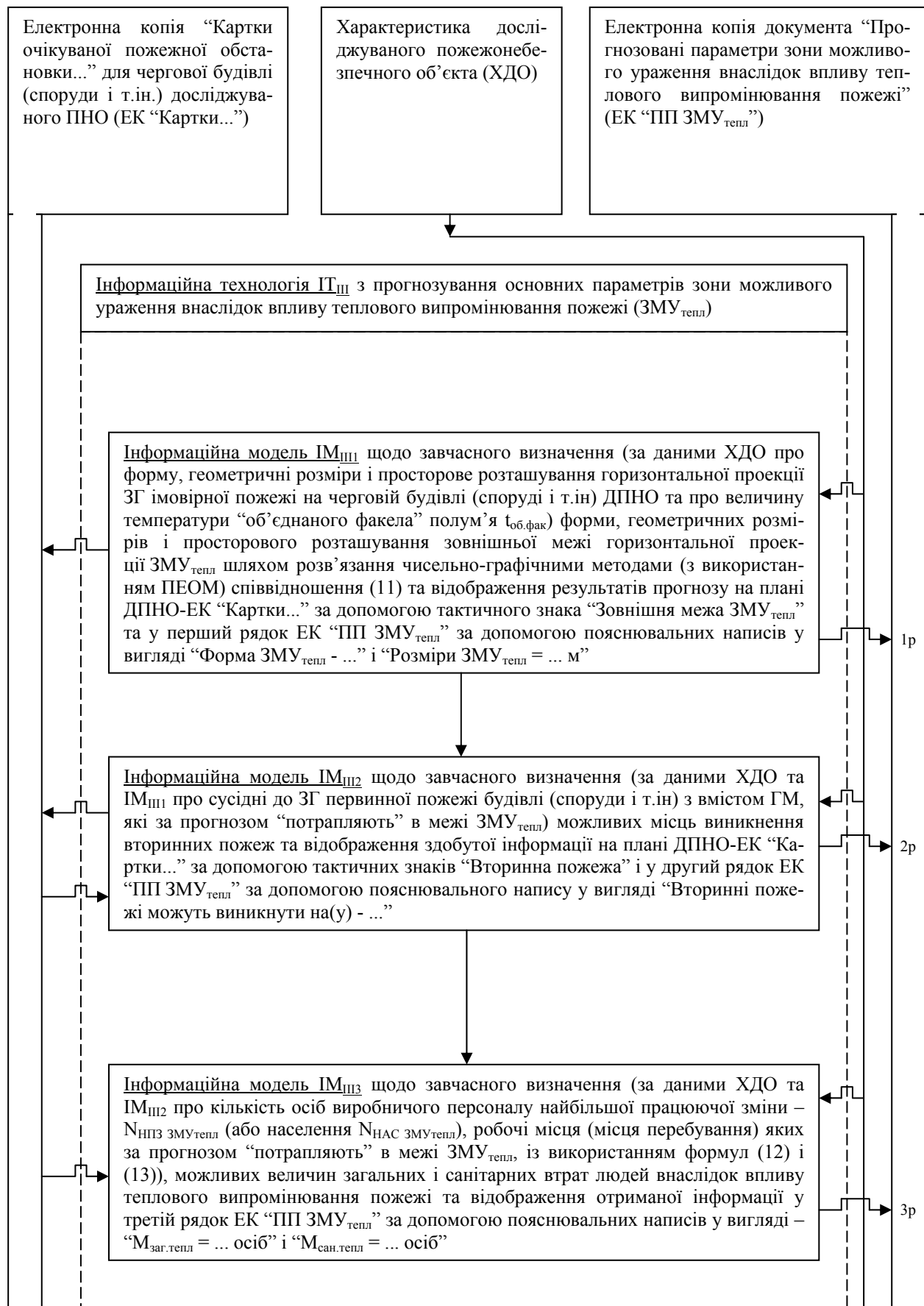


Рис. 5. Алгоритм реалізації інформаційної технології ІТ_{III}

- розміщений на тому ж бланку (під указаним заголовком) електронний варіант тестової таблиці.

Прогнозовані параметри ЗМУ_{тепл}

Номери рядків	Тестові завдання	Результати тестування
1	Визначення можливих форми, геометричних розмірів і просторового розташування зовнішньої межі горизонтальної проекції ЗМУ _{тепл}	«Форма ЗМУ _{тепл} - ...» «Розміри ЗМУ _{тепл} = ...м»
2	Визначення можливих місць виникнення вторинних пожеж	«Вторинні пожежі можуть виникнути на (у)...»
3	Визначення можливих величин загальних і санітарних втрат людей у ЗМУ _{тепл}	«М _{заг.тепл} = ...осіб» «М _{сан.тепл} = ...осіб»

Роздруківки ЕК «Картки...» і ЕК «ПП ЗМУ_{тепл}» стають основою для створення «Оперативного плану гасіння пожежі» у разі її виникнення на конкретній будівлі (споруді і т.ін.) ДПНО, який є основним документом керівника гасіння пожежі (КГП) з організації бойових дій підпорядкованих йому сил і засобів угруповання пожежних підрозділів.

Заключні положення

Інформаційна технологія ІТ_{III}, розроблена на основі запропонованої авторами моделі процесів теплообміну між зоною горіння пожежі та навколишнім природним середовищем, дозволяє завчасно виявляти значення основних параметрів зони можливого ураження внаслідок теплового випромінювання (ЗМУ_{тепл}) цієї пожежі.

Здобута таким способом інформація дозволяє спрогнозувати і наочно відобразити на плані території досліджуваного ПНО форму, геометричні розміри і просторове розташування зовнішньої межі горизонтальної проекції ЗМУ_{тепл} первинної пожежі, а також можливі місця виникнення вторинних пожеж і можливі величини загальних (М_{заг.тепл}) і санітарних (М_{сан.тепл}) втрат людей внаслідок впливу теплового випромінювання. Тому впровадження такої інформаційної технології сприятиме підвищенню пожежної безпеки ПНО.

Список літератури

1. Буравльов Є.П., Клеєвська В.Л. Екологічні та соціально-економічні наслідки пожеж // Екологія і ресурси. - 2006. – Вип. 15. - С. 128 – 131.
2. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат, 1987. – 289 с.
3. Пожежна тактика: Підручник / П.П. Ключ, В.Г. Палюх, В.Г. Пустовий та ін. – Х.: Основа, 1998. – 592 с.
4. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.
5. Яковлев Л.Б., Кобрин В.М., Клеєвська В.Л. Техногенна безпека. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т „Харк. авіац. ін-т”, 2002. – 85 с.