

Інформаційна технологія з прогнозування основних параметрів зони можливого ураження ймовірної пожежі в природній екологічній системі унаслідок впливу забруднення продуктами згоряння

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

Запропоновано оригінальні моделі процесів у зоні можливого ураження ймовірної пожежі в природній екологічній системі внаслідок впливу забруднення продуктами згоряння. На основі вказаних моделей розроблена інформаційна технологія з прогнозування значень основних параметрів зони можливого задимлення конкретних пожеж в ПЕС.

Ключові слова: пожежа, зона можливого задимлення, продукти згоряння, природна екологічна система, інформаційна технологія.

Вступ

Унаслідок численних щорічних пожеж у природних екологічних системах (ПЕС) в Україні та й у інших державах гинуть люди (тварини, рослини), знищуються тисячі гектарів лісів, степів, хлібних масивів, суттєво погіршується стан навколишнього природного середовища (НПС). Чи не в першу чергу такі негативні наслідки пожеж у ПЕС пояснюються суттєвим запізненням введення в дію основних сил угруповання пожежних підрозділів (УПП), кількісний і якісний склад сил, засобів і ресурсів (СЗ і Р) якого був би достатнім для своєчасної локалізації такої пожежі та ефективної її ліквідації.

1. Формулювання проблеми

Згідно з працею [1] одним з характерних проявів уражального впливу пожежі на життєдіяльність людей (тварин, рослин) є забруднення НПС продуктами згоряння (задимлення, хімічне забруднення та ін.) Джерелом зазначеного впливу є процеси у зоні горіння пожежі в ПЕС, унаслідок чого навколо центра займання (ЦЗ) утворюється зона можливого ураження через вплив «димових газів» - ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС}.

Наприклад, люди, які опинилися в межах ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС}, можуть загинути або отримати тяжкі ураження органів зору, серцево-судинної й дихальної систем, порушення роботи нервової системи, загальне отруєння організму небезпечними хімічними речовинами продуктів згоряння. Потрібні для забезпечення їх ефективного рятування кількість рятувальників $N_{\text{рят.потр}}$, осіб, спеціальної техніки і спорядження залежать від форми, геометричних розмірів і просторового розташування ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} конкретної пожежі, кількості людей, що опинилися в її межах, та ін.

Проблема полягає в тому, що в наш час [2] вказану інформацію здобувають шляхом проведення пожежної розвідки в процесі локалізації й ліквідації конкретної пожежі в ПЕС, що неминуче призводить до суттєвого запізнення введення в дію потрібних сил і засобів УПП і спричиняє збільшення людських і матеріальних втрат.

Разом з тим потрібну інформацію можна здобути своєчасно (ще до виникнення конкретної пожежі в ПЕС) шляхом прогнозування можливого перебігу подій в ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} цієї пожежі. Тому розробка і впровадження інформаційної технології щодо завчасного визначення і наочного відображення можливих значень основних параметрів ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} є ще не вирішеною і дуже актуальною задачею.

2. Вирішення проблеми

Зоною можливого ураження – ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} є частина НПС навколо ЦЗ, у межах якої унаслідок впливу забруднення продуктами згоряння можуть загинути або отримати тяжкі ураження люди (тварини, рослини) та бути пошкодженими інші природні й штучні об'єкти.

Основними елементами ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} є відображені на рис. 1, а, б: зона горіння такої пожежі (у складі охопленої вогнем частини «запасів» рослинних горючих матеріалів (РГМ) досліджуваної ділянки ПЕС (позиція 1), центра займання – ЦЗ (позиція 2), підфакельного простору (позиція 3) і «об'єднаного факела» полум'я (позиція 4)); висхідна гілка «димових газів» (позиція 5); низхідні гілки ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} (позиція 6).

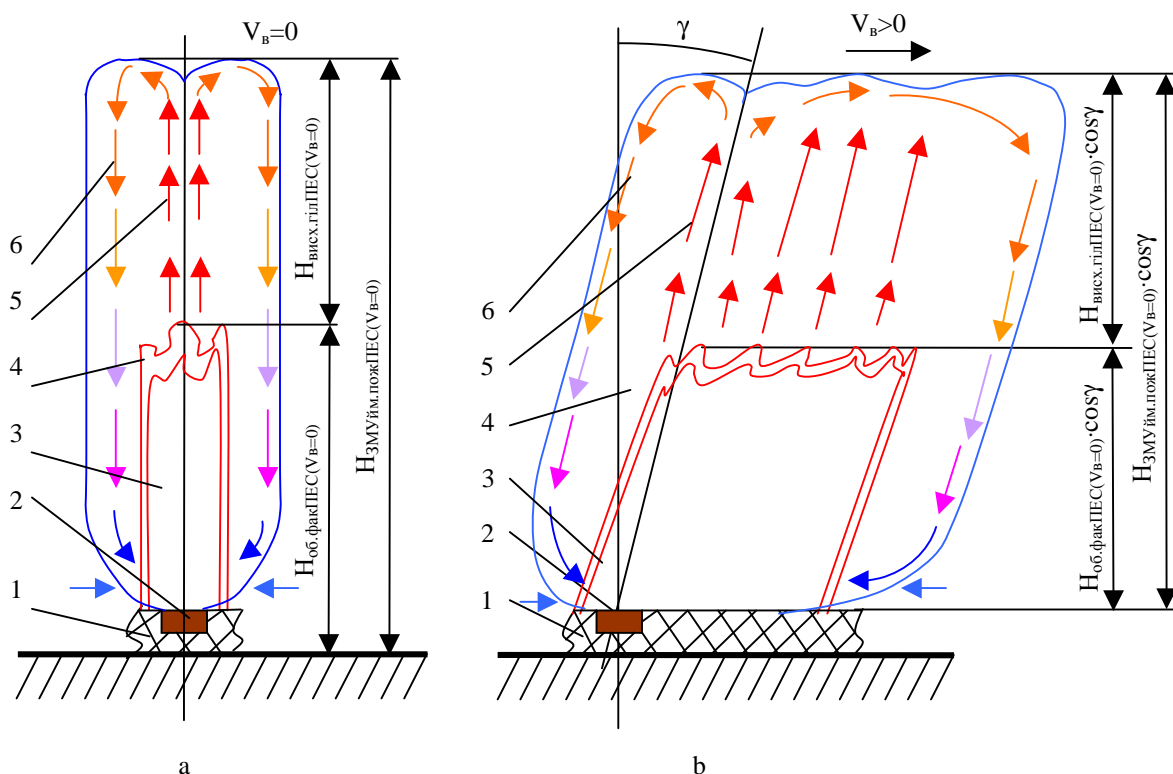


Рис. 1. Структура ЗМУ_{йм.пожПЕС}

2.1. Моделі процесів формування основних параметрів зон горіння ймовірних пожеж у ПЕС

Ініціюють виникнення і забезпечують «функціонування» ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} описувані далі процеси, що відбуваються у зоні горіння ймовірних пожеж у ПЕС (ЗГ_{йм.пож.ПЕС}), які виникають, як правило, в пожежонебезпечні періоди (коли «запаси» РГМ_{конкр} суттєво втрачають свою вологість). Центр займання виникає у місці розташування джерела запалювання – ДЗ (відкритий вогонь, іскри, електричний розряд та ін.), якщо його енергія виявляється достатньою для забезпечення термічного розкладу (газифікації) РГМ_{конкр}, утворення (з молекул продуктів газифікації й молекул кисню повітря НПС) хімічно-однорідної горючої суміші (ХОГС) і підігріву її до температури самоспалахування (t_{CC} РГМ_{конкр}, °С) з утворенням первинного факела полум'я пожежі.

Первинний факел полум'я реалізує одне факельне полум'яне гомогенне ламінарне горіння і являє собою тонкостінну (завтовшки у $10^{-4} \dots 10^{-3}$ м [3, с. 82]) просторову оболонку (у формі веретена, вісь симетрії якого «проходить» через ЦЗ) з розжарених (унаслідок фізико-хімічних реакцій) мікрочастинок продуктів згоряння РГМ_{конкр}. Зазначена вісь симетрії є вертикальною при відсутності вітру або нахилена на кут $\gamma = f(V_{в.конкр}, \text{ м/с})$ у напрямку вітру при його наявності.

Кожна з таких «розжарених» мікрочастинок є своєрідним «елементарним генератором» електромагнітних хвиль в інфрачервоному і (або) видимому діапазонах (залежно від власної температури $t_{вл.микрочаст.конкр}$, °С, конкретної мікрочастинки). Через те, що розміри «розжарених» мікрочастинок значно менші від довжини випромінюваних ними хвиль, діаграму спрямованості кожного з таких «елементарних генераторів» можна вважати сфероподібною. Тому частина електромагнітних випромінювань кожного з «елементарних генераторів» обов'язково досягає ділянок поверхні, що прилягають до ЦЗ (позиція 2) «запасів» РГМ_{конкр} (позиція 1 рис. 1) досліджуваної ПЕС і «наводить» на них струми електропровідності або електрозміщення. Дія цих струмів призводить до газифікації РГМ_{конкр} опромінюваних ділянок. Утворені таким способом розігріті мікрочастинки продуктів газифікації РГМ_{конкр}, змішуючись з молекулами кисню повітря НПС, утворюють нові порції ХОГС, які прямують до первинного факела полум'я (при цьому останній переймає на себе функції ДЗ) і поширення кромки горіння поверхнею «запасів» РГМ_{конкр}.

У процесі зазначеного поширення фронту горіння постійне надходження до факела полум'я і спалахування все нових і нових порцій ХОГС призводить не тільки до збільшення його розмірів, але й до трансформації його форми. Відбувається це унаслідок переходу від полум'яного гомогенного ламінарного горіння до молекулярно-дифузійного (коли фронт горіння переміститься від ЦЗ на відстань, більшу 0,1 м), а згодом - і до турбулентно-дифузійного режиму горіння (коли фронт горіння переміститься від ЦЗ на відстань понад 0,3 м). Турбулентно-дифузійний режим характеризується роздрібненням верхньої частини факела полум'я на кілька одночасно існуючих «язиків» (підфакелів), які прилягають один до одного, безперервно змінюючи свою форму і розміри, тобто утворенням «об'єданого факела» полум'я пожежі в ПЕС (позиція 4 рис. 1). Тому досить коректною фізичною моделлю ЗГ_{йм.пож.ПЕС} є «заповнена» розжареними мікрочастинками оболонка «об'єданого факела» полум'я пожежі просторова об'ємна геометрична фігура, основними параметрами (визначальними для параметрів ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС}) є:

- форма, геометричні розміри і просторове розташування горизонтальної проекції охопленої вогнем поверхні «запасів» РГМ_{конкр} досліджуваної ділянки ПЕС (тобто ФГР і ПрР ЗГ_{йм.пож.ПЕСгор.пр});

- висота ($H_{об.фак.ПЕС}$, м) і температура ($t_{об.фак.ПЕС}$, °С) «об'єданого факела» полум'я пожежі.

Значення вказаних параметрів ЗГ_{йм.пож.ПЕС} залежать від видів РГМ_{конкр} досліджуваної ділянки ПЕС, можливої величини розрахункового часу вільного (безперешкодного) горіння – $T_{Вгрозр}$, год, упродовж тривалості пожежі (значення якого залежать від геометричних розмірів ділянки ПЕС і наявності на ній штучних і природних перешкод поширенню кромки горіння), а також від наявності чи відсутності вітру.

При відсутності вітру (через те, що «розжарені» мікрочастинки факела полум'я мають практично однакову площу випромінювання і власну температуру та розташовані симетрично відносно вертикальної осі симетрії факела полум'я) сумарний «підігрів» (тепловим випромінюванням усіх «розжарених» мікрочастинок факела полум'я) кожної з рівновіддалених від ЦЗ ділянок поверхні «запасів» РГМ_{конкр} є однаковим. Це забезпечує рівномірне в усіх напрямках (відносно вертикальної осі симетрії факела полум'я) поширення фронту горіння поверхнею «запасів» РГМ_{конкр} із швидкістю $V_{фр}$ ($V_{в} = 0$), м/год, величина якої залежить від виду РГМ_{конкр}. У результаті відбувається формування горизонтальної проекції зони горіння (ЗГ_{йм.пож.ПЕСгор.пр}) у формі круга з центром у ЦЗ і радіусом $R_{ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр}$, величина якого зростає з плином часу прямо пропорційно швидкості поширення фронту горіння $V_{фр}$ ($V_{в} = 0$), м/год, і часу вільного горіння $T_{Вгрозр}$, год, згідно з виразом

$$R_{ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр} = V_{фр} (V_{в} = 0) \cdot T_{Вгрозр}. \quad (1)$$

Формула (1) є досить коректною математичною моделлю для прогнозування можливих ФГР і ПрР ЗГ_{йм.пож.ПЕСгор.пр} при $V_{в} = 0$.

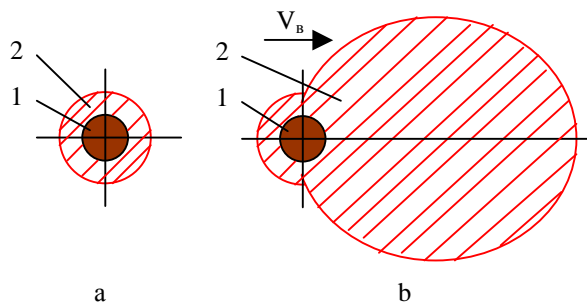


Рис. 2. Відображення зон горіння у ПЕС

Результати такого прогнозу рекомендується відображати на Плані досліджуваної ділянки ПЕС за допомогою тактичних знаків «ЗГ» (позиція 1) і «ЦЗ» (позиція 2) рис. 2, а.

У процесі поширення фронту горіння зростає й висота «об'єданого факела» полум'я пожежі – $H_{об.фак.ПЕС(V_{в} = 0)}$, м, величина якої при переміщенні кромки горіння від ЦЗ на відстань 50 м вже втричі перевищує середню висоту рослинності досліджуваної ділянки ПЕС – $h_{росл}$, м, і далі стабілізується [4]. Тому досить коректною математичною моделлю для прогнозування можливої величини висоти «об'єданого факела» полум'я пожежі в ПЕС при відсутності вітру є формула

$$H_{\text{об.фак.ПЕС}(V_B = 0)} = 3 \cdot h_{\text{росл.}} \quad (2)$$

Дуже часто у складі РГМ конкретної ділянки ПЕС наявні різноманітні види рослинності, для яких характерні різні величини температур власних факелів полум'я ($t_{\text{вл.фак.РГМконкр}}$, °С). Тому досить коректною математичною моделлю для завчасного визначення можливої величини температури «об'єданого факела» полум'я пожежі в ПЕС ($t_{\text{об.фак.ПЕС}}$, °С) слід вважати вираз

$$t_{\text{об.фак.ПЕС}} = (t_{\text{вл.фак.РГМконкр}})_{\text{max}}, \quad (3)$$

де $(t_{\text{вл.фак.РГМконкр}})_{\text{max}}$ – найбільша за величиною температура власних факелів полум'я конкретних рослинних горючих матеріалів досліджуваної ПЕС, °С.

При наявності вітру ($V_{\text{в.конкр}}$, м/с) вертикальна вісь симетрії первинного факела полум'я пожежі в ПЕС «нахиляється» у напрямку вітру на кут $\gamma = f(V_{\text{в.конкр}})$. Це призводить до більш інтенсивного «розігріву» ділянок поверхні «запасів» РГМ_{конкр}, розташованих (відносно ЦЗ) у напрямку вітру. Зазначене зумовлює більш інтенсивне «постачання» факела полум'я все новими й новими порціями ХОГС саме з ділянок поверхні «запасів» РГМ_{конкр}, розташованих з навітряної сторони. Тому розміри горизонтального перетину факела полум'я в режимі молекулярно-дифузійного горіння і «об'єданого факела» полум'я в режимі турбулентно-дифузійного горіння більш інтенсивно зростають у напрямку вітру. Таким чином вплив вітру призводить (див. рис. 1, б):

- до нахилу «об'єданого факела» полум'я пожежі в ПЕС на кут γ (у напрямку вітру) і зменшення фактичної висоти «об'єданого факела» полум'я пожежі до значення $H_{\text{об.фак.ПЕС}(V_{\text{в.конкр}})} = H_{\text{об.фак.ПЕС}(V_B = 0)} \cdot \cos \gamma$;

- до диференціації за величиною швидкості поширення кромки горіння поверхнею «запасів» РГМ_{конкр} на фронті пожежі – $V_{\text{фр}}(V_{\text{в.конкр}})$, м/год, на її флангах $V_{\text{фл}}(V_{\text{в.конкр}})$, м/год, та у тилу $V_{\text{тл}}(V_{\text{в.конкр}})$, м/год, залежно від швидкості вітру та виду РГМ_{конкр}.

Згідно з даними праці [5] для будь-яких видів РГМ_{конкр} виконуються співвідношення $V_{\text{фр}}(V_{\text{в.конкр}}) > V_{\text{фл}}(V_{\text{в.конкр}})$ і $V_{\text{фл}}(V_{\text{в.конкр}}) > V_{\text{тл}}(V_{\text{в.конкр}})$. Це зумовлює формування горизонтальної проекції зони горіння ймовірної пожежі в ПЕС ($Z_{\text{Гйм.пож.ПЕС}(V_{\text{в.конкр}})_{\text{гор.пр}}}$) у вигляді складної геометричної фігури, «витягнутої» вздовж напрямку вітру.

Враховуючи викладене та відповідно до положень праці [6] рекомендується прогнозувати ФГР і ПрР $Z_{\text{Гйм.пож.ПЕС}(V_{\text{в.конкр}})_{\text{гор.пр}}}$ як складну геометричну фігуру, вісь симетрії якої проходить через ЦЗ і збігається з напрямком вітру, а зовнішні межі цієї фігури окреслює радіус-вектор – $R_{Z_{\text{Гйм.пож.ПЕС}(V_{\text{в.конкр}})_{\text{гор.пр}}}$ (який обертається за годинниковою стрілкою у горизонтальній площині з центром у місці розташування ЦЗ), модуль якого – $|R_{Z_{\text{Гйм.пож.ПЕС}(V_{\text{в.конкр}})_{\text{гор.пр}}}|$ змінюється згідно з виразами

$$|R_{Z_{\text{Гйм.пож.ПЕС}(V_{\text{в.конкр}})_{\text{гор.пр}}}| = V_{\text{фр}}(V_{\text{в.конкр}}) \cdot T_{\text{ВГрозр}} \cdot \cos \beta \quad (4)$$

(при змінненні значень кута β в діапазонах $\beta = 0 \dots 85^\circ$ і $\beta = 275 \dots 360^\circ$),

$$|R_{Z_{\text{Гйм.пож.ПЕС}(V_{\text{в.конкр}})_{\text{гор.пр}}}| = V_{\text{тл}}(V_{\text{в.конкр}}) \cdot T_{\text{ВГрозр}} \quad (5)$$

(при змінненні значень кута β в діапазоні $\beta = 85 \dots 275^\circ$),

де $|R_{Z_{\text{Гйм.пож.ПЕС}(V_{\text{в.конкр}})_{\text{гор.пр}}}|$ – значення величин відстаней від ЦЗ до точок зовнішньої межі $Z_{\text{Гйм.пож.ПЕС}(V_{\text{в.конкр}})_{\text{гор.пр}}}$ на конкретній ділянці ПЕС, м;

$V_{\text{фр}}(V_{\text{в.конкр}})$ – швидкість поширення фронту ймовірної пожежі (при $V_{\text{в.конкр}}$, м/с), м/год;

$T_{\text{ВГрозр}}$ – розрахункова величина часу вільного горіння, год;

β – величина кута між напрямком вітру і поточним положенням радіуса вектора $R_{Z_{\text{Гйм.пож.ПЕС}(V_{\text{в.конкр}})_{\text{гор.пр}}}$, град;

$V_{тл} (V_{в.конкр})$ – швидкість поширення тилу ймовірної пожежі (при $V_{в.конкр}$, м/с), м/год.

Вирази (4) і (5) є досить коректною математичною моделлю для прогнозування можливих ФГР і ПрР ЗГ_{йм.пож.ПЕСгор.пр.} Результати такого прогнозу рекомендується відобразити на Плані досліджуваної ділянки ПЕС за допомогою тактичних знаків «ЗГ» (позиція 1) і «ЦЗ» (позиція 2) рис. 2, б.

Відповідно до рис. 1 б величина висоти «об'єданого факела» полум'я ймовірної пожежі в ПЕС при наявності вітру визначається формулою $H_{об.фак.ПЕС(V_{в.конкр})} = H_{об.фак.ПЕС(v_{в} = 0)} \cdot \cos \gamma$. Але існуючий досвід свідчить про те, що величина кута $\gamma = f(V_{в.конкр})$ змінюється залежно від швидкості вітру за дуже складною (на наш час ще коректно на формалізовану) закономірністю, унаслідок чого величина $H_{об.фак.ПЕС(V_{в.конкр})}$ зменшується від значення $3 \cdot h_{росл}$, м, до значення $h_{росл}$, м, майже лінійно (при збільшенні швидкості вітру від 0 до 6 м/с) і залишається практично сталою: $H_{об.фак.ПЕС(V_{в.конкр})} = h_{росл}$ при $V_{в.конкр} > 6$ м/с.

Тому досить коректною математичною моделлю для прогнозування можливої величини фактичної висоти «об'єданого факела» полум'я ймовірної пожежі в ПЕС $H_{об.фак.ПЕС(V_{в.конкр})}$, м, залежно від швидкості вітру $V_{в.конкр}$, м/с, і середньої висоти рослин $h_{росл}$, м, досліджуваної ділянки ПЕС є вираз

$$H_{об.фак.ПЕС(V_{в.конкр})} = K_H(V_{в.конкр}) \cdot h_{росл}, \quad (6)$$

де $K_H(V_{в.конкр})$ – коефіцієнт, який враховує змінення фактичної висоти «об'єданого факела» полум'я пожежі в ПЕС (залежно від швидкості вітру), значення величин якого наведено у таблиці.

Значення величин коефіцієнта $K_H(V_{в.конкр})$

$V_{в.конкр}$, м/с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$K_H(V_{в.конкр})$	3	2,67	2,33	2,0	1,67	1,34	1	1	1	1	1	1	1

Досить коректною математичною моделлю для прогнозування можливої величини температури «об'єданого факела» полум'я пожежі в ПЕС є формула (3).

2.2. Моделі процесів формування основних параметрів зони можливого ураження ймовірної пожежі в ПЕС унаслідок впливу продуктів згоряння

Оскільки кожна з розжарених мікрочастинок «об'єданого факела» полум'я пожежі в ПЕС (позиція 4 рис. 1, а і б) має власну температуру ($t_{вл.мікрочаст} \approx t_{об.фак.ПЕС}$, °С), значно більшу ніж власна температура мікрочастинок повітря НПС ($t_{НПС}$, °С), то і густина речовин оболонки «об'єданого факела» полум'я ($\rho_{об.фак.ПЕС}$, кг/м³) є значно меншою від густини речовин НПС ($\rho_{НПС}$, кг/м³). Це спричиняє виникнення архімедової піднімальної сили $F_{арх}$, вплив якої ініціює процеси теплообміну і масообміну між ЗГ_{йм.пож.ПЕС} і НПС, що проілюстровано на рис. 1, а, б.

Унаслідок впливу $F_{арх}$ кожна з розжарених мікрочастинок (які в даний момент входять до складу «об'єданого факела» полум'я – позиція 4 рис. 1, а, б) «виходить» з нього і спрямовується догори у напрямку, перпендикулярному до земної поверхні при $V_{в} = 0$ (або під кутом γ при $V_{в.конкр} > 0$). Описане спричиняє утворення над «об'єданим факелом» полум'я, спрямованого догори (вертикально – при $V_{в} = 0$ або під кутом γ при $V_{в.конкр} > 0$) потоку розігрітих мікрочастинок продуктів повного і неповного згоряння, тобто висхідної гілки «димових газів»

(позиція 5 рис. 1, а, b) пожежі. При цьому вертикальна складова швидкості руху потоку «димових газів» поступово зменшується (через охолодження мікрочастинок продуктів згоряння). Тому досить коректною фізичною моделлю висхідної гілки «димових газів» є просторова об'ємна (вертикальна при $V_v = 0$ або нахилена під кутом γ при $V_{v, \text{конкр}} > 0$) геометрична фігура (з висотою $H_{\text{висх.гіл}(V_v=0)}$ або $H_{\text{висх.гіл}(V_v=0)} \cdot \cos \gamma$ відповідно і горизонтальним перетином, форма і геометричні розміри якого практично збігаються з такими ж параметрами $Z_{\text{Гім.пож.ПЕСгор.пр}}$), заповнена розігрітими мікрочастинками «димових газів».

Водночас підтримання сталого горіння забезпечується безперервним надходженням до оболонки «об'єднаного факела» полум'я (позиція 4 рис. 1, а, b) все нових і нових порцій ХОГС від охопленої вогнем поверхні «запасів» РГМ_{конкр} (позиція 1 рис. 1, а, b) унаслідок їх газифікації під впливом теплового випромінювання «об'єднаного факела» полум'я. Ці порції ХОГС утворюються у підфакельному просторі (позиція 3 рис. 1, а, b) з молекул продуктів газифікації РГМ_{конкр} і молекул насиченого киснем повітря НПС. Надходження такого повітря пояснюється тим, що в результаті невпинного руху чергових порцій ХОГС до оболонки «об'єднаного факела» полум'я у підфакельному просторі утворюється «розрідження» (низький тиск). Це «розрідження» спричиняє «підсмоктування» чистого (тобто насиченого киснем) атмосферного повітря з усіх (прилеглих до «об'єднаного факела» полум'я і висхідної гілки «димових газів») вертикальних шарів повітря НПС. Останнє призводить до утворення безлічі низхідних гілок (позиція 6 рис. 1, а, b) шарів чистого повітря НПС, які прилягають одна до одної (охоплюючи висхідну гілку «димових газів» та «об'єднаний факел» полум'я) і «заходять» до підфакельного простору (позиція 3 рис. 1, а, b)

Одночасна наявність висхідної гілки «димових газів» (яка «виходить» з «об'єднаного факела» полум'я) і безлічі низхідних гілок, що прилягають одна до одної (які «заходять» до підфакельного простору) з протилежними напрямками руху мікрочастинок неминуче призводить до їх об'єднання в єдиний замкнений газовий потік. Таке об'єднання реалізується шляхом розгалуження висхідної гілки «димових газів» (позиція 5 рис. 1, а, b) на безліч низхідних гілок, які щільно прилягають одна до одної (позиція 6 рис. 1, а, b), що «гуртуються» у підфакельному просторі (позиція 3 рис. 1, а, b) «об'єднаного факела» полум'я (позиція 4 рис. 1, а, b) пожежі в ПЕС.

Згідно з викладеним досить коректною фізичною моделлю єдиного замкненого газового потоку є просторова об'ємна геометрична фігура, основними складовими якої є:

- множина $\{M_1\}$ «розігрітих» (унаслідок впливу теплового випромінювання «об'єднаного факела» полум'я) мікрочастинок ХОГС (що утворюються з мікрочастинок продуктів газифікації РГМ_{конкр} і мікрочастинок насиченого киснем повітря НПС), які переміщуються (під впливом $F_{\text{Арх}}$) у підфакельному просторі до «об'єднаного факела» полум'я;

- множина $\{M_2\}$ «розжарених» (унаслідок фізико-хімічних реакцій горіння) мікрочастинок оболонки «об'єднаного факела» полум'я (де утворюються мікрочастинки «димових газів»);

- множина $\{M_3\}$ «розігрітих» мікрочастинок «димових газів», які виходять з «об'єднаного факела» полум'я і переміщуються вздовж висхідної гілки, котра розгалужується на безліч низхідних гілок;

- множина $\{M_4\}$ «розігрітих» мікрочастинок забрудненого «димовими газами» повітря НПС, які переміщуються вздовж низхідних гілок (що гуртуються у підфакельному просторі).

Слід зазначити, що «особовий склад» мікрочастинок кожної з перелічених множин постійно змінюється, бо впродовж тривалості пожежі кожен мить: у підфакельному просторі утворюються все нові й нові порції мікрочастинок ХОГС; у оболонці «об'єданого факела» полум'я мікрочастинок порцій ХОГС, що надійшли до нього у попередню мить перетворюються у «розжарені» мікрочастинок «димових газів», які надходять до висхідної гілки; з висхідної гілки все нові й нові порції мікрочастинок «димових газів» надходять у низхідні гілки і т. д.

Тому єдиний замкнений газовий потік забезпечує постійну (впродовж тривалості пожежі в ПЕС) реалізацію процесів масообміну між $Z_{\text{йм.пож.ПЕС}}$ і НПС:

- «димові гази» (тобто розігріті мікрочастинок диму і продуктів повного й неповного згорання) надходять (завдяки переміщенню мікрочастинок множин $\{M_3\}$ і $\{M_4\}$ із $Z_{\text{йм.пож.ПЕС}}$ у НПС;

- чисте (насичене киснем) атмосферне повітря «відсмоктується» (завдяки переміщенню мікрочастинок множини $\{M_1\}$) із НПС у $Z_{\text{йм.пож.ПЕС}}$.

Указані процеси масообміну між $Z_{\text{йм.пож.ПЕС}}$ і НПС ініціюють виникнення уражальних чинників пожежі – УЧП (вплив яких може призвести до загибелі людей (тварин, рослин), їх ураження (отруєння, інші види пошкодження здоров'я) і суттєвого погіршення стану НПС). При цьому основними видами УЧП є: димове забруднення НПС, термічне забруднення НПС, хімічне забруднення НПС, кисневе збіднення НПС.

Ураховуючи викладене, можна вважати, що джерелом кожного з описаних УЧП є зона горіння пожежі, а процеси масообміну між $Z_{\text{йм.пож.ПЕС}}$ і НПС забезпечують формування їх зон можливого ураження – $Z_{\text{МУ дим.забр}}$, $Z_{\text{МУ терм.забр}}$, $Z_{\text{МУ хім.забр}}$ і $Z_{\text{МУ кисн.зб}}$ відповідно. Оскільки матеріальними носіями зазначених УЧП є множини $\{M_3\}$ і $\{M_4\}$ «розігрітих» мікрочастинок, то їхні зони можливого ураження $Z_{\text{МУ дим.забр}}$, $Z_{\text{МУ терм.забр}}$, $Z_{\text{МУ хім.забр}}$ і $Z_{\text{МУ кисн.зб}}$ збігаються одна з одною за ФГР і ПрР і разом утворюють спільну зону можливого задимлення ймовірної пожежі в ПЕС – $Z_{\text{МУ зад.йм.пожПЕС}}$.

Зоною можливого задимлення ймовірної пожежі в ПЕС ($Z_{\text{МУ зад.йм.пож.ПЕС}}$) є частина простору навколо ЦЗ, заповнена «димовими газами», температура й концентрація яких створюють загрозу для життя і здоров'я людей та (або) утруднюють бойові дії пожежних підрозділів. Отже, досить коректною фізичною моделлю $Z_{\text{МУ зад.йм.пож.ПЕС}}$ є заповнена «димовими газами» просторова об'ємна геометрична фігура, яка охоплює $Z_{\text{йм.пож.ПЕС}}$, а її зовнішньою межею вважають точки простору, де густина часток диму становить $(1..6) \cdot 10^{-4}$ кг/м³, видимість предметів – 6...12 м, концентрація кисню у димі ще не менша 16%, а токсичність «димових газів» вже створює небезпеку для людей, що знаходяться без засобів протидимового захисту [2].

Реципієнтами негативного впливу «димових газів» є особи виробничого персоналу (населення, тварини, рослини), робочі місця (місця перебування) яких «потрапляють» в межі $Z_{\text{МУ зад.йм.пож.ПЕС}}$. Тому її найважливішими основними параметрами є форма, геометричні розміри і просторове розташування зовнішньої межі горизонтальної проекції зони можливого задимлення – ФГР і ПрР $Z_{\text{МУ зад.йм.пож.ПЕСгор.пр}}$ та її висота – $H_{Z_{\text{МУ зад.йм.пож.ПЕС}}}$ (які характеризують можливі екологічні наслідки досліджуваної пожежі), а також можливі величини загальних ($M_{\text{заг.зад}}$, ос) і санітарних ($M_{\text{сан.зад}}$, ос) втрат людей унаслідок задимлення та ін. (які характеризують можливі соціально-економічні наслідки цієї пожежі).

Як показано на рис. 1, а, б «активну участь» у формуванні основних параметрів $Z_{\text{МУ зад.йм.пож.ПЕС}}$ беруть:

- множина $\{M_1\}$ «розігрітих» мікрочастинок насиченого киснем атмосферного повітря НПС і мікрочастинок газоподібних фракцій $РГМ_{\text{конкр}}$, які, змішуючись між собою, утворюють все нові й нові порції ХОГС, котрі (під впливом $F_{\text{Арх}}$) прискорено переміщуються у підфакельному просторі (позиція 3) до «об'єданого факела» полум'я (позиція 4) ймовірної пожежі в ПЕС; саме це переміщення «розігрітих» мікрочастинок множини $\{M_1\}$ спричиняє «підсмоктування» у під факельний простір насиченого киснем повітря з вертикальних шарів атмосфери НПС, що прилягають до $ЗГ_{\text{йм.пожПЕС}}$, що ініціює виникнення низхідних гілок $ЗМУ_{\text{зад.йм.пожПЕС}}$ (позиція 6), як зони впливу УЧП «кисневе збіднення НПС»;

- множина $\{M_2\}$ «розжарених» (унаслідок фізико-хімічних реакцій перетворення ХЛГС у продукти повного й неповного згорання) мікрочастинок тонкостінної оболонки «об'єданого факела» полум'я (позиція 4) пожежі; саме «об'єднаний факел» полум'я є джерелом «димових газів», які спричиняють виникнення УЧП «димове забруднення НПС», «термічне забруднення НПС» і «хімічне забруднення НПС»;

- множина $\{M_3\}$ «розігрітих» мікрочастинок висхідної гілки $ЗМУ_{\text{зід.йм.пожПЕС}}$ (позиція 5), яка забезпечує транспортування «димових газів» до низхідних гілок, чим сприяє поширенню зон впливу димового, термічного і хімічного забруднення НПС;

- множина $\{M_4\}$ «розігрітих» мікрочастинок низхідних гілок (позиція 6), яка забезпечує остаточне формування зовнішніх меж $ЗМУ_{\text{зад.йм.пожПЕС}}$ як зони сумісного впливу УЧП «димове забруднення НПС», «термічне забруднення НПС», «хімічне забруднення НПС» і «кисневе збіднення НПС».

Таким чином, такі основні параметри $ЗМУ_{\text{зад.йм.пожПЕС}}$, як $H_{ЗМУ_{\text{зад.йм.пожПЕС}}}$ і ФГР і ПрР $ЗМ_{ЗМУ_{\text{зад.йм.пожПЕС}}}$, повністю визначаються основними параметрами її складових (тобто ФГР і ПрР $ЗГ_{\text{йм.пожПЕС}}$, величиною висоти $ЗГ_{\text{йм.пожПЕС}}$ – $H_{\text{об.факПЕС}}$, величиною висоти висхідної гілки «димових газів» - $H_{\text{висх.гілПЕС}}$, видом і фізичними, тепловими і теплофізичними характеристиками «запасів» $РГМ_{\text{конкр}}$ досліджуваної ділянки ПЕС, швидкістю ($V_{\text{в.конкр}}$, м/с) і напрямком ($\alpha_{\text{в.конкр}}$, град) вітру, величиною температури ($t_{\text{НПС}}$, °С) тощо).

Так, наприклад, згідно з рис. 1, а (при відсутності вітру) величина висоти зони можливого задимлення $H_{ЗМУ_{\text{зад.йм.пожПЕС}}(V_{\text{в}}=0)}$, м, визначається за виразом

$$H_{ЗМУ_{\text{зад.йм.пожПЕС}}(V_{\text{в}}=0)} = H_{\text{об.факПЕС}}(V_{\text{в}}=0) + H_{\text{висх.гілПЕС}}(V_{\text{в}}=0) \quad (7)$$

При цьому величину $H_{\text{об.факПЕС}}(V_{\text{в}}=0)$, м, визначають з використанням формули (2), а величину $H_{\text{висх.гілПЕС}}(V_{\text{в}}=0)$, м, можна визначити з урахуванням такої інформації.

Згідно з положенням теорії теплопередачі [7, 8] такі основні складові $ЗМУ_{\text{зад.йм.пожПЕС}}$, як підфакельний простір (позиція 3) та окремі ділянки висхідної гілки «димових газів» (позиція 5), можна вважати схожими між собою системами, бо вони характеризуються:

- схожістю фізичних явищ (і у підфакельному просторі й на окремих ділянках висхідної гілки «димових газів» відбувається спрямований рух «розігрітих» мікрочастинок);

- геометричною схожістю обмежених ділянок простору, де відбувається зазначений рух;

- схожістю всіх однорідних величин (наприклад, величин вертикальної складової швидкості руху «розігрітих» мікрочастинок – ω , м/с, густини – ρ , кг/м³, коефіцієнта кінематичної в'язкості середовища – ν , м²/с, та ін.) досліджуваного явища у відповідних точках простору при відповідних перепадах температури Δt , °С.

За цими ознаками схожими між собою є:

- система 1 – ділянка підфакельного простору (де відбувається спрямований рух «розігрітих» мікрочастинок множини $\{M_1\}$ від поверхні «запасів» РГМ_{конкр} до тонкостінної оболонки «об'єданого факела» полум'я пожежі в ПЕС) з довжиною шляху руху мікрочастинок $l_1 = H_{об.факПЕС}(V_B=0)$, м, з перепадом температури мікрочастинок Δt_1 , °С, від значення $t_{вл.мікрочаст\{M_1\}} = t_{газифРГМконкр}$, °С, до значення $t_{об.факПЕС}$, °С ($\Delta t_1 = t_{газифРГМконкр} - t_{об.факПЕС}$) та зі зміною величини коефіцієнта кінематичної в'язкості (ККВ) ν_1 від значення $\nu_1 = \nu_{газифРГМконкр}$, м²/с, до значення $\nu_1 = \nu_{об.факПЕС}$, м²/с;

- система 2 – нижня ділянка висхідної гілки ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} (де відбувається спрямований рух «розігрітих» мікрочастинок «димових газів» множини $\{M_3\}$ від тонкостінної оболонки «об'єданого факела» полум'я до перетину висхідної гілки, в якому температура «розігрітих» мікрочастинок знижується до значення $t_{газифРГМконкр}$, °С) з довжиною шляху руху мікрочастинок l_2 , м, з перепадом температури мікрочастинок $\Delta t_2 = t_{об.факПЕС} - t_{газифРГМконкр}$ та зі зміною величини ККВ ν_2 від значення $\nu_2 = \nu_{об.факПЕС}$, м²/с, до значення $\nu_2 = \nu_{газифРГМконкр}$, м²/с;

- система 3 – верхня ділянка висхідної гілки ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} (де відбувається спрямований рух «розігрітих» мікрочастинок «димових газів» множини $\{M_3\}$ від зазначеного вище перетину висхідної гілки до її вершини) з довжиною шляху руху мікрочастинок l_3 , м, з перепадом температури мікрочастинок Δt_3 , °С, від значення $t_{газифРГМконкр}$, °С, до значення $t_{нПС}$, °С ($\Delta t_3 = t_{газифРГМконкр} - t_{нПС}$) та зі зміною величини ККВ ν_3 від значення $\nu_3 = \nu_{газифРГМконкр}$, м²/с, до значення $\nu_3 = \nu_{нПС}$, м²/с, причому $H_{висх.гіл.ПЕС} = l_2 + l_3$.

Основною властивістю схожих між собою систем є існування особливих безрозмірних величин (критеріїв схожості), які для всіх схожих систем зберігають однакове числове значення (idem). Так, через гідромеханічну схожість підфакельного простору (система 1), нижньої ділянки висхідної гілки (система 2) і верхньої ділянки висхідної гілки (система 3) однакове значення (у відповідних точках цих систем) мають: критерій гомохронності Ho ; критерій Фруда Fr ; критерій Ейлера Eu ; критерій Рейнольдса Re ; критерій Галілея Ga ; критерій Архімеда Ag ; критерій Грасгофа Gr та ін.

Наприклад, згідно з критерієм Галілея ($Ga = g_1 \cdot l_1^3 / \nu_1^2 = g_2 \cdot l_2^3 / \nu_2^2 = g_3 \cdot l_3^3 / \nu_3^2 = idem$) значення величин l_2 і l_3 (а отже, й значення величини $H_{висх.гіл.ПЕС}$) можна розрахувати за відомим значенням висоти «об'єданого факела» полум'я $H_{об.факПЕС} = l_1$ з використанням формул

$$l_2 = l_1 \cdot (g_1 \cdot \nu_2^2 / g_2 \cdot \nu_1^2)^{1/3}, \quad (8)$$

$$l_3 = l_2 \cdot (g_2 \cdot \nu_3^2 / g_3 \cdot \nu_2^2)^{1/3}, \quad (9)$$

де l_1, l_2, l_3 – довжини відстаней (руху «розігрітих» мікрочастинок) до відповідних точок у першій, другій і третій схожих системах відповідно, м;

g_1, g_2, g_3 – величини прискорення вільного падіння у відповідних точках першої, другої й третьої схожих між собою систем, м/с² (оскільки система 1, система 2 і система 3 «розташовані» в атмосфері Землі, то $g_1 = g_2 = g_3 = 9,81$ м/с²);

ν_1, ν_2, ν_3 – величини коефіцієнтів кінематичної в'язкості середовища у відповідних точках першої, другої й третьої схожих між собою систем, м²/с.

При цьому слід зазначити, що точки початку відліку у системі 1 і системі 2 «розташовані» на вершині «об'єданого факела» полум'я, а відповідними точками цих систем є точки з однаковими перепадами температури «розігрітих» мікрочастинок «димових газів»: $\Delta t_2 = \Delta t_1$.

Для кожної з цих відповідних точок виконується співвідношення $\nu_1 = \nu_2$, а також $g_1 = g_2 = 9,81$ м/с² (бо обидві схожі системи «розташовані» в межах атмосфери Землі). Тому згідно з формулою (8) $l_2 = l_1 = H_{об.фак.ПЕС}(V_B=0)$, м.

На відміну від цього точки початку відліку у системі 2 «розташовані» на вершині «об'єднаного факела» полум'я, а точки початку відліку у системі 3 - у перетині висхідної гілки, де температура «розігрітих» мікрочастинок «димових газів» дорівнює величині температури газифікації $RGM_{\text{конкр}} - t_{\text{газиф.}RGM_{\text{конкр}}}$, °C. Відповідними точками у цих системах є точки, «розташовані» у перетині висхідної гілки (де величина температури «розігрітих» мікрочастинок «димових газів» має значення $t_{\text{газиф}RGM_{\text{конкр}}}$, °C), і точки, «розташовані» у вершині висхідної гілки, де величина температури мікрочастинок «димових газів» має значення $t_{\text{НПС}}$, °C. При цьому у системі 2 величина v_2 може змінюватися в межах від значення $v_2 = v_{\text{об.факПЕС}}$, м²/с, до значення $v_2 = v_{\text{газиф}RGM_{\text{конкр}}}$, м²/с. Водночас у системі 3 величина v_3 може змінюватися в межах від значення $v_3 = v_{\text{газиф}RGM_{\text{конкр}}}$, м²/с, до значення $v_3 = v_{\text{НПС}}$, м²/с. Отже, у відповідних точках цих систем $v_2 \neq v_3$, а тому формула (9) трансформується до вигляду

$$l_3 = H_{\text{об.фак.ПЕС}(v_{\text{в}}=0)} \cdot (v_{\text{НПС}} / v_{\text{газиф.}RGM_{\text{конкр}}})^{2/3}, \quad (10)$$

де l_3 – довжина шляху руху «розігрітих» мікрочастинок «димових газів» у верхній ділянці висхідної гілки «димових газів», м;

$H_{\text{об.факПЕС}(v_{\text{в}}=0)}$ – висота «об'єднаного факела» полум'я ймовірної пожежі на конкретній ділянці ПЕС при відсутності вітру, м;

$v_{\text{НПС}}$ – величина ККВ «димових газів» у вершині висхідної гілки ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} (при $t_{\text{вл.мікрочаст}} = t_{\text{НПС}}$), м²/с;

$v_{\text{газиф}RGM_{\text{конкр}}}$ – величина ККВ «димових газів» у перетині висхідної гілки ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС}, де $t_{\text{вл.мікрочаст}} = t_{\text{газиф}RGM_{\text{конкр}}}$, м²/с.

З урахуванням викладеного досить коректними математичними моделями для прогнозування можливих значень висоти висхідної гілки «димових газів» - $H_{\text{висх.гілПЕС}(v_{\text{в}}=0)}$, м, і висоти зони можливого ураження пожежі унаслідок впливу «задимлення» - $H_{\text{ЗМУзад.йм.пожПЕС}(v_{\text{в}}=0)}$, м, при відсутності вітру є формули

$$H_{\text{висх.гілПЕС}(v_{\text{в}}=0)} = H_{\text{об.факПЕС}(v_{\text{в}}=0)} \cdot [1 + (v_{\text{НПС}} / v_{\text{газиф}RGM_{\text{конкр}}})^{2/3}] = 3 \cdot h_{\text{росл}} \cdot [1 + (v_{\text{НПС}} / v_{\text{газиф}RGM_{\text{конкр}}})^{2/3}], \quad (11)$$

$$H_{\text{ЗМУзад.йм.пожПЕС}(v_{\text{в}}=0)} = H_{\text{об.факПЕС}(v_{\text{в}}=0)} \cdot [2 + (v_{\text{НПС}} / v_{\text{газиф}RGM_{\text{конкр}}})^{2/3}] = 3 \cdot h_{\text{росл}} \cdot [2 + (v_{\text{НПС}} / v_{\text{газиф}RGM_{\text{конкр}}})^{2/3}], \quad (12)$$

де $h_{\text{росл}}$ – середня висота рослинності досліджуваної ділянки ПЕС, м.

У разі ж наявності вітру (з урахуванням співвідношення (6)) досить коректною математичною моделлю для прогнозування можливих значень висоти зони можливого задимлення $H_{\text{ЗМУзад.йм.пожПЕС}(v_{\text{в.конкр}})}$, є вираз

$$H_{\text{ЗМУзад.йм.пожПЕС}(v_{\text{в.конкр}})} = H_{\text{об.фак.ПЕС}(v_{\text{в.конкр}})} \cdot [2 + (v_{\text{НПС}} / v_{\text{газиф}RGM_{\text{конкр}}})^{2/3}] = K_{\text{Н}}(v_{\text{в.конкр}}) \cdot h_{\text{росл}} \cdot [2 + (v_{\text{НПС}} / v_{\text{газиф}RGM_{\text{конкр}}})^{2/3}], \quad (13)$$

де $K_{\text{Н}}(v_{\text{в.конкр}})$ – коефіцієнт, який враховує значення фактичної висоти «об'єднаного факела» полум'я залежно від швидкості вітру (значення якого наведено у таблиці).

Слід зазначити, що визначені згідно з формулами (12) або (13) значення висоти ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} залишаються майже незмінними впродовж стадії «вигорання «запасів» $RGM_{\text{конкр}}$ ймовірної пожежі на досліджуваній ділянці ПЕС. На відміну від цього «підсмоктування» до підфакельного простору свіжого (насиченого киснем) повітря все нових і нових вертикальних шарів атмосферного повітря (які прилягають до $Z_{\text{Г.йм.пож.ПЕС}}$) та «заповнення» їх «димовими газами» призводить до невпинного «розширення» ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС} протягом тривалості пожежі, тобто до збільшення геометричних розмірів її горизонтальної проекції. При цьому в процесі описаного збільшення геометричних розмірів ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕСгор.пр} її форма і просторове розташування (відносно ЦЗ) «повторюють» форму і просторове розташування $Z_{\text{Г.йм.пож.ПЕС}}$. Пояснюється це таким.

«Підсмоктування» насиченого киснем атмосферного повітря з НПС до підфакельного простору здійснюється природним шляхом для забезпечення регулярного утворення (з мікрочастинок повітря НПС і продуктів газифікації РГМ_{конкр}) все нових і нових порцій ХОГС, які надходять до «об'єданого факела» полум'я пожежі в ПЕС. Підтримання сталого горіння на всій охопленій вогнем поверхні «запасів» РГМ_{конкр} (а отже, й стабільності параметрів «об'єданого факела» полум'я) можливе тільки за умов безперервного «підсмоктування» до підфакельного простору (позиція 3) насиченого киснем повітря з усіх вертикальних шарів атмосфери НПС що прилягають до ЗГ_{йм.пожПЕС}, які утворюють первинну групу низхідних гілок (позиція 6) ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС}, горизонтальні проекції яких «розташовані» навколо ЗГ_{йм.пожПЕСгор.пр} і тому «повторюють» її форму (у вигляді круга з центром у ЦЗ (при відсутності вітру) або у вигляді складної геометричної фігури, «втягнутої» у напрямку вітру (при його наявності)).

Описані процеси призводять до зменшення вмісту кисню у повітрі первинної групи низхідних гілок ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС}, яке посилюється забрудненням їх «димовими газами», що могло б «пригноблювати» процеси горіння через нестачу кисню у підфакельному просторі. Перешкоджає цьому природне саморегулювання процесів горіння, яке «організує» процеси «підсмоктування» до підфакельного простору насиченого киснем повітря вже з вертикальних шарів повітря атмосфери НПС, які щільно прилягають до низхідних гілок первинної групи ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} та утворюють вторинну групу низхідних гілок, а тому їх горизонтальні проекції «повторюють» форму і просторове розташування ЗГ_{йм.пож.ПЕСгор.пр}.

Багатократне повторення описаних процесів з моменту займання і аж до повного вигорання «запасів» РГМ_{конкр} досліджуваної ділянки ПЕС зумовлює поступове збільшення геометричних розмірів ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕСгор.пр} впродовж тривалості пожежі з одночасним «повторенням» нею форми і просторового розташування (відносно ЦЗ) її ЗГ_{йм.пож.ПЕС}.

Згідно з описаним:

- досить коректною фізичною моделлю зони можливого задимлення є заповнена «димовими газами» просторова об'ємна геометрична фігура, яка «охоплює» просторову об'ємну геометричну фігуру зони горіння досліджуваної пожежі в ПЕС і при відсутності вітру має спільну із ЗГ_{йм.пож.ПЕС} вертикальну вісь симетрії, а при наявності вітру «нахиляється» на кут γ і «втягується» у напрямку вітру;

- процес прогнозування можливих ФГР і ПрР зовнішньої межі ЗМУ_{зад.йм.пожПЕСгор.пр} можна уявити, як процес збільшення у $K_{масш.ПЕС}$ разів геометричних розмірів відображеної на Плані досліджуваної ПЕС горизонтальної проекції ЗГ_{йм.пожПЕС}.

При цьому досить коректною математичною моделлю для завчасного визначення величини масштабного коефіцієнта $K_{масш.ПЕС}$ є вираз

$$K_{масш.ПЕС} = \sqrt{S_{ЗМУзад.йм.пож.ПЕСгор.пр} / S_{ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр}} = \sqrt{W_{ЗМУзад.йм.пож.ПЕС} / H_{зад.йм.пож.ПЕС} \cdot S_{ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр}} \quad (14)$$

де $K_{масш.ПЕС}$ – масштабний коефіцієнт «розширення» ЗМУ_{зад.йм.пожПЕСгор.пр};

$S_{ЗМУзад.йм.пожПЕСгор.пр}$ – площа горизонтальної проекції ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС}, м²;

$S_{ЗГйм.пожПЕСгор.пр}$ – площа горизонтальної проекції зони горіння цієї пожежі, м²;

$W_{ЗМУзад.йм.пожПЕС}$ – можлива величина об'єму ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС}, м³;

$H_{зад.йм.пожПЕС}$ – можлива величина висоти ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС}, м.

Припускаючи, що величина об'єму ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС}, м³, дорівнює величині об'єму «чистого» (насиченого киснем) атмосферного повітря НПС, яке витрачається у

процесі згорання «запасів» РГМ_{конкр} упродовж імовірної пожежі на досліджуваній ділянці ПЕС, досить коректною математичною моделлю для прогнозування можливої величини $W_{ЗМУзад.йм.пожПЕС}$, м³, є формула

$$W_{ЗМУзад.йм.пожПЕС} = (\Sigma m_{пн\ РГМ_{конкр.i}}) \cdot (W_{пов(1кг)РГМ_{конкр.i}})_{max} \cdot S_{ЗГйм.пожПЕСгор.пр}, \quad (15)$$

де $\Sigma m_{пн\ РГМ_{конкр.i}}$ – сумарна маса пожежного навантаження усіма видами РГМ_{конкр} на досліджуваній ділянці ПЕС, кг/м²;

$(W_{пов(1кг)РГМ_{конкр.i}})_{max}$ – максимальний з фактично існуючих питомих об'ємів «чистого» атмосферного повітря, необхідний для ефективного згорання 1 кг «найзадимлюючого» виду РГМ_{конкр} досліджуваної ділянки ПЕС, м³/кг;

$S_{ЗГйм.пожПЕСгор.пр}$ – можлива величина площі горизонтальної проекції зони горіння ймовірної пожежі на досліджуваній ділянці ПЕС, м².

З урахуванням викладеного, а також формули (13) вираз (14) може трансформуватися до вигляду

$$K_{масшПЕС}(V_{в.конкр}) = \sqrt{(\Sigma m_{пн\ РГМ_{конкр.i}}) \cdot (W_{пов(1кг)РГМ_{конкр.i}})_{max} / K_H(V_{в.конкр}) \cdot h_{росл.max} \cdot [2 + (v_{нпс} / v_{газифРГМ_{конкр}})^{2/3}]} \quad (16)$$

де $K_{масшПЕС}(V_{в.конкр})$ – можлива величина коефіцієнта «розширення» ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС} у процесі розвитку ймовірної пожежі на досліджуваній ділянці ПЕС залежно від швидкості вітру ($V_{в.конкр}$, м/с);

$\Sigma m_{пн\ РГМ_{конкр.i}}$ – сумарна маса пожежного навантаження досліджуваної ділянки ПЕС усіма видами РГМ_{конкр.i}, кг/м²;

$(W_{пов(1кг)РГМ_{конкр.i}})_{max}$ – максимальний (з фактично існуючих на досліджуваній ділянці ПЕС РГМ_{конкр.i}) з питомих об'ємів «чистого» атмосферного повітря, необхідний для ефективного згорання 1 кг «найзадимлюючого» виду РГМ_{конкр} цієї ділянки, м³/кг;

$K_H(V_{в.конкр})$ – коефіцієнт, який враховує змінення фактичної висоти «об'єданого факела» полум'я цієї пожежі залежно від швидкості вітру ($V_{в.конкр}$, м/с);

$h_{росл}$ – висота рослинності досліджуваної ділянки ПЕС, м;

$v_{нпс}$ – величина коефіцієнта ККВ «димових газів» при температурі НПС, м²/с;

$v_{газифРГМ_{конкр}}$ – величина ККВ «димових газів» при температурі газифікації РГМ_{конкр}, м²/с.

Згідно з викладеним форму, геометричні розміри і просторове розташування зовнішньої межі горизонтальної проекції зони можливого задимлення ймовірної пожежі на досліджуваній ділянці ПЕС (ФГР і ПрР ЗМ ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕСгор.пр}) можна визначати згідно з алгоритмом

$$\text{ФГР і ПрР ЗМ ЗМУ}_{зад.йм.пожПЕСгор.пр} = K_{масшПЕС}(V_{в.конкр}) \cdot (\text{ФГР і ПрР ЗГ}_{йм.пожПЕСгор.пр}).$$

Тому рекомендується прогнозувати ФГР і ПрР ЗМ ЗМУ_{зад.йм.пожПЕСгор.пр} як складну геометричну фігуру, вісь симетрії якої проходить через ЦЗ і збігається з напрямком вітру, а зовнішні межі цієї фігури окреслює радіус-вектор $R_{ЗМУзад.йм.пожПЕС(V_{в.конкр})гор.пр}$ (який обертається за годинниковою стрілкою у горизонтальній площині з центром у місці розташування ЦЗ), модуль якого змінюється згідно з виразами

$$|R_{ЗМУзад.йм.пожПЕС(V_{в.конкр})гор.пр}| = K_{масшПЕС}(V_{в.конкр}) \cdot V_{фр}(V_{в.конкр}) \cdot T_{ВГрозр} \cdot \cos \beta \quad (17)$$

(при змінненні значень кута β в діапазонах $\beta = 0 \dots 85^\circ$ і $275 \dots 360^\circ$)

$$i |R_{ЗМУзад.йм.пожПЕС(V_{в.конкр})гор.пр}| = K_{масшПЕС}(V_{в.конкр}) \cdot V_{тл}(V_{в.конкр}) \cdot T_{ВГрозр}, \quad (18)$$

(при змінненні значень кута β в діапазоні $\beta = 85 \dots 275^\circ$),

де $|R_{ЗМУзад.йм.пожПЕС(V_{в.конкр})гор.пр}|$ – значення величин відстаней від ЦЗ до точок ЗМ ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС(V_{в.конкр})гор.пр}}, м;

$K_{масш.ПЕС}(V_{в.конкр})$ – можлива величина масштабного коефіцієнта «розширення» ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} упродовж пожежі;

$V_{\text{фр}}(V_{\text{в.конкр}})$ – можлива (при характерних для досліджуваної ділянки ПЕС значеннях $V_{\text{в.конкр}}$, м/с, і видах РГМ_{конкр}) швидкість поширення фронту ймовірної пожежі, м/год;

$T_{\text{ВГрозр}}$ – розрахункова величина часу вільного горіння, год;

β – величина кута між напрямком вітру і поточним положенням радіуса-вектора $R_{\text{ЗМУзад.йм.пожПЕС}(V_{\text{в.конкр}})_{\text{гор.пр.}}$, який відраховується від осі симетрії, град;

$V_{\text{тл}}(V_{\text{в.конкр}})$ – можлива (при характерних для досліджуваної ділянки ПЕС значеннях $V_{\text{в.конкр}}$, м/с, і видах РГМ_{конкр}) швидкість поширення тилу ймовірної пожежі, м/год.

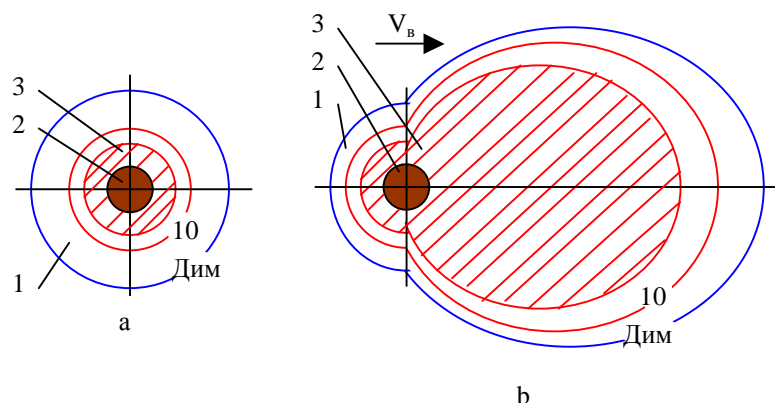


Рис. 3. Відображення зон можливого задимлення пожеж уПЕС

Вирази (17) і (18) є досить коректною математичною моделлю для прогнозування можливих ФГР і ПрР ЗМ ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС}(V_{\text{в.конкр}})_{\text{гор.пр.}}} (при цьому нехтують незначним зменшенням концентрації «димових газів» у межах зони можливого задимлення унаслідок впливу вітру). Результати такого прогнозу рекомендується відобразити на Плані досліджуваної ділянки ПЕС за допомогою тактичного знака «ЗМУ_{зад}» (позиція 3) рис. 3.

Досить коректними математичними моделями для завчасного визначення можливих величин загальних ($M_{\text{заг.зад}}$, осіб) і санітарних ($M_{\text{сан.зад}}$, осіб) втрат людей за даними про кількість осіб виробничого персоналу найбільшої працюючої зміни ($N_{\text{НПЗ в ЗМУзад}}$, осіб) чи населення ($N_{\text{нас.в ЗМУзад}}$, осіб), робочі місця (місця перебування) яких за прогнозом «потрапляють» в межі ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС}, є формули

$$M_{\text{заг.зад}} = N_{\text{НПЗ в ЗМУзад}} (N_{\text{нас.в ЗМУзад}}), \quad (19)$$

$$M_{\text{сан.зад}} = 0,95 \cdot M_{\text{заг.зад}}. \quad (20)$$

3. Розробка інформаційної технології

Для забезпечення практичної реалізації перспективних способів прогнозування можливих екологічних і соціально-економічних наслідків імовірних пожеж на досліджуваній ділянці ПЕС безумовно необхідним є застосування універсальної автоматизованої комп'ютерної інформаційної системи – УАІС ПЕС на базі ПК, основними складовими якої є:

- база знань (основою якої є «характеристика досліджуваної ПЕС» і довідкові матеріали до неї);

- реляційна база даних (кожен «запис» якої містить інформацію про одну конкретну ділянку досліджуваної ПЕС, а кожне «поле» цієї БД – інформацію про

пожежно небезпечні й соціально-економічні параметри відповідної ділянки ПЕС, теплові й фізико-хімічні характеристики її РГМ_{конкр}, а також інформацію про кінцеві (проміжні) результати поставки стосовно конкретної ймовірної пожежі та ін.);

- система опрацювання інформації (тобто сукупність комп'ютерних інформаційних технологій (СКІТ ПЕС) для перетворення вхідних даних у результати поставки щодо можливих негативних екологічних і соціально-економічних наслідків конкретної ймовірної пожежі на досліджуваній ділянці ПЕС, які визначають потребу УПП (в силах, засобах і ресурсах), що створюється для забезпечення ефективної ліквідації цієї пожежі);

- засоби наочного відображення і документування проміжних і кінцевих результатів поставки (монітор ПК і принтер).

Для забезпечення завчасного визначення негативних наслідків впливу продуктів згоряння ймовірної пожежі обов'язково необхідною складовою СКІТ ПЕС є інформаційна технологія з прогнозування значень основних параметрів ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС} – ІТ_{III} ПЕС.

Інформаційна технологія ІТ_{III} ПЕС призначена для забезпечення завчасного визначення і наочного відображення можливих значень основних параметрів ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС}, а саме:

- можливих форми, геометричних розмірів і просторового розташування зовнішньої межі горизонтальної проекції зони можливого задимлення ймовірної пожежі в ПЕС (ФГР і ПрР ЗМ ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС(Vв.конкр)} гор.пр) із застосуванням виразів (17) і (18);

- можливих величин загальних ($M_{заг.зад}$, ос) і санітарних ($M_{сан.зад}$, ос) втрат людей унаслідок впливу «димових газів» із застосуванням формул (19) і (20);

- можливих величин загальних ($M_{заг.йм.пож}$, ос) і санітарних ($M_{сан.йм.пож}$, ос) втрат людей унаслідок сумісного впливу «теплого випромінювання» і «димових газів» ймовірної пожежі із застосуванням співвідношень

$$M_{заг.йм.пож} = M_{заг.тепл} \text{ (при } M_{заг.тепл} \geq M_{заг.зад} \text{)}$$

$$\text{або } M_{заг.йм.пож} = M_{заг.зад} \text{ (при } M_{заг.зад} > M_{заг.тепл} \text{)}$$
(21)

$$M_{сан.йм.пож} = 0,95 \cdot M_{заг.йм.пож}$$
(22)

Тому згідно із вимогами методу диференціації (для забезпечення розділення проміжних продуктів поставки) до складу ІТ_{III} ПЕС мають входити відображені на рис. 4:

- інформаційна модель ІМ_{III1}, яка повинна (на основі вхідних даних, що надходять з БД, стосовно можливих ФГР і ПрР ЗГ_{йм.пожПЕС(Vв.конкр)гор.пр}, можливих видів РГМ_{конкр}, можливих значень $m_{пн}$ РГМ_{конкр.i}, кг/м³, $W_{пов(1кг)РГМконкр.i}$, м³/кг, $v_{нпс}$, м²/с, $V_{газифРГМконкр}$, м²/с, $V_{в.конкр}$, м/с, $h_{росл}$, м, та ін.) продуціювати нову інформацію щодо можливих ФГР і ПрР ЗМ ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС(Vв.конкр)} гор.пр;

- інформаційна модель ІМ_{III2}, яка повинна (на основі вхідних даних, що надходять з БД, стосовно можливих ФГР і ПрР ЗМ ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС(Vв.конкр)гор.пр}, а також значень $N_{нпз}$ в ЗМУ_{зад}, осіб, ($N_{нас.в}$ ЗМУ_{зад}, осіб)) продуціювати нову інформацію щодо можливих величин $M_{заг.зад}$, осіб, і $M_{сан.зад}$, осіб;

- інформаційна модель ІМ_{III3}, яка повинна (на основі вхідних даних, що надходять з БД, стосовно можливих величин $M_{заг.зад}$, осіб, і $M_{заг.тепл}$, осіб) продуціювати нову інформацію щодо можливих величин $M_{заг.йм.пож}$, осіб, і $M_{сан.йм.пож}$, осіб.

Структуру і функціональні взаємозв'язки між складовими ІТ_{III} ПЕС та елементами УАІС ПЕС відображено на рис. 4.

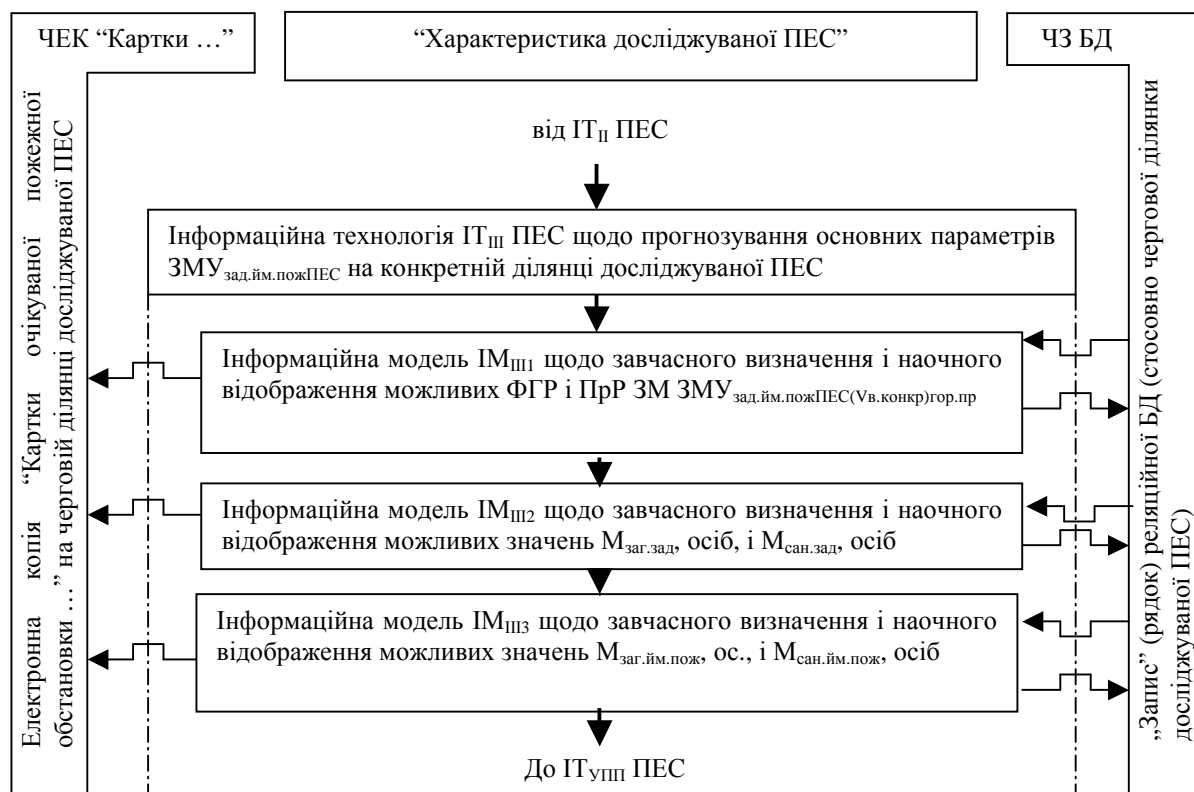


Рис. 4. Структурно-функціональна схема IT III ПЕС

Вихідні дані кожної зі вказаних інформаційних моделей слід «ввести» у відповідні «поля» конкретного «запису» реляційної БД, а також відобразити на екрані монітора ПК (а у разі необхідності і задокументувати їх за допомогою принтера). При цьому інформацію щодо можливих ФГР і ПрР ЗМ ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС(Vв.конкр)гор.пр} відображають на виведеному на екран монітора ПК Плані досліджуваної ділянки ПЕС «Картки очікуваної пожежної обстановки...» за допомогою тактичного знака «ЗМУ_{зад}», а інформацію щодо можливих величин інших основних параметрів ЗМУ_{зад.йм.пож.ПЕС} – у спеціальних «віконцях» на екрані монітора ПК за допомогою пояснювальних написів у вигляді «M_{заг.зад} = ... осіб», «M_{сан.зад} = ... осіб», «M_{заг.йм.пож} = ... осіб», «M_{сан.йм.пож} = ... осіб».

Висновки

Інформаційну технологію IT III ПЕС розроблено на основі описаних у статті моделей формування основних параметрів зони можливого ураження ймовірної пожежі в ПЕС унаслідок впливу забруднення продуктами згоряння. Вона дозволяє завчасно визначити і наочно відобразити можливі ФГР і ПрР ЗМ ЗМУ_{зад.йм.пожПЕС(Vв.конкр)гор.пр} і можливі значення загальних і санітарних втрат людей у разі такої конкретної пожежі.

Здобута таким способом інформація дає можливість спрогнозувати можливі екологічні й соціально-економічні наслідки такої пожежі та потреби УПП (в силах, засобах і ресурсах), що створюється для її ефективної ліквідації.

Список літератури

1. Правила пожежної безпеки в Україні. НАПБ А. 01.001–95 (зі змінами, введеними в дію наказом МВС України від 5.03.2002 р. № 297/6585).
2. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников,

П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

3. Математическая теория горения и взрыва / Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблат, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе. – М.: Наука, 1980.- 478 с.

4. Коротинський П. Горіла сосна, палала / П. Коротинський // Надзвичайна ситуація. – 2002. - №3. - С. 48 – 51.

5. Методика оценки последствий лесных пожаров / С.К. Нехорошев, В.С. Рыжиков, В.В. Рощина, А.С. Шевченко] // Сб. методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РС ЧС. – М.: Изд-во МЧС России, 1994. Кн. 2. – С. 44 – 52.

6. Опис до пат. на кор. мод. № 32041 «Спосіб прогнозування сил і засобів для ліквідації ймовірної пожежі в природній екологічній системі» / В.Л. Клеєвська, Л.Б. Яковлев. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності, бюл. № 8, 2008. – 28 с.

7. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев. - 3-е изд. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 392 с.

8. Михеев М.А. Краткий курс теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1960.- 207 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., Бетін О.В., Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського «ХАІ», Харків.

Поступила до редакції 12.11.09

Информационная технология прогнозирования значений основных параметров зоны возможного поражения вероятных пожаров в природных экологических системах вследствие воздействия загрязнения продуктами сгорания

Предложены оригинальные модели процессов в зоне возможного поражения вероятных пожаров в природных экологических системах вследствие воздействия загрязнения продуктами сгорания. На основе названных моделей разработана информационная технология прогнозирования значений основных параметров зоны возможного задымления конкретных пожаров в ПЕС.

Ключевые слова: пожар, зона возможного задымления, продукты сгорания, природная экологическая система, информационная технология.

The information technology for forecasting of key parameters of a zone of smoke-filled of probable fires in the natural ecological system

The author offers original models of processes in a zone of smoke-filled of probable fires in the natural ecological system. On the basis of this models the information technology of forecasting of values of key parameters of a zone of smoke-filled of concrete fires in the NES was developed.

Keywords: a fire, a zone of smoke-filled, a natural ecological system, the product of combustion, the information technology.