

## Інформаційна технологія з прогнозування значень основних параметрів зони горіння ймовірної пожежі в природній екологічній системі

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

Запропоновано оригінальні моделі процесів у зоні горіння ймовірної пожежі в природній екологічній системі. На базі цих моделей розроблено інформаційну технологію з прогнозування значень основних параметрів зони горіння конкретних пожеж у ПЕС.

**Ключові слова:** пожежа, зона горіння, природна екологічна система, фізична модель, математична модель, інформаційна технологія.

### Вступ

Щорічно в Україні виникають сотні пожеж у природних екологічних системах (ПЕС), внаслідок яких вогнем знищуються тисячі гектарів лісів, сільськогосподарських угідь, степів, виникають численні людські жертви, суттєво погіршується стан навколишнього середовища. Такі ж негаразди характерні й для інших країн світу.

Однією з основних причин негативних наслідків пожеж у ПЕС є запізнення введення в дію сил і засобів угруповань пожежних підрозділів (УПП), кількісний і якісний склад яких міг би гарантовано забезпечити рятування людей, ефективну локалізацію і ліквідацію кожної з таких пожеж.

Указане запізнення пояснюється тим, що на момент надходження оповіщення про виникнення конкретної пожежі у керівництва пожежних частин і підрозділів є дуже обмежена або зовсім відсутня інформація, необхідна для своєчасного створення і направлення на місце цієї пожежі відповідного їй (за кількісним і якісним складом) УПП. Зокрема, відсутня інформація щодо значень основних параметрів зони горіння такої пожежі в ПЕС.

### 1. Формулювання проблеми

Інформація щодо значень основних параметрів зони горіння конкретної ймовірної пожежі в природній екологічній системі –  $Z_{\text{йм.пож.ПЕС}}$  (а саме інформація про вид рослинних горючих матеріалів ( $\text{РГМ}_{\text{конкр}}$ ) конкретної ділянки ПЕС, можливі форму, геометричні розміри і просторове розташування зони горіння (ФГР і ПрР  $Z_{\text{йм.пож.ПЕС}}$ ), можливі величини її площі ( $S_{Z_{\text{йм.пож.ПЕС}}}$ ,  $\text{м}^2$ ) і периметра ( $P_{Z_{\text{йм.пож.ПЕС}}}$ , м), а також висоти ( $H_{\text{об.фак.ПЕС}}$ , м) і температури ( $t_{\text{об.фак.ПЕС}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) «об'єданого факела» полум'я та ін.) є визначальною для забезпечення прогнозування:

– потрібної кількості (за видами, типами і моделями) основних пожежних машин –  $N_{\text{осн.пож.маш.потр}}$ , од., необхідної для забезпечення ефективної локалізації й ліквідації цієї пожежі;

– можливих форми, геометричних розмірів і просторового розташування та інших основних параметрів зони можливого ураження «тепловим випромінюванням» ( $Z_{\text{МУ}_{\text{тепл.йм.пож.ПЕС}}}$ ) і зони можливого задимлення ( $Z_{\text{МУ}_{\text{зад.йм.пож.ПЕС}}}$ ) такої пожежі, які визначають її можливі негативні екологічні й соціально-економічні наслідки.

Отже, розробка і впровадження інформаційної технології щодо завчасного визначення і наочного відображення можливих ФГР і ПрР ЗГ<sub>йм.пож.ПЕС</sub> значень інших її основних параметрів є ще не вирішеним і дуже актуальним завданням.

## 2. Вирішення проблеми

### 2.1. Основні положення

Пожежа є неконтрольованим горінням поза межами спеціально відведеного вогнища, яке призводить до загибелі й ураження людей (тварин, рослин), значних матеріальних збитків, суттєвого погіршення стану навколишнього природного середовища (НПС). Горіння – це реалізація цілого комплексу фізичних і хімічних процесів з'єднання горючих матеріалів (ГМ) з окисником, яка супроводжується тепловим випромінюванням, виділенням продуктів повного і неповного згоряння, витрачанням «запасів» ГМ і «запасів» окисника. Тому необхідними і достатніми умовами для виникнення горіння у конкретній ділянці простору є одночасна наявність у ній і реакційноздатної горючої суміші (тобто здатної до прогресуючої екзотермічної хімічної реакції окиснення суміші горючого матеріалу з окисником) і достатньо потужного джерела запалювання.

У разі пожеж у ПЕС «запасами» ГМ можуть бути рослинні горючі матеріали (РГМ) лісу, степу, хлібних масивів та ін., а окисником – кисень повітря НПС. На таких ділянках ПЕС реакційноздатна ГС (тобто суміш продуктів газифікації конкретних видів РГМ з молекулами  $O_2$  повітря), як правило, виникає тільки в пожежонебезпечні періоди. В свою чергу, досить потужними джерелами запалювання (ДЗ) можуть стати відкритий вогонь або іскри, електричний розряд (наприклад блискавка) та інші.

Основними стадіями виникнення і розвитку пожеж у ПЕС є: виникнення вогнища горіння (займання); поширення фронту горіння поверхню «запасів» РГМ; згоряння охопленої вогнем частини «запасів» РГМ; згасання фронту горіння [1].

Виникнення вогнища горіння є початковою стадією будь-якої пожежі в ПЕС – займанням (спалахуванням). Займання – це нестаціонарний фізико-хімічний процес у певній ділянці реакційноздатної горючої суміші (тобто у центрі займання – ЦЗ), у результаті якого внаслідок простих або складних гомогенних хімічних реакцій (ініційованих ДЗ) швидкість зростання тепловиділення суттєво перевищує швидкість зростання тепловідведення. Характерною ознакою займання у більшості пожеж на ділянках ПЕС є виникнення первинного факела полум'я (що реалізує ламінарне горіння).

Поширення фронту горіння із ЦЗ на ділянки поверхні «запасів» РГМ, що прилягають до нього стає можливим тільки за умов, що на цих ділянках (зразу ж після виникнення первинного факела полум'я у ЦЗ) утворюється реакційноздатна хімічно однорідна горюча суміш (ХОГС) з потрібною для підтримання сталого горіння концентрацією. Вказана ХОГС може утворюватися з молекул кисню повітря і молекул РГМ<sub>конкр</sub>, які надходять до зони реакції внаслідок газифікації «запасів» РГМ<sub>конкр</sub> у результаті термічного впливу на них ДЗ, а згодом і факела полум'я пожежі.

Указаний термічний вплив зумовлюється тепловим випромінюванням факела полум'я пожежі та теплопровідністю і конвекцією. При цьому частина енергії тепловиділення у зоні реакції ( $E_{\text{тепловид}}$ , Дж) «витрачається» на підтримання сталого полум'яного горіння, внаслідок чого над охопленою горінням частиною

поверхні «запасів»  $RGM_{\text{конкр}}$  утворюється і продовжує існувати факел полум'я пожежі. Інша ж частина  $E_{\text{тепловид}}$  «витрачається» на утворення все нових і нових порцій ХОГС з усе нових і нових ділянок поверхні «запасів»  $RGM_{\text{конкр}}$  (що прилягають до факела полум'я) шляхом їх підігріву (що призводить до газифікації цих рослинних горючих матеріалів). Описане спричинює саморозповсюдження фронту горіння (а, отже, і крайки пожежі) із швидкістю  $V_{\text{пош.}RGM_{\text{конкр}}}$ , величина якої залежить від виду  $RGM_{\text{конкр}}$ . В процесі саморозповсюдження фронту горіння постійне надходження до факела полум'я все нових і нових порцій ХОГС призводить до збільшення його розмірів і трансформації форми. Стадія поширення фронту горіння завершується після охоплення полум'ям всієї доступної для вогню і окисника поверхні «запасів»  $RGM_{\text{конкр}}$ .

Стадія згоряння охопленої вогнем частини «запасів»  $RGM_{\text{конкр}}$  починається зразу ж після утворення над їхню поверхню факела полум'я пожежі і відрізняється від попередніх тим, що на цій стадії фронт горіння поширюється в глибину (в середину) «запасів»  $RGM_{\text{конкр}}$  з так званою «ваговою» ( $V_{\text{ваг}}$ ,  $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$ ) швидкістю вигорання.

Стадія згасання фронту горіння - це процес прогресуючого самоохолодження зони хімічної реакції горіння внаслідок того, що швидкість тепловіділення у цій зоні стає меншою за швидкість тепловідведення з неї через вичерпання «запасів» окисника або примусове охолодження зони хімічної реакції тощо.

## 2.2. Моделі процесів виникнення і формування основних параметрів зон горіння ймовірних пожеж на ділянках ПЕС

Зоною горіння пожежі на ділянці ПЕС є частина простору навколо ЦЗ, де відбуваються процеси термічного розкладу (газифікації)  $RGM_{\text{конкр}}$ , утворення (з молекул продуктів газифікації  $RGM_{\text{конкр}}$  і молекул  $O_2$  повітря НПС) реакційноздатної ГС, підігрівання її до температури самоспалахування ( $t_{\text{СС } RGM_{\text{конкр}}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) та перетворення ГС у продукти повного і неповного згоряння з виділенням значної кількості теплової енергії. Тому  $ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕС}}$  являє собою просторову об'ємну геометричну фігуру (відображену на рис. 1), основними складовими якої є: охоплена вогнем частина «запасів»  $RGM_{\text{конкр}}$  (позиція 1); центр займання (позиція 2); факел полум'я (позиція 3). Описані вище процеси ініціює та підтримує впродовж пожежі саме тепла енергія  $E_{\text{тепловид}}$ , Дж, яка виділяється у  $ЗГ$  від ДЗ (а згодом - від факела полум'я пожежі) завдяки тепловому випромінюванню, теплопровідності й конвекції. Оскільки такий термічний вплив зумовлюється переважно (на 70 % і більше [1, с. 122]) тепловим випромінюванням, то в описуваних далі фізичних моделях процесів формування основних параметрів  $ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕС}}$  пропонується знехтувати впливом теплопровідності й конвекції та вважати, що всі 100 %  $E_{\text{тепловид}}$  виділяються із  $ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕС}}$  тільки «тепловим випромінюванням» факела полум'я.

**2.2.1. Моделі процесів формування основних параметрів зони горіння ймовірної пожежі в ПЕС при відсутності вітру.** Описувані далі вербальні моделі процесів формування факела полум'я та інших складових  $ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕС}}$  при відсутності вітру ( $V_{\text{в}} = 0$ ) проілюстровано на рис. 1, а, б, с, д. Як показано у статті [2], у разі виникнення у будь-якій точці конкретної ділянки ПЕС досить потужного ДЗ (енергії  $E_{\text{тепловид}}$ , Дж, якого достатньо для газифікації  $RGM_{\text{конкр}}$ , утворення з

молекул газоподібних фракцій цього РГМ<sub>конкр</sub> і молекул кисню «хмаринки» ХОГС і підігріву її до температури  $t_{CC \text{ РГМконкр}}$ , °С), у місці розташування цього ДЗ виникає однофакельне гомогенне ламінарне горіння з утворенням у ЦЗ первинного факела полум'я пожежі (рис. 1, а). Первинний факел полум'я (позиція 3 рис. 1, а) являє собою тонкостінну (завтовшки у  $10^{-4} \dots 10^{-3}$  м [3, с. 82]) просторову оболонку (у формі веретена, вертикальна (при  $V_B = 0$ ) вісь симетрії якого «проходить» через ЦЗ (позиція 2 рис. 1, а)) з «розжарених» мікрочастинок продуктів згоряння «запасів» РГМ<sub>конкр</sub> (позиція 1 рис. 1, а).

Згідно із законом Віна кожна з таких «розжарених» мікрочастинок є своєрідним «елементарним генератором» електромагнітних хвиль теплового випромінювання в інфрачервоному і (або) видимому діапазонах (залежно від власної температури конкретної мікрочастинки ( $t_{\text{вл. мікрочаст. конкр}}$ , °С), величина якої приблизно дорівнює температурі власного факела полум'я ( $t_{\text{вл. фак. РГМконкр}}$ , °С) РГМ<sub>конкр</sub> досліджуваної ділянки ПЕС. Оскільки розміри зазначених мікрочастинок (наприклад, для молекул продуктів газифікації  $d_{\text{мікрочаст}} \approx 10^{-9} \dots 10^{-8}$  м) значно менші від довжини електромагнітних хвиль, що випромінюються ними, можна вважати, що діаграма спрямованості кожного з таких «елементарних генераторів» подібна до сфери.

Тому частина енергії електромагнітних випромінювань кожного з «елементарних генераторів» обов'язково досягає ділянок поверхні «запасів» РГМ<sub>конкр</sub>, що прилягають до ЦЗ, і «наводить» на них струми електропровідності або струми електрозміщення. Дія цих струмів призводить до розігріву опромінюваних ділянок поверхні «запасів» РГМ<sub>конкр</sub> до температури їх термічного розкладу. Отримані таким чином мікрочастинки продуктів газифікації РГМ<sub>конкр</sub>, змішуючись з молекулами кисню повітря, утворюють нові «хмаринки» ХОГС, які надходять до первинного факела полум'я.

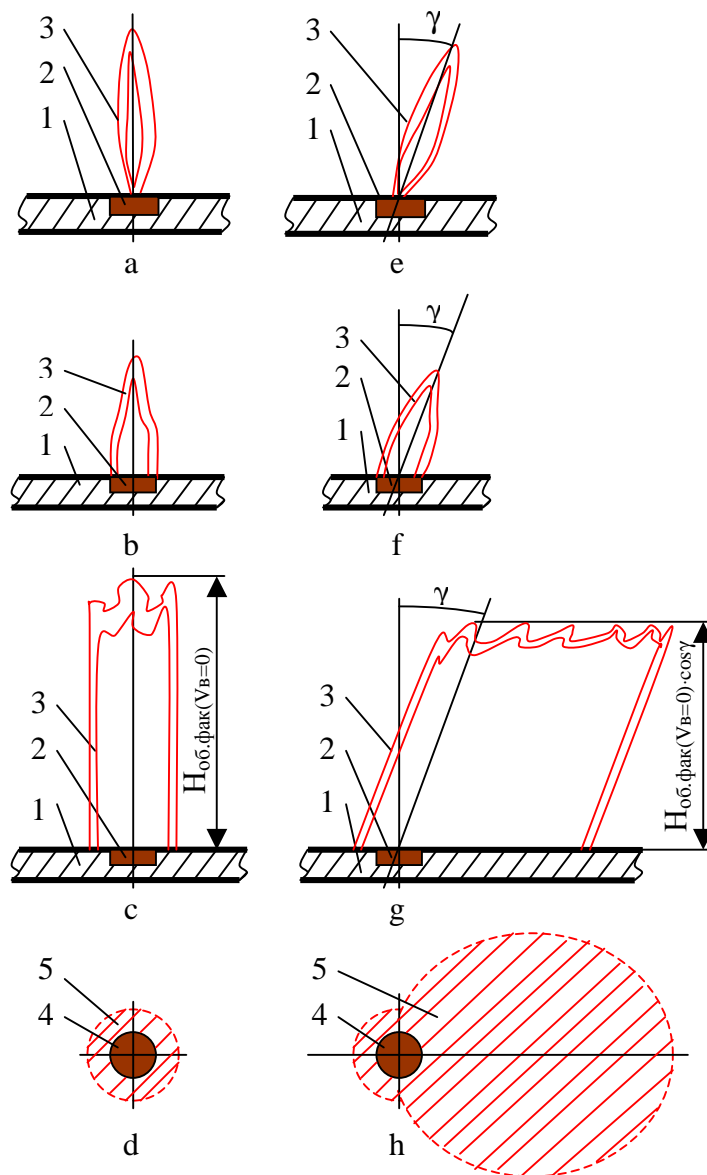


Рис. 1. Формування основних параметрів зон горіння ймовірних пожеж у ПЕС

Дія цих струмів призводить до розігріву опромінюваних ділянок поверхні «запасів» РГМ<sub>конкр</sub> до температури їх термічного розкладу. Отримані таким чином мікрочастинки продуктів газифікації РГМ<sub>конкр</sub>, змішуючись з молекулами кисню повітря, утворюють нові «хмаринки» ХОГС, які надходять до первинного факела полум'я.

Спалахування все нових і нових «хмаринок» ХОГС призводить до збільшення геометричних розмірів факела полум'я, трансформації його форми та поширення фронту горіння поверхню «запасів» РГМ<sub>конкр</sub>. При цьому факел полум'я переймає на себе функції ДЗ.

Указані процеси збільшення геометричних розмірів і трансформації форми факела полум'я відбуваються внаслідок переходу від полум'яного гомогенного ламінарного горіння до молекулярно-дифузійного (коли фронт горіння переміститься від ЦЗ на відстань понад 0,1 м), а згодом - і до турбулентно-дифузійного (коли фронт горіння переміститься від ЦЗ на відстань, більшу ніж 0,3 м), що проілюстровано на рис. 1, b і c відповідно. При цьому турбулентно-дифузійний режим горіння 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 процесі розвитку пожежі поступово збільшуються геометричні розміри охопленої вогнем поверхні «запасів» РГМ<sub>конкр</sub>, а також висота «об'єданого факела» полум'я пожежі, величина якої стабілізується на рівні  $H_{об.фак}(V_b = 0)$ , м, коли фронт горіння переміститься від ЦЗ на відстань 50 м і більше.

Враховуючи викладене, досить коректною фізичною моделлю зони горіння ймовірної пожежі в ПЕС є «заповнена» розжареними мікрочастинками оболонки «об'єданого факела» полум'я об'ємна геометрична фігура (яка «охоплює» ЦЗ), а основними параметрами  $Z_{Г_{йм.пож.ПЕС}}$  (які необхідно прогнозувати в першу чергу) мають бути:

- можливі форма, геометричні розміри і просторове розташування її горизонтальної проекції (ФГР і ПрР  $Z_{Г_{йм.пож.ПЕСгор.пр}}$ );
- можливі величини площі ( $S_{Z_{Г_{йм.пож.ПЕСгор.пр}}}$ , м<sup>2</sup>) і периметра ( $P_{Z_{Г_{йм.пож.ПЕСгор.пр}}}$ , м) горизонтальної проекції  $Z_{Г_{йм.пож.ПЕС}}$ ;
- можливі величини висоти ( $H_{об.фак.ПЕС}$ , м) і температури ( $t_{об.фак.ПЕС}$ , °С) «об'єданого факела» полум'я цієї пожежі.

Можливі ФГР і ПрР  $Z_{Г_{йм.пож.ПЕС}}$  визначаються законом поширення фронту горіння ймовірної пожежі.

Оскільки розжарені мікрочастинки факела полум'я мають практично однакові площу випромінювання і власну температуру та розташовані (при  $V_b = 0$ ) симетрично відносно вертикальної осі симетрії первинного факела полум'я, то й сумарний «розігрів» (тепловим випромінюванням усіх розжарених мікрочастинок факела полум'я) кожної з рівновіддалених від ЦЗ ділянок поверхні «запасів» РГМ<sub>конкр</sub> є однаковим. Це забезпечує рівномірне в усіх напрямках (відносно вертикальної осі симетрії первинного факела полум'я) поширення кромки горіння поверхню «запасів» РГМ<sub>конкр</sub> зі швидкістю  $V_{пош.РГМконкр}(V_b = 0)$ , м/год, величина якої визначається видом рослинного покриву досліджуваної ділянки ПЕС. Тому у разі відсутності вітру рекомендується прогнозувати  $Z_{Г_{йм.пож.ПЕСгор.пр}}$  у формі круга з центром у найімовірнішому місці виникнення ЦЗ і з радіусом  $R_{Z_{Г_{йм.пож.ПЕСгор.пр}}}(V_b = 0)$ , м, величина якого залежить від часу можливого безперешкодного поширення кромки горіння  $T_{пош}$ , год.

Досить коректною математичною моделлю для визначення можливої величини вказаного радіуса є вираз

$$R_{Z_{Г_{йм.пож.ПЕСгор.пр}}}(V_b = 0) = V_{пош.РГМконкр}(V_b = 0) \cdot T_{пош} \quad (1)$$

Результати такого прогнозування (рис. 1, d) відображають на Плані досліджуваної ділянки ПЕС за допомогою тактичних знаків «ЦЗ» (позиція 4) і «ЗГ» (позиція 5).

При цьому безумовно коректними математичними моделями для визначення можливих величин площі ( $S_{ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕСгор.пр}}(V_{\text{в}} = 0)$ ,  $\text{м}^2$ ) і периметра ( $P_{ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕСгор.пр}}(V_{\text{в}} = 0)$ ,  $\text{м}$ ) горизонтальної проекції зони горіння досліджуваної пожежі є вирази

$$S_{ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕСгор.пр}}(V_{\text{в}} = 0) = \pi \cdot R^2_{ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕСгор.пр}}(V_{\text{в}} = 0), \quad (2)$$

$$P_{ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕСгор.пр}}(V_{\text{в}} = 0) = 2\pi \cdot R_{ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕСгор.пр}}(V_{\text{в}} = 0) \quad (3)$$

За даними статті [4] висота полум'я низової лісової пожежі сягає 2...2,5 м (що втричі перевищує середню висоту ( $h_{\text{росл}}$ , м) палаючої рослинності), а його температура становить 300...700 °С залежно від величин температури ( $t_{\text{вл.фак.РГМконкр}}$ , °С) власних факелів полум'я конкретних видів РГМ.

Тому досить коректними математичними моделями для прогнозування можливих величин висоти ( $H_{\text{об.фак.ПЕС}}(V_{\text{в}} = 0)$ , м) і температури ( $t_{\text{об.фак.ПЕС}}(V_{\text{в}} = 0)$ , °С) «об'єданого факела» полум'я ймовірної пожежі на досліджуваній ділянці ПЕС можуть бути співвідношення

$$H_{\text{об.фак.ПЕС}}(V_{\text{в}} = 0) = 3 \cdot h_{\text{росл}} \quad (4)$$

і

$$t_{\text{об.фак.ПЕС}}(V_{\text{в}} = 0) = (t_{\text{вл.фак.РГМконкр}})_{\text{max}} \quad (5)$$

відповідно (де  $(t_{\text{вл.фак.РГМконкр}})_{\text{max}}$  – найбільша з температур власних факелів полум'я РГМ<sub>конкр</sub> досліджуваної ділянки ПЕС, °С).

**2.2.2. Моделі процесів формування основних параметрів зони горіння ймовірної пожежі в ПЕС при наявності вітру.** Описувані далі вербальні моделі процесів формування факела полум'я й інших складових  $ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕС}}$  при наявності вітру ( $V_{\text{в}} > 0$ ) проілюстровано на рис.1, е, f, g, h, де відображено основні складові  $ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕС}}$  (охоплені вогнем «запаси» РГМ<sub>конкр</sub> (позиція 1), центр займання (позиція 2), факел полум'я (позиція 3)), етапи формування «об'єданого факела» полум'я пожежі на досліджуваній ділянці ПЕС, а також можливі ФГР і ПрР  $ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕСгор.пр}}(V_{\text{в}} > 0)$ , позначені тактичними знаками «ЦЗ» (позиція 4) і «ЗГ» (позиція 5). Так, при  $V_{\text{в}} > 0$  вісь симетрії первинного факела полум'я «нахиляється у напрямку вітру (рис. 1, е) на кут  $\gamma$ , величина якого залежить від швидкості вітру –  $\gamma = f(V_{\text{в.конкр}})$ . Це призводить до більш інтенсивного «розігріву» ділянок поверхні «запасів» РГМ<sub>конкр</sub>, розташованих у напрямку вітру, що зумовлює більш інтенсивне «постачання» факела полум'я все новими і новими «хмаринками» ХОГС саме з ділянок поверхні «запасів» РГМ<sub>конкр</sub>, розташованих з навітренної сторони. Тому розміри горизонтального перетину факела полум'я в режимі молекулярно-дифузійного горіння (рис. 1, f) і «об'єданого факела» полум'я пожежі в режимі турбулентно-дифузійного горіння (рис. 1, g) більш інтенсивно зростають у напрямку вітру. Це зумовлює формування горизонтальної проекції зони горіння ( $ЗГ_{\text{йм.пож.ПЕСгор.пр}}$ ) у вигляді складної геометричної фігури (рис. 1, h), «втягнутої» вздовж напрямку вітру. Вплив вітру призводить також до нахилу «об'єданого факела» полум'я пожежі в ПЕС на кут  $\gamma$  (у напрямку вітру) і зменшення фактичної висоти факела до значення  $H_{\text{об.фак.ПЕС}}(V_{\text{в}}=0) \cdot \cos \gamma$  (рис. 1, g).

Згідно з описаним, а також відповідно до положень праці [5] в результаті нахилу «об'єданого факела» полум'я кромки горіння (що формують фронт, фланги і тил пожежі на досліджуваній ділянці ПЕС) розповсюджуються поверхнею «запасів» РГМ<sub>конкр</sub> цієї ділянки зі швидкостями  $V_{\text{фр}} = f$  (вид РГМ<sub>конкр</sub>,  $V_{\text{в.конкр}}$ ),  $V_{\text{фл}} = f$  (вид РГМ<sub>конкр</sub>,  $V_{\text{в.конкр}}$ ) і  $V_{\text{тл}} = f$  (вид РГМ<sub>конкр</sub>,  $V_{\text{в.конкр}}$ ) відповідно. Оскільки [1] для будь-якого виду РГМ<sub>конкр</sub> і будь-якого конкретного значення швидкості вітру  $V_{\text{в.конкр}}$ , м/с, виконуються співвідношення  $V_{\text{фр}} > V_{\text{фл}}$ ,  $V_{\text{фр}} > V_{\text{тл}}$ ,  $V_{\text{фл}} > V_{\text{тл}}$  і враховуючи

можливі незначні зміни напрямку вітру у поривах, рекомендується [5] прогнозувати ФГР і ПрР ЗГ<sub>йм.пож.ПЕСгор.пр(Vв.конкр)</sub> як складну геометричну фігуру, вісь симетрії якої проходить через ЦЗ і збігається з напрямком вітру, а зовнішні межі цієї фігури окреслює радіус-вектор R<sub>ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр(Vв.конкр)</sub>, який обертається за годинниковою стрілкою у горизонтальній площині з центром у місці розташування ЦЗ і модуль якого |R<sub>ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр(Vв.конкр)</sub>| змінюється згідно з виразами

$$|R_{ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр(Vв.конкр)}| = V_{фр}(V_{в.конкр}) \cdot T_{ВГрозр} \cdot \cos \beta \quad (6)$$

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

і

$$|R_{ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр(Vв.конкр)}| = V_{тл}(V_{в.конкр}) \cdot T_{ВГрозр} \quad (7)$$

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

де |R<sub>ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр(Vв.конкр)</sub>| - значення величин відстаней від ЦЗ до точок зовнішньої межі ЗГ<sub>йм.пож.ПЕСгор.пр(Vв.конкр)</sub> ймовірної пожежі на конкретній ділянці ПЕС, м;

V<sub>фр</sub>(V<sub>в.конкр</sub>) – швидкість поширення фронту ймовірної пожежі (при V<sub>в.конкр</sub>, м/с), м/год;

T<sub>ВГрозр</sub> – розрахункова величина часу вільного горіння, год;

$\beta$  – величина кута між напрямком вітру і поточним положенням радіуса-вектора R<sub>ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр(Vв.конкр)</sub>, град (при V<sub>в=0</sub>:  $\beta=0$ , V<sub>фр(Vв=0)</sub>= V<sub>тл(Vв=0)</sub>);

V<sub>тл</sub>(V<sub>в.конкр</sub>) – швидкість поширення тилу ймовірної пожежі (при V<sub>в.конкр</sub>, м/с), м/год.

Результати такого прогнозування (рис. 1, h) відображають на Плані досліджуваної ділянки ПЕС за допомогою тактичних знаків «ЦЗ» (позиція 4) і «ЗГ» (позиція 5).

При цьому безумовно коректними математичними моделями для визначення можливих величин площі (S<sub>ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр(Vв.конкр)</sub>, м<sup>2</sup>) і периметра (П<sub>ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр(Vв.конкр)</sub>, м) горизонтальної проекції ЗГ<sub>йм.пож.ПЕС</sub> є вирази

$$S_{ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр(Vв.конкр)} = 0,785 \cdot [V_{фр}^2(V_{в.конкр}) + 2 \cdot V_{тл}^2(V_{в.конкр})] \cdot T_{ВГрозр}^2, \quad (8)$$

$$P_{ЗГйм.пож.ПЕСгор.пр(Vв.конкр)} = 3,14 \cdot [2 \cdot V_{фр}(V_{в.конкр}) + V_{тл}(V_{в.конкр})] \cdot T_{ВГрозр}. \quad (9)$$

Згідно з рис. 1, g досить коректною математичною моделлю для прогнозування можливої величини висоти «об'єданого факела» полум'я ймовірної пожежі в ПЕС при наявності вітру – H<sub>об.фак.ПЕС(Vв.конкр)</sub>, м, є вираз

$$H_{об.фак.ПЕС(Vв.конкр)} = H_{об.фак.ПЕС(Vв. = 0)} \cdot \cos \gamma,$$

де H<sub>об.фак.ПЕС(Vв.конкр)</sub> – висота «об'єданого факела» полум'я ймовірної пожежі на досліджуваній ділянці ПЕС (при V<sub>в.конкр</sub>, м/с), м;

H<sub>об.фак.ПЕС(Vв. = 0)</sub> – висота «об'єданого факела» полум'я при V<sub>в</sub> = 0, м (згідно з формулою (4) H<sub>об.фак.ПЕС(Vв. = 0)</sub> = 3 · h<sub>росл</sub>);

$\gamma$  – кут нахилу «об'єданого факела» полум'я внаслідок впливу вітру, град ( $\gamma = f(V_{в.конкр})$ );

V<sub>в.конкр</sub> – швидкість вітру на досліджуваній ділянці ПЕС, м/с.

Але існуючий досвід свідчить про те, що величина  $\cos \gamma = f(V_{в.конкр})$  змінюється залежно від швидкості вітру за дуже складною (на цей час ще коректно не формалізованою) закономірністю, внаслідок чого величина H<sub>об.фак.ПЕС(Vв.конкр)</sub>, м, зменшується від значення 3·h<sub>росл</sub>, м, до значення h<sub>росл</sub>, м (при збільшенні швидкості вітру від 0 до 6 м/с) і залишається практично сталою: H<sub>об.фак.ПЕС(Vв.конкр)</sub> = h<sub>росл</sub> при V<sub>в.конкр</sub> > 6 м/с.

Пояснити це можна таким чином.

Згідно з даними праць [6, 7] щодо швидкості поширення лісових пожеж величина V<sub>фр</sub>(V<sub>в.конкр</sub>):

- зростає прямо пропорційно швидкості вітру (в діапазоні  $V_{в.конкр} = 1 \dots 5$  м/с);
- практично стабілізується на досягнутому рівні (в діапазоні  $V_{в.конкр} = 6 \dots 8$  м/с);
- знову стрімко зростає (в діапазоні  $V_{в.конкр} = 9 \dots 12$  м/с).

Зазначене лінійне зростання величини  $V_{фр}(V_{в.конкр})$  в діапазоні значень  $V_{в.конкр} = 1 \dots 5$  м/с і подальша стабілізація величини  $V_{фр}(V_{в.конкр})$  в діапазоні значень  $V_{в.конкр} = 6 \dots 8$  м/с «свідчать» про одночасне практично лінійне зменшення до певного рівня (від значення  $H_{об.фак.ПЕС(V_{в.конкр})} = 3 \cdot h_{росл}$  до значення  $H_{об.фак.ПЕС(V_{в.конкр})} = h_{росл}$ ) «фактичної» висоти «об'єднаного факела» полум'я внаслідок відповідного його нахилу під впливом вітру (відносно вертикальних стовбурів рослин ділянки ПЕС). Саме завдяки такому нахилу збільшується площа опромінюваних «тепловим випромінюванням» факела полум'я пожежі ділянок ПЕС, що прилягають до нього, розташованих у напрямку вітру. Останнє призводить до пришвидшення газифікації РГМ<sub>конкр</sub> цих ділянок, а отже, й до зростання швидкості поширення фронту пожежі у напрямку вітру (в діапазоні  $V_{в.конкр} = 1 \dots 5$  м/с). Оскільки факел полум'я не може «відірватися» від стовбура рослини, а також «нахилитися» (відносно вертикального стовбура) більш ніж на 90°, то в діапазоні  $V_{в.конкр} = 6 \dots 8$  м/с величина  $V_{фр}(V_{в.конкр})$  стабілізується на досягнутому рівні, а величина фактичної висоти «об'єднаного факела» полум'я залишається практично сталою:  $H_{об.фак.ПЕС(V_{в.конкр} = 6 \dots 8 \text{ м/с})} \approx h_{росл}$ .

Подальше суттєве зростання величини  $V_{фр}(V_{в.конкр})$  в діапазоні  $V_{в.конкр} = 9 \dots 12$  м/с пояснюється, мабуть, нахилом стовбурів рослин (пологів дерев) у напрямку вітру, що «подовжує» нахилений факел полум'я і тим призводить до прогресуючої інтенсифікації процесів газифікації РГМ<sub>конкр</sub> ділянок ПЕС (що прилягають до «об'єднаного факела» полум'я і розташовані у напрямку вітру). При цьому існуючий досвід свідчить про те, що фактична висота «об'єднаного факела» полум'я «зберігається» практично на попередньому рівні, тобто  $H_{об.фак.ПЕС(V_{в.конкр})} \approx h_{росл}$ .

Враховуючи викладене, досить коректною математичною моделлю для прогнозування можливих значень висоти «об'єднаного факела» полум'я ймовірної пожежі на ділянці ПЕС –  $H_{об.фак.ПЕС(V_{в.конкр})}$  є вираз

$$H_{об.фак.ПЕС(V_{в.конкр})} = K_{Н(V_{в.конкр})} \cdot h_{росл}, \quad (10)$$

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

$h_{росл}$  – середня висота рослин досліджуваної ділянки ПЕС, м.

**Значення величин коефіцієнта  $K_{Н(V_{в.конкр})}$**

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

Досить коректною математичною моделлю для прогнозування можливих значень температури «об'єднаного факела» полум'я пожежі в ПЕС є вираз

$$t_{об.фак.ПЕС} = (t_{вл.фак.РГМконкр})_{max}, \quad (11)$$

де  $t_{об.фак.ПЕС}$  – температура «об'єднаного факела» полум'я ймовірної пожежі в ПЕС, °С;

$(t_{вл.фак.РГМконкр})_{max}$  – найбільша з температур власних факелів полум'я РГМ<sub>конкр</sub> досліджуваної ділянки, °С.



### 3. Інформаційна технологія з прогнозування значень основних параметрів зони горіння ймовірної пожежі на ділянках ПЕС

Практична реалізація перспективних способів прогнозування можливих екологічних і соціально-економічних наслідків імовірних пожеж на досліджуваній ділянці ПЕС можлива тільки із застосуванням 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 рядок («запис») якої містить інформацію про одну конкретну ділянку досліджуваної ПЕС, а кожен стовпчик («поле») цієї БД – інформацію про пожежонебезпечні й соціально-економічні параметри відповідної ділянки ПЕС, теплові й фізико-хімічні характеристики її РГМ<sub>конкр</sub>, а також інформацію про кінцеві (проміжні) результати поставки стосовно конкретної ймовірної пожежі та ін.;

- система опрацювання інформації (як 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 потреби УПП (в силах, засобах і ресурсах), що створюється для гарантованого забезпечення ефективної ліквідації цієї пожежі);

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

Обов'язково необхідною (для забезпечення завчасного визначення негативних наслідків імовірної пожежі) складовою СКІТ ПЕС є інформаційна технологія з прогнозування можливих значень основних параметрів  $ZГ_{\text{йм.пож.ПЕС}}$  – ІТ<sub>1</sub> ПЕС.

Інформаційна технологія ІТ<sub>1</sub> ПЕС призначена для забезпечення завчасного визначення і наочного відображення можливих значень основних параметрів зони горіння ймовірної пожежі на конкретній ділянці ПЕС, а саме:

- можливих форми, геометричних розмірів і просторового розташування горизонтальної проекції зони горіння ймовірної пожежі (ФГР і ПрР  $ZГ_{\text{йм.пож.ПЕСгор.пр}}$ ) із застосуванням виразів (6) і (7);

- можливих величин її площі ( $S_{ZГ_{\text{йм.пож.ПЕСгор.пр}}}$ , м<sup>2</sup>) і периметра ( $P_{ZГ_{\text{йм.пож.ПЕСгор.пр}}}$ , м) із застосуванням виразів (8) і (9) відповідно;

- можливих величин висоти ( $H_{\text{об.фак.ПЕС}}$ , м) і температури ( $t_{\text{об.фак.ПЕС}}$ , °С) «об'єднаного факела» полум'я цієї пожежі із застосуванням виразів (10) і (11) відповідно.

Тому згідно з вимогами методу диференціації (для забезпечення розділення проміжних продуктів поставки) до складу ІТ<sub>1</sub> ПЕС мають входити відображені на рис. 2:

- інформаційна модель ІМ<sub>11</sub>, яка повинна (на основі вхідних даних, що надходять з БД, стосовно значень  $V_{\text{в.конкр}}$ , м/с,  $V_{\text{фр}}(V_{\text{в.конкр}})$ , м/год,  $V_{\text{тл}}(V_{\text{в.конкр}})$ , м/год,  $T_{\text{вгрозр}}$ , год,  $\alpha_{\text{в.конкр}}$ , град) продуціювати нову інформацію щодо можливих ФГР і ПрР  $ZГ_{\text{йм.пож.ПЕСгор.пр}}$ ;

- інформаційна модель  $IM_{12}$ , яка повинна (на основі вхідних даних, що надходять з БД, стосовно значень  $V_{фр}(V_{в.конкр})$ , м/год,  $V_{тл}(V_{в.конкр})$ , м/год,  $T_{вгрозр}$ , год) продукувати нову інформацію щодо можливих величин  $S_{згйм.пож.песгор.пр}$ ,  $M^2$ , і  $P_{згйм.пож.песгор.пр}$ , М;

- інформаційна модель  $IM_{13}$ , яка повинна (на основі вхідних даних, що надходять з БД, стосовно значень  $V_{в.конкр}$ , м/с,  $K_H(V_{в.конкр})$ ,  $h_{росл}$ , м, і  $t_{вл.фак.ргмконкр}$ , °С) продукувати нову інформацію щодо можливих величин  $N_{об.фак.пес}$ , М, і  $t_{об.фак.пес}$ , °С, відповідно.

Структуру і функціональні взаємозв'язки між складовими  $IT_1$  ПЕС та елементами УАІС ПЕС відображено на рис. 2.

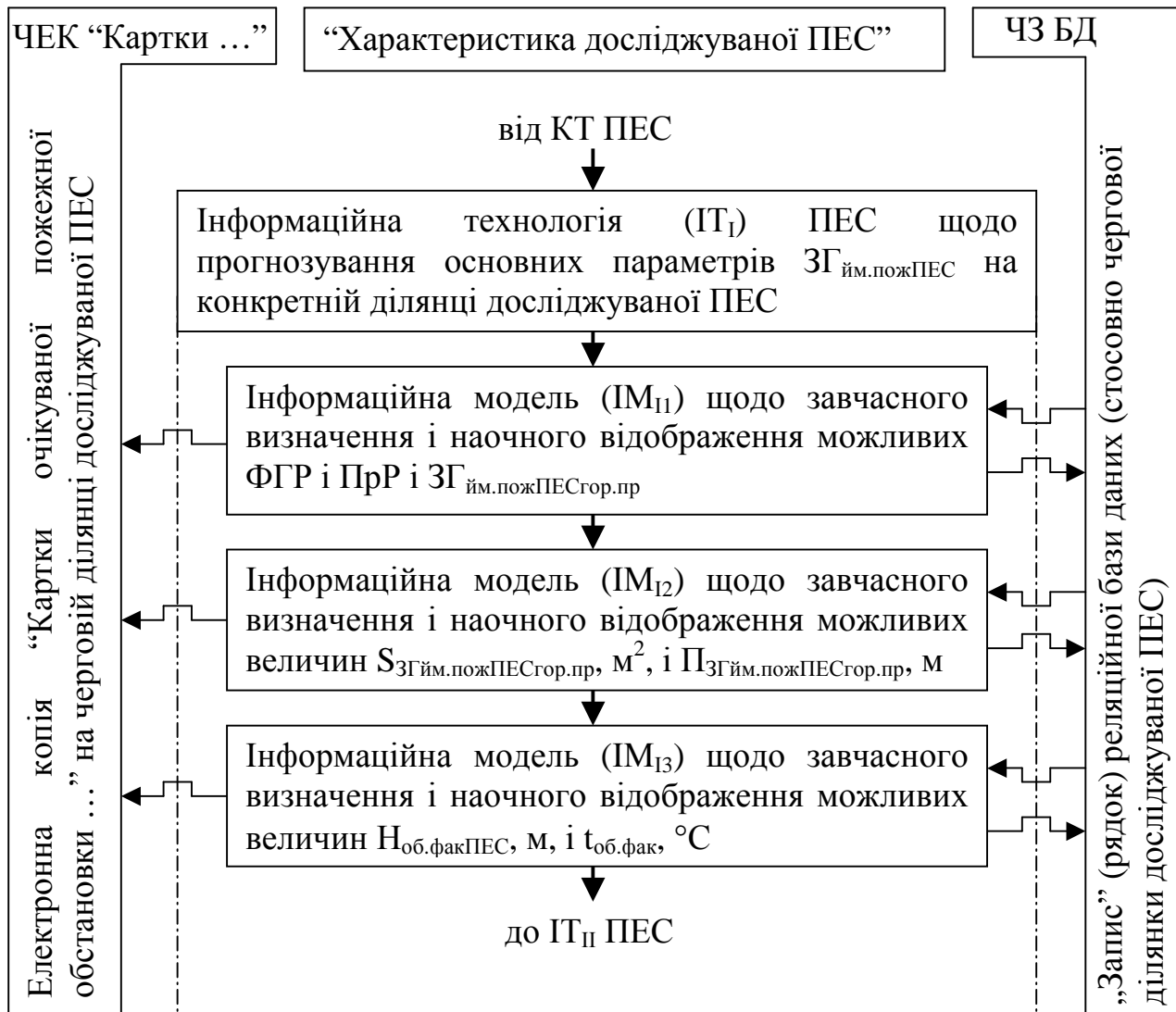


Рис. 2. Структурно-функціональна схема  $IT_1$  ПЕС

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 й задокументувати їх за допомогою принтера). При цьому інформацію щодо можливих ФГР і ПрР  $Z_{гйм.пож.песгор.пр}$  відображають на виведеному на екран монітора ПК Плані досліджуваної ділянки

ПЕС «Картки очікуваної пожежної обстановки ...» за допомогою тактичних знаків «ЦЗ» і «ЗГ», а інформацію щодо можливих величин інших основних параметрів  $Z_{\text{Гйм.пож.ПЕС}}$  – у спеціальних «віконцях» на екрані монітора ПК за допомогою пояснювальних написів у вигляді « $S_{Z_{\text{Гйм.пож.ПЕСгор.пр}}} = \dots \text{ м}^2$ », « $P_{Z_{\text{Гйм.пож.ПЕСгор.пр}}} = \dots \text{ м}$ », « $H_{\text{об.фак.ПЕС}} = \dots \text{ м}$ », « $t_{\text{об.фак.ПЕС}} = \dots \text{ }^\circ\text{C}$ ».

### Висновки

Інформаційну технологію  $IT_1$  ПЕС розроблено на основі описаних у статті моделей формування основних параметрів зон горіння пожеж у природних екологічних системах. Вона дозволяє завчасно визначити і наочно відобразити можливі ФГР і ПрР  $Z_{\text{Гйм.пож.ПЕСгор.пр}}$  і можливі значення її площі ( $S_{Z_{\text{Гйм.пож.ПЕСгор.пр}}}$ ,  $\text{м}^2$ ) і периметра ( $P_{Z_{\text{Гйм.пож.ПЕСгор.пр}}}$ ,  $\text{м}$ ), а також висоти ( $H_{\text{об.фак.ПЕС}}$ ,  $\text{м}$ ) і температури ( $t_{\text{об.фак.ПЕС}}$ ,  $^\circ\text{C}$ ) «об'єданого факела» полум'я будь-якої з імовірних пожеж на конкретній ділянці ПЕС.

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

### Список літератури

1. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов / Э.В. Конев.- Новосибирск: Наука, 1977. – 239 с.
2. Клеєвська В.Л. Інформаційна технологія з прогнозування значень основних параметрів зони горіння ймовірної пожежі / В.Л. Клеєвська // Системи обробки інформації. – 2007. - Вип. 7 (65). – С. 115 – 123.
3. Математическая теория горения и взрыва / Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблат, Г.М. Махвиладзе. – М.: Наука, 1980. - 478 с.
4. Коротинський П. Горіла сосна, палала / П. Коротинський // Надзвичайна ситуація. – 2002. - №3. – С. 48 – 51.
5. Опис до пат. на корисну модель №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.
6. Методика оценки последствий лесных пожаров / Н.С. Нехорошев, В.С. Рыжиков, В.В. Рощина, А.С. Шевченко] // Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РС ЧС. – М.: Изд. МЧС России. – 1994. – Кн. 2. - С. 44 – 52.
7. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

Рецензент: д.т.н., професор Бетин А.В.

Поступила в редакцию 09.09.09

## **Информационная технология прогнозирования значений основных параметров зоны горения вероятных пожаров в природных экологических системах**

Предложены оригинальные модели процессов в зоне горения вероятных пожаров в природных экологических системах. На основе этих моделей разработана информационная технология прогнозирования значений основных параметров зоны горения конкретных пожаров в ПЭС.

**Ключевые слова:** пожар, зона горения, природная экологическая система, физическая модель, математическая модель, информационная технология.

## **The information technology for forecasting of key parameters of a zone of burning of probable fires in the natural ecological system**

The authors offers original models of processes in a zone of burning 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 burning of concrete fires in the NES was developed.

**Keywords:** a fire, a zone of burning, a natural ecological system, the physical model, the mathematical model, the information technology.