

УДК 504.75.05:614.8.084

С. І. Азаров, д.т.н., с.н.с., зав. відділу, ІЯД НАН України,  
Р. І. Шевченко, д.т.н., с.н.с. нач. відділу, НУЦЗ України,  
С. С. Щербак, нач. відділу, НУЦЗ України

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ «ДИМОВОЇ ХМАРИ» НАД ЗОНОЮ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ В СКЛАДНИХ РАДІАЦІЙНИХ УМОВАХ ФОРМУВАННЯ ПОЖЕЖНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

(представлено д.н. А. Мізерскі)

Проведено систематизацію існуючого апарату моделювання процесів утворення «димових хмар», які спричинені лісовими пожежами в складних радіаційних умовах формування пожежного навантаження. Здійснена перевірка його адекватності та визначені основні напрями його подальшого застосування як методологічної основи для вирішення задач прогнозування негативного екологічного впливу на навколишнє середовище.

**Ключові слова:** моделювання, лісові пожежі, радіаційний вплив, димова хмара, екологічна обстановка.

**Постановка проблеми.** Загальна площа зелених насаджень зони відчуження складає близько 140,6 тисяч гектарів. У разі виникнення лісової пожежі у цій зоні до безпосередньо небезпек пожежі додаються небезпеки які викликані саме специфікою пожежного навантаження, а саме значним забруднення території зони відчуження внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС радіонуклідами. Останні при потраплянні у верхні шари атмосфери у складі "димових хмар" здатні мігрувати на значні відстані тим самим становлячи загрозу як людям, так екологічним системам за межами зони пожежі. Таким чином дослідження механізмів формування "димових хмар", які спричинені лісовими пожежами в складних радіаційних умовах формування пожежного навантаження є актуальною проблемою як з погляду безпеки населення, так і екологічної безпеки навколишнього середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема охорони лісів від пожеж – одна з найскладніших, що вирішуються працівниками лісового господарства, які здійснюють функції з захисту лісів від пожеж, а у випадку їх виникнення – ліквідовують, у більшості випадків спільно з підрозділами ДСНС України [1]. Науковим підґрунтям ефективних дій з цього напрямку слід вважати низку фундаментальних робіт з моделювання процесів виникнення, поширення та ліквідації лісових пожеж [2–4], у тому числі із врахуванням особливостей пожежного навантаження [5]. Проте питання моделювання "димових хмар" у разі виникнення лісової пожежі в умовах складного пожежного навантаження на сьогодні досліджено епізодично [6–8], що не дозволяє у повній мірі використовувати наведений математичний апарат для прогнозування екологічної обстановки за межами зони відчуження.

**Постановка завдання та його вирішення.** Задачею дослідження є формування апарату моделювання процесів утворення "димових хмар",

які спричинені лісовими пожежами в складних радіаційних умовах формування пожежного навантаження в інтересах прогнозування негативного впливу на екологічне середовище за межами зони відчуження Чорнобильської АЕС.

На рис. 1 наведена умовна схема формування радіоактивної димової хмари під час лісової пожежі та вплив радіації на довкілля.

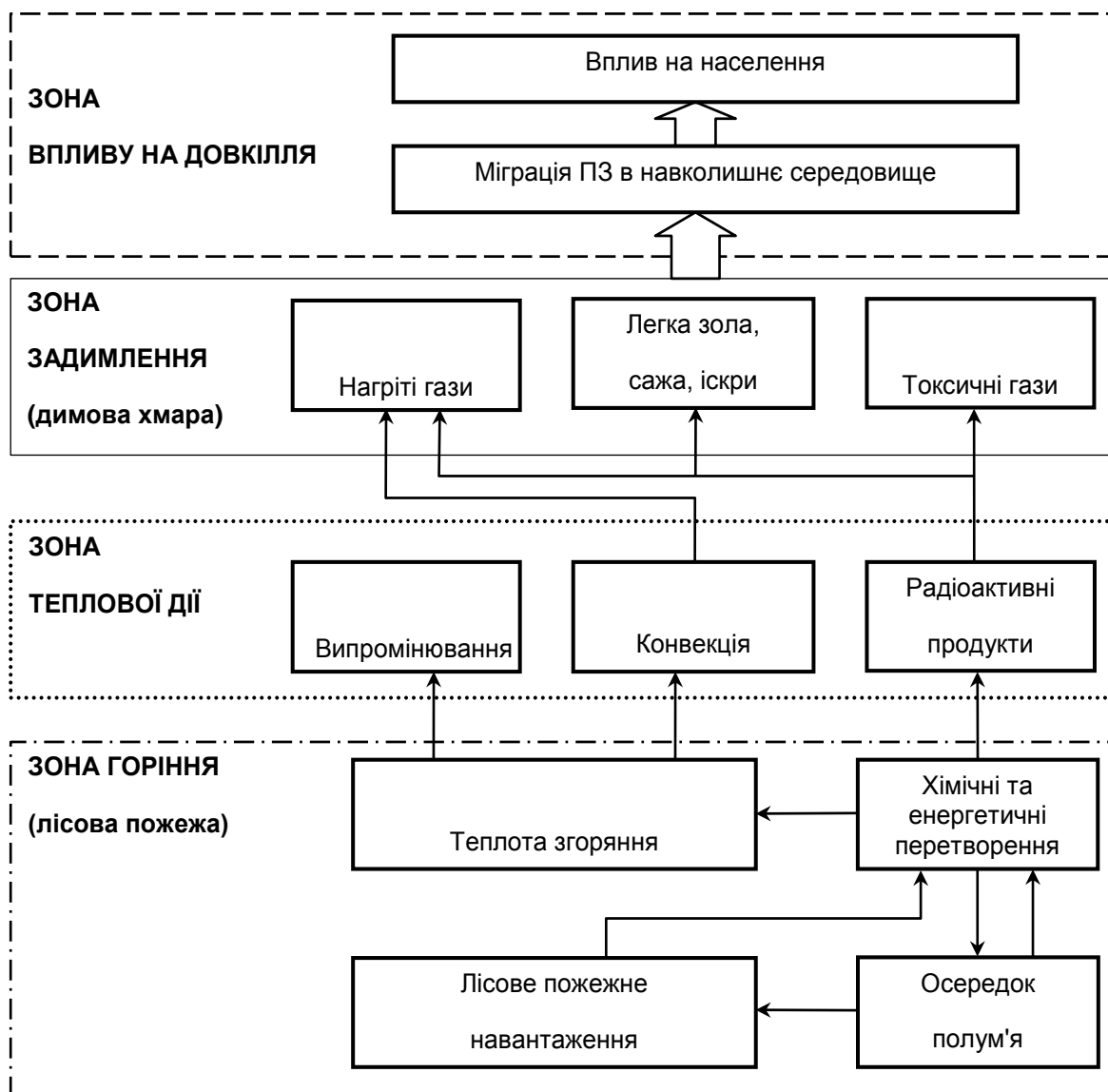


Рис. 1. Умовна схема формування димової хмари під час лісової пожежі в умовах складного радіаційного пожежного навантаження та її вплив на довкілля (ПЗ – продукти згоряння)

Процес утворення «димової хмари» над місцем лісової пожежі помітно відрізняється від хмар, що розвиваються у нормальних природних умовах. Фізичною причиною формування «димової хмари» є наявність потужного теплового джерела, яке визиває розвиток сильної конвективної течії в локальному об'ємі атмосфери і утворенню димових хмар значної вертикальної протяжності (табл. 1).

В табл. 2 наведено фізичні властивості «димових газів» [10].

**Табл. 1. Показники навколишнього середовища при лісовій пожежі**

Тип лісової пожежі	Середні об'єми температури димових газів у зоні пожежі, К	Концентрація "димових газів" у повітрі, мг/м <sup>3</sup>				
		CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	C, коксик
Верховий	1100	800	1200	200	400	40
Низовий слабої інтенсивності	1250	1100	2050	450	520	60
Низовий сильної інтенсивності	1380	1600	4300	800	1000	80

**Табл. 2. Фізичні властивості «димових газів»**

Характеристика димових газів			
Температура, К	$\rho_w$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu_w$ , Нс/м <sup>2</sup>	$\nu_w$ , м <sup>2</sup> /с
370	0,95	20,4	21,5
470	0,75	24,5	32,8
570	0,62	28,2	45,8
670	0,53	31,7	60,4
770	0,46	34,8	76,3
870	0,41	37,9	93,6
970	0,36	40,7	112,1
1070	0,33	43,4	131,8
1170	0,30	45,9	152,3
1270	0,28	48,4	174,3
1370	0,26	50,7	197,1
1470	0,24	53,0	221,0

Примітки:  $\rho_w$  – густина «димових газів»;  $\mu_w$  – коефіцієнт в'язкості «димових газів»;  $\nu_w$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості «димових газів»

Найбільш доступним і ефективним способом дослідження «димової хмари» являється метод чисельного моделювання з використанням чисельних моделей, які достатньо адекватно описують динаміку його утворення. Для відтворення локальних атмосферних процесів на обмеженій території використовувалась базова система рівнянь мезомасштабній моделі в атмосферному пограничному шарі [11] у вигляді (1):

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{\bar{\rho}} w \frac{\partial \bar{\rho} u}{\partial z} &= -c_p \bar{P} \frac{\partial \pi}{\partial z} + lv - \frac{1}{\bar{\rho}} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right); \\
 \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{\bar{\rho}} w \frac{\partial \bar{\rho} v}{\partial z} &= -c_p \bar{P} \frac{\partial \pi}{\partial y} - lv - \frac{1}{\bar{\rho}} \left( \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right); \\
 \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{1}{\bar{\rho}} w \frac{\partial \bar{\rho} w}{\partial z} &= -c_p \bar{P} \frac{\partial \pi}{\partial z} + \lambda \vartheta - \frac{1}{\bar{\rho}} \left( \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right); \\
 \frac{\partial \bar{\rho} u}{\partial x} + \frac{\partial \bar{\rho} v}{\partial y} + \frac{\partial \bar{\rho} w}{\partial z} &= 0,
 \end{aligned} \tag{1}$$

де  $u, v, w$  – компоненти вектора швидкості вздовж осей декартової системи координат;  $\vartheta$  – збурення потенціальної температури від основного "фонового" значення;  $l$  – параметр Кориоліса;  $\lambda$  – параметр плавучості;

$c_p$  – питома теплоємність повітря за постійного тиску;  $S_\Theta = \frac{\partial \Theta}{\partial z}$  – температурна стратифікація;  $\Phi_T$  – фазові притоки тепла;  $\tau_{ij}$  – компоненти тензора турбулентних напруг;  $\Theta, T, P, \Pi$  – потенціальна температура, абсолютна температура, тиск, функція Екснера.

Процеси горіння і емісії аерозолів враховуються через граничні умови:  $\tilde{S} = \tilde{S}_0$ ,  $\mathcal{G} = T_{\Pi}$  при  $x, y, R = h$ ;  $S = 0, \mathcal{G} = 0$ ; при  $x, y, R, z = h$ , де  $h$  – нижня межа хмарності,  $H$  – верхня межа,  $T_{\Pi}$  – перевищення температури за рахунок горіння,  $R(xy)$  – область на підстилаючій поверхні, обмеженій краєм пожежі, де проходить емісія тепла, пари й аерозолу,  $S_0$  – концентрація домішок.  $T_{\Pi}$  і  $S_0$  вважаються заданими величинами. Інші крайові умови мають вигляд (2):

$$K_H \frac{\partial q}{\partial z} = C_\Theta |\bar{U}| (q - q_0); K_H \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial z} = C_\Theta |\bar{U}| (\mathcal{G} - \Theta_0); K \frac{\partial u}{\partial z} = C_u |\bar{U}| u;$$

$$K \frac{\partial v}{\partial z} = C_u |\bar{U}| v; w = 0; \frac{\partial q_c}{\partial z} = 0; \frac{\partial q_i}{\partial z} = 0; \frac{\partial q_r}{\partial z} = 0; \frac{\partial q_s}{\partial z} = 0; \frac{\partial S}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$\text{при } q = q_H; q_c = 0; q_i = 0; q_r = 0; q_s = 0; S = 0, u = u_g; w = 0; \frac{\partial \Theta}{\partial z} = \gamma$$

$$\text{при } z = H,$$

де  $q_H$  – заданий розподіл питомої вологості на верхній границі атмосферного пограничного шару;  $u_q, v_q$  – вектор зовнішньої швидкості вітру;  $\gamma$  – задає стійку стратифікацію в тропосфері.

На бокових границях розрахункової області прийнята умова рівності нулю нормальних похідних від функцій, що шукаються. Початкові поля при  $t = 0$  задаються наступні (3):

$$\mathcal{G} = 0; q = Q(z); q_c = 0; q_i = 0; q_r = 0; q_s = 0;$$

$$u = 0; v = 0; w = 0. \quad (3)$$

Рівняння були отримані за наступних основних допущеннях:

- 1) "димовая хмара" складається із сухого повітря, диму, аерозолу, водяної пари і конденсованої рідкої води;
- 2) температура усіх компонентів димової хмари однакова і рівна  $T_0$ ;
- 3) тиск у газовій фазі рівний тиску в рідкій фазі і рівний  $P_0$ ;
- 4) в димовій хмарі середовище знаходиться в стані термодинамічної рівноваги, тобто парціальний тиск водяної пари рівний тиску насичення.

Для замикання моделі лісової пожежі розглянемо:

- газову фазу, яка складається з 3-х компонентів: 1 – горючі гази (в основному  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ), масова концентрація  $C_1$ ; 2 – негорючі гази ( $N_2, CO_2$ ), масова концентрація  $C_2$ ; 3 – окисник ( $O_2$ ), масова концентрація  $C_3$ ;

- тверду фазу, яка складається з 3-х компонентів: 1 – лісові горючі

матеріали, об'ємна доля  $\phi_1$ ; 2 – коксик, об'ємна доля  $\phi_2$ ; 3 – попіл, об'ємна доля  $\phi_3$ ;

- сажа дисперсна, об'ємна доля  $\phi_{cd}$ .

Продукти піролізу ЛГМ – коксик и дисперсна сажа складаються з вуглецю.

В якості базових хімічних реакцій розглянемо реакції піролізу ЛГМ ( $R_0$ ), горіння вуглецю ( $R_c$ ) і горіння газів ( $R_{co}$ ).

Процесами дисоціації при характерних значеннях температури газової фази у фронті пожежі біля 1400 К можна знехтувати.

Для величин  $R_0, R_c, R_{co}$  [11] використаємо формули (4):

$$R_0 = \rho_1 \phi_1 k_0 \exp\left(-\frac{E_0}{RT_1}\right),$$

$$\frac{E_0}{R} = 9400 \text{ К}, \dots k_0 = 3,63 \cdot 10^4, \text{ с}^{-1},$$

$$R_c = \frac{M_c}{M_3} \rho C_3 k_c \exp\left(-\frac{E_c}{RT_1}\right),$$

$$\frac{E_c}{R} = 10000 \text{ К}, \dots k_c = 1000, \text{ м/с},$$

$$R_{co} = \rho C_1 k_1 \exp\left(-\frac{E_1}{RT_1}\right),$$

$$E_1 = 96800 \text{ Дж/моль}; R = 8,3144 \text{ кДж/(моль} \cdot \text{К)}, k_1 = 7,05 \cdot 10^6 \cdot \text{с}^{-1}.$$

Тоді члени, які описують зміну маси і енергії за рахунок хімічних реакцій, визначаються [4] за формулами (5):

$$Q = (1 - \alpha_c - \alpha_{as})R_0 + \phi_2 s_2 R_c + s_{cd} R_c,$$

$$R_1 = (1 - \alpha_c - \alpha_{as})\alpha_1 R_0 - R_{co},$$

$$R_2 = (1 - \alpha_c - \alpha_{as})(1 - \alpha_1)R_0 + R_{co} + \phi_2 s_2 R_c + s_{cd} R_c,$$

$$R_3 = -R_c,$$

$$R_{fl} = -R_0,$$

$$R_{f2} = \alpha_c R_0 - \phi_2 s_2 R_c,$$

$$R_{f3} = \alpha_{as} R_0,$$

$$R_{cd} = \alpha_{as} R_0 - R_c,$$

$$Q_T = q R_{co} + q_1 R_c,$$

де  $M_c$  – молекулярна маса вуглецю ( $M_c = 12$ );  $M_3$  – молекулярна маса окисника ( $O_2$ ), ( $M_3 = 32$ );  $E_0, E_1, E_c$  – енергії активації;  $k_0, k_1, k_c$  – константи хімічних процесів;  $\alpha_c$  – коксове число або частка коксика при піролізі ЛГМ;  $\alpha_{as}$  – частка попелу, що утворюється при піролізі ЛГМ;

$(1 - \alpha_c - \alpha_{as})$  – частка газів при піролізі ЛГМ;  $\alpha_l$  – частка горючих газів серед газів, що утворюються при піролізі ЛГМ;  $(1 - \alpha_l)$  – частка негорючих газів, що утворюються при піролізі ЛГМ;  $s_2(i^{-1})$  – питома поверхня коксика;  $q$  – теплота горіння газів;  $q_l$  – теплота горіння вуглецю (коксика і сажі);  $\alpha_c R_0$  – масова швидкість утворення коксика під час піролізу ЛГМ;  $\alpha_{as} R_0$  – масова швидкість утворення попелу під час піролізу ЛГМ;  $(1 - \alpha_c - \alpha_{as}) R_0$  – масова швидкість утворення газів під час піролізу ЛГМ;  $\phi_2 s_2 R_c$  – масова швидкість вигорання коксика і утворення газів при горінні.

Спираючий на сформований методологічний апарат (1-5) та із залученням авторської лабораторної установки для визначення небезпечних речовин в радіонуклідних продуктах згорання [12] проведена низка експериментальних досліджень димових часток пожежного навантаження в зоні лісової пожежі. Отримані експериментальні дані, (табл. 3), свідчать про те, що понад 90% усіх димових часток становлять димові частки розміром 0,2–1,6 мікрон.

**Табл. 3. Аналіз експериментальних даних з визначення розміру димових часток лісової пожежі**

$r$	0,2–0,4	0,4–0,8	0,8–1,6	1,6–3,2	3,2–6,4	6,4–12,3
$n/n_0$	0,14	0,51	0,29	0,06	0,02	0,001

Примітки:  $r$  – радіус димових часток;  $n$  – число димових часток даного розміру в одиниці об'єму;  $n_0$  – загальне число димових часток всіх фракцій в одиниці об'єму.

Для опису розподілу димових часток за розмірами на підставі експериментальних даних використовувалося нормально-логіфімічне розподілення (6):

$$f(r) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi r}} \exp\left[-\frac{\ln r - \ln r_m}{2\sigma}\right], \quad (6)$$

де  $r_m$  – медіанний радіус димової частки;  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення (дорівнює 0,6).

Відповідно до роботи [13] у табл. 4 наведено розподіл фракцій димових часток за їх еквівалентним діаметром ( $d$ ) і відповідні відносні маси ( $m$ ) продуктів згорання, а також експериментальне визначення швидкості осідання  $W_g$  і постійна вимивання опадами  $\lambda$ .

**Табл. 4. Основні фізичні характеристики димових часток**

$m, \text{грам}$	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
$d, \text{мкм}$	10	16	28	36	42
$W_g, \text{м/с}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
$\lambda, \text{с}^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$

На рис. 2 наведено розрахований для проб дисперсійний склад аерозольних часток зі шлейфу димової хмари.

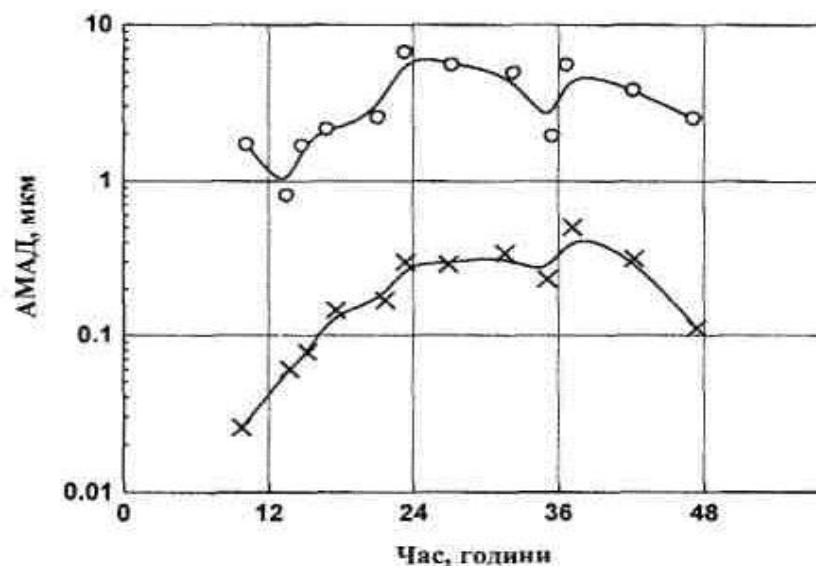


Рис. 2. Розрахований медіанний аерозольний діаметр (АМАД) легких аерозольних часток (точки відбору на відстані  $\circ$ –7 км та  $\times$ –15 км від епіцентру лісової пожежі)

Як видно з рис. 2 аерозольні частки диму на відстані 15 км від місця лісової пожежі були з АМАД (0,01–1,0) мкм та  $\sigma = (1,5 - 2,2)$ .

На рис. 3. представлено зміну інтенсивності випадінь часток диму на шлейфі димової хмари на різних відстанях від місця пожежах [14].

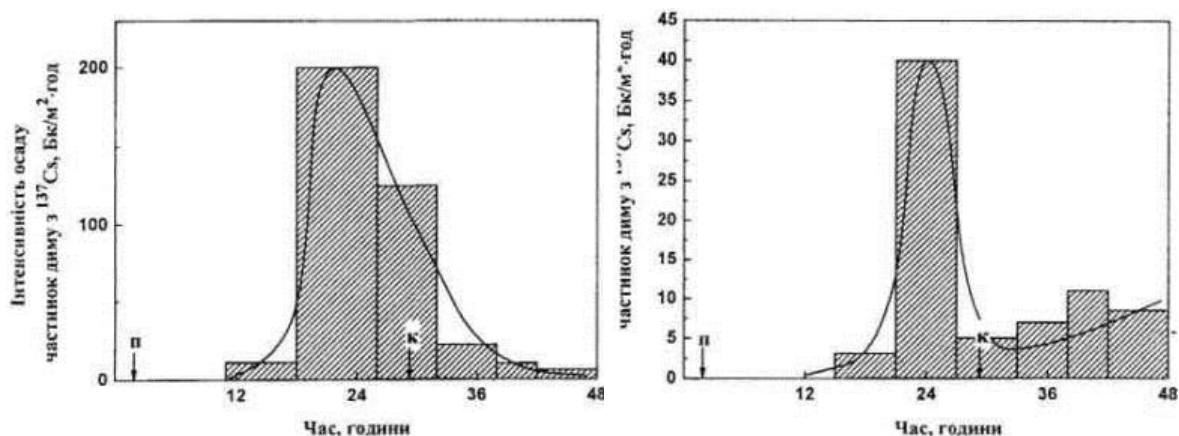


Рис. 3. Зміна інтенсивності випадінь часток диму на відстані 7,0 км (ліворуч) та 15км (праворуч) від місця лісової пожежі (п – початок пожежі, к – кінець пожежі)

З наведених на рис. 3 даних можна бачити, що різке підвищення густини випадінь обумовлено вимиванням з атмосфери радіоактивних часток диму, утворених при лісовій пожежі. На підставі проведених теоретичних розрахунків (1–5) та отриманих експериментальних даних (рис. 2–3) було проведено числове моделювання динаміки поширення димової хмари і розподіл концентрацій димових газів.

У процесі числового моделювання розглядалися різні сценарії формування конвективної хмарності над зоною лісової пожежі і поширення димових газів [7], які наведено на рис. 4.

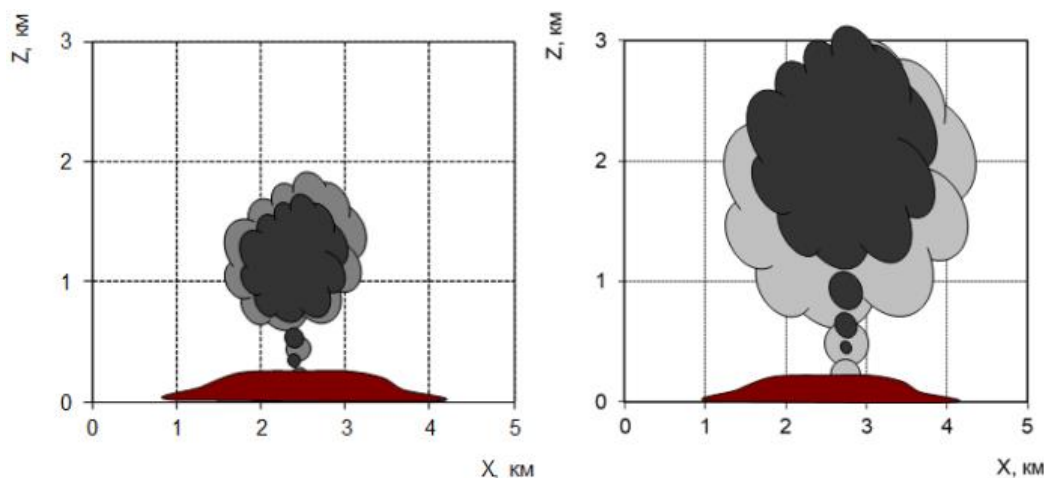


Рис. 4. Моделювання динаміки поширення димової хмари в умовах стійкої стратифікації

Під час моделювання атмосферної циркуляції зона перегріву розширялась у часі, імітуючи просування фронту пожежі. Процеси горіння розвивались у межах приземного підшару, над зоною пожежі задавався турбулентний потік домішок з характерними значеннями, які були взяті із спостережень. Результати експерименту (рис. 5) показали [7], що в штильових умовах по мірі наростання температури над осередком формується вертикальний струмінь, який переносить тепло і продукти горіння вгору.

Максимум вертикальної швидкості в струмені рівний  $w=3\text{ м/с}$ . Із результатів числових експериментів слідує, що форма аерозольної хмари сильно залежить від співвідношення факторів адвекції і конвекції, які на різних стадіях розвитку обумовлювали різні ефекти.

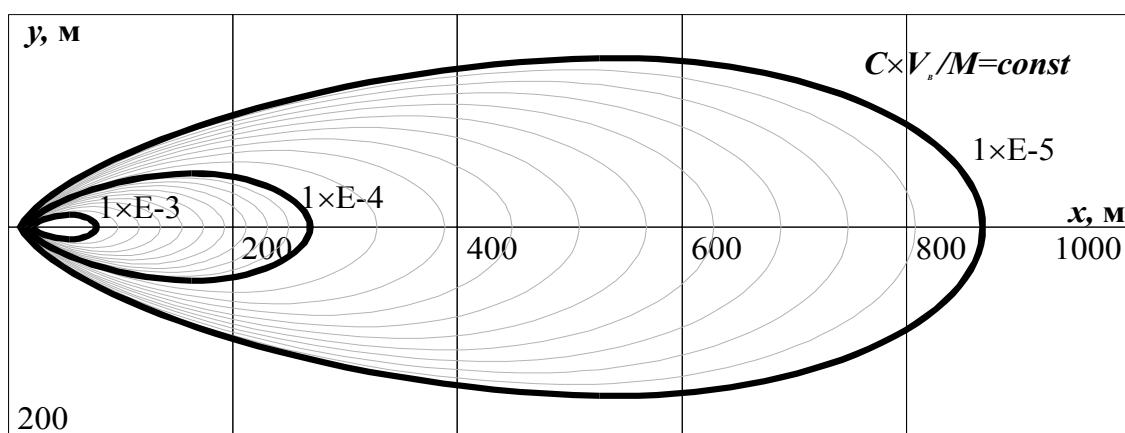


Рис. 5. Графік розподілу концентрацій димових газів для стану стабільності атмосфери А та висоти підйому факела  $h_\phi$

Наприклад, навіть помірний вітер на початковій фазі пожежі призводить до подавлення конвективних рухів і хмара диму стелиться по зем-



лі. Область горіння  $R_\phi$  виглядала у вигляді кола радіусом 100 м в якому задавалась  $S_0 = 1$ ;  $T_0 = 340K$ . Розрахункова сітка брали рівномірною по горизонталі і малою  $128 \times 128$  вузлів з  $\Delta x = \Delta y = 70m$ . По вертикалі сітка містила 100 рівнів, а верхня границя області задавалась на висоті 5 км.

**Висновки.** Систематизовано апарат моделювання процесів утворення "димових хмар", які спричинені лісовими пожежами в складних радіаційних умовах формування пожежного навантаження. Під час експериментальних та числових досліджень проведена перевірка його адекватності в інтересах подальшого вирішення задач прогнозування негативного екологічного впливу лісових пожеж на оточуюче середовище у зоні відчуження Чорнобильської АЕС як всередині, так і за її межами.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кузик А. Д., Лагно Д. В. Особливості процесу ліквідації пожежі у забруднених радіонуклідами лісах на території зони відчуження. Пожежна безпека. 2019. № 34. С. 47–53.
2. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е., Тарасенко А. А. Моделирование пожаров, их обнаружения, локализации и тушения. Харьков: НУГЗУ, 2011. С. 927.
3. Абрамов Ю. А., Тарасенко А. А. Формулировка задачи оптимизации параметров управленческих решений для ликвидации ландшафтного пожара. Проблемы пожарной безопасности. 2006. № 20. С. 207–209.
4. Абрамов Ю. А., Тарасенко А. А. Формирование априорной информации для системы ликвидации последствий чрезвычайной ситуации // Проблемы надзвичайних ситуацій. 2007. № 6. С. 11–22.
5. Азаров С. І., Єременко С. А., Сидоренко В. Л. та ін. за заг. ред. П. Б. Волянського Наукові засади захисту населення і територій від наслідків лісових пожеж з радіаційно небезпечними факторами : монографія /. Київ: ТОВ "Інтердрук", 2016 С. 203.
6. Будыко А. К. Радиоактивные аэрозоли при пожарах на территориях загрязненных продуктами Чернобыльской аварии // Радиационная биология. Радиоэкология. 1995. Т. 35, №1. С. 102–112.
7. Азаров С. И. Методика расчёта переноса радионуклидов в результате пожаров в Чернобыльской зоне // Радиационная биология. Радиоэкология. 1997. № 1. С. 102–109.
8. Азаров С. І., Сідоренко В. Л., Руденко О. В. Вивчення процесу надходження радіонуклідів у повітря при пожежах у лісах зони відчуження ЧАЕС. Проблемы пожарной безопасности. 2011. № 30. С. 16–23.
9. Оценки условий и параметров развития лесных пожаров. Методические рекомендации. Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1984. С. 100.
10. Гришин А. М., Фильков А. И. Прогноз возникновения и распространения лесных пожаров. Кемерово: "Практика", 2005. С. 202.
11. Гришин А. М. Физика лесных пожаров. Томск: Изд-во ТГУ. 1994. С. 218.

12. Азаров С. И., Бабич Е. В. Разработка установок для определения вредных веществ в радиоактивных продуктах сгорания. Труды XVI научно-практ. конф. по вопросам борьбы с пожарами «Крупные пожары: предупреждение и тушение». 2001. Ч. 1. С. 303–305.

13. Азаров С. И. Загрязнение атмосферы  $^{137}\text{Cs}$  при лесных пожарах в Чернобыльской зоне // Радиационная биология. Радиоэкология. 1998. Т. 36. № 4. С. 474–483.

14. Азаров С. І. Концепція мобільної лабораторії комплексної оцінки та прогнозування надзвичайних ситуацій. Надзвичайна ситуація. 2014. № 6(199). С. 48–49.

*Отримано редколегією 09.01.2020*

С. И. Азаров, Р. И. Шевченко, С. С. Щербак

**Моделирование процессов образования «дымового облака» над зоной лесного пожара в сложных радиационных условиях формирования пожарной нагрузки**

В работе проведена систематизация существующего аппарата моделирования процессов образования "дымовых облаков", вызванных лесными пожарами в сложных радиационных условиях формирования пожарной нагрузки. Осуществлена проверка его адекватности и определены основные направления его дальнейшего применения в качестве методологической основы для решения задач прогнозирования негативного экологического воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова:** моделирование, лесные пожары, радиационное воздействие, дымовое облако, экологическая обстановка.

S. Azarov, R. Shevchenko, S. Shcherbak

**Modeling of processes of formation of a "smoke cloud" over a zone of forest fire in complex radiation conditions of formation of fire load**

The paper describes the systematization of an existing apparatus for modeling the formation of "smoke clouds" caused by forest fires in complex radiation conditions of fire load formation. Its adequacy has been verified and the main directions of its further application as a methodological basis for solving the problems of predicting the negative environmental impact on the environment have been determined.

**Keywords:** modeling, forest fires, radiation exposure, smoke cloud, ecological environment.