УДК 621.3

ВПЛИВ ВИПАДКОВИХ ЧИННИКІВ НА СПАЛАХУВАННЯ РЕЗЕРВУАРІВ З НАФТОПРОДУКТАМИ

О.П. Сознік, д.т.н.,
М.А. Горбенко,
С.В. Говаленков, к.т.н.,
О.Є. Басманов, к.т.н.
Академія цивільного захисту України
Тел. (0572) 40-20-77

Анотація – Проаналізовано вплив випадкових чинників на загрозу спалахування резервуарів з нафтопродуктами під час пожеж у резервуарних парках. Показано, яким умовам мають відповідати такі чинники, для того щоб їх вплив був відчутним.

Ключові слова – тепловий потік, випадковий процес, кореляційна функція.

Постановка проблеми. Під пожеж у резервуарних парках з нафтопродуктами особливу небезпеку являє спалахування або вибух резервуарів, сусідніх з палаючим. Така погроза виникає не тільки при безпосередньому контакті з полум'ям, але і внаслідок теплопередачі випромінюванням. Як показує практика, навіть при охолодженні резервуара спостерігалися випадки спалахування, скипання, викиду нафтопродукту. У зв'язку з вищесказаним актуальною є задача оцінки ймовірності виникнення такої ситуації.

Аналіз останніх досліджень. У роботі [1] було розглянуто випромінювання від факелів різних геометричних форм, як об'ємних (циліндр, конус, еліпсоїд), так і плоских (прямокутник). Однак, через нестаціонарність процесів горіння, факел не має постійної геометричної форми. Температура факела змінюється в просторі і часі. Випадкові пориви вітру також вносять додаткові ускладнення.

Постановка завдання. Метою роботи є побудова математичної моделі, що дозволяє врахувати вплив випадкових факторів на температуру сусіднього резервуара й оцінити імовірність його спалахування.

Основна частина. Будемо розглядати тепловий потік $\Phi(t)$ як суму двох компонентів: детермінованої F та випадкової $\xi(t)$: $\Phi(t) = F + \xi(t)$, припускаючи при цьому, що випадковий процес $\xi(t)$ є стаціонарним, має нульове математичне очікування і кореляційну функцію $K_\xi(t)$.

За малий проміжок часу dt сусідній резервуар отримає кількість тепла $dQ = \Phi(t)dt = Fdt + \xi(t)dt$.

Це призведе до збільшення температури на величину $dT = \frac{dQ}{mc}$,

де m – маса нафтопродукту, що знаходиться в резервуарі;

c – середня питома теплоємність нафтопродукту, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$.

Тоді $dT = \frac{F}{mc}dt + \frac{\xi(t)}{mc}dt$,

$$T(t) = T_0 + \frac{1}{mc}\int_0^t F dt + \frac{1}{mc}\int_0^t \xi(t)dt,$$

де T_0 – температура резервуара в початковий момент часу.

Таким чином, температура резервуара може бути представлена сумою детермінованої компоненти $\widetilde{T}(t) = T_0 + \frac{1}{mc}\int_0^t F dt$ і випадкової $\eta(t) = \frac{1}{mc}\int_0^t \xi(t)dt$. З'ясуємо параметри розподілу випадкового процесу $\eta(t)$:

$$M\eta(t) = M\left[\frac{1}{mc}\int_0^t \xi(t)dt\right] = \frac{1}{mc}\int_0^t M\xi(t)dt = 0.$$

Згідно [2], дисперсія буде дорівнює

$$D_\eta(t) = \frac{2}{(mc)^2}\int_0^t (t-\tau)K_\xi(\tau)d\tau. \qquad (1)$$

Розглядаючи температуру резервуара $T(t)$, як випадковий процес, можна оцінити імовірність виходу її за деякий критичний рівень $T_{кр}$, наприклад, температуру спалахування. Очевидно, що математичне чекання випадкового процесу $T(t)$ дорівнює $\widetilde{T}(t)$, а дисперсія збігається з дисперсією $\eta(t)$. Якщо випадковий процес $\xi(t)$ розподілений нормально, то і температура $T(t)$ також буде розподілена нормально.

При температурах резервуара $T(t)$, набагато нижчих температури факела T_1, залежність $\widetilde{T}(t)$ близька до лінійної: $\widetilde{T}(t) \approx T_0 + \frac{F}{mc}t$.

Розглянемо кореляційну функцію загального вигляду $K_\xi(t) = \sigma^2 e^{-\alpha|t|}\cos\beta t$. Тоді після інтегрування (1) матимемо

$$D_\eta(t) = \frac{2\sigma^2}{(mc)^2} \frac{\alpha\left(\alpha^2+\beta^2\right)t - \alpha^2 + \beta^2 + e^{-\alpha t}\left(\left(\alpha^2-\beta^2\right)\cos\beta t - 2\alpha\beta\sin\beta t\right)}{\left(\alpha^2+\beta^2\right)^2}.$$

Аналіз останнього виразу показує, що перший доданок у чисельнику лінійно залежить від часу, а другий експоненціально спадає. Якщо α і β близькі до нуля, то дисперсія $D_\eta(t)$ може бути істотної.

Проілюструємо наведені міркування наступною ситуацією: нехай горить резервуар РВС-10000 (діаметр 34,2 м, висота 11,9 м). Будемо вважати, що факел має форму циліндра з висотою 58 м і середньою температурою $T_1 = 1500\,\text{К}$. На відстані 40 метрів знаходиться інший резервуар РВС-10000, що містить 6000 т нафтопродукту з питомою теплоємністю $c = 2\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$. У початковий момент часу його температура дорівнювала температурі навколишнього середовища $T_0 = 300\text{K}$. На резервуар буде припадати тепловий потік $F \approx 10755\,\text{кВт}$. [1]

Очевидно, що нафтопродукт буде прогріватися не по всьому об'єму, а поблизу звернених у бік факела стінок. Вважатимемо, що прогрівається шар товщиною 0,5 м. Отже, нагріватися буде 188 т нафтопродукту. Параметри кореляційної функції: $\alpha = \frac{1}{2400}$ (відповідає часу кореляції 45 хв.) і $\beta = 0$, а середньоквадратичне відхилення $\sigma = F/3$ (рис.1).

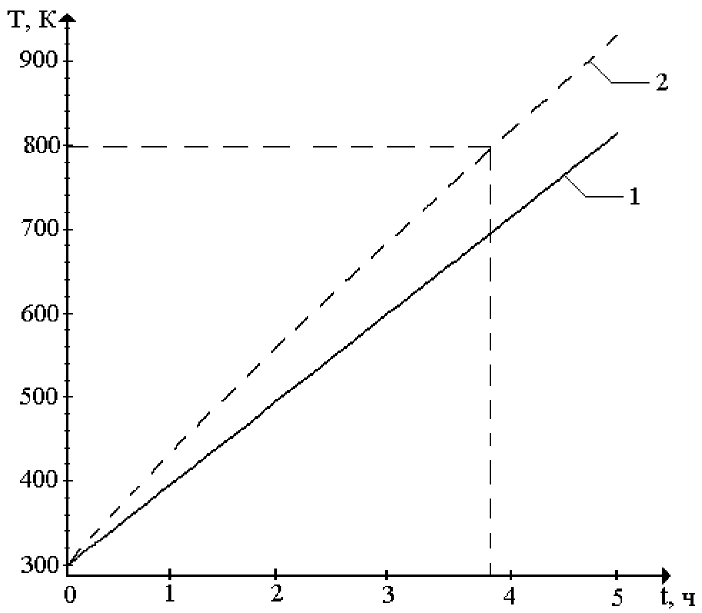

Рис. 1 – Залежність температури нафтопродукту від часу: 1 – математичне чекання; 2 – рівень, що досягається з імовірністю 0,1.

У відсутності випадкових чинників $\xi(t)$, температура сусіднього резервуара зростала б зі швидкістю $\frac{d\tilde{T}}{dt} = 0{,}029\frac{K}{c} = 103\frac{K}{час}$. І досягла б критичного рівня $T_{кр} = 800K$ приблизно через 5 годин.

З наведеного рисунку видно, що у 10 % випадків критичний рівень буде досягнутий на 1 годину швидше в порівнянні розрахунками, в яких не брався до уваги випадковий вплив.

З ростом α середньоквадратичне відхилення температури швидко спадає (рис. 2). І при великих значеннях α (вже при $\alpha \geq 0.01$) вплив випадкових факторів можна не брати до уваги.

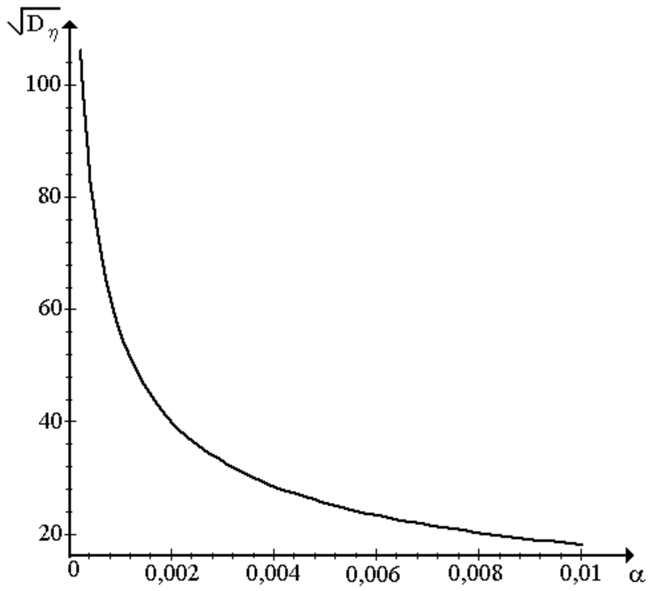

Рис. 2 – Залежність среднеквадратического відхилення температури нафтопродукту через 5 годин від параметра α.

Висновки. Таким чином, при вивченні впливу палаючого резервуара на сусідні, необхідно приділяти увагу тим випадковим компонентам, що мають досить великий час кореляції (тобто тим, які змінюються повільно). Такими є, наприклад, висота смолоскипа, його форма, нахил і ін. Навпаки, швидкоплинними чинниками (випадкові пориви вітру, коливання язиків полум'я) не мають помітного впливу і при розрахунках їх можна відкинути.

Література

1. *Андриенко В.Н., Говаленков С.В., Созник А.П.* Математическая модель теплового излучения от факелов, имеющих форму конуса. Проблеми пожежної безпеки. – Х.: Фоліо, 2003. – Вип.14. – с.24-28.
2. *Свешников* А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: 1968. – 463 с.