

М.В. Кустов, д. т. н., доцент НУЦЗУ

В.В. Тютюник, д.т.н., с.н.с. НУЦЗУ

О.І. Федоряка, ад'юнкт НУЦЗУ

ОЦІНКА РІВНЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЛОКАЛЬНОЇ ТЕРИТОРІЇ

(представлено д-ром.)

Визначено та класифіковано фактори, що впливають на рівень пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу до об'єкту включно. Запропоновано підхід оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території шляхом ранжування небезпеки у відповідності до необхідних сил та засобів для ліквідації пожежі. Для проведення оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території з врахуванням всього масиву факторів запропоновано використання нейромережових технологій. На основі багатосарової перцептронної нейромережі отримано прогностичну модель впливу основних параметрів пожежної небезпеки об'єкту на його рівень пожежної небезпеки. Використання нейромережових технологій дозволило інтегровано врахувати фактори небезпеки різної фізичної природи та отримати результати розрахунків у рівневому вигляді. Адекватність побудованої математичної моделі перевірено шляхом порівняння статистичних даних по пожежах на об'єктах та результатів оцінки рівня пожежної небезпеки для цих об'єктів. Властивості отриманої нейромережі дозволяють поступово підвищувати точність розрахунку за рахунок самонавчання нейромережі при додаванні нових статистичних даних.

Ключеві слова: фактори пожежної небезпеки, локальна територія, рівень небезпеки, ризик, нейромережа, ранжування територій.

Постановка проблеми. В умовах сьогодення важливим питанням є оптимізація витрат на забезпечення пожежної безпеки, як окремого регіону, так і держави в цілому. При цьому оптимізація знаходиться між двома факторами – матеріальні витрати, які прагнуть до мінімізації, та рівень пожежної безпеки, який прагне до максимуму, але не повинен бути нижчим за встановлені в державі норми. Виходячи з цього, оптимальним шляхом забезпечення належного рівня пожежної безпеки буде відповідність усіх протипожежних заходів в межах локальної території рівню пожежної небезпеки цієї території. Для визначення необхідних та достатніх протипожежних заходів обов'язковою є оцінка рівня пожежної небезпеки локальної території, в якості якої можуть виступати держава, область, район, місто в т.д. Окрім великої кількості

факторів, що впливають на пожежну безпеку регіону оцінку суттєво ускладнює нерівномірність цих факторів по площі території. Таким чином, проблема, що підлягає розв'язанню, полягає у низькій точності оцінки рівня пожежної небезпеки території з урахуванням нерівномірності факторів пожежної небезпеки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз стану рівня пожежної небезпеки в Україні в цілому та в окремих регіонах проводиться в межах Аналітичного огляду стану техногенної та природної безпеки [1]. В цих щорічних звітах приводиться загальна статистика виникнення пожеж за їх характером, кількістю загиблих, травмованих та матеріальних збитків. З використанням цих даних проводиться аналіз пожежних ризиків окремих регіонів згідно до методики [2]. Відповідно до цього методу визначається п'ять видів пожежних ризиків, шляхом відношення кількості пожеж на локальній території до кількості населення на цій території, кількості загиблих, кількості травмованих та матеріальних збитків, відповідно. Перевагою даного методу є простота розрахунку та невелика кількість необхідних вхідних даних, які корелюють з щорічними статистичними доповідями ДСНС. Але разом з цим даний метод має суттєві недоліки – це нехтування рядом значущих факторів, повна залежність від статистичних даних без визначення вірогіднісних показників та орієнтованість даної методики на територію великої площі, для якої можливо зібрати значний масив статистичних даних.

З метою реалізації можливості оцінки рівня пожежної небезпеки на локальній території довільного розміру в [3] передбачено розрахунок пожежного ризику, як інтегруючого показника за рядом факторів небезпеки, яким надано певний ранг. До критеріїв, які визначають пожежний ризик відносять: сфера функціонування об'єктів, їх площа та висота, кількість людей, що можуть одночасно знаходитись на об'єкті, наявність та масштаби пожеж за останні роки та ін. Але перелік цих критеріїв дуже незначний та не дозволяє в повній мірі оцінити рівень небезпеки об'єкт чи території. Тому в ДСТУ ISO 16732-1:2018 «Інжиніринг пожежної безпеки. Оцінювання пожежного ризику» запропонована методика розрахунку загального пожежного ризику, як інтегруючий показник індивідуального, соціального та потенційного пожежних ризиків. Кожен з цих ризиків залежить від повної характеристики об'єкту та умов його експлуатації. Однак ризик в ДСТУ ISO 16732-1:2018 визначається як вірогідність настання інциденту. Такий підхід не дозволяє співвіднести рівень пожежної небезпеки локальної території та необхідні заходи забезпечення пожежної безпеки.

Більш повний опис пожежного ризику надає міжнародний стандарт ISO 31000:2018 «Risk management – Guidelines» де ризик є

інтегруючим показником оцінки джерел небезпеки, можливих наслідків та їх вірогідності. Але методики чисельної оцінки цих параметрів для локальної території довільного масштабу не існує, а розрахунок потребує великого масиву інженерних, соціальних та статистичних даних.

Для роботи з великим масивом факторів останнім часом добре себе зарекомендували нейромережеві технології [4, 5]. Так в роботі [6] розроблено метод оцінки небезпеки регіонів України за допомогою штучних нейромереж. Але цей метод застосовується для роботи з територіями великої площі і не дозволяє вирішити питання оцінки пожежної небезпеки таких локальних територій як місто, район, об'єкт.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є розробка методики оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу з визначенням необхідних протипожежних сил та засобів.

Для вирішення зазначеної мети необхідно визначити фактори, що впливають на рівень пожежної небезпеки локальної території та провести їх статистичну обробку.

При аналізі факторів авторами запропоновано не ототожнювати поняття «рівень пожежної небезпеки» та «пожежний ризик» виходячи з того, що існує велика кількість варіантів інтерпретації терміну «ризик» та методик його розрахунку, деякі з яких є достатньо дискусійними. Однак жодне з інтерпретацій поняття ризику не дозволяє визначити необхідний рівень пожежної небезпеки для локальної території. При цьому задачею оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території, відповідно до мети даної роботи, є саме визначення необхідної кількості протипожежних сил та засобів для локальної території довільного масштабу.

Масштаб локальної території залежить від точності задач, що вирішуються, при цьому максимальна точність оцінки рівня пожежної небезпеки з метою визначення необхідних протипожежних сил та засобів досягається при відповідності розмірів локальної території розмірам окремого об'єкту (Рис. 1).

Рівень пожежної небезпеки по аналогії із ризиком визначається можливими наслідками ймовірної пожежі та вірогідністю настання пожежі та відповідних наслідків. Як зазначалось вище в науковій літературі по різному визначаються фактори, що впливають на рівень небезпеки. Нами проаналізовані та структуровані всі фактори небезпеки, що запропоновані в роботах [7-10]. Комплексна структура факторів, що визначають рівень пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу представлено на рис. 2.

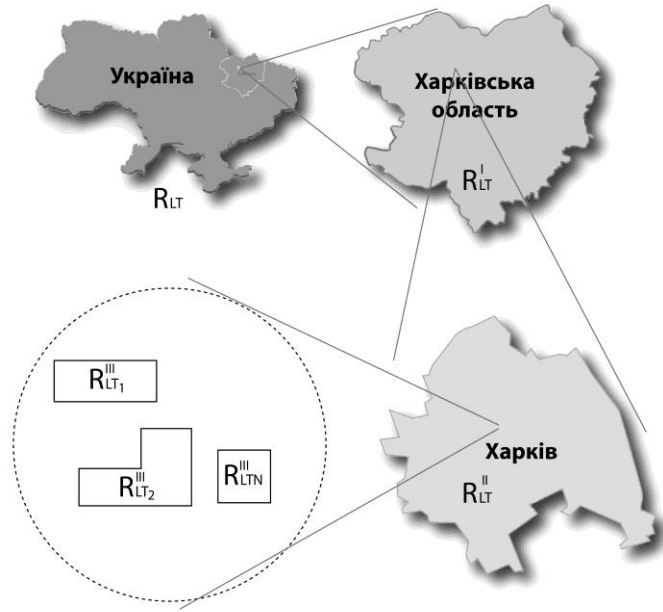


Рис. 1. Графічна інтерпретація масштабування локальної території державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів

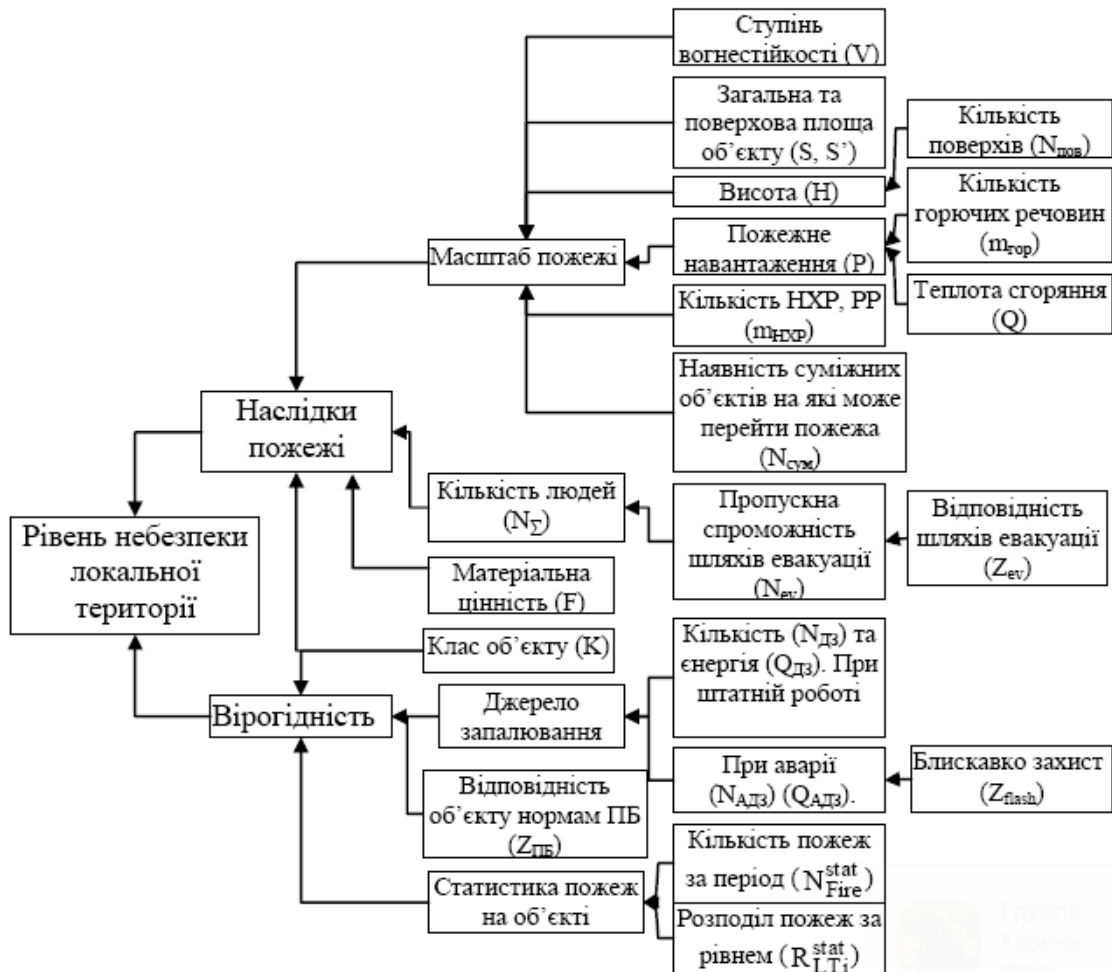


Рис. 2. Структура факторів для інтегрованої оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території

Згідно з комплексною структурою факторів пожежної небезпеки (Рис. 2) можливі наслідки ймовірної пожежі визначаються:

- кількістю людей, які можуть потрапити в зону пожежі, яка в свою чергу залежить від кількості людей на локальній території, здатності їх вчасно евакуюватись. При цьому спроможність людей евакуюватись із зони пожежі визначається відповідністю шляхів евакуації встановленим нормам пожежної безпеки;

- матеріальною цінністю об'єкту чи об'єктів на локальній території;

- масштабами можливої пожежі, на який впливають: значення пожежного навантаження; кількість горючої речовини; кількість небезпечних хімічних та/або радіоактивних речовин, що можуть бути викинуті при аварії; висотність та кількість поверхів об'єкту; загальна та поверхова площа об'єкту або локальної території; наявність суміжних об'єктів на які може поширюватись пожежа.

На вірогідність виникнення пожежі впливають:

- наявність джерел запалювання, їх кількість та потужність при нормальній та аварійній роботах;

- рівень відповідності об'єкту чи території нормам пожежної безпеки;

- статистика виникнення пожеж на об'єктах подібних характеристик;

Крім цього суттєву роль на рівень пожежної небезпеки в цілому відіграє функціональне призначення локальної території (об'єкту), тобто житлове, промислове, сільськогосподарське, соціально-побутове та ін.

Однак отримати пряму функціональну залежність рівня пожежної небезпеки від цих факторів неможливо за рахунок різної природи параметрів та невизначеності рівня вкладу кожного з факторів в загальне значення рівня. Тому в роботі запропоновано новий підхід ранжування рівня пожежної небезпеки у відповідності до необхідної кількості сил та засобів для ліквідації можливої пожежі. За основу взято загальнодержавний підхід до ранжування рівня пожеж, які вже сталися [11], але зі зменшенням кроку між рангами (табл. 1).

Відповідно до запропонованого підходу (табл. 1) визначення рівня пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу дозволить визначити кількість сил та засобів, що здатні забезпечити належний рівень пожежної безпеки на цій території.

Використання відомих математичних моделей не дозволяє розрахувати параметри, що визначають рівень небезпеки локальної території.

Таблиця 1. Ранжування локальної території за рівнями пожежної безпеки

| Ранг, R_{LT} | Кількість сил та засобів для ліквідації пожежі, N_{HTP} | Ранг, R_{LT} | Кількість сил та засобів для ліквідації пожежі |
|----------------|-----------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------|
| I | 1 відділення АЦ* | VI | 10 відділень АЦ + 5 СА |
| II | 2 відділення АЦ | VII | 15 відділень АЦ + 6 СА |
| III | 4 відділення АЦ | VIII | 20 відділень АЦ + 8 СА |
| IV | 4 відділення АЦ + 2 СА** | IX | 30 відділень АЦ + 10 СА |
| V | 6 відділень АЦ + 4 СА | X | > 30 відділень АЦ + > 10 СА |

* АЦ – автоцистерна.

**СА – спеціалізовані автомобілі (автодробина, насосно-рукавний автомобіль, штабний автомобіль, пересувна база ГДЗС, інженерна техніка та ін.)

Вирішити ці недоліки дозволяє використання нейромережових технологій.

Оцінка рівня пожежної безпеки з використанням нейромережових технологій проводилась шляхом створення штучних нейронних мереж, перевагою яких є можливість апроксимації за експериментальними даними будь-яких скільки завгодно складних нелінійних залежностей довільного та невідомого виду [4, 5].

Інша суттєва особливість нейронних мереж полягає у тому, що залежність між вхідними та вихідними даними знаходиться у процесі навчання мережі. Штучна нейронна мережа складається з певної кількості «штучних нейронів». Нейрон має декілька каналів вводу інформації, так звані дендрити, та каналів виводу інформації – аксони. Аксон нейрона поєднується з дендритами інших нейронів за допомогою синапсів.

На рис. 3 представлено графічну модель нейрона, на якій продемонстровано отримання $x(i)$ -го сигналу j -им нейроном через декілька вхідних каналів від інших нейронів. Кожен отриманий сигнал множиться на $w(j, i)$ – вагу синаптичного зв'язку між виходом i -го нейрона та входом j -го нейрона, позитивне значення якої відповідає збуджувальним синапсам, а негативне – гальмуючим синапсам. Значення $w(j, i) = 0$ свідчить про відсутність зв'язку між i -м та j -м нейронами. Надалі виконується операція підсумовування у блоці «Суматор» перетворених вхідних сигналів і додається поріг збудження $b(i)$.

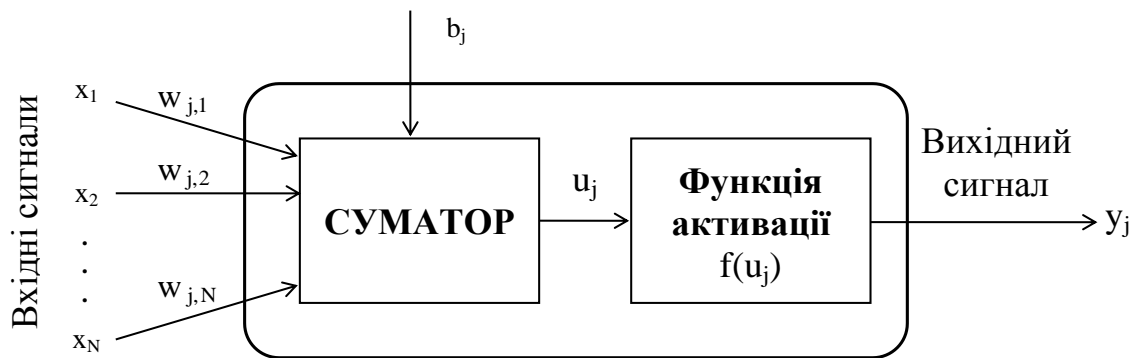


Рис. 3. Схема штучного нейрона.

В якості функції активації (рис. 3) використовували сигмоид, який має наступний вигляд:

$$f(u_j) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha u_j}} \quad (1)$$

де $u_j = \sum_{i=1}^N w(j,i)x(i) + b(j)$ - функція нейрона, $x(i)$ - вхідні сигнали, $i=1, \dots, N$.

Будову моделі штучної нейронної мережі та аналіз даних проведено з використання статистичного пакету STATISTICA 6.1.

Для навчання нейромереж всі спостереження було розділене на три вибірки. За умовчанням здійснювалося випадкове розділення спостережень між вибірками, щоб уникнути перенавчання мережі та для гарантування якісного узагальнення (прогнозування). Перша вибірка (Повчальна - 50% спостережень) використовувалася для навчання мережі; друга (Контрольна - 25% спостережень) - для кросвалідації алгоритму навчання під час його роботи; третя (Тестова - 25% спостережень) - для остаточного незалежного тестування навченої нейромережі.

Результати навчання багатошарової перцептронної нейромережі дозволили отримати прогностичну модель впливу основних параметрів пожежної небезпеки об'єкту на його рівень пожежної небезпеки у вигляді нейромережі MLP 12-4-1, результати прогнозування якої подано у табл. 2.

Навчання нейромережі MLP 12-4-1 проведене із швидкістю $\eta = 0,01$. Результати аналізу подані у табл. 3.

Таблиця 3. – Статистичні характеристики трьохшарових перцептронів, які запропоновані «майстром рішень» як найкращі для нейромережевої оцінки рівня пожежної небезпеки об'єкту (R_{LTi})

| № рішення | Архітектура | Продуктивність навчання | Контрольна продуктивність | Тестова продуктивність | Похибка навчання | Контрольна похибка | Тестова похибка | Алгоритм навчання | Функція помилки | Активізація схованого шару | Активізація виходу |
|-----------|-------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|--------------------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------------------|--------------------|
| 1. | MLP 12-8-1 | 0,874 | 0,765 | 0,925 | 237,7 | 419,8 | 156,8 | BFGS 2 | SOS | Exponential | Logistic |
| 2. | MLP 12-12-1 | 0,835 | 0,678 | 0,912 | 208,5 | 480,3 | 104,4 | BFGS 4 | SOS | Identity | Exponential |
| 3. | MLP 12-4-1 | 0,839 | 0,864 | 0,942 | 180,9 | 502,9 | 77,3 | BFGS 6 | SOS | Exponential | Logistic |
| 4. | MLP 12-1-1 | 0,838 | 0,884 | 0,977 | 163,9 | 353,3 | 83,2 | BFGS 9 | SOS | Exponential | Logistic |

Примітка до табл. 3: коди, які були використані для оптимізації мереж: BFGS b – алгоритм Бройдена – Флетчера – Гольдфарба – Шанно (Broyden – Fletcher – Goldfarb – Shanno); b – крок зупинки (мережа з найменшою помилкою на контрольній вибірці); SOS – метод зворотного поширення помилки [12].

Але оцінка рівня пожежної небезпеки на базі статистичних даних носить вірогіднісний характер. Тобто існує вірогідність виникнення пожеж більшого рангу, тому за допомогою нейромережі MLP 12-4-1 також спрогнозовано найбільший можливий рівень пожежної небезпеки на об'єкті R_{LT}^{\max} (табл. 2).

Перевірки адекватності розробленої математичної нейромережевої моделі оцінки ступеня пожежної небезпеки об'єкту проводилась шляхом співставлення статистичного рівня пожежної небезпеки на об'єктах, данні яких не приймали участі у навчанні нейромережі (R_{LT}^*) та результатів оцінки рівня небезпеки для цих же об'єктів (R_{LTi}). Коефіцієнт кореляції між цими показниками за результатами навчання мережі дорівнює $r_{R_{LT}^* R_{LTi}}^2 \approx 0,767$.

Точність оцінки можна суттєво підвищити шляхом збільшення кількості статистично опрацьованих пожеж на об'єктах різного функціонального призначення. Так як нейромережа MLP 12-4-1 володіє здібністю до самонавчання додавання нових статистичних даних буде корегувати прогностичну модель у бік уточнення оцінки.

Графічне відображення результатів оцінки представлено на рис. 5.



Рис. 5. Графічна інтерпретація градуювання об'єктів за розрахованим рівнем пожежної небезпеки локального району м. Харкова.

Картографічне градуювання об'єктів за рівнями небезпеки на локальній території дозволяє провести зонування цієї території та визначити достатність забезпечення силами та засобами. Використання запропонованого підходу та збільшення масиву статистичних даних дозволить проводити оцінку рівня пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу у межах міста, району, області, держави.

Висновки В роботі проведено аналітичну обробку та структурування факторів, що впливають на рівень пожежної небезпеки локальної території. Запропоновано новий підхід до оцінки рівня пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу, включаючи окремі об'єкти, який базується на ранжуванні рівнів небезпек у відповідності до необхідних сил та засобів для забезпечення пожежної безпеки. З використанням нейромережевих технологій отримано прогностичну модель, яка дозволяє проводити оцінку рівня пожежної небезпеки локальної території зі ступенем кореляції $r = 0,767$. Отримана нейромережа здатна до самонавчання, що дозволяє уточнювати результати оцінки при введенні нових статистичних даних. Запропонований метод оцінки рівня пожежної небезпеки дозволяє будувати карти пожежної небезпеки локальної території довільного масштабу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2018 рік. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v--Ukrayini-za-2015-rik.html>
2. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Клепко Е.А. и др. Основы теории пожарных рисков и ее приложения. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 192 с.
3. Постанова Кабінету Міністрів України №715 від 5 вересня 2018 року «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки Державною службою з надзвичайних ситуацій». Київ 2018. 9 с.
4. Хайкин С. Нейронные сети. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с.
5. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. М.: Финансы и статистика, 2004. 176 с.
6. Андронов В.А., Дівізінюк М.М., Калугін В.Д., Тютюнник В.В. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні: Монографія. Х.: НУЦЗУ, 2016. 319 с.
7. Chuvieco E., Aguado I., Jurdao S., Pettinari M. L. et al. Integrating geospatial information into fire risk assessment. *International Journal of Wildland Fire*, 2014. pp. 1 – 15.
8. Martí'nez J., Vega-García C, Chuvieco E. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management*. № 90. 2009. pp. 1241–1252.
9. Venkatesh K., Puneet K. and Muhammad M. Rafi. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. *PSU Research Review: An International Journal*. Vol. 4. No. 1, 2020. pp. 1-23.
10. Рогозін А.С., Хоменко В.С., Райз Ю.М. Розподіл регіонів України за рівнем реалізації загроз природного, техногенного та соціально-політичного характеру. Проблеми надзвичайних ситуацій. Випуск 16, 2012. С. 95 – 106.
11. Наказ МВС України від 07.10.2014 № 1032 «Про затвердження Порядку організації внутрішньої, гарнізонної та караульної служб в органах управління і підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту Державної служби України з надзвичайних ситуацій» Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 04 грудня 2014 р. за № 1563/26340.

12. Тютюник В.В. Нейромережеве прогнозування залежності рівня техногенної небезпеки регіонів України від умов життєдіяльності. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. № 1(18). С. 191–196.

Kustov M.V., Tiutiunik V.V., Fedoryaka O.I.

The fire safety level assessment of the local territory

Factors influencing the level of fire danger of the local territory of any scale up to and including the object are identified and classified. An approach to assessing the level of fire danger in the local area by ranking the danger in accordance with the necessary forces and means to eliminate the fire is proposed. To assess the level of fire danger in the local area, taking into account the whole array of factors, the use of neural network technologies is proposed. Based on the multilayer perceptron neural network, a prognostic model of the influence of the main parameters of fire danger of the object on its level of fire danger is obtained. The use of neural network technologies allowed to take into account the integrated risk factors of different physical nature and to obtain the results of calculations in level form. The adequacy of the constructed mathematical model was checked by comparing the statistics on fires at the facilities and the results of the assessment of the level of fire danger for these facilities.

Keywords: fire hazard factors, local area, level of danger, risk, neural network, ranking of territories.

Кустов М.В., Тютюник В.В., Федоряка А.И.

Оценка уровня пожарной опасности локальной территории

Определены и классифицированы факторы, влияющие на уровень пожарной опасности локальной территории произвольного масштаба до объекта включительно. Предложен подход оценки уровня пожарной опасности локальной территории путем ранжирования опасности в соответствии с необходимыми силами и средствами для ликвидации пожара. Для проведения оценки уровня пожарной опасности локальной территории с учетом всего массива факторов предложено использование нейросетевых технологий. На основе многослойной перцептронной нейросети получено прогностическую модель влияния основных параметров пожарной опасности объекта на его уровень пожарной опасности. Использование нейросетевых технологий позволило интегрировано учесть факторы опасности различной физической природы и получить результаты расчетов в уровневом виде. Адекватность построенной математической модели проверено путем сравнения статистических данных по пожарам на объектах и результатов оценки уровня пожарной опасности для этих объектов. Свойства полученной нейросети позволяют постепенно повышать точность расчета за счет самообучения нейросети при добавлении новых статистических данных.

Ключевые слова: факторы пожарной опасности, локальная территория, уровень опасности, риск, нейросеть, ранжирование территорий.