



МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ  
УКРАЇНСЬКОЮ, АНГЛІЙСЬКОЮ,  
ПОЛЬСЬКОЮ МОВАМИ

## ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

*Всеукраїнської науково-практичної  
конференції з міжнародною участю*

### АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ

*Львів – 2022*

#### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

- Голова:** **Мирослав КОВАЛЬ** – ректор Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, доктор педагогічних наук, професор
- Заступники голови:** **Андрій КУЗИК** – завідувач кафедри екологічної безпеки, доктор сільськогосподарських наук, професор  
**Андрій ЛИН** – начальник навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУ БЖД, к.т.н., доцент
- Члени оргкомітету:** **Ігор БРЕГІН** – начальник управління запобігання надзвичайним ситуаціям ГУ ДСНС України у Львівській області;  
**Петро ГАЩУК** – д.т.н., професор, завідувач кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки ЛДУ БЖД;  
**Сергій СМЕЛЬЯНЕНКО**, к.т.н., начальник відділу організації науково-дослідної діяльності ЛДУ БЖД;  
**Андрій КАЛИНОВСЬКИЙ** – к.т.н., доцент, начальник кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки НУЦЗ України;  
**Василь КОВАЛИШИН** – д.т.н., професор, завідувач кафедри ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій ЛДУБЖД;  
**Андрій КУШНІР** – к.т.н., доцент, доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;  
**Василь ЛУЩ** – к.т.н., доцент, заступник начальника кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт ЛДУ БЖД;  
**Ігор МАЛАДИКА** – к.т.н., доцент, начальник факультету оперативнорятувальних сил Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України;  
**Борис МИХАЛЧКО** – д.х.н., професор, завідувач кафедри фізики та хімії горіння ЛДУ БЖД;  
**Олег НАЗАРОВЕЦЬ** – к.т.н., доцент, заступник начальника кафедри аналітично-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;  
**Олег ПАЗЕН** – к.т.н., начальник кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;  
**Іван ПАСНАК** – к.т.н., доцент, заступник начальника навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУБЖД з навчально-наукової роботи;  
**Андрій САМЛЮ** – к.ю.н., доцент, т.в.о. начальника кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту ЛДУ БЖД;  
**Тарас ШНАЛЬ** – д.т.н., доцент, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів НУ «Львівська політехніка»

**ОРГАНІЗАТОР  
ТА ВИДАВЕЦЬ**

Львівський державний університет  
безпеки життєдіяльності

**Технічний редактор,  
комп'ютерна верстка**

Беседа А.В.

**Друк на різнографі**

Петролюк Н.І.

**Відповідальний за друк**

Фльорко М.Я.

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:**

ЛДУ БЖД, вул. Клепарівська, 35,  
м. Львів, 79007

**Контактні телефони:**

(032) 233-24-79,  
тел/факс 233-00-88

**Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення:** Зб. наук. праць Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Львів: ЛДУ БЖД, 2022. – 550 с.

Збірник сформовано за науковими матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «**Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення.**»

**Збірник містить матеріали таких тематичних секцій:**

- Організація та забезпечення пожежної і техногенної безпеки.
- Системи протипожежного захисту.
- Теоретичні основи виникнення, розвитку та припинення процесів горіння.
- Організація гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій.
- Технічні засоби запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій.
- Менеджмент безпеки.

© ЛДУ БЖД, 2022

Здано в набір 04.03.2022. Підписано до друку  
18.03.2022. Формат 60x84<sup>1/3</sup>. Папір офсетний.  
Ум. друк. арк. 23,5.

Гарнітура Times New Roman.

Друк на різнографі. Наклад: 100 прим.

Друк: ЛДУ БЖД

вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

ldubzh.lviv@dsns.gov.ua

За точність наведених фактів, економіко-статистичних та інших даних, а також за використання відомостей, що не рекомендовані до відкритої публікації, відповідальність несуть автори опублікованих матеріалів. При передруковуванні матеріалів посилання на збірник обов'язкове.

УДК 614.842.47

## АПРОКСИМАЦІЯ КРИВОЇ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОЖЕЖІ НЕЙРОННОЮ МЕРЕЖЕЮ

**Кушнір А.П.**, кандидат технічних наук, доцент

**Вовк С.Я.**, кандидат технічних наук, доцент

**Львівський державний університет безпеки життєдіяльності**

Для відображення залежності “стандартної” температури пожежі від часу використовують аналітичну модель пожежі. Її ще називають стандартною розрахунковою кривою “температура-час”. За нормами стандартний температурний режим пожежі математично записують у вигляді [1, 2]:

$$\Theta_g(t) = 345 \lg(8t + 1) + 20$$

де,  $\Theta_g$  – температура газу в печі,

$C$ ;  $t$  – тривалість теплового впливу протягом вогневого випробування, хв.

Стандартний температурний режим відображає умовну модель. Крива температура-час є лише спрощеним представленням термічної дії пожежі. Вона відображає збільшення температури всередині приміщення, навіть після того, коли всі горючі матеріали знищені і не враховує типу пожежного навантаження, різних умов горіння, геометрії приміщення, наявної різноманітних системи. Ця крива використовується при випробуваннях у вогневих печах.

В результаті аналізу теоретичних та практичних досліджень пожеж автор в роботі [3] зазначає, що розрахункові режими реальної пожежі мають суттєво нижчі температури за стандартний температурний режим і різниця може складати від 400 °С до 800 °С. Це пояснюється врахуванням типу пожежного навантаження, геометрії його розташування, геометрії та положення прорізів, наявної вентиляції, наявної системи автоматичного пожежогасіння. В роботі [3] були отримані дані про температурні режими розвитку пожеж з врахуванням коефіцієнту, прорізів ( $O$ ) та щільності пожежного навантаження ( $q_{t,d}$ ). Максимальна середньооб’ємна температура пожежі рівна:

$$\Theta_{e_{\max}} = k_{m\theta} \cdot k_{\theta} \cdot (384.587 + 17281 \cdot 1 \cdot O + 0.218 \cdot q_{t,d} + 1.196 \cdot O \cdot q_{t,d})$$

де,  $k_{m\theta}$ ,  $k_{\theta}$  – коефіцієнти для визначення параметрів пожежі.

Час досягнення максимальної середньооб’ємної температури:

$$t_m = k_{mt} \cdot k_{\theta t} \cdot (101.211 + 1947.368 \cdot O + 0.1933 \cdot q_{t,d} + 3.1898 \cdot O \cdot q_{t,d}),$$

де,  $k_{mt}$ ,  $k_{\theta t}$  – коефіцієнти для визначення параметрів пожежі.

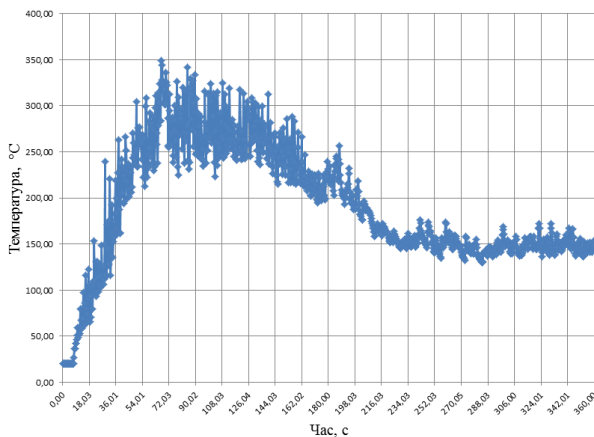
Тривалість пожежі:

$$\tau_m = k_{m\tau} \cdot k_{\delta\tau} \cdot (33.576 + 160.287 \cdot O + 2.552 \cdot q_{t,d} + 0.236 \cdot O \cdot q_{t,d}),$$

де:  $k_{m\tau}$ ,  $k_{\delta\tau}$  – коефіцієнти для визначення параметрів пожежі.

Розроблена математична модель температурних режимів розвитку пожеж порівнювалася з результатами моделювання повномасштабних випробувань та з результатами комп'ютерного моделювання у програмному середовищі Fire Dynamics Simulator (FDS), розробленою Інститутом стандартизації Сполучених Штатів Америки. Результати досліджень показали, що відносна похибка, визначена при порівнянні експериментальних та розрахункових даних, не перевищує 28%, а середньоквадратичне відхилення не перевищує 51 °С. Це означає, що математичні моделі реалізовані у програмному середовищі Fire Dynamics Simulator достатньо точно відображають температурні режими розвитку пожеж в приміщеннях.

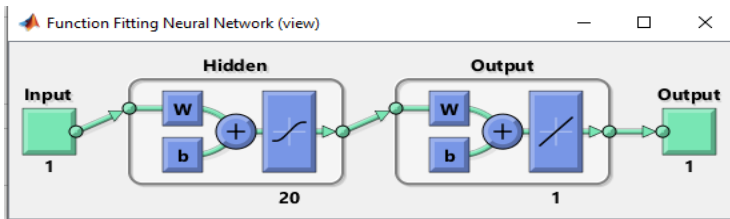
В програмному середовищі FDS змодельовано, як змінюється температура в приміщенні кабінету при пожежі. Програма FDS працює на платформі інтерфейсу PyroSim. FDS це польова модель за допомогою якої можна моделювати поширення диму, температури, чадного газу та інших небезпечних факторів під час пожежі. В програмному середовищі FDS можна задавати різні приміщення з різним пожежним навантаженням. З бази даних виберемо приміщення кабінету. Оскільки згідно ДБН В.2.5-56:2014 [4] максимальна відстань між тепловими ПС та ПС і стіною повинна бути не більше 7 м, та не більше 3,5 м, тому приймаємо розмір приміщення 7×7 м і висоту приміщення 3 м. На рис. 1 показано результати моделювання температурного режиму пожежі.



**Рисунок 1** – Температурний режим пожежі в приміщенні кабінету

Для моделювання нейронних мереж в програмному середовищі MATLAB було розроблено пакет Neural Network Start GUI, який служить засобом, що допомагає користувачам розвивати методи проектування і розширювати область застосування нейронних мереж.

Апроксимуємо криву температури пожежі від часу (рис. 1) за допомогою нейронної мережі. Структура нейронної мережі, яка застосовується для апроксимації температурного режиму пожежі показана на рис. 2. Вхідними даними є значення часу, а вихідними даними є значення температури в місці встановлення ПС.



**Рисунок 2** – Структура нейронної мережі

Вагові коефіцієнти та зміщення між шарами нейронної мережі були отримані шляхом навчання в інтервалах навчального набору. 1001 набір даних про пожежу були випадковим чином розділені на три підмножини (види зразків): навчальні, валідаційні (перевірка) та тестові набори. Для навчання моделі використовується навчальний набір і мережа коригується відповідно до її похибки. Валідація використовується для вимірювання результатів мережі та для припинення навчання, коли результат перестає покращуватися. Тестовий набір не впливає на навчання, тому використовується (забезпечується) незалежне вимірювання оцінки продуктивності мережі під час і після навчання. Співвідношення наборів для навчання, валідації та тестування становили 90%, 5% та 5%.

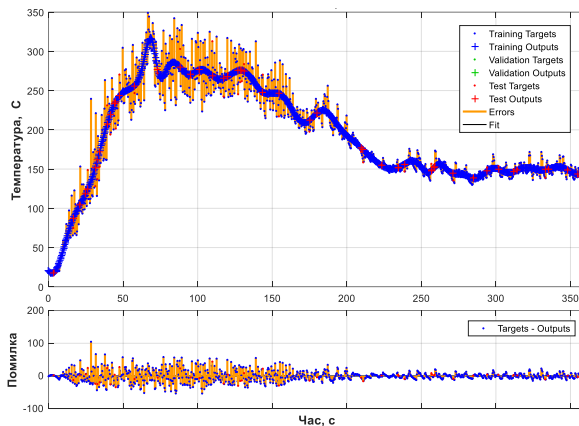
Після встановлення відсотків для формування даних для тренування та тестування вибираємо архітектуру нейромережі (fitnet). Архітектура мережі складається з опису того, скільки шарів має мережа, кількості нейронів у кожному шарі, виду функції активації кожного шару й інформації про з'єднання шарів.

Більша кількість нейронів у прихованих шарах забезпечує більшу продуктивність мережі. Однак збільшення кількості нейронів у прихованих шарах збільшує час навчання і подальше збільшення їх кількості не покращує її продуктивність. Для досягнення найкращого результату апроксимації кривої температурного режиму пожежі у цьому дослідженні кількість нейронів прихованого шару було визначено під час навчання нейронної мережі.

Навчання нейромережі здійснюємо за рахунок закладених алгоритмів навчання в пакет Neural Network Start GUI. Для оцінки продуктивності використаних алгоритмів під час апроксимації кривої були використані деякі показники ефективності алгоритмів, а саме, середньоквадратичну помилку (MSE) і регресію (R). Чим менше значення середньоквадратичної помилки, тим вище точність нейронної мережі. Це показує, що нейронна мережа відповідає вимогам високої точності.

Найкращий результат навчання нейронної мережі забезпечує алгоритм навчання Bayesian Regularization. Алгоритм навчання Bayesian Regularization зазвичай вимагає більше часу, але може забезпечити хороший результат для складних, малих або шумних наборів даних. Навчання припиняються відповідно до адаптивної мінімізації ваги (регуляризації).

На рис. 3 показано результати апроксимації кривої температурного режиму пожежі змодельованою нейронною мережею. Нейронну мережу навчали алгоритмом Bayesian Regularization, який забезпечує найкращий результат з кількістю нейронів 20.



**Рисунок 3** – Результати апроксимації кривої залежності температури від часу під час пожежі в приміщенні кабінету змодельованою нейронною мережею

Як видно з рис. 3 нейронна мережа відтворює криву температурного режиму пожежі з достатньою точністю. Середньоквадратична помилка навчання рівна  $MSE = 278,599$ , а регресія  $R = 0,9673$ ; валідації  $MSE = 0$ ,  $R = 0$ ; тест  $MSE = 250,052$ ,  $R = 0$ .

### Література

1. Башинський О.І., Пелешко М.З., Пазен О.Ю., Бережанський Т.Г. Вплив температурних режимів пожеж на вогнестійкість будівельних конструкцій. Пожежна безпека : Збірник наукових праць. 2017. №31. С.6-10.

2. ДСТУ Б В.1.1-4-98\*. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Зі зміною № 1. [Чинний від 2006-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держбуд України, 1999. 30 с.

3. Шналь Т.М. Розвиток наукових основ розрахункової оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій за умов впливу параметричних температурних режимів пожеж: дис. ... д-ра техн. Наук : 21.06.02. Львів, 2019. 394 с.

4. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. Зміна №1. [Чинний від 2019-11-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 19 с.