

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра електрифікації, автоматизації  
виробництва та інженерної екології  
Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Єфімов Олександр Миколайович**

**УДК 620.93**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Обґрунтування моделей та алгоритмів аналізу пожежних ризиків небезпек  
електроустановок на основі нейронних мереж**

**141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”**  
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

**Палійчук В.К.**

к.т.н., доцент

**Житомир – 2023**

## АНОТАЦІЯ

**Єфімов Олександр Миколайович. Обґрунтування моделей та алгоритмів аналізу пожежних ризиків небезпек електроустановок на основі нейронних мереж.** – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В даній кваліфікаційній роботі запропоновано нове рішення актуального науково-технічного завдання, яке полягає у забезпеченні умов пожежної безпеки під час експлуатації сільських електроустановок на основі створення експертної системи підтримки прийняття рішень у поєднанні з нейронними мережами.

Обґрунтовано концепцію багаторівневого аналізу людино-машинної системи в умовах стохастичної невизначеності, проаналізовано механізм формування пожежного ризику в процесі експлуатації електроустановок на виробничому об'єкті. Ризик представлений у вигляді імітаційної моделі взаємодії компонентів людино-машинної системи (персоналу, електроустановки та виробничого середовища), між якими встановлені інформаційні та енергетичні зв'язки. Застосування імітаційного моделювання при оцінці пожежного ризику показало, що розроблений експертно-програмний комплекс є основою створення інтелектуальної системи прийняття рішень у предметній галузі, що розглядається.

Розроблено прикладне програмне забезпечення, що автоматизує процес оцінки пожежних ризиків та розрахунки на основі імітаційної моделі, що дозволяє видавати рекомендації щодо покращення стану пожежного ризику.

*Ключові слова:* електроустановка, алгоритм, нейрона мережа, пожежний ризик, модель.

## ANNOTATION

**Efimov Oleksandr Mykolayovych. Substantiation of models and algorithms for analyzing fire risks of electrical installations hazards based on neural networks. – Qualification work on the rights of the manuscript.**

Qualifying work for the bachelor's degree in the specialty 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics". – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In this qualification work, a new solution to the actual scientific and technical task is proposed, which is to ensure fire safety conditions during the operation of rural electrical installations based on the creation of an expert decision support system in combination with neural networks.

The concept of multilevel analysis of a human-machine system under stochastic uncertainty is substantiated, the mechanism of fire risk formation during the operation of electrical installations at a production facility is analyzed. The risk is presented in the form of a simulation model of the interaction of components of a human-machine system (personnel, electrical installation and production environment), between which information and energy links are established. The use of simulation modeling in the assessment of fire risk has shown that the developed expert software system is the basis for creating an intelligent decision-making system in the subject area under consideration.

Application software has been developed that automates the process of fire risk assessment and calculations based on the simulation model, which allows issuing recommendations for improving the state of fire risk.

*Keywords: electrical installation, algorithm, neural network, fire risk, model.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДИК ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ У ЗАДАЧАХ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ПОЖЕЖНИХ РИЗИКІВ.....	8
РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ТА ЕКСПЕРТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ОЦІНКИ ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ І ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАХОДІВ ТЕХНОГЕННОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ОБ'ЄКТА.....	15
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОЖЕЖНИХ РИЗИКІВ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ОБ'ЄКТА.....	30
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Нині в усіх галузях народного господарства активно експлуатуються технічні пристрої та електроустановки (ЕУ). Однак, поряд з усіма позитивними сторонами їхнього застосування, вони також є джерелами пожежної небезпеки, тому контроль їхнього технічного стану є найважливішим напрямом досліджень.

До основних причин, що зумовлюють вкрай високу небезпеку пожежної обстановки в сільському господарстві, слід відносити критичний ступінь зношеності електрообладнання та внутрішніх електричних мереж (електропроводок), спричинений електричними, тепловими та механічними перевантаженнями струмопровідних, ізоляційних і конструкційних елементів електроустановок. Сюди слід віднести також помилки і прийняття неправильних рішень персоналом, який експлуатує електрообладнання виробничого об'єкта, а також негативний вплив факторів робочого середовища, що призводить до прискореного старіння установки та її відмов. Як наслідок впливу коротких замикань, перевантажень, витік струму та несправні елементи установки підвищують ризик виникнення пожеж.

Згідно з офіційними даними із загальної кількості пожеж від короткого замикання електропроводки, перевантаження проводів, кабелів припадає близько 70%, від електроосвітлювальних приладів - 12%, від несправностей електричних вимикачів і розеток - 5%, від неполадок в електроцитах - 4%.

Вирішальний вплив на процес розвитку пожежі та заподіяної нею шкоди справляє фактор часу. Причому йдеться тут не тільки про матеріальні збитки, а й про моральні втрати, спричинені загибеллю людей (приблизно 90% від загальної кількості травм із летальним результатом).

Чинна нормативна база передбачає періодичне вимірювання опору ізоляції технічного електрообладнання, проводки кабелів (один раз на два роки) і можливий контроль електроустановок, що є явно недостатнім. Згідно з ДСТУ

Р 12.1.009-2009 допустимий рівень пожежної небезпеки для людей має бути не більше ніж  $1 \times 10^{-6}$  впливу небезпечних чинників пожежі, що перевищують гранично допустимі значення, за рік з розрахунку на кожну людину.

В умовах недостатності даних персоналу, який здійснює експлуатацію електроустановок, доводиться ухвалювати інтуїтивні рішення щодо запобігання аварійним ситуаціям.

Таким чином, наявні нормативно-технічні акти та методика оцінки пожежного стану виробничого об'єкта і прогнозування наслідків слабо пов'язані та не об'єднані в єдину систему, що знижує ефективність і своєчасність ухвалення управлінських рішень щодо запобігання пожежним ризикам. Проблемна ситуація полягає в тому, що, з одного боку, існує необхідність проведення оцінювання та прогнозування пожежної небезпеки електроустановок виробничого об'єкта, а з другого - наявні знання та механізми зародження й ідентифікації техногенних ризиків в умовах інформаційної невизначеності, відсутність необхідної методичної бази не дають змоги створити ефективну систему оцінювання пожежної безпеки в сільському господарстві.

**Метою роботи** є підвищення рівня пожежної безпеки під час експлуатації сільських електроустановок на основі створення експертної системи, що дає змогу в умовах інформаційної невизначеності здійснити розрахунок і прогнози щодо зниження пожежних ризиків.

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити такі завдання:

- Обґрунтувати концепцію діагностування пожежних ризиків і розробити функціональну структуру експертно-програмного комплексу.

- Розробити методику побудови інтелектуального експертно-програмного комплексу для підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності вихідних і поточних даних.

**Об'єкт дослідження:** пожежна безпека електроустановок об'єктів АПК.

**Предмет дослідження:** закономірності утворення та ідентифікації пожежних ризиків у процесі функціонування ЛМС "Л-Е-С".

**Перелік публікацій за темою роботи:**

1. **Єфімов О.М.** Принципи імітаційного моделювання процесу виникнення пожежної ситуації в електроустановках виробничого об'єкта. Збірник тез IX-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. м. Житомир, 5 квітня 2023 року. Житомир : ЖАТФК, . С. 288-290.

2. Палійчук В. К., **Єфімов О. М.** Розроблення автоматизованої системи діагностування та прогнозування пожежних ризиків електроустановок сільськогосподарського об'єкта. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науковопедагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. С. 155-258.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичній інтерес для аграрних підприємств має розроблена експертна системи, що ґрунтується на знаннях, інтуїції та досвіді фахівців, які володіють високою кваліфікацією в предметній області, а також в алгоритмі розрахунку пожежних ризиків небезпеки електроустановок, заснованому на використанні нейронних мереж.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 40 сторінок комп'ютерного тексту, містить 10 рисунків та 4 таблиці.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ МЕТОДИК ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ У ЗАДАЧАХ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ПОЖЕЖНИХ РИЗИКІВ

Розрахунок пожежного ризику електроустановки є багатопараметричним завданням, під час розв'язання якого необхідно враховувати значну кількість чинників, деякі з яких можуть, на перший погляд, бути незначними, але впливати на ймовірність виникнення пожежі, у зв'язку з цим розв'язання поставленого завдання здійснюється в умовах невизначеності. Для розв'язання такої задачі необхідний ретельний аналіз можливих варіантів рішень і обґрунтований вибір найбільш підходящого.

Нині застосування математичних методів до аналізу даних є одним із провідних напрямів досліджень у зв'язку з накопиченням дуже великих обсягів статистичних даних і можливості автоматизації їхнього опрацювання із застосуванням сучасних програмних продуктів.

У відомій роботі моделювання ЛМС "Л-Е-С" проводилося на основі формування експертної системи діагностики технічного стану електроустановки для визначення її залишкового ресурсу. Розрахунки проводили за допомогою програмного модуля, який здійснював попереднє опрацювання вихідних даних із подальшим формуванням бази знань і побудовою на її основі стохастичної моделі, що поєднує в собі як імовірність небезпечної події, так і її наслідки - соціальні, матеріальні та екологічні збитки.

У цій роботі розрахунок інтегрального значення пожежного ризику проведено на основі ймовірнісних оцінок (частот) небезпечних подій з подальшим аналізом результатів і спрямований на оцінку збитків (втрат). При цьому оцінка збитку наводиться в грошовому еквіваленті, що не завжди можливо. Наприклад, важко оцінити в натуральному вираженні збиток від травм або загибелі співробітників.



Відома також робота, де імітаційну модель функціонування ЛМС "Л-Е-С" представлено чотирирівневою структурою, в якій в основі розробленого методу лежить концепція аналізу і синтезу трирівневої ієрархії ЛМС "Л-Е-С". Алгоритм розв'язання слабоструктурованої задачі містить багатоетапну процедуру побудови та аналізу матриць попарних порівнянь критеріїв і альтернатив за допомогою експертних суджень, синтез пріоритетів і вибір оптимальної альтернативи або ранжування їх за ступенем значущості. Розроблено метод оптимізації ризиків, який реалізується експертною системою за допомогою програмних засобів для проведення чисельних розрахунків. У цій роботі розглянуто взаємозв'язки критеріїв і на їхній основі обчислюється значення інтегрального ризику. Однак не розглянуто застосування нейронних мереж, які здатні виявляти неявні взаємозв'язки між компонентами.

Відома робота, де розроблено метод оцінки залишкового ресурсу, що дає змогу за допомогою нечіткої логіки прогнозувати технічний стан ЕП за діагностичними параметрами до досягнення їхніх критичних значень.

У наступній роботі обґрунтовано застосування штучних нейронних мереж під час розроблення інтелектуальної системи підтримки ухвалення рішень у сфері управління пожежною безпекою з метою усунення похибки під час розрахунку пожежних ризиків. Однак у цьому дослідженні як об'єкт виступають резервуари на підприємствах нафтопереробної промисловості.

Однак, у випадках, коли дані про об'єкт неповні та їх збирання пов'язане зі значними часовими та матеріальними витратами, доцільним є застосування експертних систем.

Експертна система - комплекс методів, який на основі знань експертів дає змогу розв'язувати неформалізовані завдання. Здебільшого експертні системи застосовують під час розроблення програмних продуктів для розв'язання неформалізованих задач, які не мають розв'язку в чисельному вигляді, для яких неможливе виокремлення цільової функції або певного алгоритму для

розв'язання задач, які потребують значних витрат часу та обчислювальних потужностей.

Розрахунок пожежного ризику є складним і багатофакторним завданням. Його компоненти залежать від досліджуваного об'єкта та бажаного результату. Завдання управління пожежною безпекою подано на рис. 1.1.

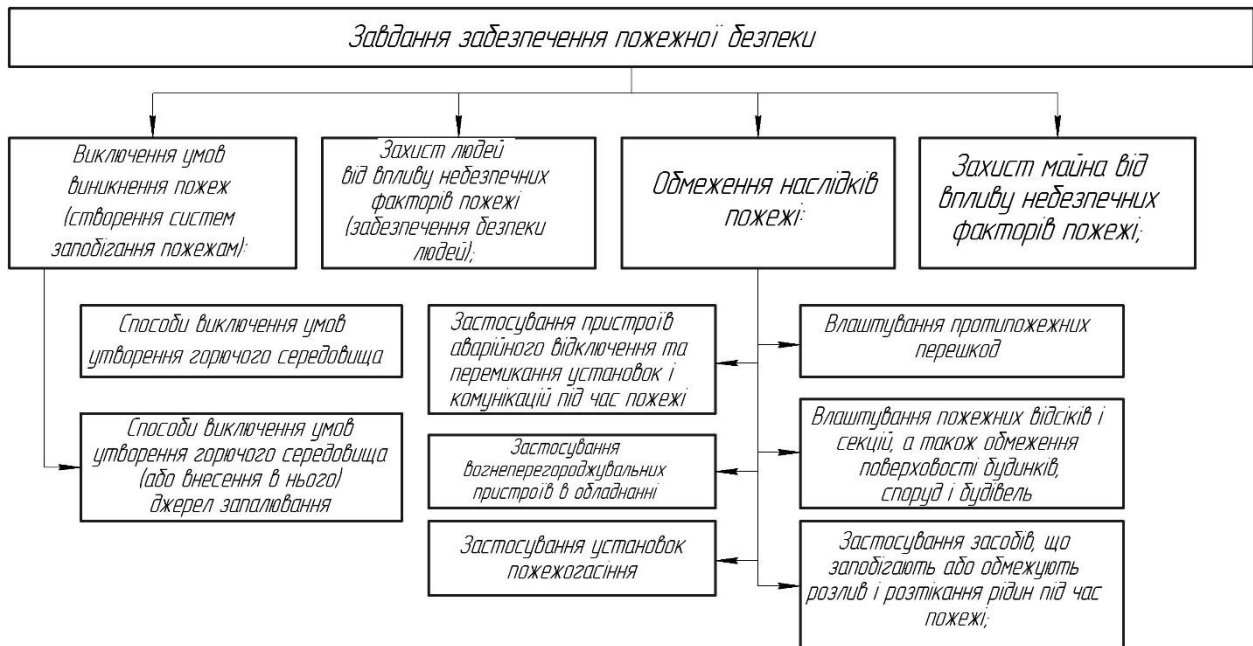


Рис. 1.1. Завдання управління пожежною безпекою

Кожне з представлених завдань може бути представлено у вигляді математичної моделі, що містить вхідні, вихідні параметри, їхню взаємодію та алгоритми перетворення. Їх розв'язання може базуватися на різних методиках, таких як класифікація, кластеризація, асоціація, послідовність, прогнозування (регресія).

#### *Метод експертних оцінок.*

Методи експертних оцінок базуються на алгоритмізації знань фахівців у галузі. Цей тип досліджень ґрунтується на вивченні експертами об'єктів і описі його стану в якісному або кількісному виразах.

Нині експертні системи (ЕС) широко використовують для отримання даних, з яких формуються бази знань, дані з яких потім обробляються різними методами штучного інтелекту, що являє собою автоматизацію проведення оцінювання інформаційною системою, навченою на знаннях експерта.

Формалізація знань відбувається двома методами: індуктивним і дедуктивними.

Індуктивний метод заснований на аналогії. На основі даних, витягнутих з експерта, виявляються залежності, з яких створюється імітаційна модель, на основі якої можна проводити експерименти та обчислення без подальшого залучення експертів.

Під час використання дедуктивного методу необхідний збір великої кількості інформації, для яких на основі запитів формується система правил виведення, які є основою бази знань системи.

Під час створення експертної системи основним завданням є формування такої структури знань, яка в результаті своєї роботи здатна видати найбільш достовірні результати. Не менш важливим є інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, щоб із програмою мали змогу працювати не тільки фахівці, а й люди, які не мають спеціальних знань в інформаційних технологіях. У зв'язку з цим, завдання створення експертних систем розбивається на дві підзадачі: створення оптимальної і найбільш працездатної структури знань і розробка інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу.

Розглянемо найпоширеніші методи, що застосовуються на сьогоднішній день:

*Аналіз застосування нейромережевих технологій для вирішення завдань оцінювання.*

Нейронні мережі (НМ) є одним із методів штучного інтелекту і базуються на математичній структурі, що імітує роботу нейронів. Вони мають здатність до розв'язання неформальних задач, можуть виробляти алгоритми для систематизації та кластеризації інформації, на основі сформованих ними часових рядів можна генерувати рекомендації щодо вдосконалення системи та прогнози її розвитку. Основною особливістю нейронних мереж є їхня здатність до самостійної формалізації даних і побудови моделей на основі навчальної вибірки - даних про поведінку об'єкта в минулому.

Неймережі широко використовуються для неформалізованих завдань, у яких немає чітко ідентифікованих алгоритмів, також вони дають можливість легкого доналаштування і донавчання системи. Цей метод ґрунтується на імітації нейронів у людському мозку, який здатний на паралельну обробку інформації та вибудовування нових взаємозв'язків. "Штучна нейронна мережа може розглядатися як спрямований граф зі зваженими зв'язками, в якому штучні нейрони є вузлами".

Процес навчання нейронних мереж полягає в підстроюванні синаптичних ваг. Складність як розв'язуваної задачі, так і відтвореної функції, що розв'язуються з використанням багатошарового перцептрона (рис. 1.2), сильно залежать від кількості шарів мережі, нейронів і зв'язків між ними.

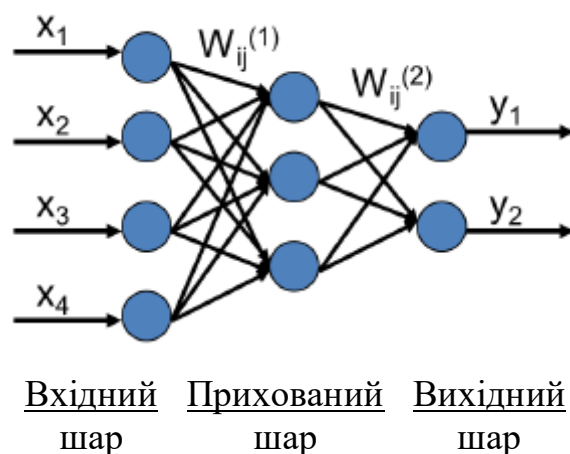


Рис. 1.2. Багатошаровий перцептрон

Штучна нейронна мережа (ШНМ) має такі особливості, що дають змогу знайти цьому методу широке застосування:

1. Високий паралелізм роботи, швидкодія.
2. Висока надійність і стійкість до відмов окремих елементів, перешкод і руйнувань.
3. Робота системи на основі навчальних прикладів, а не побудованого заздалегідь алгоритму.
4. Можливість побудови різних моделей і варіацій навчальної вибірки.

5. Наявність регуляризувальних властивостей нейромережевої моделі та можливості адаптивної кластеризації даних.

6. Здатність до самонавчання, можливість високої автоматизації процесів формування моделі, навчання, донавчання, адаптивного налаштування на проблемну сферу, безперервного навчання в процесі експлуатації.

7. Хороша інтерпретованість результатів нейромережевого моделювання.

Під час використання нейромережевого підходу важливим є збір навчальних даних, який являє собою набір прикладів для навчання мережі.

Сформовану із прикладів вибірку використовують для навчання нейронної мережі. Навчання та налаштування мережі відбувається виходячи з цілей і завдань розроблення моделі та дає змогу проводити не тільки первинне навчання, про успішність якого можна судити за значеннями помилки навчання і тестування, а й донавчати систему, у разі отримання нових даних.

Після навчання йде етап верифікації та тестування, в рамках якого перевіряється рівень точності навченої мережі та її здатність видавати адекватні дані.

Схематично весь процес навчання та використання нейромережі представлено на рис. 1.3.

Метод нейронних мереж також має низку переваг перед іншими методами оброблення знань, зокрема, основною його особливістю є здатність до самонавчання, за якої немає необхідності залучення експертів для подальшої модифікації системи або побудови та перегляду чітких математичних алгоритмів (рис. 1.3).

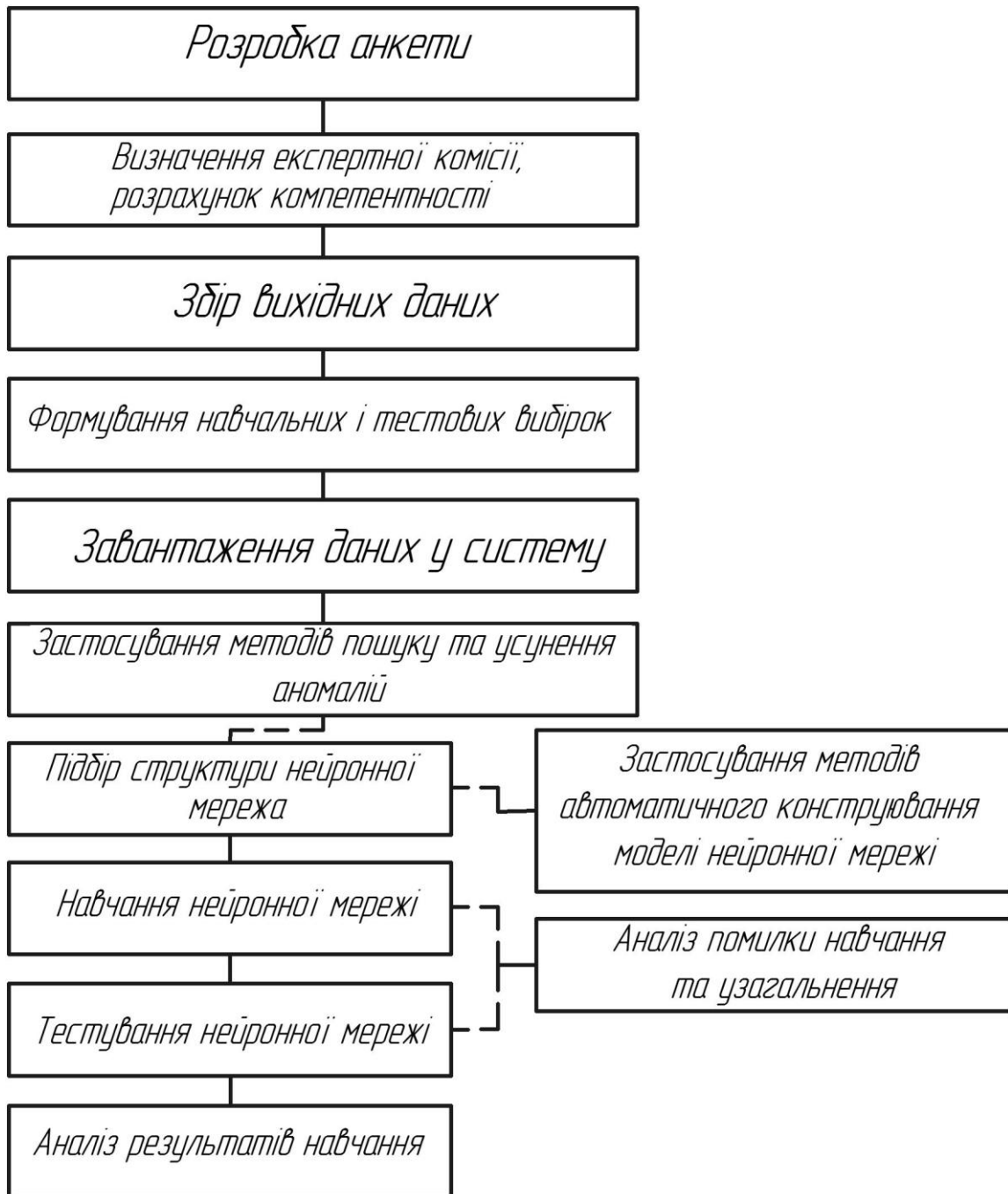


Рис. 1.3. Етапи налаштування експертної системи на основі нейронних мереж

Одним із недоліків нейронної мережі є потреба в досить великій кількості навчальних прикладів.

## **Висновки по розділу**

У розглянутій людино-машинній системі експертами визначено 42 параметри, що вимагає понад 1000 навчальних прикладів для якісного навчання нейромережі, збір такої кількості даних є дуже трудомістким завданням, що розв'язується за допомогою різних методів математичної статистики.

## РОЗДІЛ 2

### ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ТА ЕКСПЕРТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ОЦІНКИ ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ І ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАХОДІВ ТЕХНОГЕННОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ОБ'ЄКТА

Імітаційне моделювання у застосуванні до розрахунку можливості виникнення пожежної ситуації на електроустановці ґрунтується на заміні натурних випробувань моделлю, яка з достатньою точністю описує реальну систему, на основі якої можливе проведення експериментів з метою отримання інформації про поведінку електроустановки, що розглядається, у різних ситуаціях. Таку модель потрібно побудувати з урахуванням різних чинників, наприклад часових, як для одного випробування, так і заданої їхньої множини. При цьому результати визначатимуться випадковим характером процесів. За цими даними можна отримати досить стійку статистику.

Основні принципи імітаційного моделювання:

Принцип інформаційної достатності - ґрунтується на наявності достатнього для проведення моделювання обсягу даних про об'єкт;

Принцип параметризації - заміна підсистем складної системи такими стандартними способами опису як масиви даних, графіки, формули;

Принцип множинності моделей - для повноти опису системи можливе розроблення декількох моделей, що описують різні аспекти роботи електроустановки;

Принцип агрегування - передбачає використання підсистем для опису моделювання системи;

Принцип здійсненності моделі - модель здійсненна, якщо

$$P(t) \geq P_0 \text{ \& } t \leq t_0 \quad (2.1)$$

де  $P_0$  - поріг імовірності досягнення мети моделювання  $P(t)$ ;  $t_0$  - межа часу досягнення мети.



Запобігання виникненню пожежонебезпечної ситуації на електроустановках базується на постійному контролі процесу роботи на всіх його етапах. Одним із найважливіших елементів контролю є аналіз технічного стану електроустановок, який має бути заснований з урахуванням усіх параметрів і сумарно давати узагальнений рівень пожежної небезпеки. Однак необхідно зазначити, що виокремлення абсолютно всіх параметрів, здатних вплинути на рівень пожежного ризику, є доволі важким у зв'язку з їхньою значною кількістю, а також неочевидністю цього впливу. Проведення натурних експериментів пов'язане зі значними матеріальними, іноді часовими, витратами, а також необхідністю виведення обладнання з виробничого режиму. Досить складним є застосування й аналітичних моделей, тут відіграє свою роль часовий фактор, наявність причинно-наслідкових зв'язків, нелінійність і невизначеність розв'язуваної задачі, а також стохастичність.

Нині для розрахунку пожежних ризиків застосовують кілька методик, однією з них є кількісні оцінки, які на основі математичних моделей проводять розрахунки, проте вони не можуть дати точного прогнозу для слабоструктурованої системи, якою і є людино-машинна система (ЛМС) «людин - електроустановка - середовище» («Л-Е-С»).

Тому за нестачі вихідних даних, їхньої неточності або зашумленості, оптимальним є створення імітаційної моделі, яка дає можливість використовувати весь набір наявних даних, незважаючи на їхню розрізненість і неоднорідність і дає змогу розглядати процеси в динаміці, а також має можливість гібридного застосування декількох методів обробки інформації.

Розглянемо методику побудови імітаційної моделі, яка включає етапи, представлені на рис. 2.1.

Розглянемо кожен з етапів створення імітаційної моделі.

Постановка задачі та її розв'язання за допомогою якісного аналізу.

Під час визначення цілей і завдань створення імітаційної моделі необхідно сформулювати основну проблему, сформулювати повний і

ненадлишковий список параметрів, що описує систему, і виявити їхні взаємозв'язки.

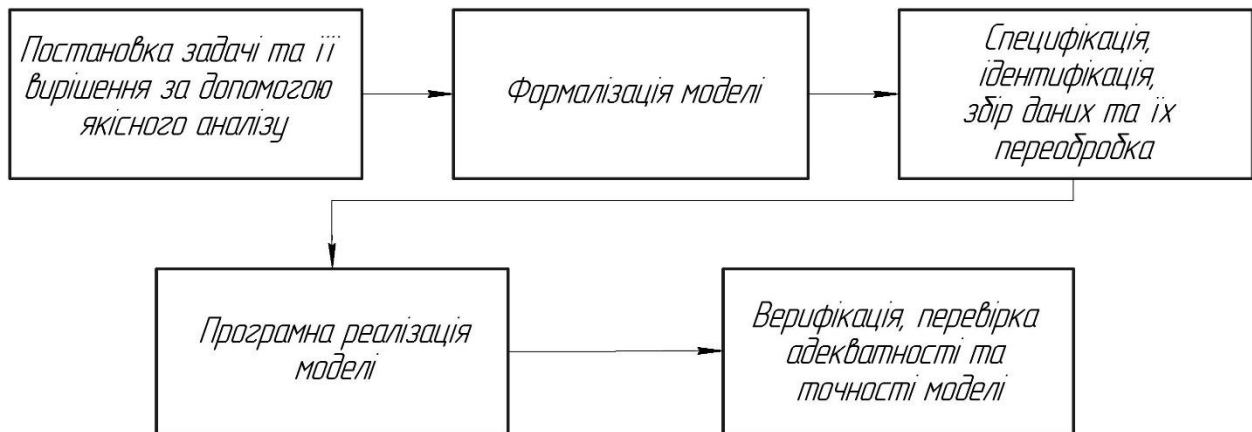


Рис. 2.1. Послідовність дій під час створення імітаційної моделі

Метою створення імітаційної моделі є розробка моделей діагностики пожежної безпеки електроустановок.

**Формалізація моделі.** На основі виявлених взаємозв'язків між показниками створюється концептуальна модель об'єкта. У межах формалізації моделі визначаються цільові функції розрахунку проміжних і підсумкового значення, після чого будується імітаційна модель електроустановки, що складається з формалізованих залежностей і що є алгоритмічним відображенням розглянутого об'єкта. Створена модель відображає основні аспекти системи відповідно до обраних цілей і завдань дослідження.

Розроблена програма заснована на використанні адаптивних моделей і методів, за допомогою застосування інтелектуальних методів розрахунку, зокрема нейронних мереж, дає змогу підвищити точність прогнозних значень.

Структурно програма складається з декількох модулів, інтерфейсу, за допомогою якого вводиться інформація про підприємства та обстежувані на них електроустановки, і програмного комплексу, що безпосередньо здійснює розрахунки.

Специфікація, ідентифікація, збір даних та їхнє попереднє опрацювання. Під час вибору параметрів, що складають систему показників, необхідно дотримуватися принципу ненадмірності та достатності. З цією метою

формується пул показників, що характеризують поточний стан електроустановки як ЛМС "Л-Е-С", з якого обирають ті, що мають найзначніший вплив на ймовірність виникнення пожеж.

На основі відібраних вхідних параметрів проведемо збір вихідних даних. Інформація про значення обраних показників отримується двома способами:

Перший: аналіз наявної статистичної інформації про об'єкт, результати натурних випробувань і експериментів, протоколи усунення неполадок і технічна документація електроустановки.

Другий: проведення експертизи поточного стану об'єкта. Інформація про стан електроустановки може бути отримана шляхом ресурсних або функціональних випробувань, які проводяться на основі натурних або модельних досліджень. Перевагу надають неруйнівним методам дослідження, які дозволяють не зупиняти експлуатацію обладнання. У випадках, коли це не є можливим, доцільним є проведення експериментів на прототипах об'єктів.

Отримання необхідної інформації може також ускладнювати її вигляд, наприклад, під час проєктування системи неможливо отримати дані шляхом проведення експериментів. Для таких даних доцільним є застосування знань експертів, які на основі загального аналізу ситуації можуть заповнити опитувальні листи зі значеннями необхідних параметрів.

У деяких випадках, коли на рішення впливають випадкові чинники, які складно ідентифікувати, виникає проблема з їхнім встановленням і формуванням взаємозв'язків між ними. Подібні стохастичні системи важко піддаються формалізації, однак у цьому разі використовують класичні методи математичної статистики, такі як метод кореляції, метод головних компонент тощо.

Програмна реалізація моделі - автоматизація розробленої математичної моделі шляхом написання програмного коду, що дозволяє проводити необхідні обчислення. Для цих цілей використовували мову програмування Python версії 3.7.4. і бібліотеки: scikit-learn, numpy, pandas, pickle, tkinter, pyinstaller.

Верифікація, перевірка адекватності та точності моделі. На цьому етапі провели тестування розробленої програми й отримали ступінь адекватності даних, які вона видає, рівень їхньої точності та відповідність поставленим завданням.

В основі методу ситуаційного управління та прогнозування лежить модель, що описує зв'язки між компонентами системи та їхній взаємний вплив на значення інтегрального пожежного ризику електроустановок.

З метою формування бази знань для навчання нейронної мережі було проведено збір даних про електроустановки ТОВ "Інтертех". Після чого експертам було запропоновано дати оцінку узагальненого пожежного ризику електроустановки на основі обраних параметрів.

Діапазон значень визначався експертами згідно з концепцією прийняттого ризику, відповідно до якої індивідуальний пожежний ризик  $R_f$  повинен становити не більше  $1 \times 10^{-6}$  -  $1 \times 10^{-4}$ .

Виділимо три групи ризиків, прийнятний ризик ( $[ \leq 1 \times (10^{-6}) ]$ ), допустимий ( $[ 1 \times (10^{-5}) ]$ ), неприйнятний ( $[ 1 \times (10^{-4}) ]$ ). Кожному з них поставлено у відповідність значення 1 - неприйнятний ризик, 2 - допустимий, 3 - неприйнятний. Після чого експерт виставляє узагальнену оцінку пожежної безпеки кожної електроустановки.

Для формування навчальної та тестової вибірки для нейронної мережі було обстежено 70 електроустановок підприємства машинобудування. На основі цих даних сформовано навчальну вибірку, що складається з 42 вхідних параметрів, які характеризують 70 електроустановок, і 1 вихідного параметра, що містить значення інтегрального пожежного ризику.

Застосування нейронних мереж для великої кількості параметрів (у нашому випадку 42) виправдане тільки за наявності великої навчальної вибірки. Обстеження значної (близько 1000 і більше) кількості електроустановок є трудомістким і складним, тому було ухвалено рішення застосувати методи, які дають змогу скоротити вибірку без втрати даних, які входять до неї. З метою

визначення найбільш підходящого методу застосовано метод кореляції і метод головних компонент, після чого і проаналізовано результати їх застосування для навчання нейронних мереж.

З метою визначення рівня значущості вхідних параметрів, якими є показники стану електроустановки, розраховано коефіцієнти кореляції між ними та вихідним, що характеризує стан пожежної безпеки, визначений експертами.

Таблиця 2.1 - Коефіцієнти кореляції параметрів, що характеризують електроустановку, зі значенням інтегрального ризику

Коефіцієнт кореляції зі значенням інтегрального пожежного ризику	Назва параметра
- 0.217315	1.4.3. "Підвищення кваліфікації"
- 0.107833	2.2.2.1 "Структурна (повна) відмова" "Електрична мережа, електропроводка"
- 0.026958	1.2.4. "Пильність на робочому місці"
0.008924	3.2.2.3. "Система планування та контролю"
0.062631	2.4.2. "Ефективність засобів електричного захисту" "Пасивні засоби"
0.090059	1.1.1. "Фізичні дані"
0.107833	3.2.1.2. "Рівень відповідності нормативно-технічним і санітарним нормам"
0.113795	2.2.2.2. "Структурна (повна) відмова" "Технологічне обладнання"
0.113795	3.2.2.2. "Достатність фінансування"
0.135896	3.1.1.3. "Рівень і частота проведення профілактичних заходів"
0.215258	3.1.1.2. "Пожежонебезпека" "Ступінь небезпеки наслідків"
0.243199	2.1.2. "Ступінь зносу обладнання" "Ізоляційні елементи"
0.250000	2.2.2.3 "Структурна (повна) відмова" "Щити управління, КВПіА, комутаційна апаратура"

0.2564893	3.1.2.2 "Рівень шуму"
0.263451	3.1.1.1. "Пожежонебезпека" "Частота виникнення"
0.287686	1.2.1. "Психоемоційний стан"
0.296540	3.1.2.3. "Рівень вологості"
0.300739	2.4.1. "Ефективність засобів електричного захисту" "Активні засоби"
0.315617	1.4.1. "Наявність профільної освіти"
0.332623	2.3.1. "Кількість потенційно небезпечних для персоналу зон"
0.345834	1.1.2. "Стан здоров'я"
0.356581	2.1.3. "Ступінь зносу обладнання" "Конструкційні елементи"
0.359561	1.3.3. "Виконання посадових обов'язків відповідно до посадових інструкцій"
0.373215	2.1.1. "Ступінь зносу обладнання" "Струмopровідні елементи"
0.374192	3.2.3.1. "Впровадження нового обладнання"
0.390988	1.2.2. "Самовладання в екстремальних ситуаціях"
0.391636	2.2.1.2. "Функціональна (часткова) відмова" "Технологічне обладнання"
0.395349	1.2.3. "Здатність до прийняття самостійних рішень"
0.424178	1.3.4. "Якість і періодичність інструктажу"
0.428391	2.3.2. "Можливість вимушеного або випадкового перебування в небезпечній зоні"
0.442536	1.1.3. "Вік"
0.445285	1.3.1. "Знання та виконання посадових інструкцій"
0.447674	2.3.3. "Тривалість вимушеного перебування в небезпечних зонах"

0.479564	1.4.2. Досвід і стаж роботи
0.482243	2.2.1.3 "Функціональна (часткова) відмова" "Щити управління, КВПіА, комутаційна апаратура"
0.484178	3.1.2.1 "Перепади температур"
0.487510	1.3.2 "Фіксація технологічних порушень"
0.574705	2.2.1.1 "Функціональна (часткова) відмова" "Електрична мережа, електропроводка"
NaN	3.2.1.1, "Дотримання ГОСТів, вимог МЕК"
NaN	3.2.1.3, "Рівень дотримання законодавства"
NaN	3.2.2.1 "Економічна стабільність підприємства"
NaN	3.2.3.2 "Ведення НДДКР"

Із 42 показників було обрано 5 найбільш значущих параметрів, що мають найбільшу кореляцію. У таблиці 2.1 вони позначені кольором. Проведено кілька експериментів із навчання нейронних мереж для визначення значення пожежного ризику на основі обраних параметрів шляхом послідовного додавання вхідних показників до навчальної вибірки, починаючи з параметра, що має найбільше значення кореляції з вихідним показником інтегрального ризику. Вирішальним значенням для навчальної та тестової вибірок був  $R_f$  - оцінка, виставлена експертами під час оцінювання пожежного ризику електроустановки.

У таблиці 2.2 наведено значення помилок у навчальній і тестовій вибірках, ґрунтуючись на значеннях яких, можна дійти висновку, що найоптимальнішим є використання трьох вхідних параметрів, адже за їхнього використання значення помилок мінімальні.

Таблиця 2.2. Значення помилок навчання нейромережі шляхом послідовного додавання параметрів, визначених методом кореляції

Набір вхідних параметрів	Середня помилка навчання	Макс. помилка навчання	Середня помилка тестування	Макс. помилка тестування	Середнє значення помилки на навчальній і тестовій множинах
1.4.2.	0,048	0,336	0,341	0,564	0,194
1.4.2., 2.2.1.3	0,018	0,021	0,023	0,045	0,020
1.4.2., 2.2.1.3, 3.1.2.1	0,014	0,007	0,015	0,016	0,014
1.4.2., 2.2.1.3, 3.1.2.1, 1.3.2.	0,012	0,095	0,104	0,172	0,058
1.4.2., 2.2.1.3, 3.1.2.1, 1.3.2., 2.2.1.1	0,012	0,077	0,080	0,167	0,046

Графічне представлення результатів показано на рис. 2.2. Набір вхідних параметрів розміщено горизонтально. Представлений графік показує, що найменше значення з усіх типів помилок досягається при використанні набору 3 вхідних параметрів.

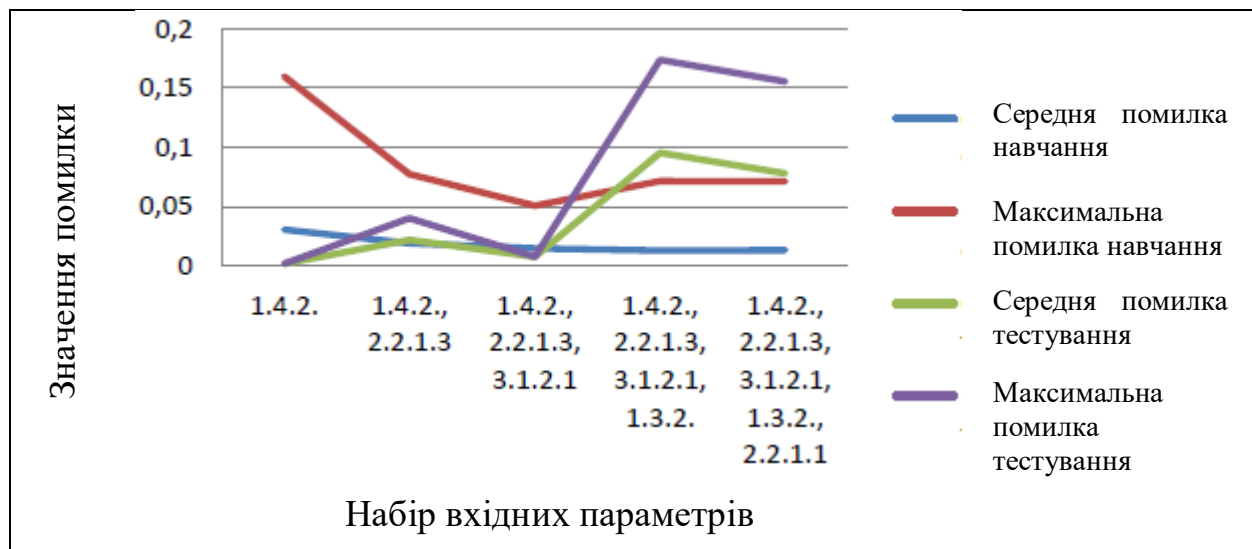


Рис. 2.2. Графічне представлення помилки навчання нейромережі при використанні методу кореляції

У підсумку можна сказати, що найбільш значущими чинниками є:

- 1.4.2. Досвід і стаж роботи;
- 2.2.1.3 "Функціональна (часткова) відмова" "Щити управління, КВПіА, комутаційна апаратура";



### 3.1.2.1 "Перепади температур у виробничому приміщенні".

Середня помилка 0,01 свідчить про достатню адекватність моделі оцінки класу ризику електрообладнання.

Однак, незважаючи на досить низьку похибку, під час використання цього методу необхідно визнати, що його застосування не є оптимальним, тому що кількість параметрів, на яких базується обчислення, скорочується до 4, і не враховує інших параметрів, які експерти також визнали важливими під час обчислення інтегрального ризику.

Для визначення оптимальної кількості обчислюваних головних компонент проведено низку експериментів, під час яких із наявної вибірки визначено значення головних компонент і на основі отриманих даних було навчено нейронну мережу. Результати обчислення наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Значення помилок навчання нейронної мережі залежно від кількості обчислюваних головних компонент

Кількість компонент	Середня помилка навчання	Макс. помилка навчання	Середня помилка тестування	Макс. помилка тестування	Середнє значення помилки на навчальній і тестовій множинах
2	0,008	0,083	0,076	0,118	0,042
3	0,006	0,099	0,059	0,115	0,032
4	0,005	0,096	0,052	0,101	0,028
5	0,002	0,039	0,065	0,092	0,033
6	0,003	0,047	0,036	0,039	0,019
7	0,003	0,066	0,084	0,105	0,044

На рис. 2.3 наведено графічне представлення результату обчислень, на якому видно, що найменших значень помилок вдається досягти в разі використання 6 головних компонент.

Під час порівняння застосованих методів можна помітити, що середнє значення помилки навчальної та тестової вибірок під час застосування методу кореляції дещо менше (0,014), ніж під час використання методу головних компонент (0,019), однак другий із застосованих методів дає змогу брати в розрахунок не кілька, а всі показники, тому він є найліпшим у ситуації, яку ми розглядаємо.

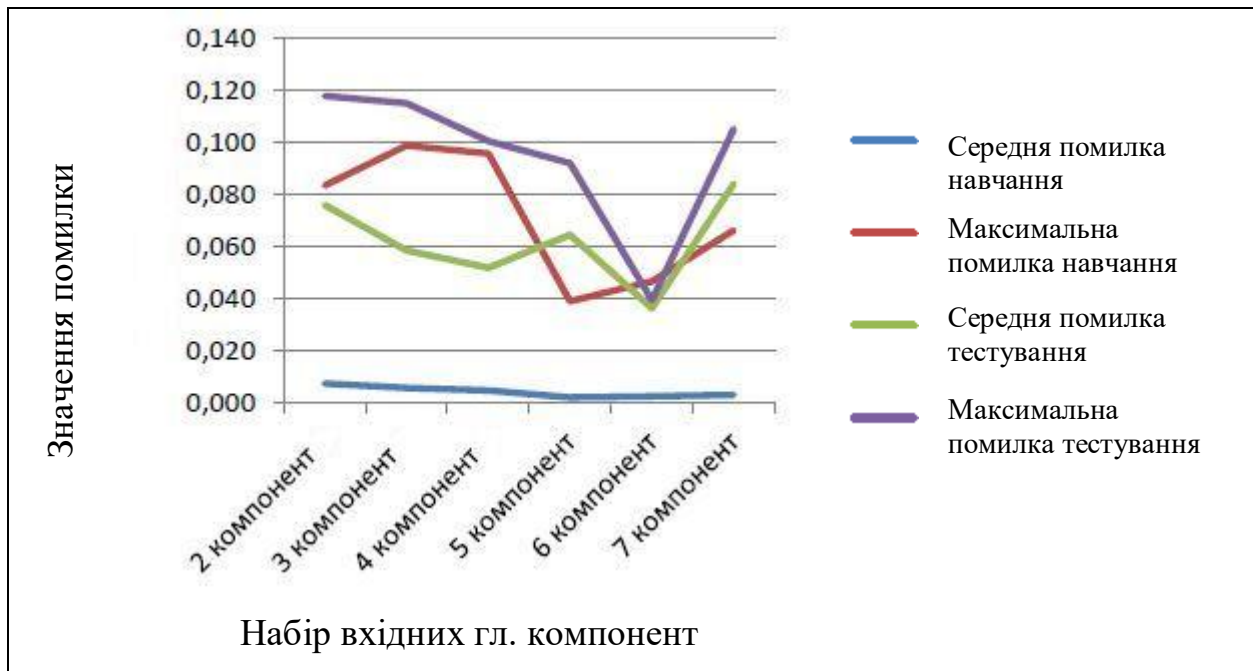


Рис. 2.3. Графічне представлення помилки навчання нейромережі в разі використання методу головних компонент

Програмна реалізація імітаційної моделі з оцінювання пожежного ризику небезпеки електроустановок складається з підсистеми введення даних, підсистеми обчислення пожежних ризиків небезпеки електроустановок і підсистеми імітаційного моделювання для обчислення параметрів, що мають найбільший вплив на значення інтегрального пожежного ризику (рис. 2.4).

Після запуску програми створюється об'єкт і заповнюється таблиця параметрів, що характеризують ризикоутворювальні фактори, після чого дані передаються для розрахунку пожежних ризиків небезпеки електроустановок на основі алгоритму нейромережевого розрахунку інтегрального показника пожежного ризику в такій послідовності:

- 1) Заповнену нову анкету передають у модуль обчислення головних компонент, у якому формують 6 головних компонент.
- 2) Отримані дані розраховуються налаштованою нейромережею, внаслідок чого отримується підсумкове значення.

3) Модуль проведення розрахунків на основі псевдовипадкової вибірки генерує нові анкети з відмінними від вихідної анкети значеннями за різними показниками, проводить їхні розрахунки за допомогою нейронної мережі.

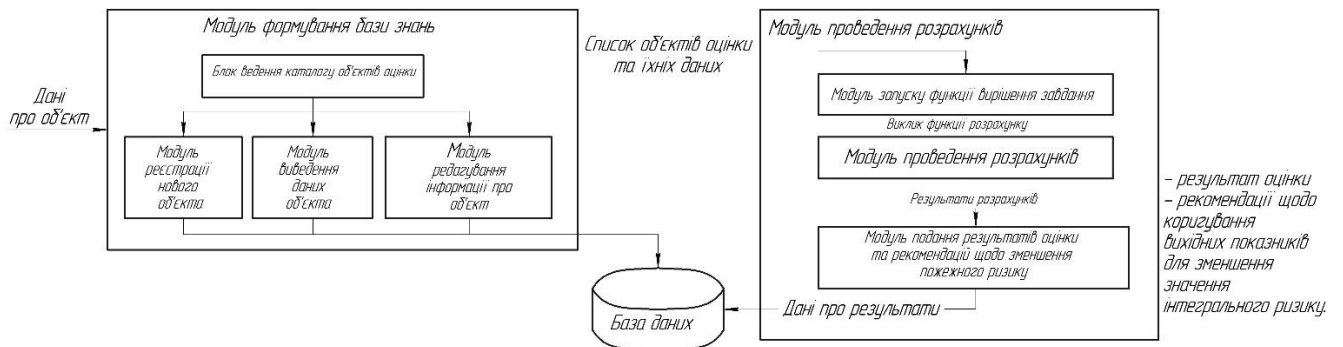


Рис. 2.4. Компонентна структура програмного комплексу

4) Модуль порівняння розрахованого значення і змодельованих ситуацій проводить аналіз отриманої інформації та виділяє як зміна різних параметрів може вплинути на підсумкове значення показника.

5) Модуль формування рекомендацій і подання результатів на основі виділених взаємозв'язків визначає параметри, зміна яких має найбільший вплив на підсумкове значення і формує рекомендації щодо проведення робіт за відповідними напрямками.

Алгоритм, відповідно до якого реалізуються модулі розробленої програми представлено на рис. 2.5.

Розглянемо етапи формування бази знань.

Після відкриття програми вибираємо зі списку об'єкт оцінки, у разі його відсутності вводимо новий об'єкт та створюємо для нього анкету.

Якщо об'єкт вже створено, ми можемо внести зміни до існуючої анкети або створити по даному об'єкту нову анкету, після чого відбувається заповнення даних та їх запис до бази.

Модуль проведення розрахунків проводить обчислення у порядку, поданому на рис. 2.6.

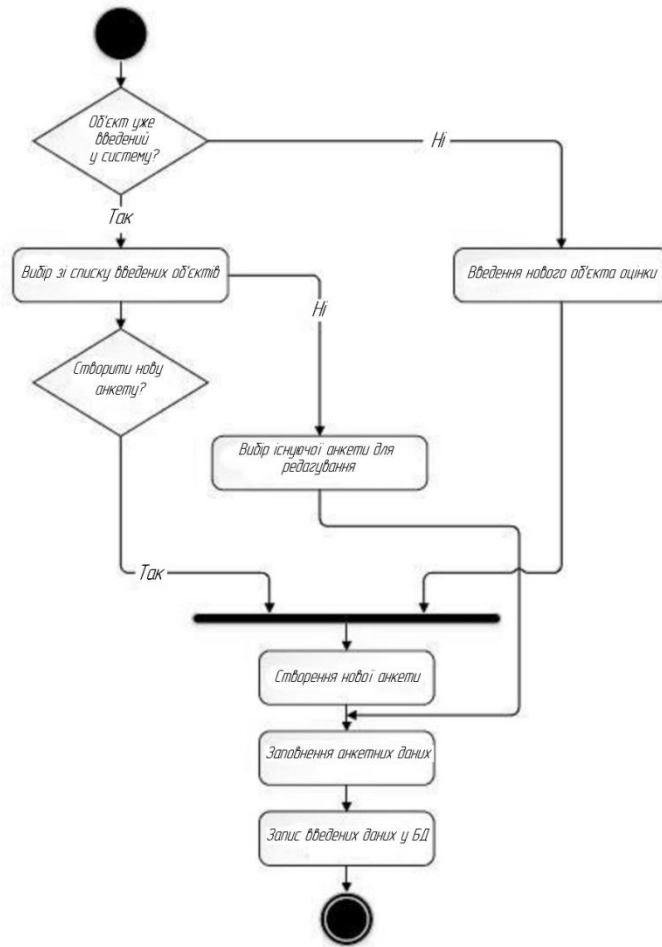


Рис. 2.5. Діаграма активності модуля формування бази знань

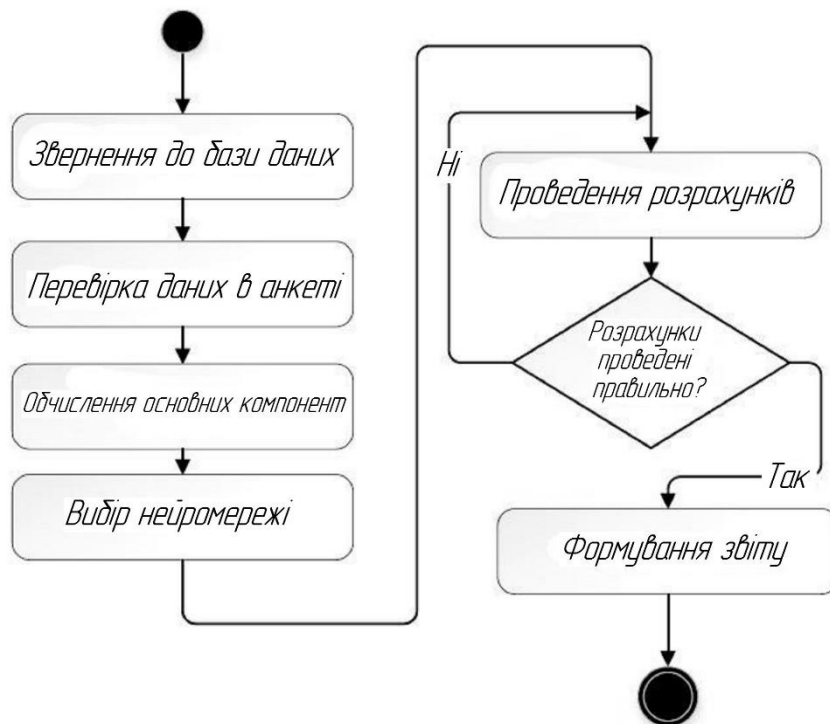


Рис. 2.6. Діаграма активності модуля проведення розрахунків

## **Висновки по розділу**

Модель проведення розрахунків звертається до бази даних, з якої передається анкета, після перевірки даних у ній обчислюється 6 основних компонентів, які передаються в у нейромережевий вирішувач. Після проведення розрахунків ведеться аналіз помилки навчання, у випадках, коли вони занадто великі розрахунки проводяться повторно, якщо результат задовільний, формується звіт, в якому відображається розрахований показник та рекомендації щодо його інтерпретації.

### РОЗДІЛ 3.

## РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОЖЕЖНИХ РИЗИКІВ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ОБ'ЄКТА

Розрахунок значень пожежного ризику електроустановок підприємства проведено з використанням розробленої програми, яка не тільки розраховує значення, а й пропонує проведення необхідних профілактичних заходів.

Визначення ризику пожежної небезпеки проведено на основі такого алгоритму:

1. Оцінка поточного стану пожежного ризику на електроустановці:
  - 1.1 Обстеження електроустановки;
  - 1.2 Визначення поточного стану відповідно до визначеними критеріями;
  - 1.3. Переведення якісних параметрів у кількісні відповідно до таблиці;.
2. Введення даних у програмний комплекс;
3. Проведення розрахунків;
  - 3.1 Обчислення головних компонент для введених значень;
  - 3.2 Розрахунок пожежного ризику на основі навченої нейронної мережі;
  - 3.3 Подання результатів;
4. Формування рекомендацій;
  - 4.1 Проведення розрахунків методом імітаційного моделювання;
  - 4.2 Представлення результатів проведених розрахунків і виділення показників
5. Проведення профілактичних заходів, які дадуть найбільший ефект щодо зменшення значення пожежного ризику.

Розроблений програмний комплекс проводить розрахунки на основі нейронних мереж, що дає змогу виокремити неявні взаємодії компонентів і є новим методом розрахунку для концепції ЛМС "Л-Е- С".

Під час написання програми використовувалася мова програмування python версії 3.7.4, а також бібліотеки: scikit-learn, numpy, pandas, pickle, tkinter, pyinstaller.

Розрахунок за моделлю проводився відповідно до моделі:

## 1. Побудова моделі

### 1.1 Попереднє опрацювання

Нормування незалежних ознак (X) здійснюється відніманням середньовибіркового значення кожної ознаки обчисленого за навчальною вибіркою.

Стандартизація залежної ознаки (Y) здійснюється застосуванням до залежної ознаки формули  $2*(Y-Y_{\min})/(Y_{\max}-Y_{\min})-1$ , де  $Y_{\min}$  і  $Y_{\max}$  - мінімальне і максимальне значення Y у вибірці відповідно.

### 1.2 Метод головних компонент

Пошук головних компонент за центрованими даними навчальної вибірки. Кількість головних компонент є параметром, що налаштовується параметром.

### 1.3 Нейронна мережа

Навчання нейронної мережі відбувається на даних перетворених у простір головних компонент.

Параметри мережі, що налаштовуються:

топологія (кількість шарів і кількість нейронів у кожному з них);

функція активації (тотожна identity, гіперболічний тангенс tanh, логістична функція logistic, лінійний випрямляч ReLU),

метод навчання (стохастичний градієнтний спуск SGD, алгоритм Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно L-BFGS, метод адаптивної оцінки моментів Adam),

коефіцієнт L2-регуляризації (alpha),

швидкість навчання (постійна constant, оберненопропорційна invscaling, адаптивна adaptive).

## 2. Налаштування моделі

## 2.1 Перехресна перевірка

Використовується 5-сегментна перехресна перевірка.

Вибірка ділиться на 5 частин, що не перетинаються. На кожній ітерації перехресної перевірки 4 частини складають навчальну вибірку, 1 частина - тестову.

Підсумкова помилка обчислюється як середнє значення помилок за п'ятьма сегментами.

## 2.2 Підбір параметрів

Підбір параметрів моделі полягав у мінімізації середньоквадратичного відхилення (RMSE) значень підсумкового показника  $Y$  розрахованого методом перехресної перевірки.

Підсумкові параметри:

6 головних компонент,

топологія мережі - п'ять шарів із кількістю нейронів (180,160,140,120,100),

функція активації ReLU,

навчання мережі методом стохастичного градієнтного спуску (SGD) з адаптивною швидкістю навчання, коефіцієнт  $\alpha = 0.00001$

## 2.3 Оцінка якості

Зазначені параметри моделі забезпечують за результатами перехресної перевірки такі показники якості:

середньоквадратична помилка  $RMSE = 0.4565$ ,

середня абсолютна помилка  $MAE = 0.3097$ ,

помилка класифікації  $E = 0.2375$  (23.75%).

Показники RMSE і MAE вимірюються в тих самих величинах, що й підсумкове значення пожежного ризику  $Y$ . Фізичний сенс показника MAE - на скільки в середньому одиниць пожежного ризику промахується навчена модель, якщо вважати пожежний ризик - безперервним числом.



Показник  $E$  вимірюється в частках невірно класифікованих об'єктів. Фізичний сенс - яку частку об'єктів тестової вибірки модель розпізнає невірно, якщо вважати прогнози дискретними (1, 2 або 3).

3. використовувані Бібліотеки python (3.7.4)

3.1. scikit-learn(0.22.1)

3.1.1. preprocessing

Набір методів для попередньої обробки даних, наприклад для центрування

(1.1.)

3.1.2. decomposition

Набір методів для зменшення розмірності даних (1.2. метод головних компонент) головних компонент)

3.1.3. neural\_network

Набір методів для роботи з нейронними мережами

3.1.4. model\_selection.KFold

Реалізація методів перехресної перевірки

3.2. numpy (1.18.1)

Загальні методи роботи з матрицями даних

3.3. pandas (1.0.1)

Завантаження/збереження даних, робота з форматами EXCEL і CSV

3.4. pickle (4.0)

Завантаження/збереження навченої моделі

3.5. matplotlib (3.1.3)

Обробка графічної інформації (графіки, гістограми...)

3.6. tk (8.6.11)

Компоненти користувацького інтерфейсу: форми, кнопки, поля введення.

3.7. pyinstaller (4.5.1)

Збірка програми у виконуваний файл із набором залежних бібліотек і python-оточенням.

Проведений нами аналіз пожежної небезпеки електроустановок в Україні показав, що основною причиною є незадовільний технічний стан електропостачання, внутрішніх мереж і технічного електрообладнання, а також низький рівень експлуатації та контролю. Основними причинами низької ефективності засобів електричного захисту є деградація, фізичне та моральне зношування струмопровідних ізоляційних реконструкційних елементів, обгорання контактів, пробій ізоляції, перенапруги в мережах, що виникають, а також кліматичні умови зовнішнього середовища та мікроклімат виробничих приміщень.

В даний час для захисту будівель і споруд широко використовуються автоматизовані системи запобігання пожежам і пожежобезпеці, до складу яких входять електроустановки.

Відповідно до ФЗ – 123 «Технічний регламент щодо вимог пожежної безпеки» застосування високоефективного заходу електричного захисту (ПЗВ) є обов'язковою умовою.

Тому є перспективним використання ПЗВ (диференціальний автоматичний вимикач) в автоматизованих системах запобігання пожежам при експлуатації електроустановок у громадських та виробничих будівлях, тобто на тих об'єктах, де встановлена автоматична система пожежогасіння.

При розробці вимог на створення спеціалізованих систем запобігання пожежам (АСПШЕ) при виявленні та контролі струму витоку в електроустановках основним завданням є встановлення функціональних структурних зв'язків між блоками та елементами АСПШЕ, що передбачають:

- А) Контроль та видачу інформації про режим електроустановки;
- Б) Управління алгоритмами функціонування ПЗВ за допомогою команд, що задаються АСПШЕ;
- В) Діагностика ПЗВ під час функціонування системи.

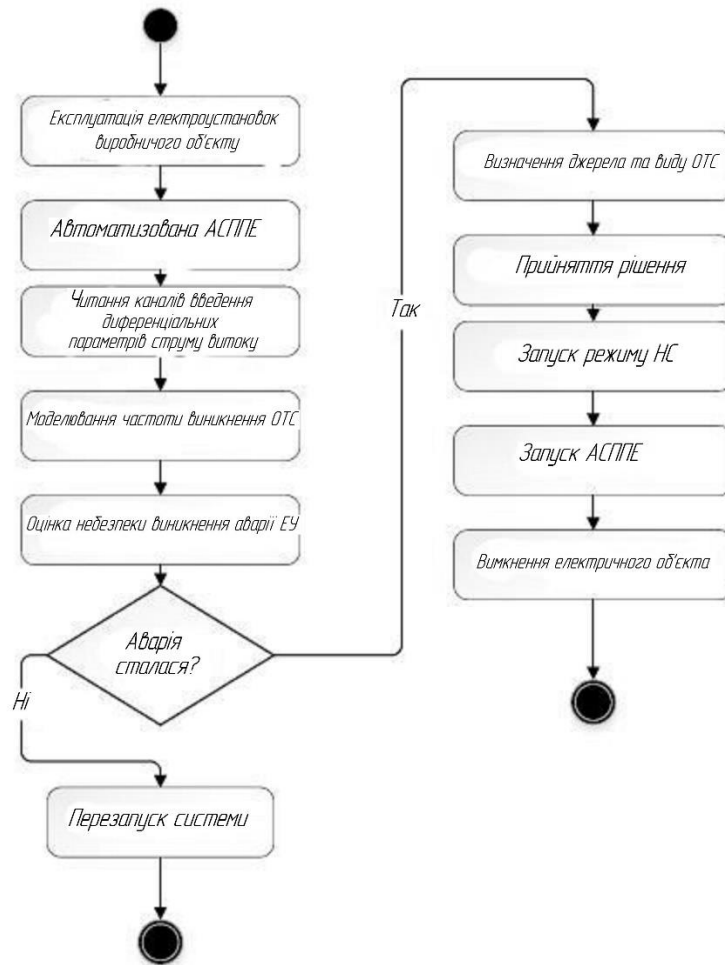


Рис. 3.1. Алгоритм функціонування АСППЕ на основі контролю та управління пожежними ризиками ПЗВ

На рис. 3.1 представлено блок схема алгоритму роботи автоматизованої системи запобігання небезпеці техногенної ситуації (пожежі), викликаній струмами витoku та контрольними пристроями захисного відключення.

Являється своєчасним подальший розвиток тематики досліджень у напрямку розвитку комплексної реалізації системи та створення програмного продукту для виявлення пожежі при експлуатації електроустановок об'єкта АПК.

У таблиці 3.1 наведено зміни у значеннях пожежного ризику після проведення профілактичних заходів, рекомендованих програмним комплексом. При перекладі значень з прийнятого діапазону значення, відповідні ГОСТ Р 12.1.004-91 прийнято, що 1 відповідає неприйнятному значенню пожежного

ризик,  $\leq 1 \times 10^{-4}$ , 2 -  $1 \times 10^{-5}$ , а 3  $1 \times 10^{-6}$  - бажаному, але важкодоступному показнику.

$$\hat{y} = \begin{cases} 1 = 1 \times 10^{-4} \\ 2 = 1 \times 10^{-5} \\ 3 = 1 \times 10^{-6} \end{cases} \quad (3.1)$$

Переклад отриманих значень у діапазоні, що використовується в даних, відповідає ГОСТ Р 12.1.004-91 проводився відповідно до наступної формули:

$$x = \frac{1}{\hat{y} \times 10^{(\hat{y}+3)}}, \quad (3.2)$$

де  $x$  - значення в діапазоні, що відповідає відповідним ГОСТ Р 12.1.004-91,  $\hat{y}$  - значення в діапазоні, що використовується в програмі.

Середнє значення інтегрального пожежного ризику для контрольної групи, що складається з 10 електроустановок, зменшилося з  $1,96 \times 10^{-5}$  до  $0,342 \times 10^{-5}$ , що дозволяє зробити висновок про доцільність застосування розробленої програми для складання плану проведення профілактичних заходів щодо зниження рівня пожежного ризику електроустановок на підприємстві.

Таблиця 3.1 - Результати проведення розрахунків

Порядковий номер ЕУ	Значення пожежного ризику			
	до проведення заходів у прийнятому діапазоні		після проведення заходів	
	У прийнятому діапазоні	В значеннях ДСТУ	У прийнятому діапазоні	В значеннях ДСТУ
ЭУ 1	2,20	$4,52 \times 10^{-5}$	2,75	$3,625 \times 10^{-5}$
ЭУ 2	2,25	$4,43 \times 10^{-5}$	2,98	$3,35 \times 10^{-5}$
ЭУ 3	1,98	$5,03 \times 10^{-4}$	2,52	$3,96 \times 10^{-5}$
ЭУ 4	2,36	$4,23 \times 10^{-5}$	2,94	$3,393 \times 10^{-5}$
ЭУ 5	2,05	$4,86 \times 10^{-5}$	2,957	$3,381 \times 10^{-5}$
ЭУ 6	1,45	$6,85 \times 10^{-4}$	2,02	$4,938 \times 10^{-5}$
ЭУ 7	3,01	$3,31 \times 10^{-6}$	3,01	$3,317 \times 10^{-6}$
ЭУ 8	2,48	$4,02 \times 10^{-5}$	2,98	$3,34 \times 10^{-5}$
ЭУ 9	1,97	$5,06 \times 10^{-4}$	2,54	$3,92 \times 10^{-5}$
ЭУ 10	2,23	$4,47 \times 10^{-5}$	2,48	$4,02 \times 10^{-5}$
Середнє значення	2,203	$1,964 \times 10^{-5}$	2,51	$0,342 \times 10^{-5}$

Проведення рекомендованих заходів щодо профілактики та покращення пожежного стану електроустановок підприємства дозволить оптимізувати фінансові ресурси на проведення профілактичних заходів чи реконструкцію об'єктів для забезпечення пожежної безпеки, а також дає економію коштів, що витрачаються на профілактику пожежних ситуацій.

Економічні витрати на забезпечення техногенної безпеки складаються із двох складових:

- витрат на забезпечення пожежної безпеки, що характеризується певним рівнем ризику;
- економічним еквівалентом усіх видів збитків при аварії, включаючи матеріальні витрати на ліквідацію наслідків пожеж та моральні втрати у вигляді травм або загибелі персоналу.

Збільшення витрат на профілактику заходів пожежної безпеки скорочує витрати на ліквідацію наслідків пожеж та моральні втрати.

Отримана від впровадження соціально-економічна ефективність виявляється у підвищенні якісних та кількісних показників функціонування підприємства, зокрема, у скороченні кількості загорянь та різних видів збитків від них.

Соціальний ефект досягається шляхом зниження та запобігання електротравматизму населення, покращення умов охорони праці та техніки безпеки.

Основними чинниками економічної ефективності є: запобігання відмовам та аваріям електроустановок, зниження ризику пожеж, скорочення часу простою технологічного обладнання та виключення невиправданих видів роботи.

## ВИСНОВКИ

У роботі запропоновано нове рішення актуального науково-технічного завдання, яке полягає у забезпеченні умов пожежної безпеки під час експлуатації сільських електроустановок на основі створення експертної системи підтримки прийняття рішень у поєднанні з нейронними мережами.

Виконані дослідження дають змогу сформулювати основні результати роботи.

Аналіз сучасного стану проблеми пожежної безпеки в аграрному секторі показав, що її вирішення включає сукупність багатоцільових завдань забезпечення електричної, пожежної та екологічної безпеки довкілля людини, а також надійного функціонування електроустановок людино-машинної системи «Людина - Електроустановка - Середовище».

Обґрунтовано концепцію багаторівневого аналізу людино-машинної системи в умовах стохастичної невизначеності, проаналізовано механізм формування пожежного ризику в процесі експлуатації електроустановок на виробничому об'єкті. Ризик представлений у вигляді імітаційної моделі взаємодії компонентів людино-машинної системи (персоналу, електроустановки та виробничого середовища), між якими встановлені інформаційні та енергетичні зв'язки. Застосування імітаційного моделювання при оцінці пожежного ризику показало, що розроблений експертно-програмний комплекс є основою створення інтелектуальної системи прийняття рішень у предметній галузі, що розглядається.

Розроблено прикладне програмне забезпечення, що автоматизує процес оцінки пожежних ризиків та розрахунки на основі імітаційної моделі, що дозволяє видавати рекомендації щодо покращення стану пожежного ризику.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. Харків: Форт, 2014. 736 с.
2. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ: Основа, 1998. 380 с.
3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Харків: Форт, 2012. 404 с.
4. Електробезпека: підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 295 с.
5. Основи охорони праці: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський; за ред. М. П. Гандзюка. Вид. 2-ге. Київ: Каравела, 2005. 390 с. 6. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці: підручник. Вид. 3-тє, перероб. і доп. Львів: Укр. акад. друкарства, 2006. 336 с.
7. Охорона праці: підручник / В. П. Кучерявий, Ю. Є. Павлюк, А. Д. Кузик та ін. Львів: Оріяна-Нова, 2007. 367 с. 16. Основи охорони праці: підручник / Я. І Бедрій, Ю. Л. Дешинський, Р. М. Івах та ін. Львів: «Магнолія 2006», 2008. 337с.
8. Лесенко Г. Г. Довідник з охорони праці для керівників та спеціалістів. Київ: Основа, 2008. 288 с.
9. Основи охорони праці: підручник / К. Н. Ткачук, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов та ін. Вид. 3-тє, доп. та перероб. Київ: Основа, 2014. 456 с.
10. Основи охорони праці: підручник / М. С. Одарченко, А. М. Одарченко, В. І. Степанов та ін. Харків: ХДУХТ, 2017. 334 с. 20. Охорона праці в електроустановках / В. Г. Іванов [та ін.]. Київ: Око, 1994. 226 с.
11. ДСТУ 2272-2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. [На заміну ДСТУ 2272-93; чинний від 2007-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 28 с.

12. ДСТУ 3675-98. Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 1999-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1998. 32 с.

13. Гажаман В. І. Електробезпека на виробництві. Київ: 2002. 272 с.

14. Акімов О. І., Акімова Ю. О. Можливість прогнозу відмов кабельних ліній електропередачі. Зб. наук. праць Укр. держ. ак. залізнич. трансп. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 143. С. 184-188.

15. Вибір раціональної стратегії обслуговування електрообладнання / О. І. Акімов, Д. Л. Сушко, В. В. Панченко, Д. А. Стояновський. Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 153. С. 103–107.