

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

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

Чернобук Святослав Валентинович

УДК 620.93

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Управління техногенними ризиками і оптимізація системи безпеки
електроустановок підприємств АПК**

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

Чернобук Святослав Валентинович. Управління техногенними ризиками і оптимізація системи безпеки електроустановок підприємств АПК. – *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 встановлено, що у використовуваних нині підходах до оцінки діагностики технічного стану електроустановок практично немає технічного стану електроустановок практично ігноруються сучасні методи багатокритеріального прийняття рішень, що дають змогу будувати математичні моделі, що адекватно відображають техногенні процеси реальних виробничих об'єктів.

Представлено нове розв'язання актуальної наукової задачі - створення експертної системи діагностики техногенних ризиків небезпеки електроустановок, що дає змогу автоматизувати процедуру розрахунку, забезпечивши можливість обґрунтованого вибору превентивних заходів електричного захисту.

Запропоновано концепцію імітаційного моделювання виробничого об'єкта на основі людино-машинної системи «людина - електроустановка - середовище», що дає змогу враховувати причинно-наслідкові зв'язки між ризикоутворюючими факторами та показником інтегрального ризику небезпеки електроустановок.

Ключові слова: техногенні ризики, імітаційне моделювання, електроустановка, небезпека, людино-машинна система.

ANNOTATION

Chernobuk Svyatoslav Valentynovych. Management of technogenic risks and optimisation of the safety system of electrical installations of agricultural enterprises. – 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.

This qualification work establishes that the currently used approaches to assessing the diagnosis of the technical condition of electrical installations practically do not take into account the technical condition of electrical installations and practically ignore modern methods of multi-criteria decision-making, which allow building mathematical models that adequately reflect the technogenic processes of real production facilities.

A new solution to an urgent scientific problem is presented - the creation of an expert system for diagnosing man-made risks of electrical installations, which allows automating the calculation procedure, providing an opportunity to make a reasonable choice of preventive electrical protection measures.

The concept of simulation modelling of a production facility based on the man-machine system "man - electrical installation - environment" is proposed, which allows taking into account the cause-and-effect relationships between risk factors and the indicator of the integral risk of electrical installation hazard.

Keywords: technogenic risks, simulation modelling, electrical installation, hazard, human-machine system

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ УПРАВЛІННЯ ЇХ БЕЗПЕКОЮ	8
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ВИРОБНИЧОГО ОБ'ЄКТА.....	15
РОЗДІЛ 3. ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИНИКНЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОГЕННИХ СИТУАЦІЙ.....	33
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

ВСТУП

Експлуатація електроустановок виробничих об'єктів аграрної галузі пов'язана з контролем та оцінкою техногенних ризиків, які можуть призводити до виникнення загроз аварії систем електропостачання, травматизму та пожеж. Різні аспекти проблеми надійності та безпеки електроустановок загальнопромислового та сільськогосподарського призначення розглянуті в роботах О.К. Нікольського, Т.Б. Лещинської, О.І. Сидорова, О.А. Сошнікова, О.Н. Дроб'язко, В.Н. Делягіна, Т.В. Єр'оміної, О.Б. Тряпідина, О.Ф. Калініна та багатьох інших. У результаті проведених робіт було розроблено теоретичні основи електро-пожежної безпеки систем електропостачання та безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Значна частина виконаних робіт набула розвитку в математичній теорії ймовірнісного аналізу складних виробничих об'єктів, зокрема людино-машинних системах (ЛМС), розробленні методів розрахунку і проектування їх, а також в обґрунтуванні сучасної методологічної та нормативної бази для створення безпечних електроустановок.

За даними статистики в країні спостерігається стійка тенденція зростання техногенних аварій та електротравматизму в агропромисловому комплексі та житлово-комунальній сфері. Щорічно від ураження електричним струмом в електроустановках будівель гине в середньому понад 1000 осіб, втрачають працездатність близько 12000 осіб. Становить реальну загрозу пожежна обстановка. Так, у 2022 р. в Україні сталося понад 130 тисяч пожеж, прямий матеріальний збиток склав близько 160 млн. грн., загинуло понад 2500 осіб; частка пожеж від електротехнічних причин становить 34...42% загального їх числа.

Ситуація, що склалася, становить загрозу національній безпеці країни, що викликало необхідність включення проблеми техногенної безпеки до Переліку критичних технологій агропромислового комплексу України на період до 2025

року (наукові засади)" зазначається, що одним із пріоритетних напрямів підтримки сільськогосподарського виробництва є "подолання виробничих ризиків".

Однією з основних причин наявної негативної техногенної обстановки в галузі є недостатнє опрацювання проблеми забезпечення безпеки електроустановок, багато методичних і наукових питань не знайшли досі свого вирішення. Так, зокрема, відсутня концепція вивчення сутності та змісту техногенного ризику під час аналізу складних неструктурованих людино-машинних систем, не обґрунтовано критерії та показники ідентифікації техногенних небезпек електроустановок в умовах невизначеності вихідних і поточних даних, відсутні математичні моделі та алгоритми, що дають змогу проводити оптимізацію ризику на основі багатокритеріального аналізу. багатокритеріального аналізу. У сільському господарстві не вирішено важливого науково-технічного технічне завдання проєктування і впровадження ефективних та економічних систем безпеки електроустановок. доцільних систем безпеки електроустановок об'єкта. Сформульовані питання щодо управління техногенними ризиками та оптимізації їх значень з урахуванням багатокритеріального середовища залишаються не вивченими.

Метою кваліфікаційної роботи Метою роботи є підвищення безпеки сільськогосподарських електроустановок на основі розроблення моделей, алгоритмів і реалізації експертної системи, що дає змогу в автоматизованому режимі здійснювати функції управління техногенними ризиками та оптимізації превентивних заходів електричного захисту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасного стану проблеми забезпечення техногенної безпеки електроустановок на об'єктах АПК;
- сформулювати основні принципи побудови експертної системи технічної діагностики електроустановок;
- провести структурний аналіз ієрархій ЛМС.

Об'єкт дослідження: системи електропостачання та технологічне електрообладнання сільськогосподарського виробництва та інфраструктури сільських населених пунктів.

Предмет дослідження: методи і моделі, що встановлюють причинно-наслідкові зв'язки між ризикоутворювальними факторами ЛМС "Л-Е-С" і величинами техногенних ризиків.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Чернобук С.В.** Методи аналізу технічного стану електроустановок. 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. 306-307.

2. Палійчук В.К., **Чернобук С.В.** Архітектура та вимоги до експертної системи безпеки електроустановок підприємств АПК. *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. 196-200.

Практичне значення одержаних результатів. Практичній інтерес для аграрних підприємств має упровадження в проєктну та експлуатаційну практику нових принципів моделювання та оптимізації ризиків небезпеки електроустановок, спрямованих на запобігання (або зниження) виникненню надзвичайних ситуацій та їх наслідків.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 12 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 42 сторінки комп'ютерного тексту, містить 8 рисунків.

РОЗДІЛ 1

МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ УПРАВЛІННЯ ЇХ БЕЗПЕКОЮ

Методи технічної діагностики електроустановок, які використовують нині, спрямовані на розв'язання двох основних завдань - оцінювання залишкового ресурсу і техногенної безпеки, що визначається за критеріями ризику. Своєю чергою залишковий ресурс електроустановки може бути оцінений за динамікою погіршення її властивостей - переходу з одного стану в інший за схемою: "дефект - деградація - пошкодження - руйнування - відмова".

Нижче наведено короткий огляд методів технічного стану (діагностики) електроустановок.

Експериментальний метод. Експериментальне дослідження є важливою сходинкою в процесі пізнання. Людина, досліджуючи різні сфери своєї діяльності, згодом поповнює практичні знання про будь-які процеси або об'єкти, які надалі допомагають їй розібратися з ними і на основі цих відомостей удосконалити й оптимізувати одержувані результати. Досить часто цих знань виявляється недостатньо, щоб зробити якісь висновки. У підсумку, об'єкт або процес піддають систематичному експерименту.

Функціонування будь-якої технічної системи можна розглядати як реакцію на вхідні впливи. Наприклад, для електротехнічного обладнання такими впливами є напруга джерела і робочі струми, що протікають у ланцюзі. Схематично модель електроустановки можна представити у вигляді деякого двополюсника, на вхід якого надходить сукупність вхідних впливів (сигналів) $X = x(t)$, а на виході – вихідні сигнали $Y = y(t)$.

Будь-яка система має безліч властивостей, визначення яких пов'язане зі встановленням реакції системи на вхідний вплив. Таким чином, стан електроустановки вважається відомим, якщо відомо значення кожного з її параметрів. Вивчення всіх факторів, що впливають, одночасно важко досягне.

Зазвичай в експерименті розглядають обмежену їхню кількість, що призводить до спотворення і неоднорідності інформації, породжуючи при цьому статистичну невизначеність, збільшуючи похибку оцінок техногенного ризику.

Експериментальний підхід є традиційним, який широко використовується в наукових дослідженнях. Однак, метод вимагає значних витрат, для того щоб проводити систематичні досліди та випробування. Основний недолік експериментального підходу пов'язаний у низці випадків із неможливістю проведення натурних дослідів, пов'язаних із загрозою життю людини або значними матеріальними збитками.

Метод фізичного моделювання. Фізичне моделювання полягає у відтворенні тих самих або аналогічних фізичних процесів, які мають місце бути на досліджуваному об'єкті відповідно до масштабу моделювання. В основі фізичного моделювання лежать теорія подібності та аналізу розмірностей. Необхідними умовами фізичного моделювання є геометрична подібність (подібність форми) і фізична подібність моделі та натури. Цей підхід є витратним, оскільки, по-перше, необхідно спроектувати подібну модель електроустановки або об'єкта, по-друге, відтворення таких явищ як пожежа, на об'єкті буде складним.

Метод є досить складним, але при цьому одна з переваг фізичного моделювання полягає в можливості здійснення прямого спостереження за модельованими процесами та явищами, іноді ця перевага є вирішальною.

Метод математичного моделювання. Найпоширенішим видом моделювання є математичне. Цей метод має низку переваг відносно перелічених: - допустимість моделювання складних, небезпечних і маловивчених у природі та техногенному середовищі об'єктів і процесів; - можливість перетворення масштабів часу; - усунення прогалин у знаннях та виявлення проблем, які знову утворилися, у процесі моделювання; - розв'язання низки завдань, які мають однаковий математичний опис, за допомогою однієї

моделі; - доступність та зручність універсального технічного та програмного забезпечення; - економічність відносно часу та вартості.

Перевага цього методу щодо фізичних та експериментальних методів дослідження полягає в тому, що процес вивчення відбувається не з самим об'єктом, а з його моделлю, що дає змогу відносно швидко і без значних витрат отримати необхідні результати.

Для проведення аналізу технічного стану електроустановок видається перспективним використання методу математичного моделювання. Удосконалення та застосування інтелектуальних систем контролю та діагностики електроустановок за допомогою математичних моделей і відповідним програмним забезпеченням дає змогу реалізувати важливу функцію управління техногенною безпекою за допомогою оцінки ризику. Ефективність розвитку аграрної галузі та створення гідного рівня життя сільського населення безпосередньо пов'язані із забезпеченням захищеності інфраструктури від небезпечних техногенних ситуацій (НТС). Найбільший потенційний ризик становлять електроустановки сільськогосподарського виробництва та соціальної сфери (будівлі та споруди). Згідно з прийнятою класифікацією, електроустановки 380/220В відносяться до небезпечних виробничих об'єктів (НВО) і об'єктів технічного регулювання (ОТР). Причому, якщо кількість об'єктів першої групи становить у галузі сотні тисяч, то кількість об'єктів другої групи обчислюється десятками мільйонів. Тому стає реальною загроза таких НТС як аварії систем електропостачання, відмови технологічного електрообладнання, травматизм і пожежі, спричинені електротехнічними причинами.

Нині темпи зростання кількості надзвичайних ситуацій техногенного характеру і наслідки від них значно випереджають підвищення соціально-економічних показників. Росія належить до числа країн із високим ступенем ризику небезпеки в соціальній та економічній сфері. Становище, що склалося, зумовлене комплексом проблем економічного, нормативного та науково-

технічного характеру, розв'язання яких стримується відсутністю єдиної концепції оцінювання та управління техногенною безпекою електроустановок у сільському господарстві. Відсутній єдиний підхід до питань оцінки та управління ризиком, ідентифікації факторів небезпеки, визначення прийняттого рівня ризику. Недостатньо також досліджень, присвячених комплексному аналізу ризику для суспільства і навколишнього середовища.

Управління техногенними ризиками електроустановок можливе на основі аналізу компонентів людино-машинної системи "Л-Е-С", передбачаючи при цьому:

- ідентифікацію видів і джерел небезпеки, спричинених електроустановками (електричним струмом та електромагнітним полем), помилковими й неправильними діями персоналу та негативними факторами робочого й зовнішнього середовища;
- оцінку ступеня небезпеки виникнення аварій системи електропостачання, відмов та поломок технологічного електроустаткування, електротравматизму й пожеж, які завдають шкоди життю, здоров'ю людей і навколишньому середовищу;
- розроблення організаційно-технічних заходів із запобігання ОТС та пом'якшення їхніх наслідків;
- обґрунтування рівня прийнятного техногенного ризику для інфраструктури села;
- визначення пріоритетних напрямів наукової та практичної діяльності з підвищення техногенної безпеки електроустановок.

Оскільки техногенний ризик принципово не можна усунути, а отже, його не можна звести до нуля, нині в Україні, як і в інших цивілізованих країнах, прийнято концепцію прийнятного ризику. Нагадаємо, що в СРСР діяв принцип абсолютної безпеки або нульового ризику, який виявився повністю неспроможним. Запровадження концепції прийнятного ризику, незважаючи на законодавчу відсутність його кількісної характеристики (за винятком

регламенту про пожежну безпеку), є важливим у прийнятті управлінських рішень. Концепція прийнятної безпеки передбачає готовність суспільства піти на деякий ризик, якщо його величина (вірогідність реалізації та можливі наслідки) настільки незначна, що заради отримання деякої вигоди можна піти на цей ризик.

Недоліком концепції прийнятного ризику є відсутність конкретизації поняття "прийнятний рівень безпеки" і кількісного його вираження, а також наявність його суб'єктивного характеру (експертна оцінка).

Відповідно до концепції прийнятного ризику сформульовано принципи управління безпекою. До них належать:

1. Принцип пріоритету безпеки життя і здоров'я людей, який означає, що жодне рішення не можна вважати прийнятним у разі виникнення техногенних загроз, якщо воно не гарантує необхідний ступінь безпеки суспільства загалом і кожної людини окремо. Цей принцип реалізується шляхом створення законодавчої бази, яка є найважливішою складовою системи забезпечення безпеки.

2. Принцип інтегральної оцінки небезпек, який передбачає той факт, що управління ризиком має включати весь спектр наявних на підприємстві техногенних небезпек від електроустановок. Вивчення механізму процесів, що призводять до виникнення небезпечних техногенних ситуацій, і здійснення заходів щодо їх попередження та ліквідації наслідків можливі за наявності науково обґрунтованих даних діагностування та прогнозу параметрів ЛМС "Л-Е-С" з урахуванням оцінки та тенденції економічного розвитку суспільства. 3. Принцип попередження і доцільності, відповідно до якого практична діяльність не може бути виправдана, якщо вигода від цієї діяльності загалом не перевищує спричиненого нею збитку.

Для оцінки ризиків електроустановок і обґрунтування захисних заходів слід мати у своєму розпорядженні якусь базову шкалу для порівняння техногенних загроз, що виникають на об'єктах. При цьому необхідно

враховувати різну природу небезпек, яка важко піддається ідентифікації. Введення поняття збитку дає змогу зняти невизначеність у цьому випадку. Будемо розглядати збиток електроустановки, як наслідок зміни стану об'єкта електропостачання, що виражається в ушкодженні цілісності або погіршенні функціональних його властивостей, що тягнуть за собою соціальні та економічні втрати. Введення шкали збитку дає змогу оцінювати небезпеку події двома показниками: її частотою і масштабом матеріальних втрат.

Представимо (рис. 1.1) функціонування розглянутої ЛМС у вигляді деякої сукупності показників, що відображає її властивості.

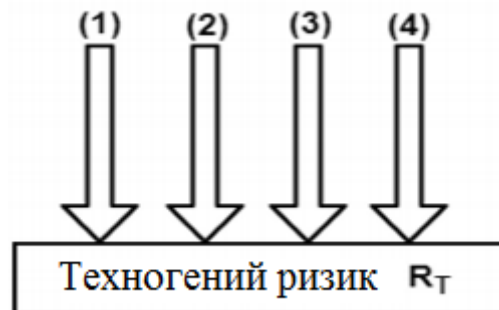


Рис. 1.1. Ілюстрація взаємозв'язків техногенного ризику та показників ефективності ЛМС "Л-Е-С": (1) - надійність; (2) - безпека; (3) - ергономічність; (4) – економічність.

Зростаючий у суспільстві прогрес створює нові технічні рішення і технології, що збільшують рівень небезпеки здоров'я і життя людей. Технічні системи не володіють абсолютною надійністю, тому досить часто виникають техногенні аварії та катастрофи, що завдають великої шкоди суспільству. Техногенні катастрофи характеризуються винятково високим ступенем впливу чинників, що вражають людину та її середовище проживання.

До факторів безпеки в техногенній сфері віднесемо технічні, технологічні та організаційні.

Технічні чинники безпеки пов'язані з рівнем надійності та залишкового ресурсу механізмів і обладнання. Рівень надійності буде нижчим, а ступінь безпеки - вищим, якщо обладнання застаріле та має високий знос. Це може спричинити аварії на виробництві з тяжкими наслідками.

Технологічні чинники небезпеки виникають у разі використання технологій із підвищеним рівнем ризику, порушення послідовності виконання операцій, невідповідності чинної технології робіт нормативним показникам, збільшення навантаження понад допустимі значення, відхилення режимів проведення технічного обслуговування і ремонту від регламенту та низької кваліфікації виконавців.

Організаційні фактори небезпеки характеризують структуру виробничих взаємозв'язків між електротехнічним персоналом (оператором) і системою експлуатації електроустановок з урахуванням чинних правил і регламентів робіт.

Висновки по розділу

Нині починають активно розвиватися методи й алгоритми підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності вихідних даних на основі системного аналізу та синтезу слабоструктурованих людино-машинних систем, імітаційного моделювання процесів управління й оптимізації техногенних ризиків небезпеки електроустановок реальних виробничих об'єктів. У дисертації поставлено мету - подальший розвиток нової методології оцінювання, управління та оптимізації техногенного ризику й небезпеки електроустановок виробничого об'єкта на основі аналізу людино-машинної системи "Людина-Електроустановка-Середовище" ("Л-Е-С"), яка належить до класу неструктурованих динамічних об'єктів.

Проведений аналіз стану безпеки електроустановок виявив об'єктивні причини зростання кількості аварій, нещасних випадків і пожеж, викликаних електричним струмом, що зажадав пошуку сучасних підходів, зокрема, створення прикладних інтелектуальних систем для оцінювання, управління та оптимізації техногенних ризиків небезпеки електроустановок на базі побудови імітаційної моделі ЛМС "Л-Е-С".

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ВИРОБНИЧОГО ОБ'ЄКТА

На початку 80-х років XX століття в дослідженнях зі штучного інтелекту сформувався напрям, що отримав назву "експертні системи (ЕС)", основним призначенням яких є розробка програмних продуктів під час розв'язання певного виду завдань, проблематичних (важких) для людини. Причому, такі рішення, так званих, неформалізованих завдань, не поступаються за ефективністю рішенням, одержуваним людиною - експертом. Інакше кажучи, експертна система - це втілення в ЕОМ накопиченого досвіду експерта (висококваліфікованого в даній предметній області), заснованого на знаннях у такій формі, що машина може дати інтелектуальне рішення щодо досліджуваного об'єкта дослідження. При цьому бажано, щоб ЕС мала здатність пояснити "хід своїх суджень", зрозумілим користувачеві чином. Забезпечуються ці властивості в результаті програмування, заснованого на формальних правилах. Тому ЕС, по суті, моделює поведінку експерта під час ухвалення рішення в конкретній предметній області. У зв'язку з цим видається перспективною автоматизація знань фахівців у сфері діагностики технічного стану електроустановки шляхом розроблення алгоритмів оцінювання та управління техногенними ризиками ЛМС "Л-Е-С".

Зупинимося на цьому детальніше. Під час побудови експертної системи доводиться стикатися з проблемою ухвалення рішень, яка існує в реальному світі, що нас оточує. В даний час прийнято таку класифікацію проблем (або систем):

1. добре структуровані системи (надалі ми спиратимемося на цю термінологію), у яких суттєві взаємозалежності виявлено досить повно і їх можна виразити в числовому вигляді чи за допомогою деяких символів, що

надалі подають чисельними оцінками. 2. Слабоструктуровані системи - на відміну від попередніх, містять якісні елементи, причому маловідомі та невизначені. Додамо до цього, що в окремих системах, наприклад, ЧМС, відомий тільки перелік основних чинників і параметрів, але якісні зв'язки між ними встановити не можна (відсутня необхідна інформація). Завдання такого класу може бути розв'язане суб'єктивним шляхом, за допомогою так званих "м'яких" обчислень, які виконуються експертно, інтуїтивно, на основі накопиченого досвіду.

Існують різні визначення експертних систем (інтелектуальні мережі, байєсівські мережі довіри тощо). У загальному випадку ЕС можна уявити як апаратурно-програмний комплекс, що акумулює знання висококваліфікованих фахівців у галузі техногенної безпеки електроустановок виробничого об'єкта в реальному масштабі часу на всіх стадіях його життєвого циклу. Отримані в такий спосіб знання можуть бути інтерпретовані та тиражовані для консультації менш кваліфікованого персоналу (користувача).

На рис. 2.1 представлено пропоновану нами узагальнену структуру експертної системи. Зазначимо, що реальні ЕС можуть мати складнішу структуру, однак, блоки, зображені на рисунку, є базовими; вони становлять достатню сукупність усіх необхідних компонентів для її функціонування.

Як показала практика, експертні системи нерідко використовуються в тих галузях, які характеризуються так званою спадковою невизначеністю. Ця невизначеність властива всім складним слабоструктурованим динамічним системам. Вона виникає внаслідок: а) неповного розуміння предметної області; б) неповних знань; в) в динамічних системах (об'єктах), що описують фізичні процеси, які протікають у них.

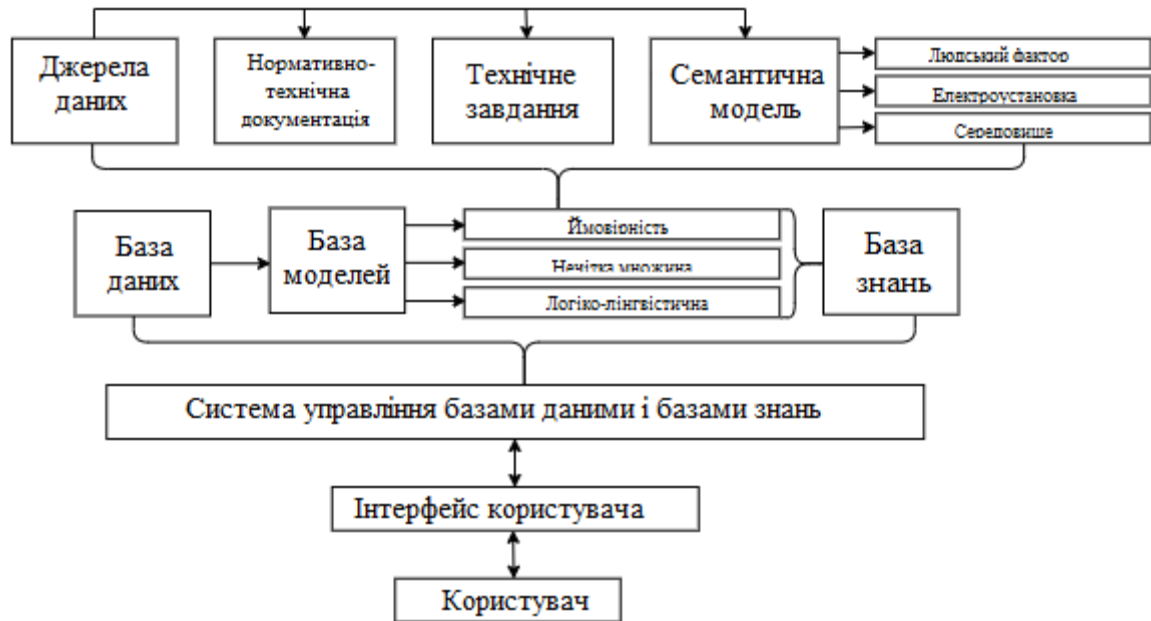


Рис. 2.1. Узагальнена структурна схема експертної системи аналізу та синтезу моделі (Л-Е-С)

Останній клас невизначеностей відноситься до баєсівських мереж, у яких випадкові події з'єднані причинно-наслідковими зв'язками.

Для розв'язання задач ЕС у сфері оцінювання та управління техногенним ризиком людино-машинної системи можна використовувати такі підходи: 1. Математичні теорії та методи: детерміністичний (математичний) аналіз, теорія ймовірностей і математична статистика, математична логіка, теорія множин, теорія непарних множин і мір, темпоральна логіка. 2. Математичні моделі: диференціальні та інтегральні рівняння, стохастичні, імітаційні, логіко-лінгвістичні, ситуаційні.

Під час побудови ЕС моделі (Л-Е-С) доводиться стикатися і долати конфліктну природу, властиву будь-якій складній системі. Тут не йдеться про конфліктну ситуацію, де виступають якісь протидіючі сили, наприклад, у теорії ігор. Слід мати на увазі з огляду на те, що сама людино-машинна система має конфліктне середовище, зумовлене функціонуванням компонентів. Конфліктна природа компонентів ЧМС вимагає розгляду великої кількості різних частин, структур або елементів, що взаємодіють, а також аспектів і понять, що

ускладнюють не тільки побудову адекватних моделей, а й загалом розуміння процесів, які в них відбуваються.

Пояснимо сказане детальніше.

1. Не всі параметри і компоненти ЛМС, що є основою побудови експертної системи, можуть бути виражені кількісними характеристиками.

Основною причиною тут є різновид компонентів, тобто різна за природою сутність складових ЛМС.

2. Досить складно, а в низці випадків принципово неможливо, використовуючи традиційні математичні засоби, одержати формалізований опис об'єкта управління (ЛМС "Л-Е-С"), а, отже, побудувати експертну систему. Є також певні труднощі формалізації техногенного ризику та визначення (ідентифікації та інтерпретації) ризикоутворювальних факторів.

3. Частина необхідної інформації подано у вигляді судження та думки експерта, що призводить до нечіткості опису компонентів системи.

4. Для побудови експертної системи діагностики технічного стану електроустановок виробничого об'єкта на базі використання традиційних підходів доводиться стикатися з розглядом одного з двох підходів:

Перший спрямований на врахування всіх можливих чинників, що впливають на ефективність функціонування розглянутої ЛМС та її експертної системи. Такий підхід є тупиковим, що призводить до спроби "осягнути неосяжне". Використання традиційних математичних підходів призводить до складання громіздкої і неприйнятної для практичного використання моделі, включно з інтерпретацією її результатів.

Другий пов'язаний зі спрощенням моделі, що веде до її загрубіння і необґрунтованого ігнорування чинників невизначеності, що, зрештою, призводить до неадекватного отримання управлінських рішень.

Альтернативою тут можуть слугувати спеціальні моделі, ґрунтовані на знаннях, що дає змогу зняти невизначеність і нечіткість при описі ЛМС, перейшовши, як уже зазначалося, від строгих математичних конструкцій до

"м'яких обчислень". Це твердження ґрунтується на аксіомі, що складні (слабоструктуровані) системи не дають змоги давати точні та змістовні твердження, бо "точність" і "реальність" поняття взаємовиключні. Аналіз показав, що один із найефективніших підходів формалізації та опрацювання отриманої інформації під час функціонування ЧМС є теорія непарних мір, що поєднує в собі темпоральну логіку.

Інженерія знань (ІЗ) - напрям штучного інтелекту, що вивчає проблему отримання та формалізації знань (структурованих даних) для подальшого опрацювання (проектування) баз знань.

Інженерія знань містить у собі такі поняття.

1. *Поле знань* - умовний неформалізований опис основних понять і взаємозв'язків між поняттями предметної області, виявлених із системи знань експерта у формі тексту, таблиць і графіків. Поле знань є першим етапом формалізації і являє собою певну модель відомостей про предметну галузь, висловлену експертом (аналітиком) у формі природної людської мови з подальшим її вираженням у вигляді машинно-реалізованої мови представлення знання (МРЗЗ) на базі використання знаків і символів у знакових системах штучної мови. Зазначимо, що інженерія знань на відміну від досить простих (суворих) предметних галузей, описуваних за допомогою апарату традиційної математики (диференціальних рівнянь), розглядає "м'які" предметні галузі, яким бракує виразної адекватності класичного математичного апарату і де більше значення має простота модифікації, наближеність рішення, ясність інтерпретації, наочність тощо.

2. *Отримання знань* – процес перенесення компетентності експерта на інженера зі знань. Використовуються такі терміни: придбання, отримання, витяг, формування знань; в англійській використовуються *acquisition* (придбання) і *elicitation* (виявлення, витяг).

3. *Витяг знань (knowledge elicitation)* – процедура отримання знань із потоку інформації про предметну галузь шляхом взаємодії експерта з джерелом

знань, унаслідок якої стають явними (зрозумілими) процес міркувань фахівців під час ухвалення рішення і структура їхніх уявлень про предметну галузь. Процес вилучення знань є трудомісткою процедурою, в якій інженеру зі знань, який володіє когнітивною психологією, системним аналізом і математичною логікою, необхідно сформувати математичну модель предметної області, яка використовується для ухвалення рішення.

Умовно можна розділити експертні системи для аналізу і синтезу ЛМС "Л-Е-С" на такі класи виконуваних аналітичних завдань.

Інтерпретація належить до одного з традиційних завдань для експертних систем. Під інтерпретацією розуміють процес визначення сенсу даних, результати якого мають бути зрозумілими і коректними. Інтерпретації передують процес ідентифікації. Стосовно нашої предметної області ідентифікація - процес виявлення потенційних загроз і небезпек з боку компонентів ЛМС.

Діагностування – процес співвідношення об'єкта з деяким класом об'єктів або виявлення несправностей (відхилення від норми) у деякій ідентичній сукупності. Таке трактування дає змогу розглядати несправність (негативність) техногенного або природного характеру з єдиних теоретичних знань.

Моніторинг – його основним завданням є інтерпретація даних у реальному масштабі часу і сигналізація про вихід тих чи інших параметрів за допустимі межі. Тут важливо враховувати проблеми, що виникають: "пропуску" сигналу та інверсії "помилкового" спрацьовування. Моніторинг набув широкого поширення в повітряних магістральних мережах високої та надвисокої напруги і в системах електропостачання споживачів першої категорії.

Проектування полягає в підготовці специфікації на створення електроустановок (електричних мереж і технологічного електроустаткування) із заздалегідь визначеними властивостями, що задовольняють внутрішні (робочі) і зовнішні чинники середовища. Під специфікацією ми розумітимемо сукупність необхідних документів: технічного завдання, робочих креслень,

пояснювальної записки тощо. Основні проблеми тут - отримання чіткого структурного і функціонального опису знань щодо досліджуваного об'єкта. При виконанні етапу проєктування необхідним є взаємоув'язування двох основних процесів, які виконуються в рамках відповідного ЕС: процес виведення рішення і процес його пояснення.

Прогнозування дає змогу передбачати наслідки деяких подій на підставі аналізу отриманих даних (розрахункових або дослідних). Системи прогнозування логічно виводять імовірні наслідки із заданих ситуацій. У прогнозованій системі зазвичай використовують параметричну динамічну модель, у якій значення параметрів "підганяють" під задану ситуацію. Прикладом тому є варіація ризикоутворювальних чинників, що вводяться в модель ЛМС, і отримання на виході системи необхідних значень інтегрального ризику. Тут ЕС містить у своєму складі модулі для введення вихідних даних і попереднього опрацювання, формування бази знань, що являє собою структуровані та інтерпретовані відомості, факти і правила, викладені в системі нечіткої логіки і логічного висновку, на підставі якого робиться висновок про технічний стан електроустановки.

Підтримка ухвалення рішень являє собою сукупність процедур, що забезпечують особі, яка ухвалює рішення, необхідну інформацію та рекомендації, що полегшують процес ухвалення рішення. Така ЕС допомагає фахівцям вибрати або сформувати потрібну альтернативу серед їхньої безлічі під час ухвалення відповідальних рішень.

Підсумовуючи, зазначимо, що ЕС, які ґрунтуються на знаннях, поділяються на системи, що розв'язують завдання аналізу, і на системи, що розв'язують завдання синтезу.

Основна відмінність цих завдань полягає в тому, що якщо в завданнях аналізу множину рішень можна перерахувати і включити в систему, то в завданнях синтезу множина рішень потенційно не обмежена і будується з рішень окремих компонентів моделі ЧМС. До завдань аналізу належить

інтерпретація даних, діагностування, підтримка прийняття рішення. До завдань синтезу - відповідно проектування, управління та оптимізація.

Розглянемо базові функції експертної системи та вимоги, яким вона має задовольняти для оцінки та прогнозування техногенної небезпеки.

По-перше, експертна система (ЕС) має володіти знаннями, а не просто здатністю виконувати певні алгоритмічні функції. По-друге, знання, які має ЕС, мають бути сконцентровані на певну предметну галузь; ці знання припускають структурування, формалізацію та інтерпретацію, тобто окремі відомості мають логічно співвідноситися одна з одною для виконання експертного аналізу. По-третє, з цих знань має безпосередньо впливати розв'язання поставленої проблеми. На підставі викладеного дамо загальне формальне визначення ЕС, як програми для комп'ютера, що оперує знаннями в певній предметній області з метою розв'язання тієї чи іншої задачі реального світу.

Очевидно, що експертна система, здатна імітувати і відтворювати ті області діяльності людини, які використовують мислення і накопичений досвід, тому ЕС може повністю взяти на себе функції людини-фахівця (експерта) або відігравати роль помічника для особи, яка ухвалює рішення (ЛПР).

До базових функцій ЕС віднесемо:

1. *Набуття знань* - процес передання потенційного досвіду розв'язання проблеми техногенної безпеки від деякого джерела знань (експерта) і перетворення його в певну форму, яка дає змогу використовувати ці знання в програмі. Зазначимо, що факти і принципи, які лежать в основі знань експерта, не можуть бути чітко сформульовані в термінах фізичної та математичної теорії безпеки або бути представленими у вигляді деякої детермінованої моделі, сенс якої добре зрозумілий. Наприклад, фахівцеві в галузі пожежного нагляду може бути відомо, що певні події можуть стати причиною зростання або зниження кількості пожеж у регіоні, але він не зможе пояснити механізми, які призводять до таких ситуацій, або оцінити ступінь впливу факторів ризику. Аналіз статистики пожеж може допомогти зробити загальний довгостроковий прогноз

по регіонам, але, як правило, такий аналіз не працює щодо окремих об'єктів на коротких часових інтервалах. Для того, щоб вирішити розглянуту проблему, працівникові пожежнагляду недостатньо володіти деякою сумою знань про факти випадків пожеж. Експерт повинен знати, якого роду інформацією потрібно володіти для формулювання того чи іншого судження, наскільки надійні різні джерела інформації і як можна розчленувати складну проблему на простіші, які можна вирішувати незалежно один від одного. Виявити в процесі передачі ЛПР такого роду знання, що ґрунтуються на особистому досвіді та погано піддаються формалізації, значно складніше, ніж отримати простий перелік якихось фактів або загальних принципів.

2. *Представлення знань* - самостійна галузь досліджень, пов'язана з комп'ютерним формалізмом і когнітивною психологією.

Предметом дослідження тут є вивчення методів асоціативного зберігання інформації, аналогічних тим, які існують у мозку людини. У царині експертних систем подання знань цікавить нас як засіб відшукування методів формалізованого опису великих масивів корисної інформації з метою їх подальшого опрацювання за допомогою символічних обчислень. Формалізований опис означає впорядкування в межах будь-якої мови, що має синтаксис побудови виразів і такого самого рівня - семантику, яка пов'язує сенс виразу з його формою. Символьні обчислення являють собою виконання нечислових (а смислових) операцій, у які можуть бути введені символи і символічні структури для представлення різних понять і відносин між ними. Зазначимо, що основним критерієм доступу до представлення знань є логічна адекватність, тобто здатність розпізнавати всі відмінності, що закладаються у вихідну сутність, вирази, якими формально описуються знання, мають бути якомога простішими для написання, а їхній сенс має бути зрозумілим будь-якому користувачеві. Етап подання знань є важливим чинником конструкції ЕС, оскільки визначає характеристики простору пошуку, на якому працює механізм виведення.

3. Управління процесом пошуку рішення передбачає процес ухвалення рішення на підставі використання наявних знань і передавання інформації про перебіг розв'язання проблеми користувачеві, тобто щоб дати пояснення прийнятих рішень.

Розглянемо питання, пов'язані з розробленням моделі подання знань, створення бази знань, що утворюють ядро експертної системи (рис. 2.2).

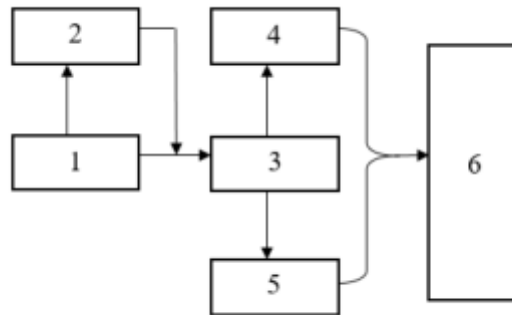


Рис. 2.2. Узагальнена структура ЕС: 1 - користувач, інтерфейс; 2 - база даних (БД); 3 - база знань (БЗ); 4 - розв'язувач; 5 - підсистема пояснень; 6 - інтелектуальний редактор бази знань.

Дані (бази даних) являють собою окремі відомості (факти), що характеризують об'єкти, процеси або явища розглянутої предметної області: електроустановки виробничого об'єкта або людино-машинна система. Зазвичай база даних формується на основі проведення експертних досліджень, у результаті вимірювань і спостережень. Сюди ж слід віднести структури даних у вигляді діаграм, графіків, таблиць, що містяться в нормативних і проектних матеріалах, технічному завданні.

Знання (база знань) на відміну від бази даних являють собою результат розумової діяльності людини, спрямований на узагальнення її досвіду, отриманого на практиці. Таким чином, знання відображають закономірності предметної області, яку ми розглядаємо (принципи, взаємозв'язки, закони), у структурованому і формалізованому вигляді. Знання відображають вищий рівень абстракції, ніж дані. База знань формується за допомогою одержуваних людиною відомостей від матеріальних джерел (підручників, наукової

літератури), а також знань, представлених на моделях (мовах). До останніх належать:

а) продукційна модель, заснована на правилах причинно-наслідкового характеру "ЯКЩО (умова), ТО (дія)";

б) семантична мережа, що являє собою орієнтований граф, вершини якого відображають поняття, а дуги - відносини між ними;

в) фрейм (frame) - абстрактний образ для представлення якогось стереотипу сприйняття, або формалізована модель для відображення образу (уявного об'єкта).

Висновки, засновані на знаннях. Продукційна модель бази знань складається з набору правил. Програма, що керує перебором правил, називається машиною логічного висновку (МЛВ). У структурі ЕС розділяється база знань і компонент, яким користується МЛВ. Взаємодія між ними забезпечується програмою, яка називається оболонкою (shell) експертної системи. Користувач взаємодіє з ЕС через оболонку, передає їй запити. Остання активізує МЛВ, яка звертається до бази знань, витягує знання, необхідні для відповіді на конкретне запитання, і передає сформульовану відповідь користувачеві або як розв'язання задачі, або у форматі рекомендації. Таким чином, механізм виведення включає два компоненти: перший реалізує власний висновок, другий керує цим процесом.

Функція компонента виведення ґрунтується на застосуванні правила, званого *modusponens*, суть якого зводиться до такого: якщо відомо, що твердження А істинне й існує правило виду "якщо А, то В", тоді твердження В також істинне. Інакше кажучи, правила спрацьовують, коли знаходяться факти, які стверджують їхню ліву частину - якщо істинна передумова, то має бути істинним і висновок. Компонент висновку має функціонувати навіть за нестачі інформації. У цьому разі отримане рішення може бути і не точним, однак, система має надійно функціонувати і за відсутності якоїсь частини вхідної інформації.

Керуючий компонент визначає порядок застосування правил і виконує такі етапи:

- зіставлення - зразок правила зіставляється з наявними фактами;
- вибір - якщо в конкретній ситуації може бути прийнято одразу кілька правил, то з них обирають одне, найбільш підходяще за заданим критерієм (вирішення конфлікту);
- спрацювання - якщо зразок правила під час зіставлення збігся з будь-якими фактами з робочої пам'яті, то правило спрацює;
- дія - робоча пам'ять піддається зміні шляхом додавання в неї висновку правила, що спрацювало. Якщо в правій частині правила міститься вказівка на будь-яку дію, то вона виконується.

Інтерпретатор працює циклічно (рис. 2.3). У кожному циклі він розглядає всі правила, щоб виявити ті, посилки яких збігаються з відомими на цей момент фактами з робочої пам'яті. Після вибору правило спрацює, його висновок заноситься в робочу пам'ять, а потім цикл повторюється спочатку. Сукупність опрацьованих правил становить, так звану, конфліктну множину. Для вирішення конфлікту інтерпретатор має певний критерій, за допомогою якого він вибирає єдине правило, після чого воно спрацює. Робота машини виведення залежить тільки від стану робочої пам'яті та від складу бази знань. Інформація про поведінку механізму виведення запам'ятовується в пам'яті станів (рис. 2.4).

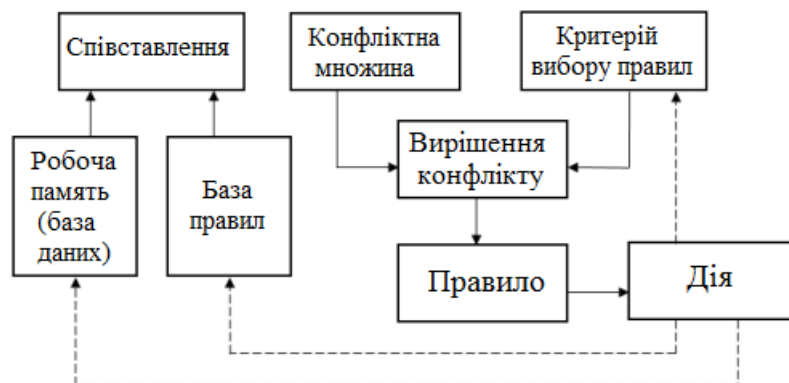


Рис. 2.3. Цикл роботи інтерпретатора

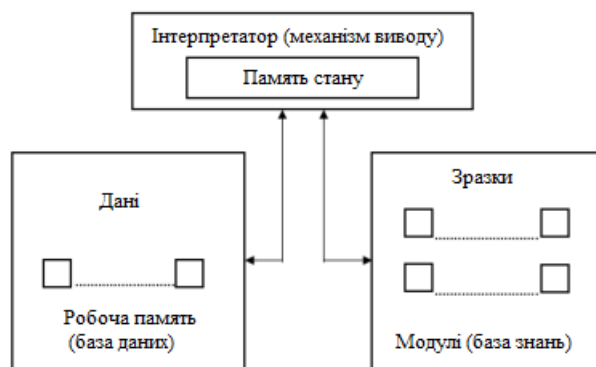


Рис. 2.4. Схема функціонування інтерпретатора

Мови подання знань є мовами високого рівня, спеціально призначені для кодування в явному вигляді знань людини, таких як сукупність властивостей типових об'єктів (систем) і правил впливу. На відміну від більш звичних мов програмування мови подання знань досить економічні в сенсі обсягу програмного коду.

Перехід від опису знань про предметну галузь усім зрозумілою природною мовою людини до їхнього представлення у вигляді якогось формалізму, що сприймається комп'ютером, потребує певних навичок, бо видається вельми проблематичним описати, як механічно виконати таке перетворення. З огляду на те, що можливості логічного висновку, які може реалізувати програма, безпосередньо пов'язані з вибором способу представлення знань, то представлення знань слід вважати вузьким місцем у практиці проектування експертних систем. У більшості випадків подання знань ускладнюється невпевненістю в них або невизначеністю висловлюваних суджень. Наші знання за своєю природою, як правило, є неповними і суперечливими, містять безліч здогадок і припущень. Під час роботи з невизначеностями доводиться йти на деякі спрощення, підміняючи математичну коректність м'якими обчисленнями, що мають наближений характер, отримуючи при цьому спрощення завдання заради практичної вигоди. Зазначену обставину слід розцінювати як констатацію реально існуючої ситуації.

Інструментальні засоби побудови експертної системи. Під час побудови ЕС необхідно вибрати інструментальні засоби, що забезпечують автоматизацію проектування на основі використовуваного так званого прототипу, що являє собою спрощену версію кінцевої програми. Прототип має бути здатний розв'язувати будь-яке з нетривіальних завдань, характерних для цієї сфери застосування.

Працездатність прототипу є доказом можливості розв'язання поставленої проблеми за допомогою створюваної ЕС, ще до того, як на її розробку буде витрачено певні кошти. Під час розроблення ЕС є можливість спочатку побудувати і випробувати прототип. Ця можливість дає змогу уникнути безлічі переробок у процесі створення робочої версії експертної програми. В основу вибору інструментальних засобів має бути покладено зіставлення характеристик проблеми, яку ми розглядаємо, що розв'язується проектною ЕС, і необхідних функціональних можливостей інструментального комплексу. У деяких роботах розроблено схему аналізу, що ґрунтується на властивостях простору пошуку рішень, яка містить 11 категорій, з яких як основні виділимо чотири:

1. Малий простір рішень, надійні бази даних і бази знань.
2. Надійна база даних або база знань.
3. великий, але факторизований простір рішень.
4. Великий нефакторизований простір рішень.

Очевидно, що найкращою для розв'язання поставленої проблеми видається перша категорія, де кількість альтернатив, які слід брати до уваги під час пошуку рішення, досить обмежена, бази даних і знань достовірні, а істинність правил не викликає сумнівів.

У цьому випадку є можливість виконати вичерпний пошук у просторі рішень і за необхідності організувати повернення з простежуванням у зворотному порядку. Для розв'язання проблеми, що розглядається, можна скористатися оболонкою, раніше створеною ЕС, що розв'язувала аналогічну

проблему (діагностику, прогнозування та управління складними системами або моделями) в іншій предметній області. Такий підхід дає змогу отримати задовільне, а не оптимальне розв'язання проблеми, тобто досить гарне, а не найкраще рішення. Зазначимо, що спроба відшукати оптимальне рішення неминуче пов'язана з перебором декількох варіантів, що призводить до додаткових витрат.

На рис. 2.5 представлено рекомендовану схему вибору інструментальних засобів. Спочатку слід сформулювати сутність проблеми, поставити мету і завдання дослідження, ввести обмеження, тобто по суті, обґрунтувати характеристики проблеми, що стоїть, яку розв'язує проєктованою експертною системою. Далі необхідно визначитися з властивостями простору рішень, перерахованими вище. Потім вони розглядаються спільно з передбачуваними характеристиками розроблюваної ЕС - характеристиками породжувальних правил, прямого ланцюжка виведення або можливостями формування пояснень, на підставі чого вибирають чисельні характеристики інструментального середовища. Останні дають змогу підібрати потрібну модель інструментального середовища.



Рис. 2.5. Схема вибору інструментальних засобів ЕС

На підставі викладеного сформулюємо вимоги до експертної системи діагностики техногенної небезпеки електроустановок виробничого об'єкта:

1. мати здатність представляти знання про навколишній світ і пояснювати судження, ґрунтуючись на таких уявленнях. У експертній системі, яку ми розглядаємо, цю здатність потрібно виконувати на практиці, вважаючи, що в

ній подають знання конкретної галузі (тобто діагностування небезпеки електроустановок об'єкта), відповідно, судження, які породжуються, стосуються тільки цієї галузі. У цьому разі, зазначимо, що експертна система виглядатиме вельми обмеженою в сенсі обсягу знань, а ймовірність одержання достовірного (на нашу думку) судження, вочевидь, буде обернено пропорційною обсягу знань, залучених до виведення суджень.

2. Наявність компетентності, тобто можливості досягати експертного рівня вирішення завдання.

3. Можливість використання символічних міркувань шляхом подання знань у символічному вигляді, де смисл - є знакове позначення, що відповідає змісту деякого поняття.

4. Функціонування у двох режимах:

- режим набуття знань здійснюється експертом, який описує проблемну область у вигляді сукупності фактів і правил, тим самим ЕС отримує необхідні знання, за допомогою яких здійснюється процес самостійного розв'язання задачі проблемної області. Зазначимо, що тут функцію програмування здійснює експерт, який не є фахівцем у сфері розроблення програмних засобів;

- режим розв'язання задачі (консультації, використання). Спілкування з ЕС здійснюється користувачем (або ЛПР), якого цікавить результат і спосіб його отримання. При цьому користувач може бути не фахівцем у даній предметній області, у цьому разі він звертається до ЕС за результатом, який не може отримати самостійно.

5. Технологія побудови ЕС має включати такі етапи:

- ідентифікацію (формулювання мети і завдань, що підлягають вирішенню, визначення експертів);

- концептуалізацію (змістовний аналіз предметної області, введення понятійного апарату, вибір методів розв'язання задачі);

- формалізацію (вибір програмних засобів і способів представлення знань, формалізм основних понять);

- виконання - процес набуття знань передбачає формування бази знань, здійснюване експертом шляхом "вилучення" знань та їх подання у вигляді, зрозумілому для ЕС;

- тестування - перевірка компетенції ЕС на основі використання діалогових і пояснювальних засобів, проводиться експертом та інженером зі знань.

6. Володіти здатністю накопичення та організації знань: знання мають бути явними і доступними на відміну від традиційних програмних засобів; тут має бути використаний високоякісний досвід кваліфікованих експертів, наявність прогностичних можливостей, при яких ЕС видає рішення не тільки для конкретної ситуації, а й дає відповіді для нових умов, пояснюючи відповіді для нових умов, пояснюючи, яким чином нова ситуація призвела до змін.

7. Мати переваги ЕС (штучної компетенції) порівняно з людиною-експертом. порівняно з людиною-експертом: а) постійністю, оскільки людська компетенція ненадійна; б) легкістю передачі або відтворенням - передача формалізму знань - простий процес копіювання програми або файлу даних.

До основних принципів побудови ЕС віднесемо:

- потенційну можливість розв'язання експертом проблеми предметної області;

- чітке формулювання проблеми, її формалізм (структуризація);

- динаміку розвитку проблеми шляхом еволюції ЕС і визначення меж її досягнень. Доцільно побудувати ЕС для ефективного розв'язання обмеженої проблеми, ніж систему, що претендує на розв'язання широкого класу завдань, але дає епізодично правильне рішення;

- спрощення машини логічного висновку в ЕС шляхом класифікації знань, що дає змогу відокремити специфічні знання для предметної області, яку ми розглядаємо, від знань, що стосуються загальної методики розв'язання проблеми.

Висновки по розділу

Сформульовано основні принципи побудови експертної системи, орієнтованої на витяг знань у даній предметній області; розглянуто класифікацію, архітектуру та вимоги до експертної системи.

Розроблена імітаційна модель ЛМС "Л-Е-С", будучи експериментальним інструментом дослідження, дає змогу подолати характерні властивості складних систем, як-от нестахостатична невизначеність, нестаціонарність, багатокритеріальність, слабоструктурованість тощо. Показано, що імітаційне моделювання дає змогу використовувати релевантну інформацію різного виду, включно з точними розрахунковими даними (кількісною інформацією), а також неточними (якісними оцінками), отриманими досвідченим шляхом на підставі експертних суджень.

РОЗДІЛ 1

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИНИКНЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОГЕННИХ СИТУАЦІЙ

Сучасний етап розвитку аграрної галузі характеризується ускладненням зв'язків і взаємодій природних, техногенних, економічних та інших чинників виробництва як на рівні окремих підприємств, так і в масштабах регіону або галузі. Значення і взаємозв'язок цих чинників безперервно змінюється, тому виникає необхідність імітації реальних явищ і процесів, що протікають у часі. Суть цих імітацій полягає в багаторазовому відтворенні варіантів планових рішень з подальшим аналізом і вибором найкращих.

Імітаційна модель (від англ. Simulation) належить до виду аналогового моделювання, реалізованого за допомогою набору математичних інструментальних засобів, спеціальних імітаційних компонентів програм, які дають змогу за допомогою процесів-аналогів провести цілеспрямоване дослідження структури ЛМС "Л-Е-С" та функцій реального процесу в пам'яті комп'ютера в режимі імітації та виконати оптимізацію його параметрів.

У дослідженнях операції широко застосовують аналітичні та статистичні моделі, що мають свої переваги і недоліки. Аналітичні моделі враховують меншу кількість чинників, потребують введення різного роду припущень та організацій, вони більш грубі, проте розрахунки простіші та зрозуміліші, виразно відображають притаманні їм закономірності. Статистичні моделі на відміну від аналітичних є точними та деталізованими, пристосованими до пошуку оптимальних рішень. До недоліків цих моделей слід віднести гучність, велику витрату машинного часу, труднощі при формуванні статистичної вибірки тощо. Імітаційне моделювання, що поєднує в собі перевагу двох методів, дає змогу в загальних рисах розібратися в досліджуваних процесах, ідентифікувати їх, намітивши основні закономірності, ввести деталізацію до уточнення.

Розглянемо основні принципи побудови імітаційної моделі ергатичної людино-машинної системи "Л-Е-С".

Імітаційне моделювання (ІМ) являє собою метод, що дає змогу побудувати модель реального сільськогосподарського об'єкта, який містить електроенергетичну інфраструктуру, що описує в ній процеси так, як вони відбувалися б насправді. З цього погляду ІМ можна розглядати як експериментальний підхід дослідження об'єкта, який доцільно застосовувати, якщо: а) неможливе проведення натурних випробувань, пов'язаних із ризиком для життя і здоров'я людей, значними матеріальними збитками; б) побудова аналітичної моделі пов'язана з невизначеними труднощами, зумовленими невизначеністю вихідних і поточних даних, нелінійністю та динамікою процесів, що протікають в об'єкті.

Імітаційне моделювання, будучи експериментальним методом, відтворює поведінку ЛМС "Л-Е-С" на основі результату аналізу найбільш значущих взаємозв'язків між її компонентами. При цьому процес моделювання представлено у вигляді послідовного ланцюга: реальний об'єкт - семантична модель - логіко-лінгвістична модель - динамічна ЛМС "Л-Е-С" (рис. 3.1); на першому етапі побудови ІМ використовується опис за допомогою природної мови, на другому - формалізований-символьний.

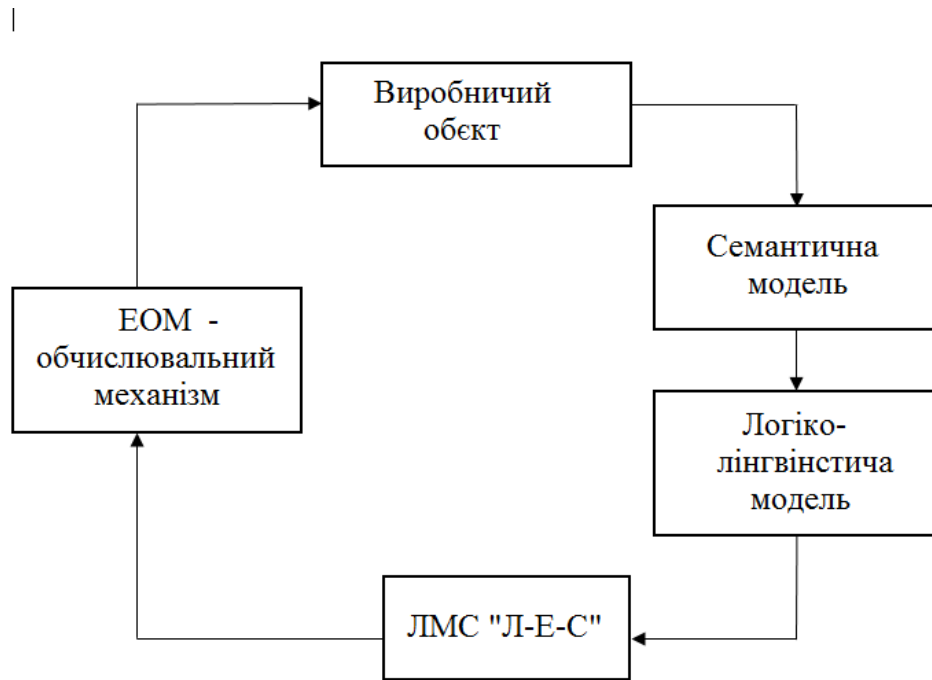


Рис. 3.1. Процес імітаційного моделювання

Основою імітаційної моделі, яку розглядає ЧМС, є її вивчення шляхом розчленування на окремі компоненти (модулі), об'єднані своїми взаємодіями в єдине ціле. Уведемо в структуру ІМ: а) блок імітації процесу взаємодії обслуговуючого персоналу, технологічного електрообладнання із системою електропостачання та зовнішнім середовищем, формуючи реалізацію детермінованих, випадкових і невизначених процесів, які імітують алгоритм функціонування системи загалом; б) блок опрацювання результатів, призначений для отримання інформаційних характеристик електроенергетичної інфраструктури сільськогосподарського об'єкта, яку вивчаємо; в) блок математичної моделі; г) блок керування, що виконує функцію

Уявімо процес функціонування ЛМС як деяку сукупність її станів у просторі станів, що описуються її фазовими змінними $X_1(t)$, $X_2(t)$, ..., $X_n(t)$ у n -вимірному просторі. Завданням імітаційного моделювання є отримання траєкторії руху розглянутої системи в n -вимірному просторі, а також обчислення показника (інтегрального ризику Y), залежного від вхідних параметрів системи (ризикоутворювальних чинників), що визначають ефективність її функціонування.

За аналогією систематизуємо в просторі станів три основні види: - звичайний, у якому система перебуває більшу частину часу, при цьому $X_i(t)$, ($i=\overline{1, n}$) змінюється плавно; - дискретний, характерний для системи на певному інтервалі часу, що змінюється переривчасто; - критичний, визначуваний тим, що в певні моменти часу стан системи змінюється стрибком, причому тимчасові кроки в цьому разі є непостійними, що може призводити до біфуркації.

Описувані стани характеризують динамічні властивості розглянутої ергатичної ЧМС "Ч-Е-С" (рис. 3.2).

Сформуємо в загальному вигляді вимоги, яким має задовольняти імітаційна модель для розв'язання задач предметної області, що розглядається, зважаючи на те, що цей різновид моделей пов'язаний із проведенням машинного експерименту.

1. З огляду на те, що ІМ відображає логіко-лінгвістичне представлення реального об'єкта, реалізоване у вигляді програми для ЕОМ, цей клас моделей слід застосовувати в разі неможливості суворо аналітичного розв'язання задачі або проведення натурного експерименту.

2. Імітаційна модель має виконувати функцію динамічної системи для вивчення поведінки в часі слабо структурованої задачі, для якої існують точні знання або деталізовані гіпотези.

3. Машинний експеримент із ЛМС "Л-Е-С" має бути спрямований на формування масиву даних про стан вхідних і вихідних параметрів у різні моменти часу з прив'язкою до виникнення небезпечних техногенних подій, імітованих під час експерименту. При цьому програма повинна керувати процесом імітації випадкових збурливих впливів (ризикоутворювальних чинників), від яких залежить функціонування системи загалом, її підсистем та елементів.

4. Виконуючи дослідницьку функцію, імітаційна модель має бути пристосована до маніпуляції з масштабом часу її роботи. У зв'язку з цим

видається доцільним рекомендувати, на відміну від сповільненого або прискореного масштабу часу, натуральний масштаб, що найадекватніше відображає фізичні процеси, які протікають у ЛМС "Л-Е-С".

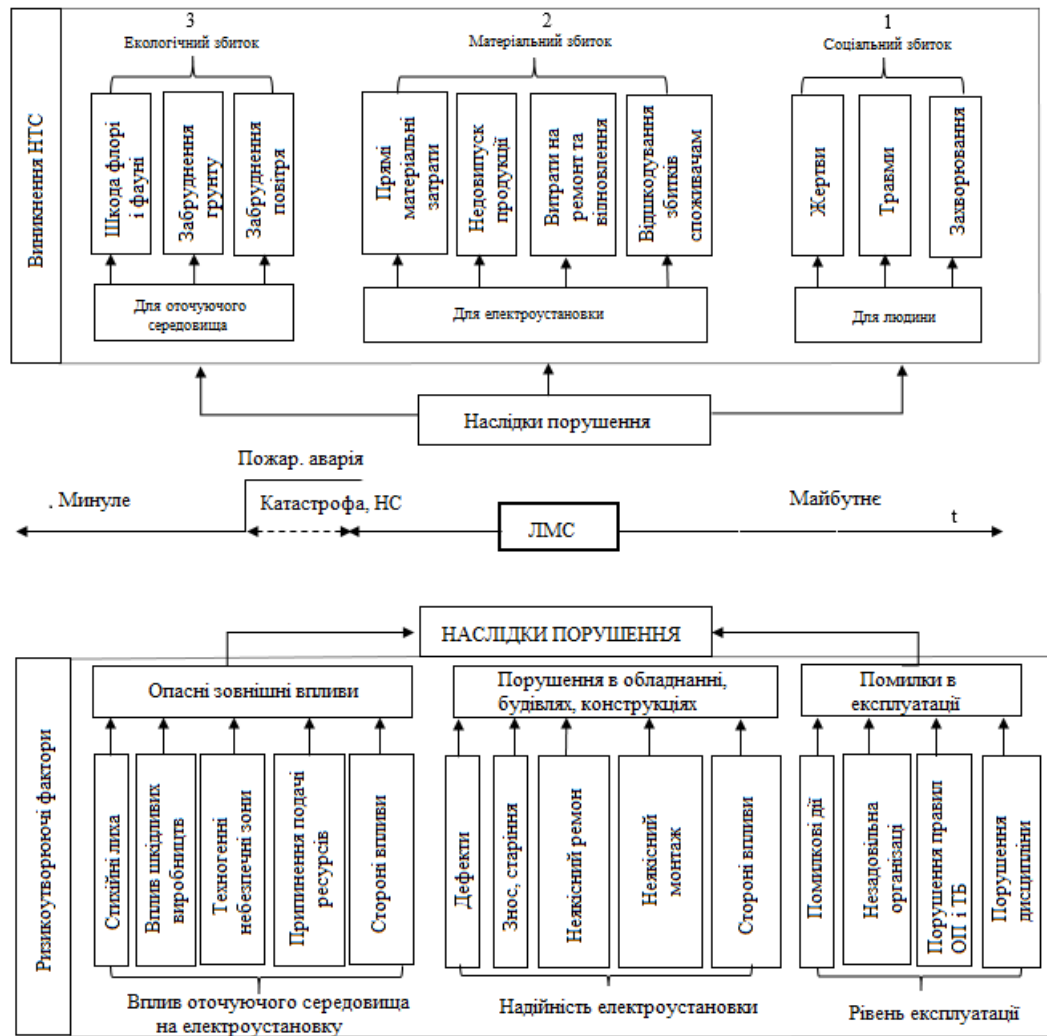


Рис. 3.2. Узагальнена імітаційна модель функціонування ЛМС "Л-Е-С"

Підсумовуючи зазначене, зазначимо, що імітаційне моделювання є нині єдиною альтернативою отримання інформації про функціонування об'єкта та його характеристики. На відміну від великих систем, орієнтованих на прогнозування та прийняття рішень, розрахованих на тривалі інтервали часу і засновані на інтегральних оцінках, (наприклад, екологічних процесів у галузі або окремому регіоні), розглянута нами техногенна система, опис і дослідження якої ґрунтується на оперативній інформації, що надходить у певний момент часу, що вимагає прийняття єдиного альтернативного рішення протягом заданого (досить короткого) проміжку часу.

Тут як критерію ухвалення рішень можуть бути використані ймовірнісні, вартісні та інші альтернативні оцінки. Однак, пріоритетним слід розглядати динаміку розвитку небезпечної техногенної ситуації, наприклад, аварії в електроустановці, процес, який протікає досить швидко зі зміною параметрів і зворотним зв'язком за змінюваними ризикоутворювальними факторами, що характеризують ситуацію, яка виникає.

Окремим випадком імітаційних моделей є ситуаційні, використовувані під час розв'язання задач із невизначеністю, виходячи із сукупності розглянутих ситуацій. У цьому разі ситуаційна модель буде відображати математичний (не строгий, а наближений) опис техногенних ризиків, що виникають техногенних ризиків, що виникають у реальному об'єкті. Тому під ситуаційним моделюванням умовимося розуміти метод аналізу ЛМС "Л-Е-С", що задовольняє необхідний ступінь адекватності з урахуванням логічної, часової та просторової структур процесів.

Для створення ситуаційної (як імітаційної) моделі потрібне розв'язання таких завдань:

- розробити інформаційну модель для опису технологічних процесів реального сільськогосподарського об'єкта, у якій кожному явищу, негативній події або учаснику буде відповідати якийсь унікальний інформаційний аналог;
- провести збір і реєстрацію інформації про зміну в часі та просторі введених ознак;
- дати прогнозну оцінку техногенних небезпечних ситуацій, що виникають під час експлуатації електроустановок об'єкта.

Висновки по розділу

Сформульовано основні принципи побудови експертної системи, орієнтованої на витяг знань у даній предметній області; розглянуто класифікацію, архітектуру та вимоги до експертної системи.

Розроблена імітаційна модель ЧМС "Ч-Е-С", будучи експериментальним інструментом дослідження, дає змогу подолати характерні властивості складних систем, таких як нестахостатична невизначеність, нестаціонарна невизначеність, нестаціонарність, багатокритеріальність, слабоструктурованість тощо. Показано, що імітаційне моделювання дає змогу використовувати релевантну інформацію різного виду, включно з точні розрахункові дані (кількісну інформацію), а також неточні (якісні оцінки), отримані дослідним шляхом на підставі експертних суджень.

Як топологічну основу імітаційного моделювання було прийнято логіко-лінгвістичну модель виникнення ОТС у людино-машинній системі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Стан техногенної безпеки електроустановок будівель і споруд напругою 220/380В наразі оцінюється як незадовільним, оскільки рівень ризику перевищує нормативне його значення приблизно на два порядки. Становище, що склалося, зумовлене комплексом проблем соціального, економічного та науково-технічного характеру, розв'язання яких стримується відсутністю єдиної концепції управління безпекою електроустановок в аграрній галузі. Встановлено, що у використовуваних нині підходах до оцінки діагностики технічного стану електроустановок практично немає технічного стану електроустановок практично ігноруються сучасні методи багатокритеріального прийняття рішень, що дають змогу будувати математичні моделі, що адекватно відображають техногенні процеси реальних виробничих об'єктів.

Представлено нове розв'язання актуальної наукової задачі - створення експертної системи діагностики техногенних ризиків небезпеки електроустановок, що дає змогу автоматизувати процедуру розрахунку, забезпечивши можливість обґрунтованого вибору превентивних заходів електричного захисту.

Запропоновано концепцію імітаційного моделювання виробничого об'єкта на основі ЛМС "Л-Е-С", що дає змогу враховувати причинно-наслідкові зв'язки між ризикоутворюючими факторами та показником інтегрального ризику небезпеки електроустановок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інформаційно-аналітична довідка про рівень травматизму на енергетичних підприємствах України за 2018–2022 роки.
2. ДСНіП 476-2002. Державні санітарні норми і правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів. Київ : Держстандарт, 2002. 18 с.
3. Жигулін О. А., Крачковський С. І. Активна система управління пожежною безпекою підприємницьких структур агробізнесу. *Збірник наукових праць Ніжинського агротехнічного інституту*. Вип. 10. 2018. С. 272–297.
4. Лут М.Т., Мірошник О.В., Трунова І.М.. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК.: Підручник для студентів ВНЗ. Харків : Факт, 2008. 438 с.
5. ДСТУ 3440-96. Системи енергетичні. Терміни та визначення. Чин. від 01.01.97. Київ : Держстандарт України, 1997. 46 с.
6. Савченко П.І., Мірошник О.В., Трунова І.М. Концепція підвищення ефективності електропостачання та електроспоживання на основі комплексного обліку електричної енергії. *Вісник Приаз. держ. техн. унів.* 2005. Вип.15. С. 105-109.
7. Кулаков О.В., Росоха В.О. Електротехніка і пожежна профілактика в електроустановках. Харків : АПБУ, 2003. 367 с.
8. Афонін В.В. та ін. Правила улаштування електроустановок. Київ: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
9. Василенко Г.І., Шарамок І.І. Електробезпека. Київ: Урожай, 1984. 152 с.
10. Матвійчук В.А., Рубаненко О.Є., Стаднійчук І.П. Електротехнології в АПК. Вінниця : Твори, 2020. 272 с.
11. Bundschuh J., Chen G. Sustainable Energy Solutions in Agriculture. CRC Press, 2014. 480 p.

12. Шкарівський Г.В. Електрообладнання мобільних машин. Київ : ЦП «Компринт», 2020. 858 с.