

теми при заданій умові готовності k , а також тривалість роботи до відмови. Це своєю чергою дасть можливість визначити експлуатаційні характеристики розгалуженої системи, такі як частоту профілактики, ремонту, кількість запасних частин.

У роботі для симетричних розгалужених систем зі старіючими вихідними елементами, розгалуженими до третього рівня, побудовано моделі ймовірності відмови, частоти відмов та інтенсивності відмов, що дає можливість оцінювати такі характеристики. Оцінка ймовірнісних і часових характеристик надійності, а також імовірності відмови, частоти відмов та інтенсивності відмов при заданій умові готовності для технічного обладнання розгалуженої комп'ютерної системи, основними елементами якої є сервер, концентратори та робочі станції, дозволяє планувати виділення коштів для підтримання цього обладнання у працездатному стані. Під час проектування ієрархічних систем на основі цих результатів здійснюється прийняття рішення про структуру системи. Розрахунок інтенсивності відмов комплексу технічних засобів системи дозволяє передбачити вихід з ладу обладнання, що важливо для вчасного проведення планових і профілактичних ремонтів.

Узагальнення результатів оцінки надійнісних характеристик для симетричних систем, розгалужених до третього рівня, дає можливість побудови рекурентних виразів для розрахунку розподілу ймовірностей числа вихідних працюючих елементів, тривалості перебування системи в усіх працездатних станах і частоти відмов при заданій умові готовності для симетричних ієрархічних систем зі старіючими вихідними елементами, розгалужених до n -го рівня.

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – Введ. 28.12.94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 92 с. 2. ДСТУ 2862-94. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. – Введ. 8.12.94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 40 с. 3. Марунчак Д., Сидор А. Надійність несиметричних розгалужених систем зі старіючими вихідними елементами // Матер. 5-ї Міжнар. наук.-техн. конф. "Досвід розробки і застосування САПР в мікроелектроніці". – Львів: 1999. – С. 26–28.

УДК 004.8

Ю.В. Нікольський

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра інформаційних систем та мереж

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ПРОГНОЗУВАННЯ СПРАЦЮВАНЬ ЗАХИСТІВ НА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

© Нікольський Ю.В., 2005

Запропоновано загальний підхід до моделювання інформаційного об'єкта та принципи побудови системи прийняття рішень у випадку прогнозування спрацювання захистів на електростанціях. Побудовано алгоритми попереднього аналізу потоків інформації з метою конструювання нейромережі, яку використано для прийняття рішень.

The general approach to modeling the information objects and the principles of building the making decision system for forecasting the defense systems making at the power-stations is proposed. The special algorithms of preliminary information flow analysis were built with the matter of neural network constructing.

1. Постановка проблеми у загальному вигляді. Мета виконаного дослідження полягає у розробці математичної моделі прийняття рішень про локалізацію місця виникнення та початкових стадій розвитку ситуацій, що спричиняють спрацювання систем захисту енергоблоків теплових та атомних електростанцій. Результатом цих досліджень є побудова реальної системи попередження персоналу про розвиток ситуації та її локалізацію на основі інформації про загальні закономірності

початкових етапів розвитку аварійних ситуацій. Пропонується використати пошук прихованих закономірностей у даних про розвиток ситуацій, які вже призвели до спрацювання захистів, та у разі безаварійної роботи енергетичного комплексу.

Дослідження показали необхідність поглибленого вивчення та аналізу первинної інформації, яку накопичують в архівах реєстрації аварійних ситуацій – архівах РАС. У таких архівах знаходиться інформація про роботу пристроїв усіх систем енергетичного підприємства у порівняно невеликій проміжки часу, які передують спрацюванню захистів. Специфіка роботи енергетичного комплексу полягає у тому, що спрацювання захистів може бути спричинене великою кількістю різноманітних ситуацій або комплексом таких ситуацій. У цих ситуаціях можуть існувати найрізноманітніші причинно-наслідкові зв'язки, попередній опис яких неможливий внаслідок значної кількості пристроїв, що можуть брати участь у розвитку таких ситуацій.

Спрацювання захистів є достатньо рідкісним явищем внаслідок багатократного резервування виробничих систем, розвинутих систем автоматичного керування. У системах керування передбачені різноманітні ситуації, у разі яких на пульт оператора ці системи подають попереджувальні сигнали. Такі сигнали видає система у тому випадку, коли розвиток ситуації досяг певного критичного стану. У цьому разі розвиток ситуації, який передують спрацюванню попереджувальної сигналізації може бути достатньо тривалим, а проміжок від сигналу попереджувальної сигналізації до спрацювання захисту – коротким. Тому задача, яка розв'язується пропонованою системою прогнозування, полягає в аналізі потоку інформації для виявлення у ньому прихованого тренду, а система володіє такими рисами:

1. Система прогнозування працює в реальному часі. Вона приймає рішення на основі поточної ситуації – сигналів, що надходять у систему реєстрації за порівняно короткий проміжок часу. У цьому випадку передісторія за тривалий час може не впливати на прийняте рішення.

2. Рішення про початок розвитку ситуації, яка може спричинити спрацювання систем захисту, враховує функціонування системи загалом. Розбиття системи на підсистеми за функціональним, організаційним або іншими принципами не обґрунтоване, оскільки взаємозв'язки між такими підсистемами є дуже складними та не описані у скінченній формі. Вони мають ймовірнісний характер, який базується значною мірою на апріорних міркуваннях, не застосовних у конкретній ситуації реального енергетичного підприємства.

3. Система є відкритою та має резерви вдосконалення під час функціонування для накопичення досвіду у разі нових аварійних ситуацій.

4. Прийняття рішення щодо встановлення факту розвитку аварійної ситуації може бути виконане в результаті вивчення попереднього досвіду функціонування системи. Цей досвід покладений в основу побудови алгоритму навчання системи.

5. Оскільки жодний експеримент для встановлення закономірностей функціонування системи неможливий, то інформацію для прийняття рішень отримують внаслідок аналізу та узагальнення існуючих даних про ситуації спрацювання захистів або ситуацій безаварійної роботи системи. Таке вивчення спрямоване, насамперед, на розширення кількості типів сигналів, що пройшли обробку. Це пояснюється тим, що у разі аналізу ситуацій на основі інформації, відібраної за рекомендаціями фахівців з окремих підсистем, спостерігалась втрата даних. Ці дані часто були важливими для аналізу розвитку аварійної ситуації системи загалом.

Основою для створення пропонованої системи є технології штучного інтелекту, а саме: машинного навчання, класифікації та розпізнавання образів із використанням методів нейронних мереж, дерев рішень, асоціативних правил тощо. Передумови саме такого підходу обговорені автором та колективом фахівців ВАТ “ЛьвівОРГРЕС” у працях [1, 2], де проаналізовані основні напрямки та етапи розробки системи прогнозування, проблеми, які виникають на цьому шляху та результати, які варто очікувати внаслідок впровадження розробленої системи прогнозування та раннього попередження розвитку аварійних ситуацій. У вказаних працях визначено, що побудові зазначеної системи прогнозування повинні передувати етапи опрацювання інформації та створення математичної моделі, яка повинна містити модель бази знань та систему логічного виведення.

У цій статті обговорюються основні етапи створення системи прогнозування та алгоритми у складі її моделі із нейромережною реалізацією підсистеми прийняття рішень.

2. Аналіз останніх досліджень. Вчасне виявлення проблеми на ранніх стадіях можна здійснити шляхом оцінювання надійності енергетичного обладнання під час його експлуатації. Основним інструментом для вирішення такого завдання авторами праці [3] обрано проведення розрахунків для визначення: законів розподілу часу відмов, аварійних і капітальних ремонтів, часу відновлення в разі поточних, капітальних та аварійних ремонтів, функції розподілу часу безвідмовної роботи елемента, густина розподілу часу безвідмовної роботи, середня вартість однієї відмови елемента, кількість перевірок системи, час проведення ремонту системи тощо. Кожну систему ділять на групи, враховуючи забезпечення найменшого коефіцієнта простоювання. У кожній групі обладнання вибирають одну систему, яку контролюють на справність і вважають контрольною точкою. Основою постановки задачі приймають факторну схему аналізу, яка дає можливість зробити важливі практичні висновки на основі незначного статистичного матеріалу. Сутність факторної схеми аналізу така, що з кожної контрольованої групи систем вибирають по одній контрольній системі. Поточне значення наробітку на відмову певної контрольованої системи порівнюють із значенням середнього наробітку всіх контрольованих систем. Така методика діагностики відмов містить доволі прості обчислення та її можна запровадити на конкретному виробництві. Недолік такого підходу полягає у неможливості його використання для відслідковування несправностей в реальному часі.

Інший метод аналізу безпеки систем пропонують автори статті [4]. У ній використано експертні методи аналізу безпеки АЕС, зокрема, адаптовану до нормативної бази методику ліній захисту (LoD, Lines of Defence), призначених для одержання експертних оцінок безпеки діючих АЕС. На основі методики ліній захисту наведено результати експертизи безпеки першого енергоблока Курської АЕС. Оцінку отримано для системи аварійного охолодження реактора. У цій праці також надано підхід на основі ліній захисту, застосований у 1995–1998 рр. для поглибленого аналізу безпеки енергоблока Ігналінської АЕС.

Проблематика, пов'язана із створенням бази даних про нештатні ситуації, які виникали на електростанції, досліджувалась також авторами статті [5]. Дослідження виконане з метою розроблення структури та складу типової бази даних, необхідної для оцінки стану елементів енергоблока АЕС, важливих для безпеки. Ці дослідження є складовою інформаційного забезпечення робіт з керування терміном служби обладнання. Автором статті висловлене припущення, що структура, зміст і математичне забезпечення такої бази даних повинні орієнтуватись на періодичне оцінювання безпеки енергоблока, вибір і обґрунтування заходів і технологій, інформаційний супровід експлуатації. Для визначення технічного стану або рівня старіння матеріалів і елементів запропоновано використати результати моніторингу систем і устаткування, технічного обслуговування тощо. Ці дані повинні бути прийняті за основу створення системи прийняття рішень щодо контролю, оптимізації умов експлуатації та технічного стану, ремонту або заміни устаткування АЕС. У статті наведено приклади таких систем, розроблених у інших країнах. Так у Німеччині використовують систему COMSY для моніторингу залишкового терміну служби та старіння обладнання АЕС. Компанією Fortum (Фінляндія) розроблена та впроваджена на АЕС Ловииза і Олкилуото система KUTI PowerMaint™ інформаційної підтримки технічного обслуговування та ремонту. Фірма Ontario Power Generation (OPG, Канада) розробила інтегральну програму IAMP для керування старінням систем, конструкцій і елементів, важливих для надійності й безпеки АЕС. Застосування різних методів експлуатаційного контролю й випробувань є джерелом надійних даних про деградацію матеріалу або про наявність дефектів, що є основним чинником обмеження терміну служби елементів. Тому створення та ведення постійної бази даних для забезпечення еволюційного спостереження за старінням – необхідний захід у справі оцінювання технічного стану систем і елементів, важливих для безпеки.

Як приклад програмно-технічного комплексу контролю та прогнозування можна розглядати програмний комплекс „Прогноз”, можливості якого детально описані в статті [6]. Цей програмний комплекс дозволяє навіть для реактора РБМК в реальному часі проводити поканальний прогноз вимірювання полів нейтронів і енерговиділення в активній зоні реактора.

Велику роль у підвищенні безпеки проведення технологічних процесів можуть відігравати системи автоматизації реального часу. У праці [7] наведена концепція програми створення системи

СПАС попередження та протидії аварійним ситуаціям та аваріям на АЕС, яку створює Державний комітет з використання ядерної енергії України. Концепція програми розроблена колективом Інституту Ядерних Досліджень (м. Київ, Україна) спільно з деякими іншими організаціями, та являє собою швидкий спосіб підвищення безпеки, який доповнює основні програми покращання безпеки на АЕС. У наведеній праці розглянута структура системи СПАС, основні принципи її створення, структура, задачі та елементи системи дистанційного контролю як базової її частини.

Можна зауважити, що серед характеристик системи СПАС відсутній аналіз інформації на предмет виявлення закономірностей поведінки апаратної складової підсистем АЕС. Тому використання запропонованого мною підходу дасть змогу покращити моніторинг роботи АЕС та здійснювати прогнозування виникнення нештатних ситуацій.

Серед інших сучасних технологій контролю безпеки роботи АЕС можна виділити системи діагностики їхнього основного технологічного обладнання. До таких систем діагностики належить комплексна система від НПП “Хартрон-Аркос”. Ця система призначена для діагностики основного технологічного обладнання та режимів експлуатації АЕС з метою підвищення безпеки, надійності та гарантованого вироблення електроенергії.

Пошук причин, що призводять до спрацювання захистів на енергоблоках енергетичних підприємств (ТЕЦ, АЕС та ТЕС) є трудомісткою задачею, яку потрібно розв’язувати у нормативні проміжки часу. Ці проміжки є порівняно малими, а вимоги безпечної роботи енергетичних підприємств не дозволяють запускати енергоблоки до усунення причин спрацювання захистів. Складність пошуку причин полягає насамперед у великому обсязі інформації, яку треба обробити для встановлення причини аварії. Пошук причин аварійних ситуацій проводиться, як правило, після спрацювань захистів і вимагає мобілізації інтелектуальних та професійних зусиль великої кількості фахівців. Існує низка способів розв’язання задач із знаходження причин спрацювання захистів, що вирішуються на підставі професійних знань та досвіду. Отже, автоматизація пошуку причин, що спричиняють спрацювання захистів, залишається актуальною.

3. Цілі статті. Моделювання процедур прийняття рішень у випадку локалізації причин спрацювання захистів складається з розв’язання таких основних задач:

- знаходження відхилень технологічних режимів на ранніх стадіях розвитку аварійних ситуацій;
- автоматизоване визначення першопричин виникнення аварійних ситуацій;
- попередження персоналу про можливий розвиток аварійної ситуації.

Принципова ідея запропонованої методики полягає у пошуку загальних закономірностей, що супроводжують початковий етап процесу розвитку ситуації, яка призведе до спрацювання захистів. Виявлення таких закономірностей дозволить попереджати персонал станції про виникнення нестандартної ситуації поведінки системи, та, у разі спрацювання захистів, локалізувати проміжок часу та місце, на якому відбувався розвиток цієї ситуації. Через значну кількість інформації, яку необхідно опрацювати після спрацювання захистів та порівняно невелику кількість таких спрацювань, постановка задачі автоматизації процедур пошуку причин повинна базуватись на нових принципах, які наведено у цій статті.

Спрацювання захисту є результатом певних обставин, які в своїй сукупності призвели до вказаної події. Тому розуміння ситуації, в якій спрацював захист, можна розцінювати як прийняття рішення розробником існуючої системи захистів про виникнення ситуації, яка може призвести до негативних наслідків. Моделювання роботи систем захисту як систем прийняття рішень виконано у формі опису характеристик об’єктів цієї системи у термінології таблиць прийняття рішень. Такий підхід дозволив побудувати модель системи прийняття рішень із застосуванням нейромережного класифікатора ситуацій на основі інформації, що надходить у систему реєстрації.

4. Основний матеріал. Вважатимемо спрацювання захистів об’єктами системи прийняття рішень, а властивостями цих об’єктів – сигнали, що надійшли із засобів реєстрації інформації. Інформація отримана із відомостей відхилення параметрів за регламентні межі. Досліджено всі спрацювання захистів, які відбулись протягом 2000–2002 рр. на енергоблоці №1 Мінської ТЕЦ-5. Інформація про спрацювання захисту фіксується в архіві РАС і містить дані про роботу контро-

льованих систем за 15 хв. до спрацювання захистів. У таблиці наведений фрагмент такого РАСу. Проведений аналіз інформації, яка знаходиться у всіх існуючих РАСах, дозволив зробити висновки загального характеру про набір сигналів, які треба аналізувати для визначення загальних принципів функціонування системи у передаварійний період. До таких груп сигналів зараховано:

- програмно формовані дискрети;
- сигнали від виконавчих механізмів;
- відхилення аналогових сигналів за регламентні межі.

Аналіз інформації доцільно виконувати окремо по кожній з цих груп. Виникнення ситуації, що може привести до спрацювання захистів по сигналу принаймні однієї з цих груп, є підставою для попередження персоналу про виникнення нештатної поведінки обладнання та формування спеціального архіву з інформацією, необхідної для локалізації місця виникнення інформації.

У системі реєстрації інформації існує 10504 різних сигналів, які надходять кожні 100 мілісекунд. Кожний сигнал має свій код, в якому перші два символи визначають технологічну групу пристроїв, перші чотири символи – підгрупу, суфікси класифікують сигнали по типах та видах. До типів належать характеристики сигналу, наприклад, на відкриття або закриття, а вид – технологічна особливість сигналу, наприклад, сигнал спрацювання захисту.

Сигнали поділяються на аналогові та дискретні. Аналогові сигнали формують вимірювальні пристрої та подають на реєстрацію у випадках порушення регламентних меж. У разі виходу сигналу за регламентні межі фіксують відповідний дискретний сигнал із суфіксом “_1”, а в разі повернення у ці межі – із суфіксом “_0”. Такі сигнали називають програмно формованими дискретами, на відміну від дискретів, що відповідають факту відкривання та закривання клапана, відкриванню засувки та її закриванню, ввімкненню двигуна та його вимкненню тощо. Для зменшення загального обсягу інформації відбувається реєстрація програмно формованих дискретів тільки у разі порушення цим сигналом регламентних меж.

Приклад записів в архіві РАС

Час отримання сигналу	Код сигналу	Час отримання сигналу	Код сигналу
05.07/08:02:00.8	SS04F02B0_0	5.07/08:17:13.2	S29E22KNB01_1
05.07/08:12:03.2	SD10S465PP_1		SC10P61K1B01_1
05.07/08:12:03.7	SD10S465PP_0	5.07/08:17:13.4	SE10Y10CK2_1
05.07/08:12:11.2	SD10S465PP_1	5.07/08:17:13.5	GT10E11CK1_1
05.07/08:12:11.7	SD10S465PP_0		S01E01KNB02_0
05.07/08:12:40.8	SD10S465PP_1	5.07/08:17:13.6	S01E01KNB01_0
05.07/08:12:41.3	SD10S465PP_0	5.07/08:17:13.7	T01E12KNB01_0
05.07/08:14:09.9	4E23KNB01_1	05.07/08:17:13.8	SA00RR011_1

На рисунку показана загальна схема проекту системи прогнозування аварійних ситуацій на основі знайдених у архівах РАС закономірностей, що призвели до спрацювання систем захисту. Надамо загальну характеристику етапів реалізації проекту.

1. *Етап підготовки даних* полягає у збиранні інформації про функціонування системи, аналізу існуючих РАСів та принципів їх формування, аналізу існуючої системи реєстрації інформації, алгоритмів та методів, які застосовані для цього, накопиченню та класифікації зібраної інформації як у випадку ситуацій, що записані у РАСах, так і в архівах про нормальну роботу системи. Роботи, які виконано на етапі підготовки даних, узагальнено у працях [1, 2].

2. *Етап налагодження інструментальних засобів* полягає у побудові навчальних прикладів для налагодження нейромережного класифікатора. Навчальний приклад – це кортеж чисел, які описують ситуацію, що передувала спрацюванню системи захисту або характеризувала нормальну роботу обладнання. Цими числами є значення певних параметрів, визначених для кожного моменту часу зафіксованого у РАСах та в архіві нормальної роботи обладнання. Формування таблиці з навчальними прикладами пропоную виконувати алгоритмами А1 та А2. Алгоритм А1 здійснює

аналіз існуючих РАСів та буде навчальні приклади. Алгоритм А2 аналогічний алгоритму А1, але використаний для аналізу потоку інформації у разі безаварійної роботи обладнання.



Схема проекту системи прийняття рішень щодо попередження аварійних ситуацій на основі аналізу початкових етапів їхнього розвитку

3. *Етап навчання системи.* На цьому етапі формується неймережа: вибирається її топологія, активаційні функції та алгоритм навчання. Пропонуємо вибрати мережу прямого поширення сигналу, активаційні функції – логістичні криві та А3 – алгоритм навчання на основі зворотного поширення похибки (backpropagation of error). Замість алгоритму зворотного поширення похибки можна використати генетичний алгоритм, але це вимагатиме додаткових досліджень. Навчання мережі виконують за допомогою навчальних прикладів, отриманих на попередньому етапі.

4. *Етап перевірки якості роботи системи.* Цей етап виконують на частині навчальних прикладів з метою перевірки якості роботи неймережі як класифікатора.

5. *Етап експлуатації системи.* На цьому етапі алгоритм А4 формує вхідний потік сигналів внаслідок оброблення інформації, яка у реальному часі надходить в навчену нейромережу, або нейромережний класифікатор з метою обчислення класифікаційних ознак на основі поточних параметрів енергосистеми. Класифікаційна ознака – це параметр, значення якого дорівнює одиниці, якщо поведінку енергосистеми можна класифікувати як передаварійну, та нулю – у протилежному випадку. Особливістю реалізації алгоритму А4 є те, що його виконують у реальному часі, та він вбудований у систему реєстрації. Алгоритм А4 реалізує обчислювальну процедуру, яка закладена в алгоритмі А1, але враховує специфіку аналізу потоку інформації в реальному часі. Це накладає додаткові труднощі, оскільки обчислювальні ресурси достатньо обмежені. Тому алгоритм побудовано так, щоб мінімізувати проміжні обчислення, використання пам'яті та процедури обміну інформацією. Нейромережа використовується як класифікатор подій, які вона виділяє у потоці інформації та видає класифікаційну ознаку, за значенням якої на наступному етапі виробляється повідомлення на пульт оператора.

6. *Етап прийняття рішень.* На цьому етапі класифікаційний сигнал, отриманий на виході нейромережі, перетворюється у повідомлення для оператора та формує сигнал на створення спеціального архіву. На основі інформації з цього архіву можна локалізувати розташування пристроїв, що спричинили нештатне зростання густини виділеної групи сигналів.

Введемо основні типи функцій, значення яких використаємо для побудови алгоритмів аналізу ситуацій. Сигнали надходять з давачів у систему реєстрації в певні моменти часу t_i , $i = 0, 1, 2, \dots$ з інтервалом у $\Delta t_i = \Delta t = t_{i+1} - t_i = 100 \text{мс}$, t_0 – момент початку спостережень. Оскільки в кожний момент t_i у систему реєстрації надходить невелика кількість сигналів або такі сигнали не надходять зовсім, то аналіз виконуватимемо у моменти часу T_j , $j = 0, 1, \dots$, де $\Delta T_{j+1} = T_{j+1} - T_j = q\Delta t$, $q = 1, 2, \dots, q_{\max}$. Аналіз виконано для різних значень q , мінімальне його значення задано таким, що дорівнює 10, отже мінімальне значення ΔT дорівнює одній секунді.

Побудуємо функцію $f(t)$, значення якої в момент t_i обчислимо за формулою

$$f(t_i) = \sum_{t=0}^{t=t_i} n(t). \text{ Тут } n(t) \text{ – кількість сигналів, які надійшли в систему реєстрації в момент } t.$$

Очевидно, що $f(t)$ неспадна функція аргументу t .

Аналіз сигналів на предмет виникнення ситуації, що може спричинити спрацювання захистів, здійснюватимемо пошуком часових проміжків із значним зростанням кількості сигналів, які надійшли у систему реєстрації. Для цього шукатимемо проміжки, на яких виконується таке співвідношення $\Delta f(t_i) = f(t_{i+1}) - f(t_i) \geq \Delta f_s(t_i)$, де $\Delta f_s(t_i)$ – середня зміна функції на проміжку $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$. Зауважимо, що оцінювання ситуації, яка викликає спрацювання захисту на основі наведеної нерівності, має той недолік, що неможливо врахувати значне зростання кількості сигналів у короткі проміжки часу. Це пов'язане з тим, що, по-перше, такі сигнали будуть згладжені у разі обчислення середніх значень, по-друге, одиничні викиди не характеризують загальної тенденції, яка виникає у разі розвитку аварійної ситуації, а можуть виникати у випадку штатної зміни режимів роботи обладнання, по-третє, такі сигнали не дозволяють відслідковувати загальні закономірності виникнення та розвитку аварійних ситуацій.

Тому пропонується замість функції $f(t)$ обчислювати та аналізувати густину сигналів на певному проміжку. Функцію густини визначатимемо у моменти T_j , $j = 0, 1, \dots$ обчисленням на проміжках довжини ΔT_j за формулою $F(T_j) = (f(T_{j+1}) - f(T_j)) / \Delta T_{j+1}$, $F(T_0) = 0$. Надалі вважатимемо, що $\Delta T_j = \Delta T$ – стала величина для всіх $j = 0, 1, \dots$. Очевидно, що функція $F(T)$ немоногонна. Розвиток ситуації, яка спричиняє спрацювання захистів, визначатимемо наявністю

певного тренду, який характеризує зростання густини сигналів за певний часовий проміжок. Тому замість $F(T)$ використаємо неспадну функцію густини $\gamma(T)$, значення якої у момент T_j обчислимо

за формулою $\gamma(T_j) = \sum_{i=1}^j F(T_0 + i\Delta T)$. Тут $T_0 = t_0$ – момент початку роботи системи прогнозування.

Будемо досліджувати РАСи на наявність у них ситуацій, в яких відбувається значне зростання густин сигналів. Вважатимемо за доцільне розглядати лише такі РАСи, в яких таке зростання передє спрацюванню попереджувальної сигналізації.

Для знаходження ситуації, у якій з'являється тренд, будуватимемо за методом найменших квадратів вирівнювальну пряму $y = a_k x + b_k$ для деякої скінченної множини сигналів. У разі визначення параметрів a_k та b_k цієї прямої скористаємось формулами [8]:

$$a_k = \frac{k \sum_{i=1}^k x_i y_i - \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k x_i}{k \sum_{i=1}^k x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^k x_i \right)^2}, \quad b_k = \frac{\sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k x_i^2 - \sum_{i=1}^k x_i y_i \sum_{i=1}^k x_i}{k \sum_{i=1}^k x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^k x_i \right)^2} \quad (1)$$

У наведених формулах індекс k , ($k \geq 2$) означає, що a_k та b_k залежатимуть від кількості точок, для яких ця пряма побудована.

Швидкість зміни густини будемо оцінювати за значеннями параметра a_k . Для кожного початкового моменту $x_1 = T_0 + m\Delta T$, $m = 0, 1, 2, \dots, m_{max}$, який вибираємо серед зареєстрованих у досліджуваному РАСі, знайдемо значення a_k для k послідовних точок $x_k = x_1 + (k-1)\Delta T$. Значення m_{max} вибираємо з певних евристичних міркувань щодо завершення процесів, які можуть спричинити спрацювання захистів. Тоді для кожного x_k можна визначити максимальне значення a_k та τ – інтервал часу, на якому це значення досягається.

Алгоритм А1

Крок 1. Покладемо $m = 0$.

Крок 2. Покладемо $x_1 = T_0 + m\Delta T$, $y_1 = 0$, $k = 1$. Якщо $x_1 \geq t_c$, то – КІНЕЦЬ.

Крок 3. Виконати $k := k + 1$ та обчислити $x_k = x_1 + (k-1)\Delta T$, $y_k = \sum_{i=1}^k F(x_i)$. Якщо

$x_k > T_{max}$, то перейти до кроку 6.

Крок 4. Обчислити a_k за формулою (1).

Крок 5. Якщо $k = 2$, то покласти $a_{max} = a_k$ та перейти до кроку 3.

Якщо $k > 2$ та $a_k > a_{max}$, то покласти $a_{max} = a_k$, $\tau = x_k$ та перейти до кроку 3.

Крок 6. Вивести значення x_1 , ΔT , a_{max} , τ .

Крок 7. Виконати $m = m + 1$ та перейти до кроку 2.

Алгоритм А1 формує приклади для навчання нейромережі. Спостереження розпочато у момент T_0 та його проводять впродовж k_{max} моментів часу на проміжку $[T_0, T_0 + k_{max}\Delta T]$. Величина k_{max} визначена для кожного РАСу та обмежена досягненням моменту спрацювання попереджувальної сигналізації t_c . У кожний момент часу будемо визначити кут нахилу вирівнювальної прямої за значенням параметр a_k . Якщо його величина досягає максимального

значення, то вважаємо, що відбулось зростання густини сигналу, яке призвело до спрацювання захисту, зафіксованого у цьому РАСі. Якщо за час $k_{max} \Delta T$ максимальне значення не досягнуте, то відкидаємо його та продовжуємо обчислення для інших початкових точок із заданого інтервалу. Параметрами алгоритму є:

ΔT – проміжок, для якого обчислюють густину, мінімальне значення $\Delta T = 1$ с, а максимальне – $\Delta T = 10$ с;

T_{max} – максимальне значення аргументу на досліджуваному проміжку (у РАСах $T_{max} = 900$ с);

t_c – момент спрацювання попереджувальної сигналізації;

T_0 – момент початку обчислення параметрів (для РАСів прийматимемо $T_0 = 0$);

a_k – значення параметра, який визначає кут нахилу вирівнювальної прямої та обчислене, починаючи з точки x_k ;

a_{max} – шукане максимальне значення параметра нахилу вирівнювальної прямої обчислене, починаючи з точки x_k ;

τ – проміжок часу, на якому досягається a_{max} для заданих ΔT та T_0 .

Обчислення за алгоритмом А1 треба провести для кожного значення ΔT та у кожній точці $T \in [T_0, t_c]$. Цей алгоритм використано для побудови навчальних прикладів, якими є кортеж $(\Delta T, x_1, a_{max}, \tau)$.

Алгоритм А4

Крок 1. Зафіксувати $x_1 = T_0$ – момент початку роботи програми. Покласти $(a_1^p)_{max} = 0$, $p = 1, 2, \dots, 0.5k_{max}$. Покласти $y_1 = 0$, $k = 1$, $I = \emptyset$.

Крок 2. Виконати $k := k + 1$.

Крок 3. Обчислити $D_k = \{d_1, d_2, \dots, d_{|D_k|}\}$ – множину всіх дільників числа $k-1$, де $d_1 = 1$, $d_{|D_k|} = k-1$.

Крок 4. Якщо $k \leq k_{max}$, то $s = 1$; інакше $s = k - k_{max} + 1$.

Крок 5. Для кожного $j \in \{1, 2, \dots, |D_k|\} \setminus I$ обчислити $a_s^j = \frac{\tilde{j} \sum_{i=s}^{\tilde{j}} \tilde{x}_i \tilde{y}_i - \sum_{i=s}^{\tilde{j}} \tilde{y}_i \sum_{i=s}^{\tilde{j}} \tilde{x}_i}{\tilde{j} \sum_{i=s}^{\tilde{j}} \tilde{x}_i^2 - \left(\sum_{i=s}^{\tilde{j}} \tilde{x}_i \right)^2}$, де

$$\tilde{j} = (k-1)/d_j + 1, \quad \tilde{x}_i = x_1 + d_j \Delta T (i-1),$$

$$\tilde{y}_i = \sum_{m=1}^{\frac{k-1}{d_j}} \frac{f(x_1 + (k-1 - (m-1)d_j)\Delta T) - f(x_1 + (k-1 - md_j)\Delta T)}{d_j \Delta T}.$$

Якщо $a_s^j \geq (a_s^j)_{max}$, то $(a_s^j)_{max} = a_s^j$.

Якщо $a_s^j < (a_s^j)_{max}$, то покласти $a = (a_s^j)_{max}$, обчислити $\tau = (k-1)\Delta T - d_j$ та виконати $I := I \cup \{j\}$.

Подати значення a , τ та d_j на вхід нейронмережі.

Крок 6. Крок 5 виконати для всіх $s = 2, \dots, k-1$.

Крок 7. Перейти до кроку 2.

Алгоритм А4 буде навчальні приклади на основі сигналів, які надходять у реальному часі та подаються на вхід нейромережі на етапі експлуатації системи. Обчислення починаємо з певного моменту T_0 початку роботи системи прогнозування та обчислюємо густину на проміжках довжини ΔT , значення якого є вхідним параметром алгоритму. Вхідний сигнал у систему реєстрації використаємо для побудови вирівнюючих прямих з кутовими коефіцієнтами a_i^p , де i – момент часу, починаючи з якого будемо вирівнювальну пряму, p – коефіцієнт кратності проміжку ΔT , який використано для обчислення у кожній точці оберемку вирівнювальних прямих з різними значеннями проміжків, на яких обчислюють густину. Результати роботи алгоритму утворюють кортеж $(\Delta T, x_1, a_{max}, \tau)$, який є вхідним прикладом для системи класифікації. Основна відмінність алгоритму А4 від алгоритму А1 полягає у формуванні прикладів для різних значень T_0 та ΔT . Додатковими до змінних, використаних в алгоритмі А1, в алгоритмі А4 введено ще такі:

I – множина індексів, для яких не обчислюється значення a_i , $i \in I$;

k_{max} – максимальна кратність сигналу ΔT , яка визначає довжину проміжку $k_{max}\Delta T$ – обчислення значення параметрів a_i^p .

5. Висновки. Інформаційною основою для створення моделі поведінки системи захисту у передаварійний період є дані про відхилення технологічних режимів від режимних карт, відмови систем керування, інформація про дії операторів, в тому числі й помилкові, інформація про дефекти технологічного обладнання. Побудовано алгоритми знаходження інтегрованих характеристик поведінки енергосистеми на підставі інформації про роботу пристроїв, сумарний потік реєстрованих сигналів та густину потоку цих сигналів. Знайдені загальні закономірності поведінки системи у передаварійний період, які будуть використані для створюваної системи прогнозування. Пілотні дослідження з метою побудови зазначеної моделі проведені з використанням інформації з системи реєстрації аварійних ситуацій АСУТП на базі МАУС-250-Т розробки ВАТ “ЛьвівОРГРЕС”. Запропоновано загальну схему проекту системи прийняття рішень щодо попередження аварійних ситуацій на основі аналізу початкових етапів їхнього розвитку. Побудовано та випробувано алгоритми формування навчальних прикладів для налагодження нейромережного класифікатора, який використовується для прийняття рішень про характер ситуації, що може спричинити спрацювання захистів.

1. Нікольський Ю.В. Моделирование процессов принятия решений при локализации причин спрацювання захистів на енергетичних підприємствах. // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Комп’ютерні системи проектування. Теорія і практика. Львів, № 522, 2004. – с. 148–155. 2. Наумчик В.С., Нікольський Ю.В., Симкін Б.Ю., Якимечко Р.Я. Попередня обробка та аналіз інформації для побудови математичної моделі прийняття рішень при локалізації причин спрацювання захистів. // Налагоджувальні, експериментальні та науково-дослідні роботи ВАТ “ЛьвівОРГРЕС”, Львів, НВФ “Українські технології”, 2004. – с. 267–278. 3. Панченко С.В., Давыдов Н.В. Оценка надежности характеристик энергетического оборудования с помощью интегрированной программной среды, http://www.sibe.ru/pr_doklad0315.aspx. 4. Васекин В.Н., Чулкова Т.Ю. Использование экспертных методов для анализа углублённой оценки безопасности 1-го энергоблока Курской АЭС, www.insc.gov.ua/forum6/doc/text/tchoulkova.pdf. 5. Денисов И.Н. Состав типовой БД по оценке состояния элементов АС важных для безопасности. // Международный центр по ядерной безопасности Минатома России. / Аннотационный отчет за 2002 год, с. 22–24, <http://www.insc.ru/Docs/report/annual2002.pdf>. 6. Афанасьев А.М., Лебедев Н.Н., Плутинский В.И. Системы поддержки операторов и повышение эксплуатационной безопасности АЭС, <http://www.ibrae.ac.ru/russian/oper.html>. 7. И.А. Клименко, Л.В. Тараненко. Системы автоматизации реального времени в повышении безопасности действующих АЭС Украины. // Институт ядерных исследований НАН Украины, <http://www.mka.ru/?p=40622#>. 8. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. – М.: Наука, 1986.