

schools was developed. Done cluster analysis for educational buildings according to statistics heat consumption objects of NTUU "KPI". A regressive dependence for monitoring and analysis of heat consumption was proposed.

Key words: heat consumption, educational buildings, operational factors, clustering, regression analysis.

References

1. Buildings i structures. Buildings and facilities of educational institutions / DBN V.2.2-3-97 [Chynnyi z 01.01.1998 r.]– K.: Derzhkommistobuduvannia Ukrainy, 1997, - 90 s.
2. Intra rates of consumption of electricity and heat to establishments of public sector Ukraine. Zatverdzeni Derzhkomitetom Ukrainy z enerhozberezhennia 25.10.99. – K.: ZAT "VIPOL". – 2000r. – 104s.
3. Structural analysis of energy consumption and energy conservation education. /Deshko V.I, Shevchenko O.M//Naukovi visti NTUU"KPI"-2011-№6.-s.139-147.
4. Verkhoturov O.M. Using the device in multiple regression analysis tasks, accounting planning and power consumption of organizations dispersed a group of buildings / O.M.Verkhoturov, V.I. Deshko, O.M. Shevchenko // Visnyk KhNTUSH im. P.Vasylenka. Vyp. 87: pratsi mizhnar. nauk.-prakt. konf. (8-9.10.2009r). – Kharkiv: KhNTUSH, 2009.– s.162.
5. Program of energy efficiency NTUU "KPI" on 2012-2015 years. – K., 2012. - 108 s.
6. Guidelines for the development and preparation of energy passport of buildings for new construction and reconstruction : DSTU-N B A.2.2-5:2007. – [Chynnyi z 01.01.2008]. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2008. – 43 s. – (Derzhavnyi standart Ukrainy).

УДК 697.34

ШОВКАЛЮК М.М., канд. техн. наук, доцент; **ВОЙНАЛОВИЧ Н.А.**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГИИ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ УЧЕБНЫХ КОРПУСОВ

Целью исследования является определение и анализ факторов, влияющих на энергопотребление зданий учебных корпусов. Разработана математическая модель в соответствии с действующими нормативными требованиями для оценки влияния различных архитектурно-строительных и эксплуатационных факторов на расходы теплоты зданиями учебных заведений. Осуществлен кластерный анализ для учебных корпусов по статистическим данным теплопотребления объектами НТУУ «КПИ». Предложено регрессионные зависимости для осуществления мониторинга и анализа теплопотребления.

Ключевые слова: теплопотребление, учебные корпуса, эксплуатационные факторы, кластеризация, регрессионный анализ.

УДК 621.311

В. В. ЛІТВІНОВ, канд. техн. наук, доцент, **Я. С. САЧЕНКО**, магістр
Запорізька державна інженерна академія

НЕЧІТКО-ІМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЇВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

В статті розглянута проблема визначення імовірності та ризику відмови пристроїв релейного захисту в умовах великої кількості невизначеностей. Удосконалено метод «дерева відмов» для оцінювання імовірності відмови схеми релейного захисту на інтервалі часу з урахуванням індивідуальних характеристик елементів розглядуваної схеми. Сформовано імовірнісно-статистичну модель для оцінювання ризику відмови пристроїв релейного захисту що містять мікропроцесорні реле та розроблено її складові. Для оцінювання технічного стану окремих одиниць обладнання розроблено ієрархічні нечіткі моделі трансформатора струму та мікропроцесорного реле. В якості вхідної інформації використано результати періодичних перевірок та параметри, що можна визначити в режимі «on-line» без виведення захисту в ремонт. Нечіткий вивід організовано за алгоритмом Мамдані.

Вступ. В останні роки електроенергетична система (ЕЕС) України працює в напружених умовах експлуатації, які є наслідком фізичного та морального старіння обладнання і слабких тенденцій до його заміни та модернізації через значні фінансові витрати [1]. Ця проблема є актуальною не тільки для силового та комутаційного обладнання ЕЕС, а й для вторинного обладнання, в тому числі для пристроїв

релейного захисту (РЗ). На теперішній час 60-70% пристроїв РЗ в електричних мережах України експлуатуються понад 25 років, що є граничним терміном для захистів на електромеханічній базі. Заміна електромеханічних пристроїв РЗ на сучасні мікропроцесорні відбувається достатньо повільно, не встигаючи за темпами старіння існуючих захистів [2,3].

З іншого боку, ринкові відносини в енергетиці вимагають від ЕЕС високої режимної та експлуатаційної надійності. Для її підвищення в умовах старіння обладнання та для прийняття обґрунтованих рішень щодо управління ЕЕС, сучасні світові тенденції рекомендують використовувати методи ризик-менеджменту та переходити до реалізації концепції інтелектуальних мереж "smart grid". Для реалізації стратегії ризик-орієнтованого управління енергосистемою необхідно мати інформацію про технічний стан її елементів. Оцінювання стану електрообладнання відбувається в умовах обмеженості та неповноти вхідних даних, які визначають ресурс обладнання, а також, в більшості випадків за відсутності аналітичних зв'язків між окремими діагностичними ознаками.

В таких умовах для достовірного кількісного оцінювання стану об'єктів енергетики умісно застосувати нечіткі методи та підходи [1]. На теперішній час розроблено велику кількість нечітких моделей силового та комутаційного обладнання, але нечіткі моделі стану пристроїв РЗ залишаються недостатньо розглянутими.

Аналіз статистичних даних, зібраних у Дніпровській ЕЕС, показав, що приблизно 25% всіх відмов в ЕЕС відбувається саме через відмови пристроїв РЗ, а доля відмов пристроїв РЗ через фізичне зношення складає до 36%. Ці дані свідчать, що для отримання достовірної моделі ризик-орієнтованого управління реальною ЕЕС необхідне врахування не тільки ризиків відмови силового та комутаційного обладнання, а ще й ризиків відмов пристроїв РЗ. В той же час, оцінювання ТС, імовірності та ризику відмови РЗ є дуже складною задачею внаслідок існування наступних факторів [4]:

- більше 99% всього часу експлуатації схеми РЗ знаходяться в режимі «очікування», наслідком чого основну небезпеку становлять «приховані відмови», які проявляються не в момент виникнення, а лише під час спрацювання захисту;

- різноманітність видів відмов пристроїв та схем РЗ;
- різноманітність видів пошкоджень, на які реагує пристрій РЗ;
- складність пристроїв та схем РЗ;
- наявність взаємозв'язків між окремими пристроями РЗ та наявність резервування.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є розроблення методу оцінювання надійності пристроїв РЗ з урахуванням їхнього фактичного технічного стану (ТС) в умовах різноманітності та обмеженості статистичної і діагностичної інформації. У відповідності до поставленої мети, в роботі вирішуються наступні завдання:

- формування імовірісно-статистичної моделі для оцінювання ризику відмови пристроїв релейного захисту з мікропроцесорними реле;
- розроблення ієрархічних нечітких моделей стану трансформаторів струму та мікропроцесорних реле.

Матеріал та результати дослідження. Для вирішення задачі оцінювання ризику відмови пристрою РЗ необхідно визначити імовірність його відмови. Найбільш доцільним методом визначення імовірності відмови у спрацюванні релейного захисту на інтервалі часу є метод «дерева відмов», який дозволяє врахувати особливості функціонування таких пристроїв, визначити всі можливі ланцюги відмови схеми захисту та є адаптивним до врахування індивідуальних характеристик розглядуваного об'єкту [4]. На основі методу «дерева відмов» розроблено нечітко-імовірісну модель для оцінювання ризику відмови схеми РЗ на інтервалі часу (рис.1), яка відрізняється від класичної реалізації методу «дерева відмов» наступним:

- при визначенні імовірності відмови елементів схеми РЗ, які формують ланцюг відмов, використовуються не усереднені показники надійності, а інтегральні статистичні функції розподілу імовірності відмов обладнання $F(t)$;

- на досліджуваному інтервалі часу використовувати інтегральні статистичні функції $F(t)$ модифікуються з урахуванням ТС окремої одиниці обладнання даного типу. Оцінювання ТС елементів схем РЗ виконується за відповідними нечіткими моделями.

Для оцінювання імовірності та ризику відмови схеми РЗ за запропонованою вище нечітко-імовірісною моделлю необхідно знати ТС елементів схеми. Оцінювання ТС пристроїв РЗ відбувається в умовах обмеженості та неповноти вхідних даних, які визначають ресурс обладнання, а також за відсутності аналітичних зв'язків між окремими діагностичними ознаками. В цих умовах для кількісного оцінювання ТС об'єктів РЗ доцільно використати нечіткий алгоритм Мамдані з якісними правилами типу «ЯКЩО–ТО» [5].

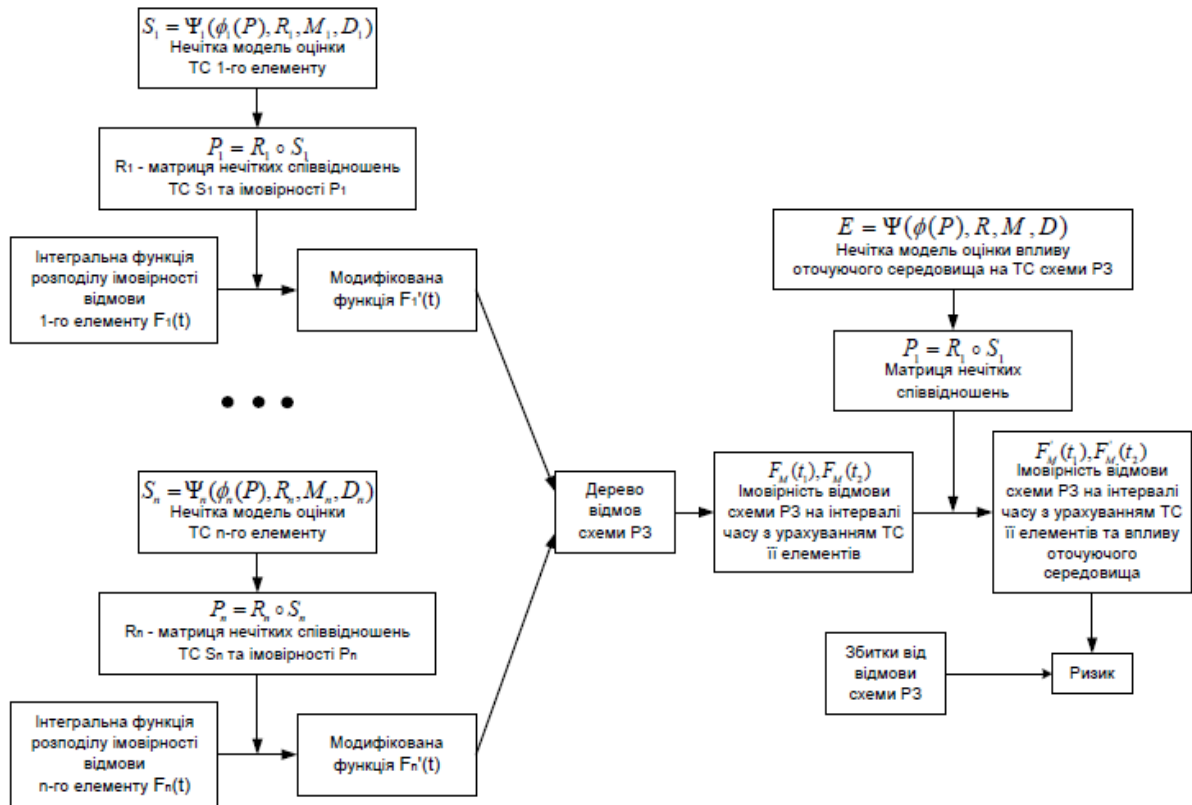


Рисунок 1 - Нечітко-імовірнісна модель для оцінювання ризику відмови схеми P3 на інтервалі часу

Особливістю нечіткого моделювання ТС пристроїв P3 є наявність двох категорій вхідних характеристик стану [3]:

- характеристики стану, отримані за результатами періодичних перевірок пристроїв релейного захисту;
- характеристики стану, виміряні в процесі експлуатації пристрою релейного захисту без його виведення в ремонт.

Характеристики стану першої категорії більш повно описують технічний стан пристрою P3, але з плином часу їхня достовірність знижується. Характеристики стану другої категорії дозволяють лише частково описати процеси зміни стану об'єкта, але є більш достовірними, оскільки визначені в режимі «on-line». Виходячи з цього, для отримання достовірної оцінки стану пристроїв P3 використано дворівневу ієрархічну нечітку модель. На рис.2,3 представлені структурні схеми нечітких моделей оцінювання ТС трансформатора струму та мікропроцесорного реле типу MICOM, які утворюють схему максимального струмового захисту (МСЗ) комірки КРУ-6 кВ.

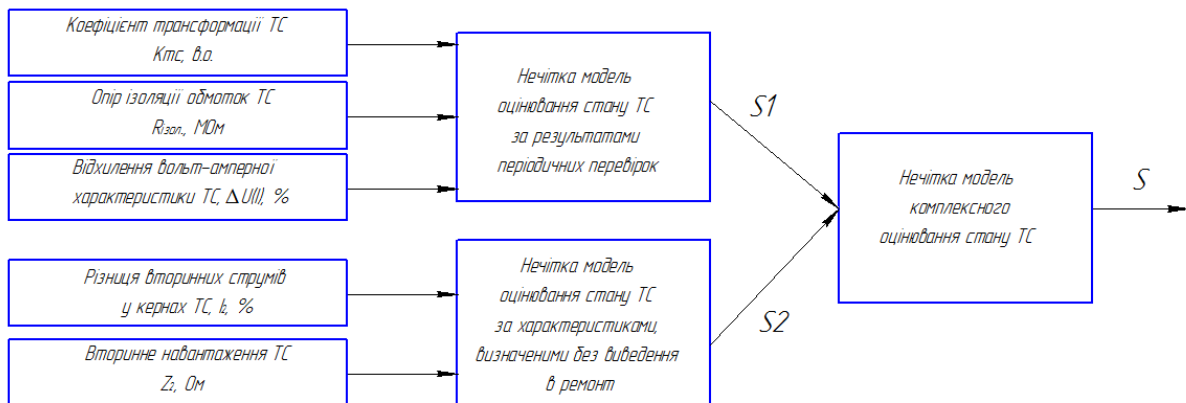


Рисунок 2 - Нечітка модель для визначення ТС трансформатора струму

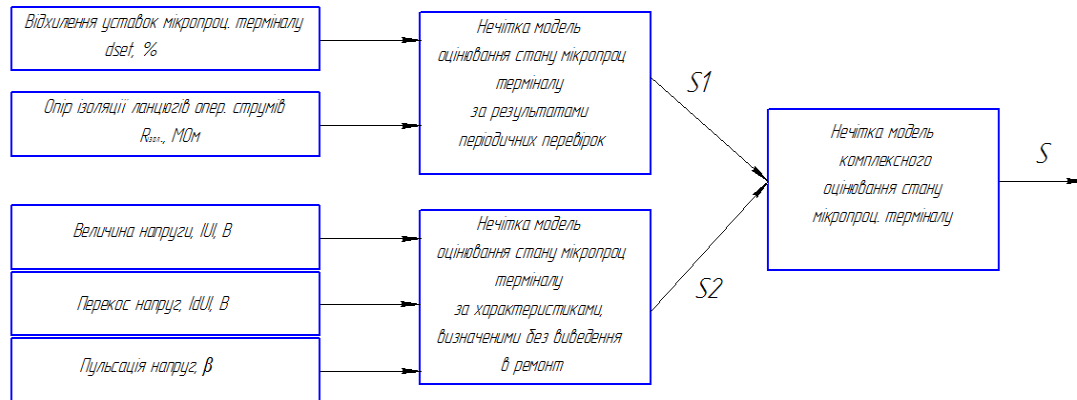


Рисунок 3 - Нечітка модель для визначення ТС мікропроцесорного реле

Вхідними параметрами першого рівня нечіткої моделі оцінювання ТС трансформатора струму є наступні величини з відповідними нечіткими термами:

- $K_{ТС}$ = «Коефіцієнт трансформації»: $K_{ТС1}$ = «Низький», $K_{ТС2}$ = «Нормальний», $K_{ТС3}$ = «Високий»;
- $R_{ізол}$ = «Опір ізоляції вторинних обмоток»: $R_{ізол1}$ = «Низький», $R_{ізол2}$ = «Нормальний»;
- $\Delta U(I)$ = «Відхилення ВАХ»: $\Delta U(I)_1$ = «Допустиме», $\Delta U(I)_2$ = «Недопустиме»;
- ΔI_2 = «Різниця вторинних струмів у кернах ТС»: ΔI_{21} = «Допустиме», ΔI_{22} = «Недопустиме»;
- $Z_{нав}$ = «Вторинне навантаження ТС»: $Z_{нав1}$ = «Допустиме», $Z_{нав2}$ = «Недопустиме».

Вхідними параметрами першого рівня нечіткої моделі оцінювання ТС мікропроцесорного реле є наступні величини з відповідними нечіткими термами:

- ΔSet = «Відхилення уставок мікропроцесорного терміналу»: ΔSet_1 = «Недопустиме зменшення», ΔSet_2 = «Допустиме», ΔSet_3 = «Недопустиме збільшення»;
- $R_{ізол}$ = «Опір ізоляції кіл оперативного струму»: $R_{ізол1}$ = «Низький», $R_{ізол2}$ = «Нормальний»;
- U = «Величина напруги живлення»: U_1 = «Низька», U_2 = «Нормальна», U_3 = «Висока»;
- $|\Delta U|$ = «Перекас напруги живлення»: $|\Delta U_1|$ = «Допустимий», $|\Delta U_2|$ = «Недопустимий»;
- β = «Пулсация напруг живлення»: β_1 = «Допустима», β_2 = «Недопустима».

Функції приналежності (ФП) вхідних величин обох нечітких моделей будуються за експертними оцінками, обробленими за методом Сааті з визначенням власного числа [6]. ФП вхідних величин нечіткої моделі трансформатора струму представлені на рис.4, а нечіткої моделі мікропроцесорного реле на рис.5.

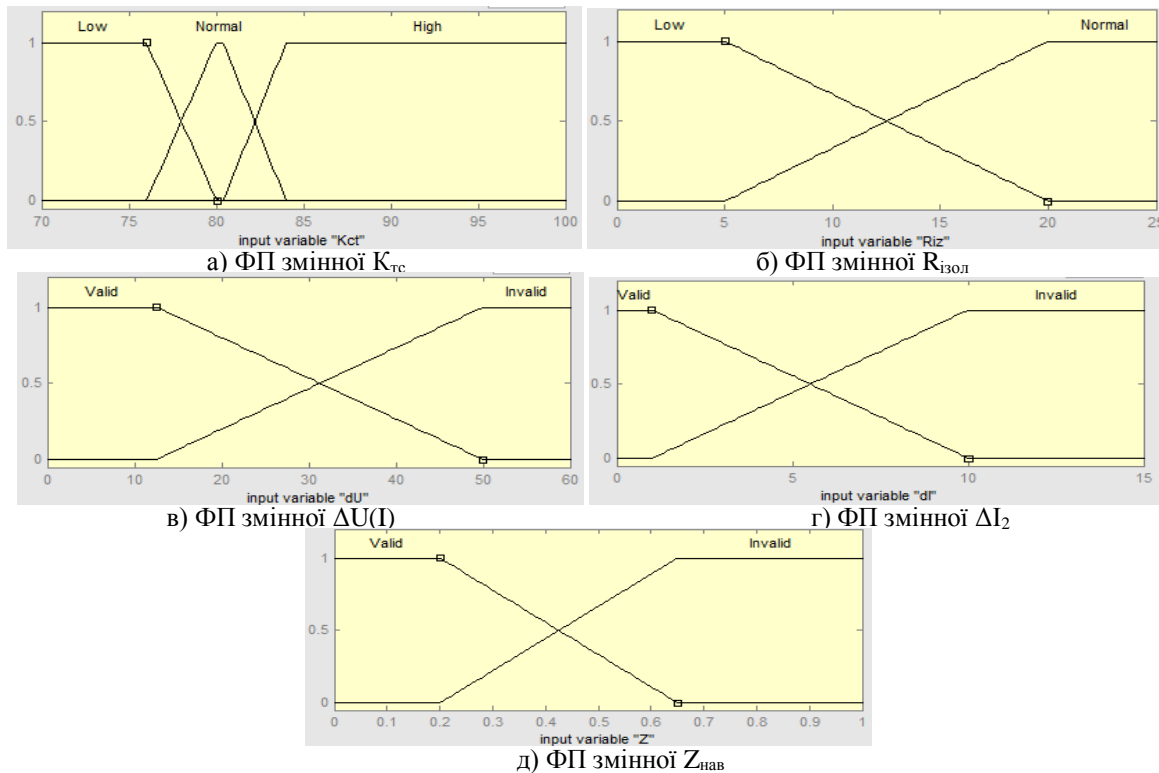


Рисунок 4 - ФП вхідних величин нечіткої моделі трансформатора струму

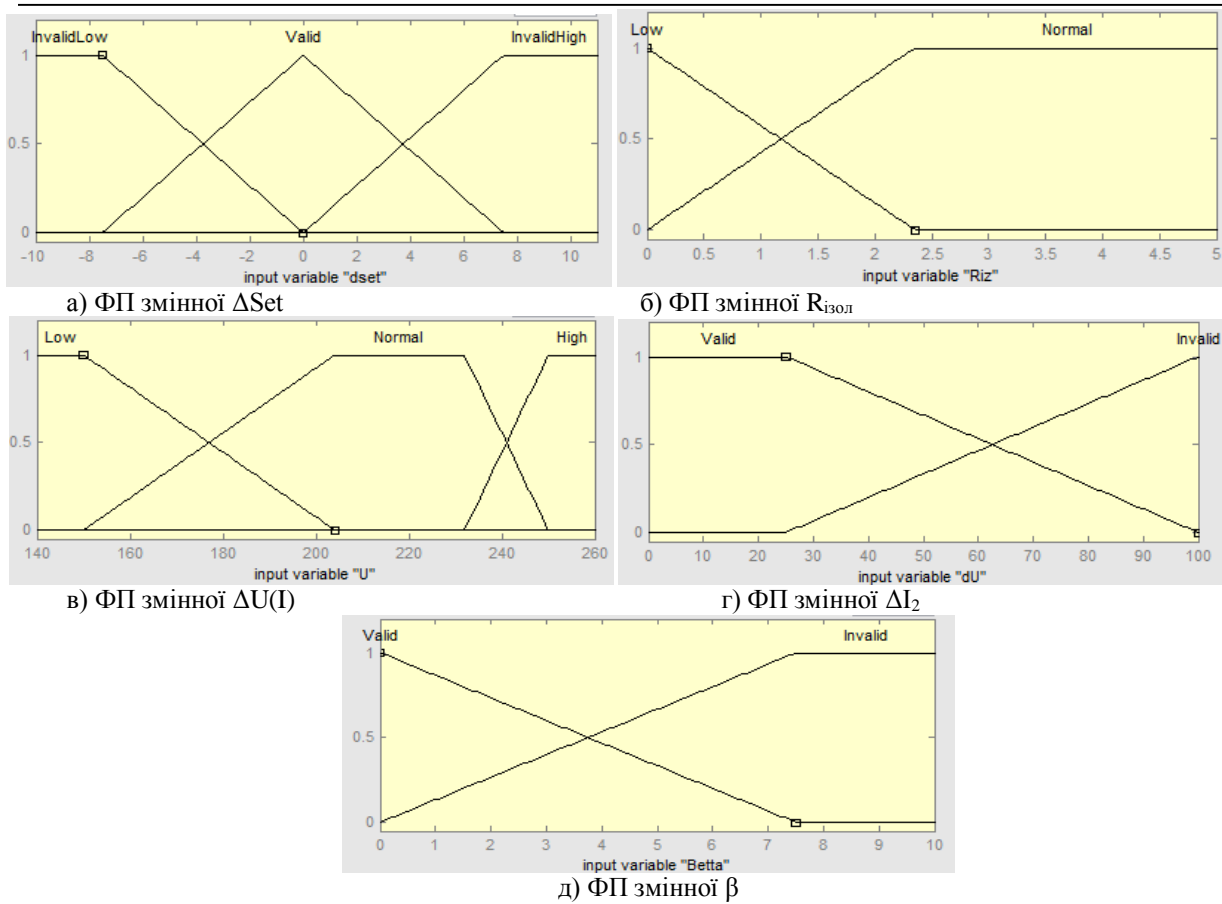


Рис.5 ФП вхідних величин нечіткої моделі мікропроцесорного реле

Нерівноцінність вхідної інформації двох категорій для обох елементів схеми РЗ враховано експертом при складанні баз правил прийняття рішення (табл.1-5).

Таблиця 1 База правил оцінювання ТС трансформатора струму за результатами періодичних перевірок

$K_{TC} = \text{«Низький»}$			$K_{TC} = \text{«Нормальний»}$			$K_{TC} = \text{«Високий»}$		
$R_{izol} \backslash \Delta U(I)$	Низ.	Норм.	$R_{izol} \backslash \Delta U(I)$	Низ.	Норм.	$R_{izol} \backslash \Delta U(I)$	Низ.	Норм.
Доп.	П	С	Доп.	П	Д	Доп.	П	С
Недоп.	П	П	Недоп.	П	С	Недоп.	П	С

Таблиця 2 База правил оцінювання ТС трансформатора струму за результатами “on-line” вимірювань

$Z_{нав} \backslash \Delta I_{втор}$	Доп.	Недоп.
Доп.	Д	С
Недоп.	С	П

Таблиця 3 База правил оцінювання ТС мікропроцесорного реле за результатами періодичних перевірок

$R_{izol} \backslash \Delta Set$	НЗ	Д	НЗ
Низьк.	П	С	П
Норм.	П	Д	П

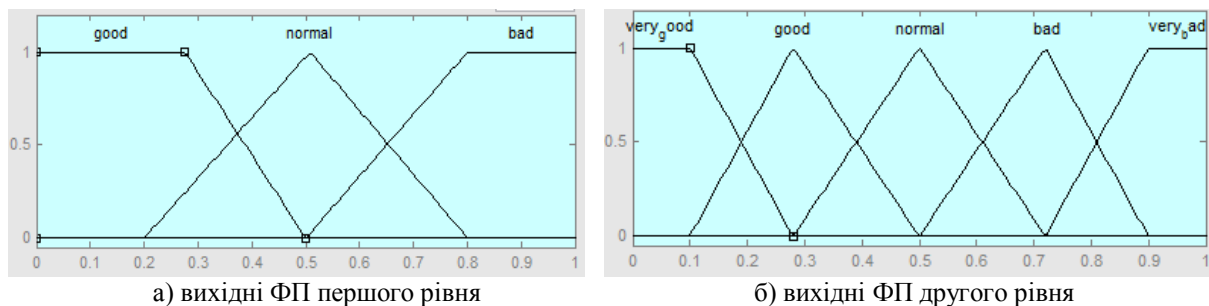
Таблиця 4 База правил оцінювання ТС мікропроцесорного реле за результатами “on-line” вимірювань

$U = \text{«Низький»}$			$U = \text{«Нормальний»}$			$U = \text{«Високий»}$		
$\beta \backslash dU $	Доп.	Недоп.	$\beta \backslash dU $	Доп.	Недоп.	$\beta \backslash dU $	Доп.	Недоп.
Доп.	С	П	Доп.	Д	С	Доп.	П	П
Недоп.	П	П	Недоп.	С	П	Недоп.	П	П

Таблиця 5 База правил вихідного рівня (однакова для обох моделей)

$S_2 \backslash S_1$	Д	С	П
Д	ДД	Д	П
С	С	С	П
П	ДП	ДП	ДП

ФП вихідних величин обох рівнів нечітких моделей визначаються на стандартних інтервалах Харрінгтона [5]. Вони приведені на рис.6.



а) вихідні ФП першого рівня

б) вихідні ФП другого рівня

Рисунок 6 ФП вихідних величин нечітких моделей стану об'єктів

За результатами, отриманими за нечіткими моделями, виконується модифікація статистичних функцій розподілу імовірності відмови елементів на інтервалі часу, з яких складається схема РЗ. Модифіковані функції трансформатора струму та мікропроцесорного реле представлені на рис.7.

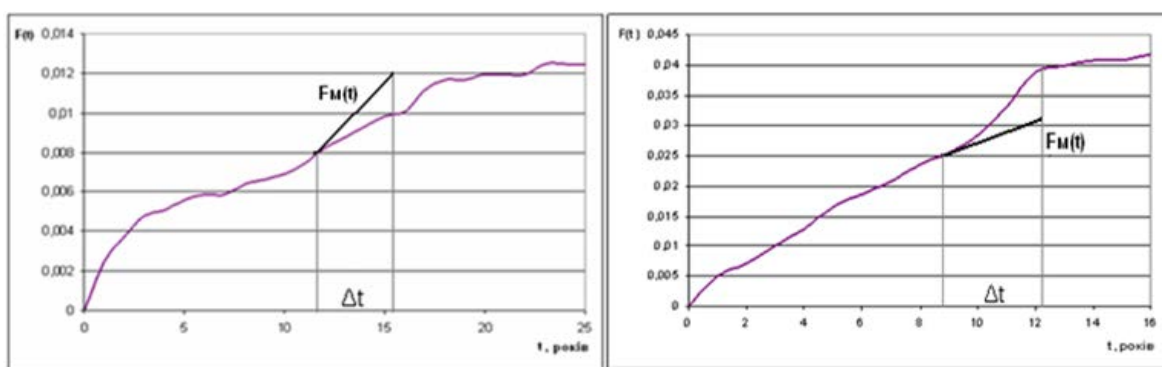
а) функція $F(t)$ трансформатора струмуб) функція $F(t)$ мікропроцесорного реле

Рисунок 7 Модифіковані інтегральні функції розподілу імовірності відмов

З отриманих результатів видно, що імовірність відмови розглядуваного трансформатора струму є вищою за статистичну через поганий технічний стан, а імовірність відмови розглядуваного реле – нижчою, оскільки воно знаходиться у доброму стані.

Висновки. Удосконалений метод «дерева відмов» дозволяє використовувати для оцінювання імовірності відмови схеми РЗ інтегральні статистичні функції розподілу імовірності відмов елементів схеми РЗ, які модифікуються з урахуванням ТС конкретної одиниці обладнання. Для модифікації інтегральних статистичних функцій розподілу імовірності відмов $F(t)$ з урахуванням ТС елементів схеми РЗ розроблені ієрархічні нечіткі моделі оцінювання ТС трансформатора струму та мікропроцесорного терміналу, які дають можливість кількісно оцінити ТС зазначених елементів в умовах різномірності вхідної інформації, а також поєднати в одній моделі вхідні дані з різним ступенем достовірності.

Удосконалений метод рекомендовано використовувати в задачах ризик-орієнтованого управління, а саме при складанні графіків технічного обслуговування пристроїв РЗ, а також при визначенні доцільності та термінів їхньої заміни.

Список літератури

1. Костерев М. В. Нечітко-статистичний підхід до оцінювання експлуатаційної та режимної надійності об'єктів підсистем електроенергетичної системи / М. В. Костерев, Є. І. Бардик, В. В. Літвінов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика», №1(14). – Донецьк, 2013. – С. 122-128.

2. Літвінов В. В. Оцінювання надійності пристроїв релейного захисту за допомогою ієрархічних схем нечіткого виводу. / В. В. Літвінов, Я. С. Саченко // XV міжнародна науково-практична конференція «Відновлювана енергетика XXI століття». – К.: ІВЕ НАНУ, 2014. – С. 261-264.
3. Літвінов В. В. Моделювання технічного стану пристроїв релейного захисту в умовах нечіткої інформації / В. В. Літвінов, Я. С. Саченко // II міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку». – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 68-70.
4. Шалин А. И. Надёжность и диагностика релейной защиты энергосистем: учебник / А. И. Шалин. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 384 с.
5. Штовба С. Д. Проектирование нечётких систем средствами MatLab / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
6. Saaty T. L. Eigenweightor an Logarithmic lease squares / T. L. Saaty // Eur. J. Oper. Res. – 1990. – 48, N1. – P. 156-160.

V. LITVINOV, Ya. SACHENKO
Zaporizhia State Engineering Academy

FUZZY-PROBABILITY APPROACH FOR THE RELIABILITY ESTIMATION OF RELAY PROTECTION DEVICES

In article was considered the problem of relay protection devices fault probability and risk estimation in fuzzy-information conditions. "Fault tree" method for the relay protection scheme fault probability appreciation at the time interval was updated by the taking into consideration individual state characteristics of investigated scheme elements. Fuzzy-probability model was formed for the estimation of relay protection schemes fault risk, which includes digital relays. Components of fuzzy-probability model were developed. For the relay scheme elements technical state estimation was created hierarchical fuzzy models of current transformer and digital relay. As input information was used periodical test results and "on-line" checked information, which could be obtained without relay equipment repairing. Fuzzy output was organized according to the Mamdani type algorithm.

References

1. Kosterev M. V. Nechitko-statystychnyi pidhid do otsiniuvannya ekspluatatsijnoi ta regimnoi nadijnosti obyektiv pidsystem elektroenergetychnoi systemy / M. V. Kosterev, Ye. I. Bardyk, V.V. Litvinov // Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo technichnogo universitetu. Seria: "Elektrotehnika i energetika", №1(14). – Donetsk, 2013. – S. 122-128.
2. Litvinov V. V. Otsiniuvannya nadiinosti prystroiv releinogo zahysty za dopomogoiu ierarhichnyh skhem nechitkogo vyvodu / V. V. Litvinov, Ya. S. Sachenko // Vidnovliuvana energetyka XXI stolittia. Materialy XV yuvileinoi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. – Kyiv, 2014. – S. 261–264.
3. Litvinov V. V. Modeliuvannya technichnogo stanu prystroiv releinogo zakhysty v umovah nechitkoi informatsii / V. V. Litvinov, Ya. S. Sachenko // II mizhnarodna naukovo-technicna ta navchalno-metodychna konferentsia "Energetychnyi menedzment: stan ta perspektyvy rozvytky" – Kyiv, NTUU "KPI", 2015. – S. 69-70.
4. Shalin A. I. Nadiozhnost i diagnostika releinoi zashchity energosistem / A. I. Shalin. – Novosibirsk: NGTU, 2002. – 384 s.
5. Shtovba S. D. Proektirovanie nechetkih system sredstvami MATLAB / S. D. Shtovba, - M.: Goriachaia linia – Telekom, 2007. – 288 s.
6. Saaty T. L. Eigenweightor an Logarithmic lease squares / T. L. Saaty // Eur. J. Oper. Res. – 1990. – 48, N1. – P. 156-160.

Надійшла 08.06.2015

Received 08.06.2015