

УДК 621.311

ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ПРИПУСТИМОГО РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНОЇ СИТУАЦІЇ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ

КОСТЕРЄВ М.В. *д-р. техн. наук, професор, професор кафедри відновлювальних джерел енергії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім. І. Сікорського, Київ, Україна, e-mail: nicolkost@gmail.com;*

ЛІТВІНОВ В.В. *канд. техн. наук, начальник виробничо-технічного відділу Дніпровської ГЕС ПрАТ «Укргідроенерго», Запоріжжя, Україна, e-mail: v.v.litvinov1985@ukr.net;*

Мета роботи. Розроблення моделі для оцінювання рівня припустимого ризику виникнення аварійної ситуації в енергосистемі в умовах нечіткості вихідних даних, різномірності критеріїв оцінювання ризику, відсутності аналітичних зв'язків між ними та суб'єктивності експертних знань осіб, що приймають рішення.

Методи дослідження. Для вирішення поставленої задачі використано методи та моделі нечіткої логіки, які дають задовільний аналітичний результат в умовах невизначеності вхідної інформації та відсутності аналітичних зв'язків між окремими параметрами та характеристиками об'єкту. Запропоновані нечіткі моделі побудовані з використанням алгоритму нечіткого виводу Мамдані.

Отримані результати. Отримуваний за розробленою нечіткою моделлю результат дає можливість достовірно оцінювати припустимий рівень ризику виникнення аварійної ситуації в енергосистемі. На підставі отриманої величини ризику можливо прийняти обґрунтовані рішення щодо доцільності (або недоцільності) застосування заходів по зниженню цієї величини ризику. Це дає можливість організації превентивного управління ризиком виникнення аварійної ситуації в енергосистемі та застосування ефективних заходів для його зниження.

Наукова новизна. В статті розроблено нечітку модель оцінювання рівня припустимого ризику виникнення аварійної ситуації в електроенергетичній системі, яка враховує такі критерії як мінімально можливий рівень ризику, вплив метеорологічних умов та помилки оперативного та експлуатаційного персоналу енергосистем. При цьому є можливість врахувати основні чинники, що впливають на надійність функціонування енергосистеми, для оцінювання рівня ризику виникнення аварійної ситуації.

Практична цінність. Розроблені в статті нечіткі моделі дають можливість проводити експрес оцінювання рівня припустимого ризику виникнення аварійної ситуації в умовах обмеженості вихідних даних та критеріїв оцінювання, проводити порівняльний аналіз отриманого результату з величиною фактичного ризику виникнення аварії в режимі «он-лайн» та приймати рішення щодо доцільності його зниження.

Ключові слова: *припустимий ризик; нечітка модель; аварійна ситуація; електроенергетична система; експертна оцінка.*

І. ВСТУП

Електроенергетична система (ЕЕС) України останнім часом працює у важких об'єктивно існуючих умовах, які спричинені наступними факторами [1]:

70-75 % електрообладнання повністю відпрацювало свій ресурс;

повільні темпи модернізації та заміни застарілого обладнання;

використання існуючого обладнання до напрацювання на відмову;

зниження маневровості генеруючих потужностей енергосистеми через зупинення енергоблоків теплових електростанцій внаслідок проблем з постачанням палива;

зростання кількості розподілених джерел енергії (СЕС, ВЕС) невеликої потужності, які ускладнюють

ведення режиму енергосистеми.

Управління ЕЕС України в таких умовах представляє собою дуже складну задачу, пошук оптимальних управлінських рішень якої полягає у сфері оцінювання ризиків [1]. Світова практика доводить ефективність ризик-орієнтованого управління в екстремальних умовах, але тільки за правильного обрання методів оцінювання ризику та проведення достовірного порівняльного аналізу отриманої величини ризику з певною припустимою (критичною) величиною. Визначення цієї припустимої величини ризику також являє собою складну задачу, вирішення якої лежить в сфері невизначеностей через велику кількість чинників від яких ця величина залежить.

Поняття рівня припустимого ризику (acceptable risk level) широко використовується в різних сферах людської діяльності – науково-технічній, медичній, соціологічній, економічній та ін. Узагальнюючи це поняття, його можна визначити як певний компроміс

між бажаним найменшим рівнем небезпеки та техніко-економічними можливостями його реалізації [2] та застосувати в задачі оцінювання рівня припустимого ризику виникнення аварійної ситуації в ЕЕС.

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В роботах [1], [3], [4] запропоновані та обґрунтовані методи та моделі оцінювання ризику виникнення аварійної ситуації в ЕЕС та її підсистемах, при цьому питання порівняльного аналізу отриманої величини з припустимим значенням зазвичай віддається на суб'єктивну точку зору експерта та є недостатньо розробленим.

В матеріалах багатьох досліджень та нормативних документів з визначення надійності різноманітних систем рівень припустимого ризику задається як детермінована величина, визначена за результатами спостережень, статистичних даних та думки фахівців [2]. Методики її визначення, зазвичай, не наводяться. Так, наприклад, в [5] розглянуто припустимий ризик негативного впливу хімічних канцерогенів у повітрі на здоров'я людини. Його визначено як середнє значення статистичної залежності ризику захворювання від імовірності його виникнення (для $p=0,5$);

В роботі [6] розглянуто припустимий ризик сходження лавини в гірських районах Ісландії та визначено три класи ризику (високий, середній та низький) та не рекомендоване проживання людей у зоні високого ризику. Також в [6] розглянуто методику визначення ризику виникнення зсуву. Прийнятний рівень ризику визначено шляхом порівняння інших критеріїв ризику (наприклад, ризику пошкодження гребель, залізничних шляхів тощо) в залежності від частоти подій та відносної кількості випадків.

Згідно до [7] у системі охорони здоров'я робітників Об'єднаного Королівства прийняті наступні рівні припустимості ризику: 0,001 – прийнятний ризик для категорії працівників за більшу частину робочого часу; 0,0001 – максимально прийнятний ризик для працівників, задіяних на неядерному виробництві; 0,00001 – максимально прийнятний ризик для працівників атомних станцій; 0,000001 – рівень прийнятного ризику за якого не потрібно робити ніяких покращень системи безпеки.

Графічною інтерпретацією ризику відмови окремого елемента множини N (індивідуального ризику) є карта ризику. За віссю абсцис на ній відкладається величина збитку, а за віссю ординат – імовірність відмови елемента. Перетин цих значень визначає величину локального ризику виникнення аварійної ситуації. Карта ризику поділена на три зони, які визначають рівні ризику. Таким чином, заходи, що необхідно застосувати для розглядуваного елемента визначаються розташуванням точки ризику на карті, а саме:

зона I – вживання заходів не потрібно;

зона II – потрібний ремонт або сервісне обслуговування обладнання;

зона III – потрібна заміна обладнання.

Запропонована карта є зручним практичним засобом для здійснення ризик-орієнтованого управління енергетичною системою, але її недоліком є те, що авторами [8] не представлені підходи для визначення меж між зазначеними трьома зонами.

В статті [9] приведені індекси рівня та критерії критичності по імовірності та тяжкості наслідків відмови. Критерії відмов є наступними: катастрофічна відмова, що спричиняє людські жертви та суттєві збитки, критична відмова, що загрожує життю людей та завдає суттєвих збитків, некритична відмова, що не загрожує життю людей та не завдає суттєвих збитків та відмова наслідками якої можна знехтувати через їхню несуттєвість. Категорії (критичності) відмов є наступними: А – кількісний аналіз ризику є обов'язковим та вимагаються особливі міри забезпечення безпеки, В – кількісний аналіз ризику є бажаним та вимагаються певні міри безпеки, С – кількісний аналіз ризику є рекомендованим і вимагаються деякі міри безпеки, D – аналіз та прийняття мір безпеки не потрібно. Запропонований підхід до класифікації технічних ризиків є подібним до карти ризику, представленої в [8], але так само необґрунтованими залишаються представлені діапазони частоти та наслідків відмов.

В той же час, в [2] прийнятний (припустимий) ризик визначається як нелінійна функція наступних складових:

$$R_A = f(T(S), R(S), S(T, R)), \quad (1)$$

де R_A – припустимий ризик, T – технічно досяжний результат, R – ресурсно-економічні можливості з його реалізації, S – система умовно-суб'єктивних факторів.

Система умовно-суб'єктивних факторів, в свою чергу, складається з:

представлення щодо прийнятного рівня ризику;

знань щодо безпеки;

відношення до безпеки;

ступеня спотворення адекватності її реальному рівню через відсутність інформації.

Перераховані фактори складним чином залежать один від одного. Дві перші складові формули (1) можна віднести до категорії умовно-об'єктивних параметрів. Всі інші складові цієї формули можна віднести до категорії умовно-суб'єктивних параметрів.

Таким чином, припустимий рівень ризику R_A є складною функцією ряду факторів об'єктивного та суб'єктивного характеру. Причому, визначальну роль відіграють не об'єктивні фактори (що можна зробити), а суб'єктивні (що думає експерт відносно того, що можна зробити).

III. МЕТА РОБОТИ

Метою проведеного дослідження є розроблення моделі для оцінювання рівня припустимого ризику в умовах нечіткості вихідних даних та суб'єктивізму осіб, що приймають рішення. Для досягнення поставленої мети було застосовано методи та моделі нечіткої логіки, які дають задовільний аналітичний результат в умовах невизначеності вхідної інформації та відсутності аналітичних зв'язків між окремими величинами.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГУ МАТЕРІАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Кожна система (наприклад, підприємство) закріплює представлення щодо припустимого рівня ризиків нормативно-методичними та інженерно-технічними документами.

Зони технічних, економічних або підприємницьких ризиків представляють собою групи наслідків за їхнім рівнем [2]. З урахуванням концепції припустимих ризиків, зазвичай виділяють наступні зони:

безризикова – зона без ризикових видів діяльності у якій збитки не очікуються;

припустимого ризику – зона в межах якої діяльність зберігає доцільність (збитки менші за прибуток);

критичного ризику – зона у якій існують види діяльності з критичним рівнем втрат, що перевищують очікуваний прибуток;

катастрофічного ризику – зона у якій рівень витрат дорівнює вкладенням. До даної категорії ризику відносять ризик, пов'язаний з прямою небезпекою для життя або здоров'я людей, виникненням екологічних катастроф, тощо.

Аналіз розглянутих матеріалів показав, що рівні припустимого ризику у різних галузях народного господарства здебільшого приймаються експертами на основі наявних статистичних даних. Математичне обґрунтування цих рівнів, зазвичай, не приводиться. Для задачі визначення припустимого рівня ризику виникнення аварійної ситуації в ЕЕС запропоновані якісно-експертні рівні не підходять через те, що кожна ЕЕС має свої індивідуальні особливості та характеристики. Щоб визначити припустимий ризик виникнення аварійної ситуації в ЕЕС необхідний обґрунтований підхід, який би враховував особливості розглядуваної ЕЕС.

Згідно до визначення гранично припустимого ризику (1) в задачі визначення ризику аварійної ситуації в ЕЕС, технічно досяжним результатом є мінімальний ризик виникнення аварійної ситуації в ЕЕС R_{MIN} . Важливим фактором від якого залежить досягнення даного технічного результату є несприятливі метеорологічні умови (вітрові навантаження, ожеледь, грозова активність, низькі або високі температури). Одним з основних факторів, від якого залежить імовірність виникнення аварії і як, наслідок, розраху-

нкова величина ризику і рівень припустимого ризику є людський фактор, а саме помилки персоналу. Кількісною характеристикою помилкових дій персоналу є імовірність виникнення аварії через ці помилкові дії.

Оскільки маємо три вхідні величини від яких залежить рівень припустимого ризику (мінімальний ризик виникнення аварійної ситуації в ЕЕС R_{MIN} , метеорологічні умови M , імовірність помилкових дій персоналу P), між якими немає аналітичної залежності для визначення рівня припустимого ризику R_A доцільно застосувати нечітку модель типу Мамдані, яка має якісні правила, що пов'язують вхідні та вихідні величини та дає задовільні результати при кількості вхідних величин від 2 до 5. Структура нечіткої моделі приведена на рис. 1.

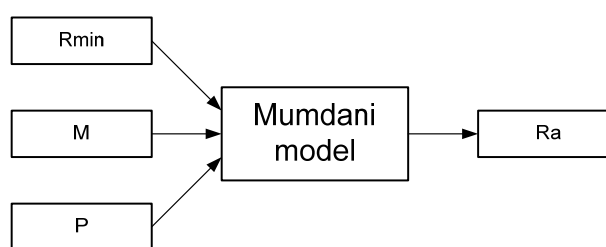


Рисунок 1. Нечітка модель для оцінювання рівня припустимого ризику виникнення аварійної ситуації в ЕЕС

Нечіткі терми вхідних величин моделі наступні для оцінювання рівня припустимого ризику виникнення аварійної ситуації в ЕЕС:

«Мінімальний ризик (R_{MIN})»: «Низький», «Середній», «Високий»;

«Метеорологічні умови (M)»: «Несприятливі», «Сприятливі»;

«Імовірність помилки персоналу (P)»: «Низька», «Середня», «Висока».

Вихідною величиною нечіткої моделі є «Рівень припустимого ризику» R_A , який має п'ять нечітких термів, функції приналежності яких визначені на інтервалах шкали Харрінгтона [10]: «Дуже низький» (ДН), «Низький» (Н), «Середній» (С), «Високий» (В), «Дуже високий» (ДВ).

Налаштування якісної бази правил прийняття рішення (типу «ЯКЩО-ТО») виконується за оцінками експертів та наведеними вище нормативними даними.

Мінімальний ризик визначається за імовірнісно-статистичним підходом, представленим в [1]. Імовірність помилки персоналу визначається за методом, представленим в [11].

Для отримання кількісної характеристики стану метеорологічних умов, складові фактори якої не мають чітко визначеного аналітичного взаємозв'язку, розроблено нечітку модель типу Мамдані [12], [13], [14] яка має наступні вхідні величини:

«Вітрове навантаження» (W): «слабке», «серед-

не», «сильне»;

«Навантаження від ожеледі» (I): «припустиме», «неприпустиме»;

«Інтенсивність грози (S)»: «низька», «висока»;

«Температура повітря (T)»: «низька», «нормальна», «висока».

Вихідною величиною нечіткої моделі для оцінювання метеорологічних умов є «Метеорологічна обстановка», яка має п'ять нечітких термів, функції приналежності яких визначені на інтервалах шкали Харрінгтона: «Дуже погана» (ДП), «Погана» (П), «Середня» (С), «Добра» (Д), «Дуже добра» (ДД).

Структура нечіткої моделі оцінювання метеорологічних умов представлена на рис.2.

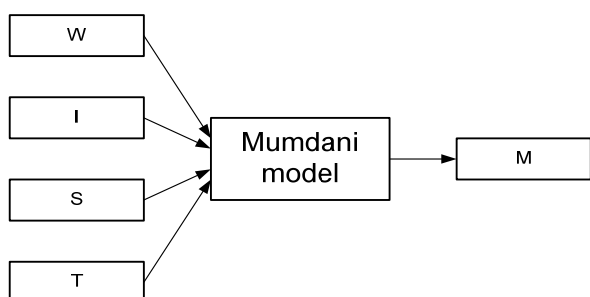


Рисунок 2. Структура нечіткої моделі оцінювання метеорологічних умов

Бази правил прийняття рішень обох нечітких моделей (визначення рівня припустимого ризику та оцінювання метеорологічних умов) складаються з використанням експертних знань та переваг [15]. База правил прийняття рішення нечіткої моделі визначення рівня припустимого ризику представлена в табл. 1.

Таблиця 1. База правил прийняття рішення моделі визначення рівня припустимого ризику

M = «Несприятливі»			
Rmin P	Низький	Середній	Високий
Низький	Н	С	В
Середній	С	В	ДВ
Високий	В	ДВ	ДВ
M = «Сприятливі»			
Rmin P	Низький	Середній	Високий
Низький	ДН	Н	В
Середній	Н	С	В
Високий	В	В	ДВ

База правил прийняття рішення нечіткої моделі оцінювання метеорологічних умов представлена в табл. 2.

Таблиця 2. База правил прийняття рішення моделі оцінювання метеорологічних умов

S = «Низька»			
T = «Низька»			
W I	Слабке	Середнє	Сильне
Припустиме	Д	С	П
Неприпустиме	С	П	П
T = «Середня»			
W I	Слабке	Середнє	Сильне
Припустиме	ДД	Д	С
Неприпустиме	Д	С	П
T = «Висока»			
W I	Слабке	Середнє	Сильне
Припустиме	Д	С	П
Неприпустиме	С	П	П
S = «Висока»			
T = «Низька»			
W I	Слабке	Середнє	Сильне
Припустиме	С	П	ДП
Неприпустиме	П	ДП	ДП
T = «Середня»			
W I	Слабке	Середнє	Сильне
Припустиме	Д	С	П
Неприпустиме	С	П	П
T = «Висока»			
W I	Слабке	Середнє	Сильне
Припустиме	С	П	ДП
Неприпустиме	П	ДП	ДП

Функції приналежності вхідних величин нечіткої моделі оцінювання кліматичних умов визначаються за результатами обробки оцінок 10 експертів за методом Сааті [16]. Експертні оцінки для вхідної величини «Вітрове навантаження» приведені в табл. 3.

Таблиця 3. Експертні оцінки приналежності вхідної величини «Вітрове навантаження»

Вітрове навантаження, м/с	0	2	4	6	8	10
Слабке	10	10	2	0	0	0
Середнє	0	0	8	10	8	0
Сильне	0	0	0	0	2	10

Функції приналежності нечітких термів, побудовані за експертними оцінками представлені на рис.3.

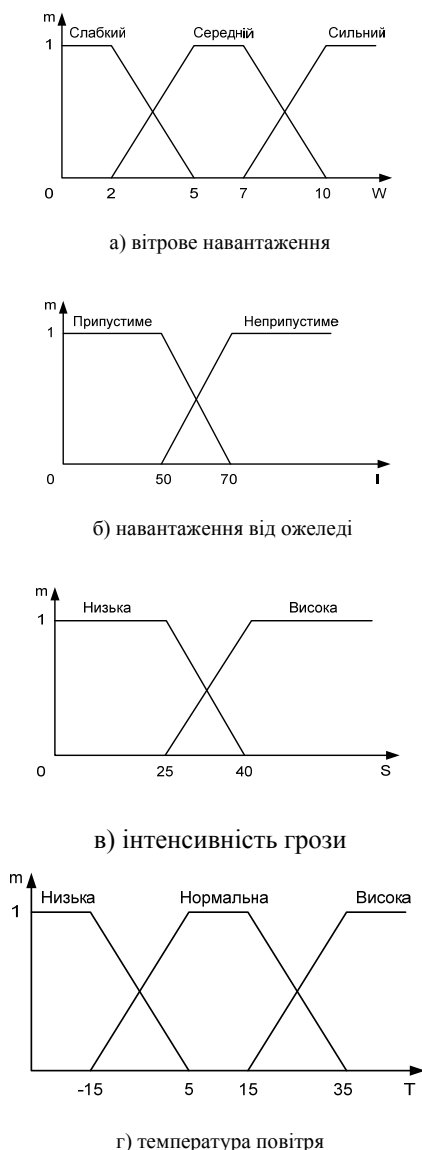


Рисунок 3. Функції приналежності вхідних величин нечіткої моделі оцінювання кліматичних умов

Функції приналежності вхідних величин нечіткої моделі визначення припустимого ризику також визначаються за результатами обробки оцінок 10 експертів за методом Сааті [16]. Експертні оцінки для вхідної величини «Мінімальний ризик виникнення аварійної ситуації в ЕЕС» приведені в табл. 4.

Таблиця 4. Експертні оцінки приналежності вхідної величини «Мінімальний ризик виникнення аварійної ситуації»

Мінімальний ризик, м/с	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Низький	10	10	3	3	0	0
Середній	0	0	7	7	0	0
Високий	0	0	0	0	10	10

Функції приналежності вхідних величин нечіткої моделі визначення припустимого ризику також будуть за результатами обробки оцінок декількох експертів за методом Сааті. Вони представлені на рис.4.



Рисунок 4. Функції приналежності вхідних величин нечіткої моделі визначення припустимого ризику

Функції приналежності термів вихідних величин обох моделей будуються на стандартних інтервалах шкали Харрінгтона [10] та мають вигляд, представлений на рис.5.

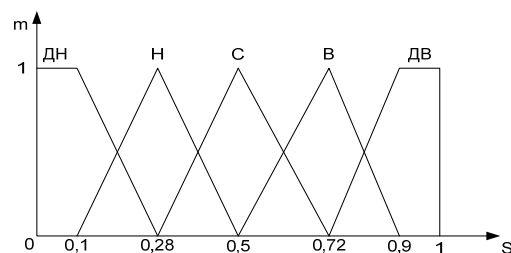


Рисунок 5. Функції приналежності нечітких термів вихідних величин

V. ПРИКЛАД

Визначимо рівень припустимого ризику виникнення аварійної ситуації (порушення динамічної стійкості) у 14-вузловій тестовій схемі ЕЕС (рис. 6).

Вихідні дані для розрахунку наступні: вітрове навантаження складає 8 м/с; навантаження від ожеледі – 20 мм; грозова інтенсивність 10 днів/рік; температура повітря -5°C ; мінімальний ризик; визначений за імовірнісно-статистичним підходом складає 0,15; імовірність помилки персоналу, визначена за [11] складає 0,4; значення ризику виникнення аварійної ситуації на момент спостереження складає 0,28.

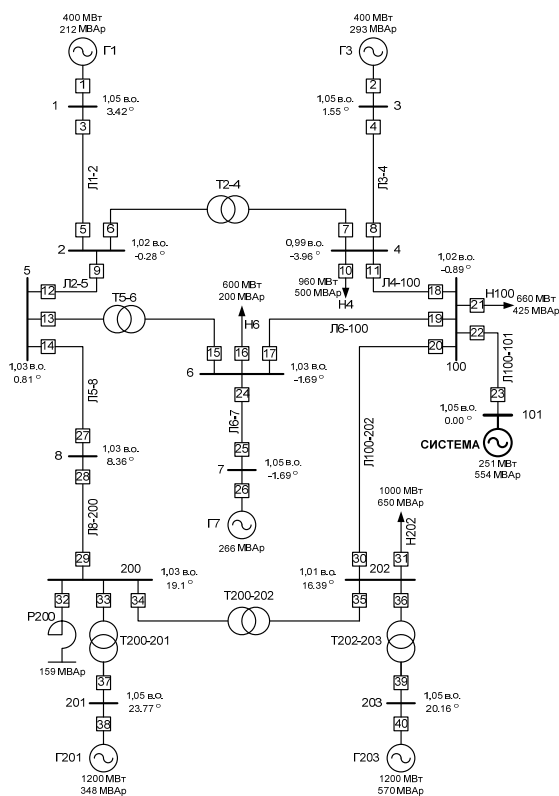


Рисунок 6. Схема 14-вузлової ЕЕС

За розробленою вище нечіткою моделлю оцінювання метеорологічних умов визначається кількісна оцінка метеорологічних умов на момент часу спостереження:

$$M = \phi_M(W, I, S, T) = \phi_M(8, 20, 10, -5) = 0,237.$$

За розробленою вище нечіткою моделлю визначення припустимого рівня ризику визначасмо величину припустимого ризику:

$$R_A = \phi_R(R_{MIN}, M, P) = \phi_R(0,15, 0,237, 0,4) = 0,215.$$

Отримана величина припустимого ризику менша за значення ризику виникнення аварійної ситуації на момент спостереження, таким чином необхідне зниження поточного значення ризику шляхом застосування заходів, які дозволяють мінімізувати його рі-

вень до значення 0,15.

VI. ВИСНОВКИ

Побудовані нечіткі моделі дають можливість визначити величину припустимого ризику з урахуванням таких різномірних критеріїв надійності ЕЕС як величина мінімально можливого ризику, вплив кліматичних умов та помилки експлуатаційного та оперативного персоналу. Використання нечіткого виводу Мамдани дає можливість виконати оцінку припустимого ризику з використанням критеріїв між якими існує тільки якісний зв'язок.

Отримуваний за моделлю результат дає можливість приймати обгрунтовані рішення щодо доцільності (або недоцільності) застосування заходів по зниженню ризику виникнення аварії в ЕЕС шляхом проведення порівняльного аналізу отриманої величини припустимого ризику, величини мінімального ризику та значення фактичного ризику. Застосування такого підходу дає можливість організації превентивного ризик-управління електроенергетичною системою, в тому числі й в режимі "on-line".

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Костерев М.В. Розроблення аналітичного методу оцінювання ризику виникнення аварійної ситуації в енергосистемі / М.В. Костерев, В.В. Літвінов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий ISSN 1729-3774. Системы управления в промышленности. – 2015. – № 4/2 (76). – С. 44 – 50.
- [2] Системы оценки рисков. Допустимый риск. <http://www.scribu.com/5/85815577381.php>
- [3] Літвінов В.В. Оцінка ризику порушення стійкості двигунового навантаження при відмовах електрообладнання в підсистемі ЕЕС : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук : (05.14.02 – Електричні станції, мережі та системи) / Літвінов Володимир Валерійович ; НТУУ «КПІ». – К., 2012. – 20 с.
- [4] Kosterev M.V. Risk Estimation of Induction Motor Fault in Power System / M.V. Kosterev, E.I. Bardyk, V.V. Litvinov // WSEAS Transactions on Power Systems. – Issue 4. – Vol. 8. – Oct. 2013. – P. 217 – 226.
- [5] Travis C.C. Determining an acceptable level of risk / C.C. Travis, H.A. Hattermer-Frey // Environ. Sci. Technol. – Vol. 22. – № 8. – 1988. – P. 873 – 876.
- [6] Bell R. Challenges in defining acceptable risk levels. / R. Bell, T. Glade, M. Danscheid // Bonn, 2005. – 10 p.
- [7] Hunter P. Acceptable risk / P. Hunter, L. Fewtrell. – 2010. – Ch.10. – P. 207 – 227.
- [8] Handschin E. Long term optimization for risk-oriented asset management / E. Handschin, I. Jurgens, C. Neumann // 16th Power Systems Computation Conference. – Glasgow, 2008.

- [9] Schwan M. Component reliability prognosis in asset management methods / M. Schwan, C. Schilling, U. Zickler // 9th International Conference of Probabilistic Methods Applied to Power Systems. – Stockholm, 2006.
- [10] Ременников В.Б. Управленческие решения / В.Б. Ременников. Минск : Юнити, 2005. – 144 с.
- [11] Сысоев А.В. Принципы оценки надежности эксплуатационного персонала / А.В. Сысоев // Научный вестник МГТУ. – 2005. – № 90(8). – С. 156 – 160.
- [12] Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
- [13] Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб. : БХВ – Петербург, 2005. – 736 с.
- [14] Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голупов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 226 с.
- [15] Riid A. Transparent Fuzzy Systems: Modeling and Control: PhD Thesis / Riid Arno. – Tallinn Technical University: Department of Computer Control. – Tallinn, 2002. – 227 p.
- [16] Saaty T.L. Eigenweightor an logarithmic lease squares / T.L. Saaty // Eur. J. Oper. Res. – 1990. – 48, N1. – P. 156 – 160.

Стаття надійшла до редакції 06.03.2019

ОЦЕНИВАНИЕ УРОВНЯ ДОПУСТИМОГО РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ

КОСТЕРЕВ Н.В. *д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры возобновляемых источников энергии Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» им. И. Сикорского, Киев, Украина e-mail: nicolkost@gmail.com;*

ЛИТВИНОВ В.В. *канд. техн. наук, начальник производственно-технического отдела Днепровской ГЭС ЧАО «Укрэнерго», Запорожье, Украина, e-mail: v.v.litvinov1985@ukr.net;*

Цель работы. Разработка модели для оценивания уровня допустимого риска возникновения аварийной ситуации в энергосистеме в условиях нечеткости исходных данных, разнородности критериев оценивания риска, отсутствия аналитических связей между ними и субъективности экспертных знаний людей, которые принимают решение.

Методы исследования. Для решения поставленной задачи использованы методы и модели нечеткой логики, которые дают удовлетворительный аналитический результат в условиях неопределенности исходной информации и отсутствия аналитических связей между отдельными параметрами и характеристиками объекта. Предложенные нечеткие модели построены с использованием алгоритма нечеткого вывода Мамдани.

Полученные результаты. Полученный с помощью нечеткой модели результат дает возможность достоверно оценивать допустимый уровень риска возникновения аварийной ситуации в энергосистеме. На основании полученного значения риска возможно принять обоснованные решения относительно целесообразности (или нецелесообразности) применения мероприятий по снижению этой величины риска. Это дает возможность организации превентивного управления риском возникновения аварийной ситуации в энергосистеме и применения эффективных мероприятий для его снижения.

Научная новизна. В статье разработана нечеткая модель оценивания уровня допустимого риска возникновения аварийной ситуации в электроэнергетической системе, которая учитывает минимально возможный уровень риска, влияние метеорологических условий и ошибки оперативного и эксплуатационного персонала энергосистем. При этом есть возможность учитывать основные факторы, влияющие на надежность функционирования энергосистемы, для оценивания уровня риска возникновения аварийной ситуации.

Практическая ценность. Разработанные в статье нечеткие модели дают возможность проводить экспресс-оценку уровня допустимого риска возникновения аварийной ситуации в условиях ограниченности исходных данных и критериев оценивания, проводить сравнительный анализ полученного результата с величиной фактического риска возникновения аварии в режиме «онлайн» и принимать решения относительно целесообразности его снижения.

Ключевые слова: допустимый риск; нечеткая модель; аварийная ситуация; электроэнергетическая система; экспертная оценка.

ESTIMATION OF THE ACCEPTABLE RISK LEVEL OF EMERGENCY SITUATION IN THE ELECTRIC POWER ENGINEERING SYSTEM USING FUZZY MODELS

KOSTEREV M.V. *Sci.D, Professor, Professor of the renewable sources of energy department of the National technical university of Ukraine "Kyiv polytechnic institute" named by I. Sikorski, Kiev, Ukraine, e-mail: nicolkost@gmail.com;*

LITVINOV V.V. *Ph.D, Technical department chief of Dnipro HPP PJSC "Ukrhydroenergo", Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: v.v.litvinov1985@ukr.net;*

Purpose. The development of a model for assessing the level of permissible risk of an emergency situation in the power system in the conditions of fuzzy input data, heterogeneity of the criteria for risk assessment, the absence of analytical links between them and the subjectivity of expert knowledge of decision makers.

Methodology. To solve this problem, methods and models of fuzzy logic are used which give satisfactory analytical result in the conditions of uncertainty of the input information and the absence of analytical connections between the individual parameters and characteristics of the object. The proposed fuzzy models are constructed using the Fuzzy Output Algorithm of Mamdani.

Findings. The result obtained by the fuzzy model gives the opportunity to assess reliably the acceptable level of risk of an emergency situation in the grid. Based on the magnitude of the risk, it is possible to make informed decisions regarding the expediency (or impracticability) of applying measures to reduce this risk. This enables the organization of preventive management of the risk of an emergency situation in the grid and the use of effective measures to reduce it.

Originality. The article is devised a fuzzy model for estimating the permissible risk level of an emergency situation in the electric power system, which takes into account such criteria as the minimum possible level of risk, the influence of meteorological conditions and errors of operational and operational personnel of power systems. In this case, it is possible to take into account the main factors influencing the reliability of the grid functioning, to assess the risk level of an emergency situation..

Practical value. The fuzzy models developed in the article provide an opportunity to carry out an express assessment of the level of permissible risk of an emergency situation in the conditions of limited data and evaluation criteria, to conduct a comparative analysis of the obtained result with the magnitude of the actual risk of an accident in the on-line mode and to make a decision as to the appropriateness of its reduction .

Keywords: *acceptable risk; fuzzy model; fault; power system; expert estimation.*

REFERENCES

- [1] Kosterev M.V., Litvinov V.V. (2015). Rozroblennia analitichnogo metodu otsniuvannia ryzyku vynyknennia avariinoi situatsii v energosystemi. Vostochno-evropeiskii zhurnal peredovyh technolohiy. Sistemy upravleniia v promyshlennosti, 4/2 (76), 44 – 50. (in Ukrainian.)
- [2] Sistemy otsenki riskov. Dopustymyi risk. <http://www.scribu.com/5/85815577381.php> (in Russian.)
- [3] Litvinov V.V. (2012). Otsinka ryzyku porushennia stiikosti dvygunovogo navantazhennia pry vidmovah elektroobladnannia v pidsystemi EES. Avtoreferat dissertatsii na zdobuttia naukovoogo stupenia kandidata technichnyh nauk, 20 (in Ukrainian).
- [4] Kosterev M.V., E.I. Bardyk, Litvinov V.V. (2015). Risk Estimation of Induction Motor Fault in Power System. WSEAS Transactions on Power Systems, 4, 8, 217 – 226.
- [5] Travis C.C., Hattermer-Frey H.A. (1988) Determining an acceptable level of risk. Environ. Science Technology, 22, 8, 873 – 876.
- [6] Bell R., Glade T., Danscheid M. (2005). Challenges in defining acceptable risk levels, 10.
- [7] Hunter P. Fewtrell L. (2010). Acceptable risk, 10, 207 – 227.
- [8] Handschin E., Jurgens I., Neumann C. (2008) Long term optimization for risk-oriented asset management. 16th Power Systems Computation Conference.
- [9] Schwan M., Schilling C., Zickler U. (2006). Component reliability prognosis in asset management methods. 9th International Conference of Probabilistic Methods Applied to Power Systems.
- [10] Remennikov V. (2005). Upravlencheskie reshenia. Minsk: Uniti , 144. (in Russian.)
- [11] Sysoev A.V. (2005). Printsypy otsenki nadiozhnosti ekspluatatsionnogo personala. Nauchnyi vestnik MGTU, 90(8), 156-160. (in Russian.)
- [12] Shtovba S.D. (2007). Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB. M.: Goriachaia linia - Telekom, 288. (in Russian.)
- [13] Leonenkov A.V. (2005). Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB I FuzzyTECH. SpB.: BHV - Peterburg, 736. (in Russian.)
- [14] Kruglov V.V., Dli M.I., Golupov R.Yu. (2003). Nechetkaya logika i iskusstvennye neironnye seti. M.: Goriachaia linia - Telekom, 226. (in Russian.)
- [15] Riid A. (2002). Transparent Fuzzy Systems: Modeling and Control. PhD Thesis, 227.
- [16] Saaty T.L. (1990). Eigenweightor an logarithmic lease squares. Eur. J. Oper. Res., 48, N1, 156 – 160.