

ДІАГНОСТИКА РИЗИКІВ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІБРИДНИХ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

Коновалов С., Єгошина Г.

У даній статті представлений комплексний метод діагностики ризиків аварійних ситуацій, який ґрунтується на використанні гібридних експертних систем. Всі ризики, що загрожують складній системі можна структурувати за допомогою бази знань, де зазначатимуться значення змінних при аварійній ситуації, а також дії для усунення цієї ситуації з урахуванням часу і вартості при їх застосуванні. Різні загрози, які можуть становити небезпеку для складних технічних систем в тій чи іншій ймовірності, представлені графічно за допомогою діаграми Ішікави. Також при діагностиці були враховані різні види надійності складних технічних систем, які розраховувалися при тій чи іншій ймовірності роботи систем. Крім цього враховується розрахунок і всіляких ризиків, які впливають як на надійність, так і на працездатність. При цьому сама працездатність розраховується з урахуванням даних змінних, в тому числі і ризиків всіх технічних вузлів складових частин складної технічної системи, а остаточно обчислюється за допомогою нейронної мережі, яка враховує також і типи самих даних (лінгвістичні та нелінгвістичні). Сама нейронна мережа здатна навчатися, застосовуючи для цього злиття таких методів як метод зворотного поширення помилки і рекурентного методу. Для постановки остаточного діагнозу працездатності складної технічної системи застосовується параметричне діагностування двигуна, яке засноване на порівнянні математичних моделей даної самої системи, що діагностується з математичною моделлю еталонної складної технічної системи. В результаті були розроблені алгоритми для діагностики ризиків за допомогою гібридних експертних систем. Один з них показує більш конкретно аналіз працездатності за даними аварійності системи при використанні нечіткої логіки гібридної експертної системи. Інший описує більш загальну діагностику ризиків у вигляді проходження інформації про стан системи до її повної обробки гібридною експертною системою.

Ключові слова. Гібридна експертна система, база знань, нейронна мережа, нечітка логіка, діаграма Ішікави, надійність, працездатність, діагностика, ризики.

ВСТУП

Останнім часом проблема управління ризиками дуже актуальна. Ризик - це складна, іноді нерозв'язна задача, особливо коли це стосується складних технічних систем.

Управління ризиками являє собою безліч системно організованих процедур, що призводять величину ризику в певні межі. Під ризиком розуміється діяльність, яка пов'язана з подоланням невідомості в ситуації, коли вибір неминучий, тобто існує можливість оцінити

ймовірність досягнення передбачуваного результату, невдачі і відхилення від необхідної мети як кількісно, так і якісно [1].

Проблема протиаварійного керування шляхом зниження ризиків ще досить гостра. Це пов'язано з нестачею графічного представлення ймовірних факторів небезпеки. Популярні засоби представлення різних небезпек не забезпечують в повному обсязі прийняття швидкого рішення для безпечної експлуатації судна. Але при цьому розроблений новий підхід до безпеки управління, який представлений кластерно-ймовірною інформаційною моделлю. Дана модель показує загрози і ризики при роботі складних технічних систем судна.

Безпечний режим роботи в складних технічних системах (СТС) досягається шляхом своєчасного запобігання виникнення ризиків аварійних ситуацій. Ефективно цього можна досягти при використанні гібридних експертних систем (ГЕС) [2, 3].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Запобігання виникнень аварійних ситуацій в складних технічних системах, а також швидка протидія таким, якщо запобігти по тій або іншій причині не виходить. Все це повинно бути досягнуто за допомогою розробки комплексного методу для діагностики ризиків аварійних ситуацій за допомогою гібридних експертних систем.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Складна технічна система, яка діагностується в умовах змінних і екстремальних техногенних та природних впливів.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Технічні характеристики, оцінка різних ризиків, а також причини відмов функціональних елементів СТС.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Були використані експериментально-теоретичні методи, в тому числі, аналіз, синтез, моделювання. Застосовано системний підхід до подання СТС як ієрархічної системи взаємопов'язаних і взаємодіючих підсистем.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ДОСЛІДЖЕННЯ

Той чи інший ризик аварійної ситуації можна структурувати, тобто розкласти на складові дані СТС, при певному значенні яких він виникає. Всі ці дані знаходяться в базі знань (БЗ) ГЕС (табл. 1).

Таблиця 1. База знань ГЕС

Аварійна ситуація	Значення змінних СТС				Дії для усунення аварійної ситуації	Витрачений час	Вартість
	z_1	z_2	...	z_k			
as_1	B	C	...	H	U_1	t_1	C_1
as_2	H	BC	...	C	U_2	t_2	C_2
...
as_d	B	HC	...	C	U_d	t_d	C_d

У табл. 1. B – значення «високе», BC – значення «вище середнього», C – значення «середнє», HC – значення «нижче середнього», H – значення «низьке», k – кількість змінних, d – кількість аварійних ситуацій.

Дана БЗ поповнюється за допомогою нейронної мережі (НМ), здатної до навчання, застосовуючи для цього злиття методів зворотного поширення помилки і рекурентного методу [4]. Також для графічного представлення класифікації ризиків для ГЕС застосовується діаграма Ішікави [5]. Дана діаграма є оригінальним підходом графічного моделювання прикладів загроз і ризиків технічної безпеки.

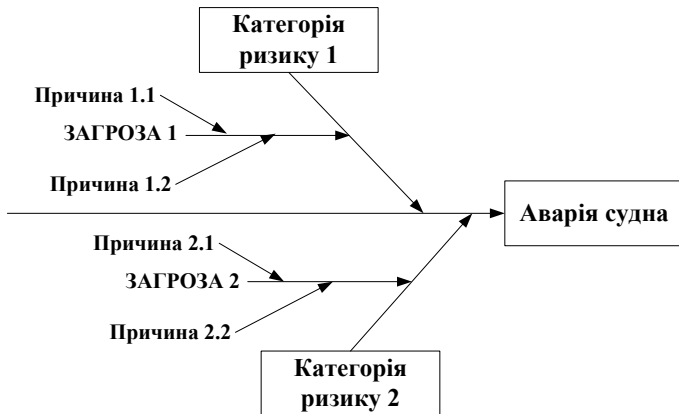


Рис. 1 – Приклад фрагмента діаграми Ішікави

Представлена діаграма схожа на скелет риби (рис. 1). Аварійна ситуація в цілому позначена центральною стрілкою по горизонталі, а різні ризики представлені стрілками, які спрямовані до центральної стрілки по горизонталі, при цьому нахил йде в ліву сторону. Рівень аналізу стає більш глибоким шляхом додавання стрілок, які впливають на ризики факторів загроз. Подальша деталізація з поділом факторів загроз робиться, поки не будуть виявлені справжні причини загроз роботи СТС.

Етапи побудови діаграми Ішікави:

I. визначаються різноманітні причини і загрози, що впливають на аварійність;

II. систематизуються причинні фактори, а також смислові розділи;

III. ранжуються і оцінюються загрози і причини всередині цих розділів;

IV. отримана структура аналізується;

V. визначаються і віднімаються ті причинні, які неможливо змінити;

VI. ігноруються несуттєві причини і загрози.

Переваги моделі діаграми: наочність показу зв'язків між аварійною ситуацією та її причиною; можливість провести аналіз ланцюга факторів загроз, які впливають на проблему аварійності; наочність взаємозв'язків між різноманітними причинами і порівняння їх відносної важливості; отримання інформації для прийняття рішень при аварійній ситуації.

Недолік діаграми Ішікави полягає в складності застосування при високій ймовірності плутанини в складній технічній системі, а також громіздкість графічного представлення зображення всіх «гілок», але це компенсується присутністю програмного забезпечення, за допомогою якого можливий приватний розгляд зображення будь-якої гілки.

Ризик найчастіше оцінюють при розрахунку таких понять, як надійність і працездатність СТС. При технічному обслуговуванні, а також ремонті оцінюють експлуатаційну (реальну) надійність СТС. Експлуатаційна надійність СТС - надійність, обумовлена в реальних умовах експлуатації, враховуючи комплексний вплив зовнішніх і внутрішніх аварійних факторів, пов'язаних як з кліматичними, так і з географічними особливостями експлуатації, реальними режимами роботи функціональних систем СТС, а також різними умовами, при яких вони обслуговуються. Виробнича надійність СТС - це надійність, яку можна забезпечити в даних певних умовах їх застосування при ідеальній, тобто абсолютно надійній, технічній експлуатації СТС.

Проектна надійність СТС переважно визначається надійністю структури СТС (виробничою надійністю) і надійністю технічної експлуатації (експлуатаційною надійністю).

Проектна надійність СТС формується такою за допомогою подібної структурної моделі:

$$N = NE \quad (1)$$

де N – подія, що показує досягнення результатів для поставлених завдань при експлуатації СТС;

E – подія, що показує безвідмовність експлуатації СТС під час виконання цих завдань.

Імовірність події N :

$$P(N) = P(N/E)P(E) \quad (2)$$

де $P(N)$ – повна ймовірність виконання СТС поставленого завдання при експлуатації;

$P(N/E)$ – умовна ймовірність виконання СТС поставленого завдання при експлуатації, обчислена при безвідмовній експлуатації СТС, умовний ризик;

$P(E)$ – ймовірність безвідмовної експлуатації СТС при виконанні поставленого завдання, мінімальний ризик.

Подія E є складною, вона представлена у вигляді добутку декількох подій:

$$E = E_1 E_2 E_3 E_4 \quad (3)$$

де E_1 – відсутність в СТС факторів небезпеки під час проектування;

E_2 – відсутність в СТС факторів небезпеки, пов'язаних з виробництвом;

E_3 – відсутність в СТС факторів небезпеки при монтажі;

E_4 – відсутність факторів небезпеки в експлуатаційно-технічній документації для обслуговування СТС.

Покладаючись на вищенаведену модель можна записати:

$$P(E) = P(E_1)P(E_2/E_1)P(E_3/E_1E_2)P(E_4/E_1E_2E_3) \quad (4)$$

де $P(E_1)$ – ймовірність того, що проект СТС безпечний;

$P(E_2/E_1)$ – ймовірність того, що СТС виготовлена безпечно, при відсутності факторів небезпеки в проектній документації;

$P(E_3/E_1E_2)$ – ймовірність того, що СТС безпечно зібрали і змонтували, за умови безпечного проектування і виготовлення СТС;

$P(E_4/E_1E_2E_3)$ – ймовірність того, що експлуатаційно-технічна документація безпечна, з урахуванням відсутності факторів ризику проекту, виготовлення та монтажу СТС. Ввівши дані значення:

$$M = P(N); M_{\Pi} = P(N/E); M_E = P(E) \quad (5)$$

Уявімо цю модель в такому вигляді:

$$M = M_{\Pi} M_E \quad (6)$$

де M , M_{Π} і M_E – загальні значення проектної, виробничої та експлуатаційної надійності СТС відповідно.

При визначенні оцінок значень в певний момент часу виробничої M_{Π} , експлуатаційної M_E і проектної M надійності СТС знаходять також оцінки в певний момент часу їх середніх квадратичних відхилень $\sigma_{M_{\Pi}}$, σ_{M_E} , σ_M .

Також обчислюються різні ризики, які можуть вплинути на показання даних працездатності СТС, що може відбитися на діагностиці ГЕС її стану. Зокрема працездатність СТС залежить від наступних ризиків: ризик відмови, ризик помилки з сигналом [6, 7, 8].

R – ризик відмови СТС обчислюється за такою формулою:

$$R = f(P, U, Q) \quad (7)$$

де P – ймовірність аварії СТС;

U – збиток від аварії СТС;

Q – вага ризику.

За формулою теорії надійності, ймовірність аварії СТС P :

$$P(t) = 1 - \exp\left[-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau\right] \quad (8)$$

де $\lambda(t)$ – залежна від часу інтенсивність відмов вузлів.

Також ймовірність ланцюжка подій, що приводить до ризику аварійної ситуації, визначається формулою [9]:

$$P(as) = P(s_0) \prod_{i=1}^N P_{s_{i-1}}(s_i) \quad (9)$$

де $P(as)$ – ймовірність аварійної ситуації;

$P(s_0)$ – ймовірність вихідної події ланцюга, що призводить до аварійної ситуації;

$P_{s_{i-1}}(S_i)$ – умовна ймовірність проміжної події S_i за умови виконання попередньої події ланцюжка.

Ризик відмови СТС R визначається як сума ризиків для всіх технічних вузлів r_i СТС:

$$R = \sum_{i=1}^m r_i \cdot u_i \quad (10)$$

де u_i – збиток через аварію i -го вузла СТС;

m – загальна кількість технічних вузлів СТС;

r_i – ризик відмови для технічного вузла i :

$$r_i = v_i \cdot p_i(t) \quad (11)$$

де $p_i(t)$ – ймовірність аварії технічного вузла i в момент часу t ;

v_i – вага ризику для технічного вузла i .

Критичність k_i (ймовірність переходу системи в відмову в тому випадку, коли даний елемент вийшов з ладу) показана наступною формулою:

$$k_i = P(S_n / S) \quad (12)$$

де $P(S_n / S)$ - ймовірність переходу СТС в несправний стан S_n з справного S , за умови, що вузол i вийшов з ладу.

При цьому ризик відмови технічного вузла з урахуванням критичності r_i^k знаходиться:

$$r_i^k = k_i \cdot r_i = k_i \cdot v_i \cdot p_i(t) \quad (13)$$

Ризик аварії СТС, з огляду на критичність R^k :

$$R^k = \sum_{i=1}^m r_i^k \cdot u_i \quad (14)$$

Ризик помилки з сигналом R^S , у випадках його спотворення, чи некоректного прийняття при передачі даних з одного вузла до іншого:

$$R^S = \sum_{i=1}^z l_i \cdot p(S_j / S_i) \quad (15)$$

де S_j - помилковий сигнал;

S_i - правильний сигнал;
 l_i - втрати при помилку;
 $p(S_j / S_i)$ - ймовірність помилки;
 Z - кількість сигналів.

Виходячи з вищесказаного, залежність працездатності СТС W від ризиків знаходиться:

$$W = f(R^k, R^S) \quad (16)$$

При оцінці ризику вирішується завдання класифікації. Працездатність СТС має на увазі сукупність даних різноманітних змінних, які належать до всіх технічних вузлів в складі системи, яка діагностується (рис. 2).

Працездатність кожного технічного вузла СТС, як і всілякі його ризику знаходиться, з огляду на параметри цих вузлів і їх типів даних (лінгвістичні і нелінгвістичні). У зв'язку з цим працездатність кожного технічного вузла знаходиться, з огляду на автоматизовану експертну БЗ, в якій проводяться розрахунки для змінних, а також їх аналіз. Після цього, покладаючись на ці дані, нейронна мережа виробляє остаточний розрахунок загальної працездатності СТС [10]:

$$W_m = N(F_{m1}(x_{m11}, \dots, x_{m1n}), \dots, F_{mh}(x_{mh1}, \dots, x_{mhk}), y_{m11}, y_{m12}) \quad (17)$$

де $N(\)$ – нейромережева функція;
 x, y – змінні параметри технічного вузла СТС;
 h – кількість функцій для заданого вузла;
 n, k – кількість змінних для кожної функції.

Крім цього для постановки діагнозу працездатності СТС застосовується параметричне діагностування двигуна [11], яке засноване на порівнянні математичних моделях даної СТС з математичною моделлю еталонної СТС (рис. 3). В результаті діагностика ризиків на основі даних СТС представлена у вигляді двох алгоритмів: аналізу працездатності за аварійністю (рис. 4) та аналізу технічного стану СТС за працездатністю (рис. 5). На рис. 4. зображений алгоритм, що описує діагностику працездатності СТС на предмет її аварійності. На вході розміщується сама працездатність СТС. Спочатку працездатність надходить на блок нечіткої логіки (НЛ), де шляхом її порівняння зі значеннями працездатності з БЗ з'ясовується, виходить її значення за рамки норми. Якщо значення працездатності СТС виходить за рамки норми, блок НЛ видає значення «1», тобто ситуація аварійна. Тоді проходить перевірка наявності подібної ситуації в БЗ.

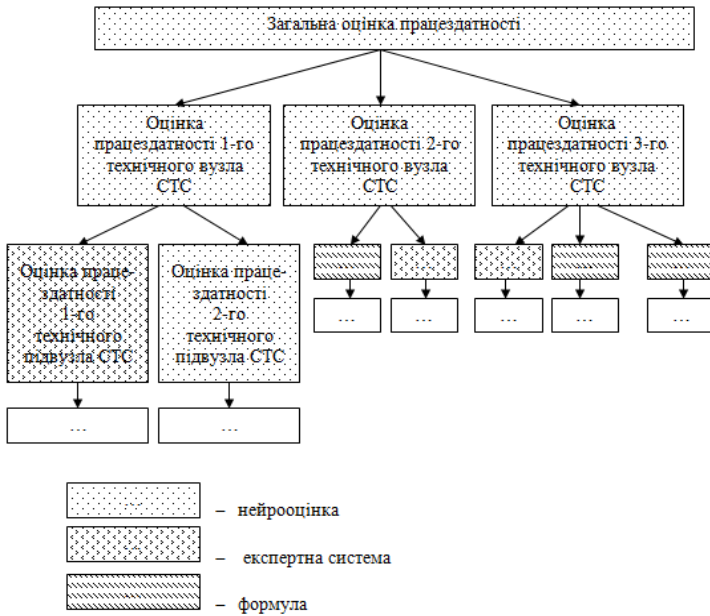


Рис. 2 – Структура моделі оцінки працездатності СТС



Рис. 3 – Схематичне представлення діагностики СТС за допомогою ГЕС

Після знаходження причин аварії і дій для її ліквідації всі дані передаються особі, що приймає рішення (ОПР). Якщо значення працездатності СТС не виходить за рамки норми, блок НЛ видає значення «0», тобто аварійна ситуація відсутня. Після цього відбувається прогнозування технічного стану СТС. Дані прогнозування передаються ОПР. На виході отримуємо перевірену СТС на приклад аварійності. На рис. 5. показана друга стадія діагностики СТС, як аналіз технічного стану СТС за отриманою працездатністю. На вході розміщується дані СТС, які проходять моніторинг, після якого знаходиться працездатність СТС. По

цій працездатності проводиться діагностика технічного стану СТС. В процесі цієї діагностики перевіряється аварійна ситуація в СТС.

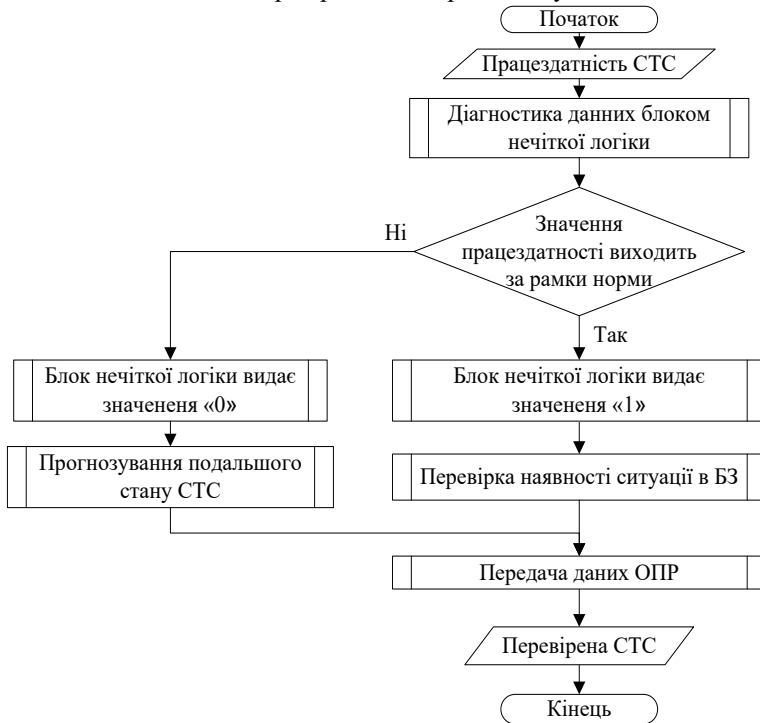


Рис. 4 – Алгоритм аналізу працездатності за аварійністю

Якщо аварійної ситуації немає, то проводиться прогнозування технічного стану СТС. Якщо аварійна ситуація присутня, то перевіряється, є дана ситуація в БЗ. Якщо дана ситуація в БЗ є, то в БЗ відразу знаходяться причини і дії для запобігання цій ситуації. Якщо ж такої ситуації немає в БЗ, то здійснюється пошук причини аварійної ситуації по технічним вузлам.

Спочатку йде пошук по верхній структурі СТС, тобто з технічних вузлів, і перевіряється, працездатність якого вузла або декількох вузлів негативно вплинули на загальну працездатність, що призвело до аварійної ситуації. Після знаходження потрібного вузла або вузлів, йде пошук на нижньому рівні, тобто розглядаються різні критерії працездатності обраного вузла або вузлів, значення яких негативно вплинули на працездатність СТС, відхилившись від норми в більшу або меншу сторону.

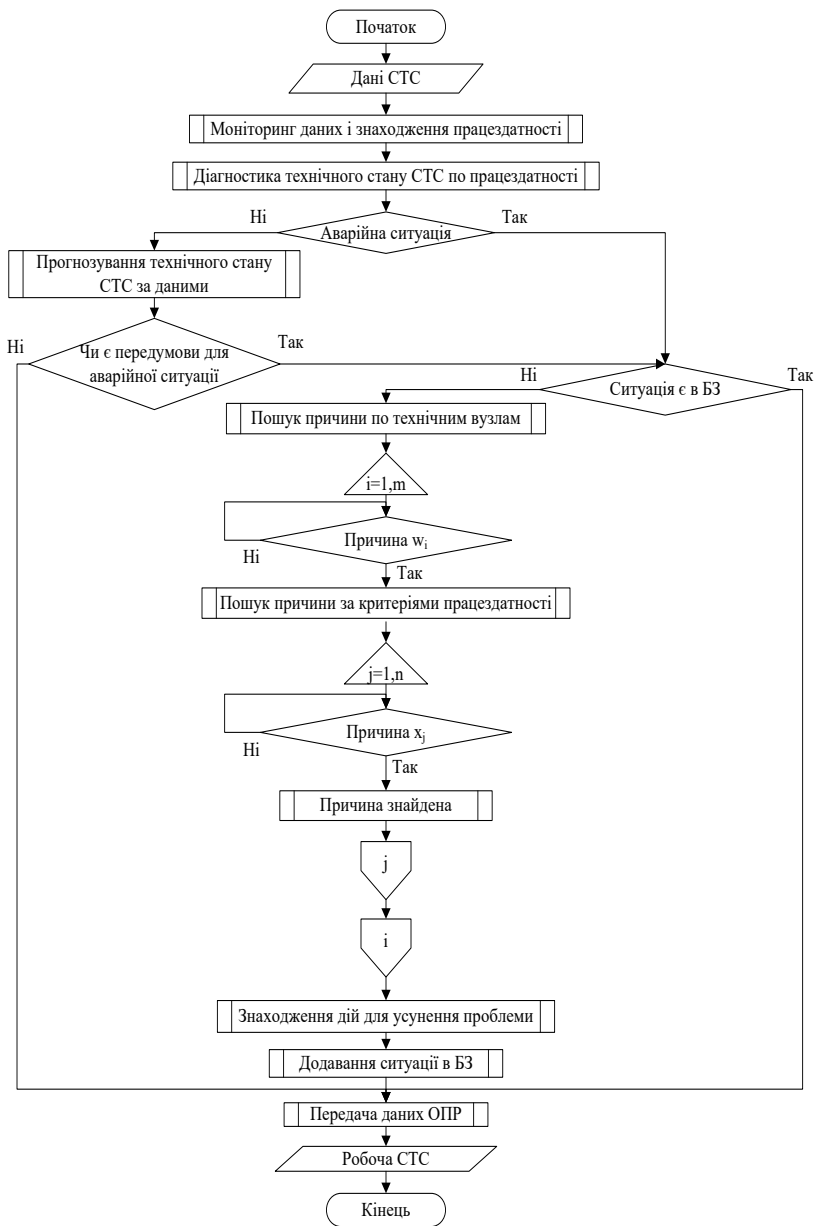


Рис. 5 – Алгоритм аналізу технічного стану СТС за працездатністю

В результаті знаходження причин аварійної ситуації йде знаходження дій для усунення даної ситуації (зміни значень параметрів, які виходять за рамки норми і т.п.). Після цього дана ситуація, її причини та рішення додаються в БЗ для подальшого уніфікації діагностики аварійних ситуацій. Всі ці дані потім передаються оператору, тобто особі, що приймає рішення. У підсумку, на виході отримаємо проаналізовану робочу СТС.

ВИСНОВКИ

Розроблений метод діагностики ризиків аварійних ситуацій на складних технічних системах за допомогою ГЕС забезпечує можливість отримувати досить точні діагностичні дані про працездатність СТС через великий діапазон обчислюваних даних, які можна охопити різними розрахунками, застосовуючи при цьому різні методики діагнозу гібридної експертної системи: бази знань, нейронні мережі, нечітка логіка. Все це сприяє кращому запобіганню виникнення аварійних ситуацій у складних технічних системах.

ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

- [1] Махитько В.П. Оценка рисков и факторов опасности в системе безопасности полетов воздушных судов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2017. – том 19. – № 4(2). – С. 192 – 197.
- [2] Nourian R. A fuzzy expert system for mitigation of risks and effective control of gas pressure reduction stations with a real application // Journal of loss prevention in the process industries, 2019. – № 59. – P. 77 – 90.
- [3] Lopez C. A scenario-based modeling method for controlling ECM performance // Expert systems with applications, 2018. – № 97. – P. 253 –265.
- [4] Коновалов С.Н. Особенности разработки искусственной нейронной сети гибридной экспертной системы // Штучний інтелект, Київ: ІППШ «Наука і освіта», 2018. – № 2(80). – С. 139 – 143.
- [5] Вильский Г.Б. Информационные риски судоходства в диаграмме Исикавы // Науковий вісник Херсонської державної морської академії, 2016. – № 1(14). – С. 19 – 25.
- [6] Vychuzhanin V., Rudnichenko N. Devising a method for the estimation and prediction of technical condition of ship complex systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Information and controlling systems, 2016. – 6/9 (84). – P. 4 – 11.
- [7] Вычужанин В.В., Бойко В.Д. Оценка живучести судовых технических систем // Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2013. – (Вып. 2) . – С.38 – 45.
- [8] Коновалов С.Н., Вычужанин В.В. Информатизация противоаварийного управления сложными техническими системами //

Інформатика та математичні методи в моделюванні. – Одеса: ОНПУ, 2017. – том 7. – № 4. – С. 265 – 275.

[9] Серебровский А.Н. Подход к созданию базы знаний экспертной системы оценки, прогноза и анализа ситуаций на объектах повышенной опасности / А.Н. Серебровский. // Математичні машини і системи, 2009. – № 4. – С. 58 – 66.

[10] Konovalov S.N., Vychuzhanin V.V. Method for antifault control of complex technical systems // Розвиток транспорту, збірник наукових праць, Одеса: ОНМУ, 2017. – № 1(1). – С. 45 – 59.

[11] Шишулин А.В. Возможность построения нейро-нечетких экспертных систем диагностики авиационных газотурбинных двигателей // Научный Вестник МГТУ ГА, 2005. – № 85. – С. 79 – 81.

DIAGNOSIS OF RISKS OF EMERGENCY SITUATIONS BY USING HYBRID EXPERT SYSTEMS

Konovalov S., Yehoshina G.

This article presents a comprehensive method for diagnosing emergency risks, which is based on the use of hybrid expert systems. All risks that threaten a complex system can be structured using the knowledge base, which will indicate the values of variables in an emergency, as well as actions to eliminate this situation taking into account time and cost when applied. Various threats that may be dangerous to complex technical systems in one way or another are represented graphically using the Ishikawa diagram. Also, during diagnostics, various types of reliability of complex technical systems were taken into account, which were calculated for one or another probability of operation of the systems. In addition, the calculation of all kinds of risks that affect both reliability and performance are taken into account. At the same time, the working capacity itself is calculated taking into account these variables, including the risks of all the technical nodes of the components of a complex technical system, and is finally calculated using a neural network, which also takes into account the types of data themselves (linguistic and non-linguistic). The neural network itself is able to learn using a fusion of methods such as the back propagation method of error and the recurrence method. To make a final diagnosis of the operability of a complex technical system, parametric engine diagnostics is used, which is based on a comparison of the mathematical models of this most diagnosed system with the mathematical model of the reference complex technical system. As a result, algorithms were developed for diagnosing risks using hybrid expert systems. One of them shows more specifically the analysis of health according to the system crash data when using the fuzzy logic of a hybrid expert system. Another describes a more general risk diagnosis in the form of passing information about the state of the system before it is completely processed by a hybrid expert system.

Keywords. Hybrid expert system, knowledge base, neural network, fuzzy logic, Ishikawa diagram, reliability, performance, diagnostics, risks.