

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

**Клевцов Олександр Леонідович**

УДК 621.039.058

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЕКСПЕРТИЗИ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ АЕС ЗА КРИТЕРІЯМИ  
ЯДЕРНОЇ ТА РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Державному підприємстві "Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки" Державного комітету ядерного регулювання України, м. Київ

**Науковий керівник:** - доктор технічних наук, професор  
**Ястребенецький Михайло Онисимович**,  
Державне підприємство "Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки",  
начальник відділу аналізу безпеки інформаційних та керуючих систем АЕС

**Офіційні опоненти:** - доктор технічних наук, професор  
**Тодорцев Юрій Костянтинович**,  
Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса,  
завідувач кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів

- доктор технічних наук, професор  
**Удовенко Сергій Григорович**,  
Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків,  
професор кафедри електронних обчислювальних машин

Захист відбудеться "29" жовтня 2009 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002 м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002 м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий

"\_\_" \_\_\_\_\_ 2009 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Северин В.П.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми дослідження.** Істотну роль у забезпеченні безпечної експлуатації АЕС відіграють інформаційно-керуючі системи (ІКС), які беруть безпосередню участь у реалізації більшості технологічних процесів на АЕС. Моральне та фізичне старіння ІКС на діючих АЕС призвело до широкомасштабної модернізації ІКС, яка в останні 10-15 років реалізується на АЕС усього миру. Модернізація в Україні охопила усі види ІКС реакторного та турбінного відділень усіх АЕС.

Обов'язковим етапом впровадження будь-яких ІКС АЕС, є оцінка їхньої безпеки, що виконується експертними організаціями при проведенні Державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки (ЯРБ). Експертиза полягає в оцінці документів, що обґрунтовують безпеку ІКС АЕС, на відповідність установленим у діючих нормативних документах вимогам щодо забезпечення ЯРБ.

У процесі виконання аналізу та оцінки документів, що обґрунтовують безпеку ІКС АЕС, експертам доводиться мати справу з великими обсягами постійно оновлюємої інформації. У даний час процедура виконання експертиз ІКС АЕС недостатньо автоматизована, що робить процес трудомістким, збільшує можливість виникнення помилок та не гарантує повноти отриманих результатів.

Вченими Р.М. Хвастуновим, О.О. Башликовим, О.І. Ларічевим, В.Ф. Токаренко було виконано ряд робіт щодо застосування експертних оцінок та проектування систем прийняття рішень у енергетиці, але вони, переважно, стосувалися технологічного процесу та оперативного-диспетчерського управління. Вченими В.С. Харченко та Б.М. Коноревим, вирішувалася задача автоматизації аналізу та оцінки програмного забезпечення ІКС АЕС та розробки інструментальних засобів для цього. Однак вказані задачі складають тільки частину процесу експертизи ІКС АЕС.

Таким чином, актуальною науково-практичною задачею є розробка моделей та методів автоматизації процесу експертизи для оцінки безпеки ІКС АЕС, що складає теоретичний напрямок дисертаційних досліджень. Практичний напрямок роботи полягає у створенні системи підтримки прийняття рішень при виконанні експертиз ІКС АЕС.

**Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відділі аналізу безпеки інформаційних та керуючих систем АЕС Державного підприємства «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» (ДНТЦ ЯРБ) у рамках науково-дослідної роботи за угодою з Тихоокеанською північно-західною національною лабораторією США (PNNL) №BOA 409199-A-R4 «Розробка детального технічного та організаційного плану розвитку напрямку збереження та обробки інформації у базах даних». Також дисертаційні дослідження виконувалися у зв'язку з роботами за господарськими договорами ДНТЦ ЯРБ з ЗАТ «СНВО "Імпульс"» №01/640-07 «Проведение государственной экспертизы ядерной и радиационной безопасности документа ЗАТ «СНВО "Импульс"» «Разработка и изготовление программно-технического комплекса системы группового и индивидуального

управління органами регулювання (ПТК СГИУ-И) реактора ВВЭР-1000. Техническое задание» ИТКЯ.20.0353 ТЗ» та з НПП «Радій» №01/091-08 «Проведение независимой экспертизы плана и отчета по верификации программного обеспечения программно-технических комплексов управляющих систем безопасности (ПТК УСБ) для энергоблоков №5 и №6 АЭС «Козлодуй» и отчета по анализу надежности ПТК УСБ 2-й системы безопасности для энергоблока №6 АЭС «Козлодуй». У вказаних роботах здобувач був виконавцем.

**Мета та завдання дослідження.** Мета дослідження – автоматизація процесу експертизи інформаційно-керуючих систем АЕС за критеріями ядерної та радіаційної безпеки для підвищення якості та повноти оцінки безпеки. Для досягнення поставленої мети досліджень вирішені наступні задачі:

1. Аналіз поточного стану автоматизації експертиз ІКС АЕС.
2. Формалізація критеріїв оцінки для проведення експертиз ІКС АЕС.
3. Розробка моделі процесу експертизи ІКС АЕС за критеріями ЯРБ.
4. Створення автоматизованої системи підтримки прийняття рішень при проведенні експертиз ІКС АЕС.
5. Побудування метода диверсної оцінки надійності ІКС АЕС при проведенні експертиз ЯРБ.
6. Розробка метода статистичного аналізу результатів виконаних експертиз з оцінки безпеки ІКС АЕС.

*Об'єкт дослідження* – процес експертизи інформаційно-керуючих систем АЕС.

*Предмет дослідження* – моделі, методи та інструментальні засоби оцінки безпеки інформаційно-керуючих систем АЕС для проведення експертиз ядерної та радіаційної безпеки.

*Методи дослідження.* Теоретичні положення дисертації базуються на фундаментальних основах теорії автоматичного керування. Метод системного аналізу застосовувався для класифікації об'єктів, критеріїв оцінки та зауважень експертизи ЯРБ. Метод аналітичного моделювання використовувався для формалізації процедури експертної оцінки безпеки ІКС АЕС. Методи математичного моделювання, дискретної математики, та інші математичні методи (операції з множинами, логіка предикатів) застосовувалися для створення моделі оцінки безпеки ІКС АЕС. Методи теорії надійності використовувалися при розробці принципів диверсної оцінки надійності ІКС АЕС при проведенні експертиз ЯРБ. Методи математичної статистики використовувалися для розробки моделі статистичного аналізу результатів експертиз по оцінці безпеки ІКС АЕС. Методи теорії баз даних застосовувалися для рішення прикладних завдань у ході розробки принципів побудови бази знань для підтримки експертної діяльності у галузі оцінки безпеки ІКС АЕС.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Одержала подальший розвиток формалізація критеріїв оцінки для проведення експертиз ІКС АЕС шляхом формування нормативного профілю у залежності від об'єкту та предмету експертизи. На відміну від існуючих методів формування нормативного профілю, які поширюються тільки на програмне

забезпечення, галузь їх використання розповсюджена на технічні засоби автоматизації та ІКС АЕС в цілому.

2. Удосконалено процедуру виконання експертизи ІКС АЕС, завдяки забезпеченню підтримки прийняття рішень експертами з використанням розроблених моделей та алгоритмів оцінки безпеки ІКС АЕС. На відміну від існуючих підходів, у яких експертиза проводиться експертом вручну на основі оцінки відповідності документів, що обґрунтовують безпеку ІКС АЕС, вимогам нормативних документів, запропоновані уточнені моделі та алгоритми з метою автоматизації експертизи та підвищення повноти оцінки безпеки ІКС АЕС.

3. Удосконалено процедуру експертизи звітів з аналізу надійності ІКС АЕС шляхом впровадження методу незалежної диверсної оцінки надійності. На відміну від існуючих підходів, у яких виконується тільки перевірка коректності проведеної оцінки надійності, запропонований підхід передбачає проведення незалежного розрахунку з використанням альтернативних методів з метою підвищення достовірності оцінки надійності ІКС АЕС.

4. Уперше розроблений метод статистичного аналізу результатів виконаних експертиз з оцінки безпеки ІКС АЕС. Раніше подібні методи не були апробовані в повній мірі через відсутність достатньої кількості вихідних статистичних даних. Метод статистичної оцінки результатів експертиз розроблений з метою виявлення найбільш проблемних типів ІКС АЕС та експертуємих документів, на які необхідно звернути більш пильну увагу при проведенні експертиз у майбутньому.

5. Уперше запропонована класифікація зауважень експертизи ІКС АЕС за впливом на безпеку, за своєчасністю усунення та за способом їх усунення. На відміну від існуючого підходу, у якому важливість зауваження експертизи визначається суб'єктивно самим експертом, введена класифікація зауважень з метою підвищення об'єктивності експертизи.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у тому, що основні положення дисертації реалізовані у вигляді розрахункових моделей, інженерних методів, алгоритмів, баз даних та програмних засобів, які є інструментарієм для автоматизації підтримки експертної діяльності для оцінки безпеки модернізуємих та нових ІКС АЕС. Створене алгоритмічне, інформаційне та програмне забезпечення автоматизованої системи підтримки експертної діяльності (АСПЕД) при оцінці безпеки ІКС АЕС.

Результати роботи впроваджені в Державному науково-технічному центрі з ядерної та радіаційної безпеки та були використані для підтримки прийняття рішень експертами при проведенні експертиз ІКС, розроблених Харківським науково-дослідним інститутом комплексної автоматизації та Науково-виробничим підприємством «Радій» (м. Кіровоград).

**Особистий внесок здобувача.** Усі основні результати дисертаційної роботи, які винесені на захист, отримані здобувачем самостійно. А саме: розроблена алгоритмічна модель формування нормативного профілю для проведення експертиз ІКС АЕС; побудована алгоритмічна модель оцінки безпеки ІКС АЕС для виконання експертизи ЯРБ; запропонована класифікація зауважень експертизи ІКС АЕС за впливом на безпеку, за своєчасністю усунення

та за способом усунення цих зауважень; створений метод незалежної диверсної оцінки надійності ІКС АЕС; розроблений метод статистичного аналізу результатів виконаних експертиз ІКС АЕС; практично реалізована автоматизована система підтримки експертної діяльності у галузі ІКС АЕС.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові положення та результати, отримані автором при виконанні дисертаційної роботи, доповідалися на: науково-технічній конференції «Проблеми безпеки інформаційних та керуючих систем (ІКС) АЕС» (Харків, 2003); II та III міжнародних науково-технічних конференціях «Інформаційні та керуючі системи АЕС: аспекти безпеки» (Харків, 2005; 2007); міжнародній науково-технічній конференції «Гарантоздатні (надійні та безпечні) системи, сервіси та технології (DeSSerT-2007 та DeSSerT-2008)» (Кіровоград, 2007; 2008); International Conference on Knowledge Management in Nuclear Facilities (Відень, 2007); міжнародній науковій школі «Моделювання та аналіз безпеки та ризику у складних системах (МАБР-2008)» (Санкт-Петербург, 2008); міжнародній конференції з автоматичного керування «Автоматика-2008» (Одеса, 2008).

**Публікації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи викладені в 14 наукових працях, серед яких 9 статей у фахових наукових виданнях ВАК України.

**Структура дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів висновку та додатків. Повний обсяг дисертації становить 261 сторінку, з яких 164 сторінки основного тексту. Робота містить 7 таблиць на окремих сторінках, 11 таблиць за текстом, 2 рисунки на окремих сторінках, 25 рисунків за текстом, список використаних джерел зі 180 найменувань на 18 сторінках та 7 додатків на 71 сторінці.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність, сформульовано мету та основні задачі досліджень, визначені методи розв'язання поставлених задач, сформульовано наукову новизну роботи та практичну цінність отриманих результатів. Наведені дані про впровадження результатів роботи, її апробацію та публікації.

У **першому розділі** виконано аналіз методів оцінки безпеки ІКС АЕС при проведенні експертиз ЯРБ. Розглянуті загальні принципи побудовання ІКС та їх роль в управлінні технологічними процесами на енергоблоках АЕС. На рис. 1 представлена узагальнена схема АСУТП енергоблоку АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000 та ВВЕР-440, спроектованими вченими ОКБ «Гідропрес» (м. Подольск), Інституту ім. Курчатова (м. Москва), Інституту «Атоменергопроект» (м. Санкт-Петербург).

На практиці проблеми, пов'язані із забезпеченням безпеки АСУТП АЕС, вирішуються на основі їхньої декомпозиції в перетинах, які визначаються зовнішніми границями ІКС. Це обумовлено тим, що кожна ІКС є функціонально закінченою, експлуатаційно-автономною системою, у достатньому ступені відособленою від інших ІКС. Крім того кожна ІКС розглядається як окремий

незалежний об'єкт при проектуванні, комплектації, монтажі, випробуваннях, здачі в експлуатацію. Оцінка безпеки проводиться для кожної окремої ІКС АЕС.

Сучасні ІКС АЕС будуються на базі мікропроцесорної техніки та програмуємих логічних інтегральних схем та є складними багатокомпонентними системами, до складу яких входять тисячі елементів, що збільшує імовірність помилки розроблювачів. Повне тестування ІКС АЕС провести неможливо, що збільшує імовірність існування прихованих відмов та їхнього прояву на етапі експлуатації. У зв'язку з цим важливим є процес оцінки безпеки ІКС шляхом проведення відповідної експертизи на всіх етапах життєвого циклу системи.

Рис. 1. Узагальнена схема АСУТП енергоблоку АЕС

У розділі описані регламентовані у нормативних документах України базові принципи регулювання безпеки використання атомної енергії, метою якого є забезпечення безпеки людей, навколишнього природного середовища, ядерних установок та джерел іонізуючого випромінювання. Розглянуті види експертизи та описані принципи проведення державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки. Зроблено висновок про те, що експертиза є складним процесом, під час якого аналізується відповідність документів, що обґрунтовують безпеку ІКС АЕС, сотням вимог, регламентованим у десятках нормативних документів України, та рекомендацій міжнародних стандартів з ЯРБ.

Проаналізовані існуючі експертні процедури та методи. Розглянуті методи та засоби підтримки експертної діяльності у ядерній галузі. Представлені існуючі методи оцінки безпеки ІКС АЕС. На основі проведеного аналізу зроблено висновок про те, що задача автоматизації оцінки безпеки ІКС АЕС в Україні вирішена недостатньо, а існуючі методи та засоби не повною мірою відповідають потребам підтримки експертної діяльності у галузі ІКС АЕС. Зроблено висновок про те, що доцільним є створення системи підтримки прийняття рішень для оцінки безпеки ІКС АЕС у ході проведення експертизи ЯРБ.

Розглянуті сучасні підходи до управління знаннями у галузі ядерної енергетики, які необхідно враховувати при створенні автоматизованої системи підтримки експертної діяльності при оцінці безпеки ІКС АЕС.

У другому розділі представлені розроблені у ході виконання дисертаційної роботи моделі, методи та алгоритми оцінки безпеки ІКС АЕС для проведення експертиз ЯРБ. Виділено два етапи виконання експертизи ІКС АЕС.

Етап 1. Формалізація критеріїв оцінки шляхом формування нормативного профілю для проведення експертиз ЯРБ. Для даного етапу запропонована наступна модель.

Крок 1.1. Формування загальної множини  $M_{НД}$ , що містить повний набір нормативних документів (НД) з ЯРБ  $M_{НД} = \{c_1, c_2, \dots, c_p\}$ , де  $c_1, c_2, \dots, c_p$  – нормативні документи;  $p$  – загальна кількість НД у множині  $M_{НД}$ .

Крок 1.2. Формування нормативного профілю шляхом виділення з множини  $M_{НД}$  підмножини  $M_{НДЭ}$  НД, які відносяться до експертуємого документа, що обґрунтовує безпеку конкретної ІКС

$$M_{\text{НДЭ}} \subset M_{\text{НД}}; M_{\text{НДЭ}} = \{d_1, d_2, \dots, d_s\},$$

де  $d_1, d_2, \dots, d_s$  – НД, які безпосередньо використовуються при експертизі;  $s$  – кількість НД у множині  $M_{\text{НДЭ}}$ .

Множина  $M_{\text{НДЭ}}$  формується за допомогою функції  $F_{\text{НДЭ}}$

$$M_{\text{НДЭ}} = F_{\text{НДЭ}}(M_{\text{НД}}, E_O, K_B, S_{\text{ЖЦ}}, T_{\text{ИВС}}, T_D, R_{\text{ЯРБ}}), \quad (2)$$

де  $E_O$  – об'єкт експертизи (ІКС в цілому або окремі її компоненти: програмно-технічні комплекси, технічні засоби автоматизації або програмне забезпечення);  $K_B$  – клас безпеки ІКС АЕС;  $S_{\text{ЖЦ}}$  – етап життєвого циклу (ЖЦ) ІКС;  $T_{\text{ИВС}}$  – конкретний тип ІКС АЕС;  $T_D$  – конкретний тип документа, що обґрунтовує безпеку;  $R_{\text{ЯРБ}}$  – загальні вимоги з ЯРБ.

Крок 1.3. Витяг множин  $R_1, R_2, \dots, R_s$  регулюючих вимог з кожного НД  $d_1, d_2, \dots, d_s$ , які згідно з (1) є елементами множини  $M_{\text{НДЭ}}$ :  $d_1 \Rightarrow R_1, d_2 \Rightarrow R_2, \dots, d_s \Rightarrow R_s$ , де  $R_1, R_2, \dots, R_s$  – множини усіх вимог кожного окремо взятого НД.

Крок 1.4. Об'єднання множин  $R_1, R_2, \dots, R_s$  регулюючих вимог у загальну множину  $M_T$  та виключення з нього вимог, що дублюються,  $R_{\text{dup}}$

$$M_T = (R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_s) \setminus R_{\text{dup}}. \quad (3)$$

Крок 1.5. Формування нормативного профілю регулюючих вимог шляхом виділення із загальної множини  $M_T$  підмножини  $M_{TЭ}$  вимог, що відносяться до експертуємого документа та експертуємої ІКС, за допомогою функції  $F_{TЭ}$  за формулами, аналогічними (1) та (2):

$$M_{TЭ} \subset M_T; M_{TЭ} = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}, \quad (4)$$

$$M_{TЭ} = F_{TЭ}(M_T, E_O, K_B, S_{\text{ЖЦ}}, T_{\text{ИВС}}, T_D, R_{\text{ЯРБ}}), \quad (5)$$

де  $y_1, y_2, \dots, y_n$  – вимоги НД, використувані при експертизі;  $n$  – загальна кількість вимог у множині  $M_{TЭ}$ .

Крок 1.6. Побудова ієрархічної структури регулюючих вимог.

У множині  $M_{TЭ}$  значна частина вимог вищого рівня ієрархії може бути розділена на детальні вимоги більше низьких рівнів ієрархії. Для множини  $M_{TЭ}$  будується ієрархія вимог НД.

Етап 2. Виконання аналізу та оцінки експертуємого документа, що обґрунтовує безпеку ІКС АЕС, на відповідність вимогам НД з ЯРБ. Пропонується наступна модель.

Крок 2.1. Формування множини вимог  $M_{TД}$ , відображених у експертуємому документі  $M_{TД} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ , де  $x_1, x_2, \dots, x_m$  – вимоги, відображені у експертуємому документі;  $m$  – кількість вимог у множині  $M_{TД}$ .

Крок 2.2. Оцінка експертами вимог нижнього рівня ієрархії  $N$ .

Оцінка виконання вимоги НД нижнього рівня ієрархії у експертуємому документі може здійснюватися шляхом перевірки відповідності на основі двомісного предикату наступного виду:  $P_N(x, y) = \text{“}x \text{ відповідає } y\text{”}$ , де  $x$  – вимога,



відображена у експертуємому документі;  $y$  – вимога НД;  $N$  – нижній рівень ієрархії вимог НД.

Крок 2.3. Послідовна оцінка вимог більш високих рівнів ієрархії від  $(N-1)$  до 1-го (вищого) рівня ієрархії.

Для оцінки відповідності вимог рівня ієрархії  $(N-1)$  введемо функцію:

$$F_{(N-1)j}(x_{(N-1)j}, y_{(N-1)j}) = \begin{cases} 0, \forall y_{Ni} \neg \exists x_{Ni} : P_{Ni}(x_{Ni}, y_{Ni}); \\ (0, 1), \exists y_{Ni} \exists x_{Ni} : P_{Ni}(x_{Ni}, y_{Ni}) \wedge \exists y_{Ni} \neg \exists x_{Ni} : P_{Ni}(x_{Ni}, y_{Ni}); \\ 1, \forall y_{Ni} \exists x_{Ni} : P_{Ni}(x_{Ni}, y_{Ni}), \end{cases} \quad (6)$$

де  $i = \overline{1, n_{Nj}}$ , ( $n_{Nj}$  – кількість вимог НД на рівні ієрархії  $N$ );  $j = \overline{1, n_{N-1}}$ , ( $n_{N-1}$  – кількість вимог НД на рівні ієрархії  $N-1$ ).

Вищенаведена формула інтерпретується наступним чином. Функція  $F_{(N-1)j}(x_{(N-1)j}, y_{(N-1)j})$  дорівнює:

- 0, якщо усі предикати мають значення 0, тобто жодна з регулюючих вимог не відображена у експертуємому документі;
- 1, якщо усі предикати мають значення 1, тобто усі регулюючі вимоги повністю відображені у експертуємому документі;
- числу у діапазоні  $(0, 1)$ , якщо частина предикатів дорівнює 1, а частина – 0, тобто вимоги частково відображені у експертуємому документі.

Для вищих рівнів ієрархії використовується формула аналогічна (6):

$$F_{kj}(x_{kj}, y_{kj}) = \begin{cases} 0, \forall y_{(k+1)i} \forall x_{(k+1)i} : F_{(k+1)i}(x_{(k+1)i}, y_{(k+1)i}) = 0; \\ (0, 1), \exists y_{(k+1)i} \exists x_{(k+1)i} : 0 \leq F_{(k+1)i}(x_{(k+1)i}, y_{(k+1)i}) < 1; \\ 1, \forall y_{(k+1)i} \forall x_{(k+1)i} : F_{(k+1)i}(x_{(k+1)i}, y_{(k+1)i}) = 1, \end{cases} \quad (7)$$

де  $k$  – рівень вимоги в ієрархії вимог НД ( $k = \overline{1, (N-2)}$ ).

Вищенаведена формула інтерпретується наступним чином. Функція  $F_{kj}(x_{kj}, y_{kj})$  дорівнює:

- 0, якщо усі функції рівня ієрархії  $(k+1)$  приймають значення 0, тобто якщо не виконані усі вимоги рівня ієрархії  $(k+1)$ , що відносяться до  $j$ -ї вимоги рівня ієрархії  $k$ .
- 1, якщо усі функції рівня ієрархії  $(k+1)$  приймають значення 1, тобто якщо виконані усі вимоги рівня ієрархії  $(k+1)$ , що відносяться до  $j$ -ї вимоги рівня ієрархії  $k$ ;
- числу у діапазоні  $(0, 1)$ , якщо частина функцій рівня ієрархії  $(k+1)$  приймає значення з діапазону  $[0, 1)$ , тобто якщо виконана лише частина вимог рівня ієрархії  $(k+1)$ , що відносяться до  $j$ -ї вимоги рівня ієрархії  $k$ .

Крок 2.4. Облік для всіх рівнів ієрархії ступеня важливості зауважень до вимог НД, частково відображених у експертуємому документі.

При частковому виконанні вимоги конкретне значення функції  $F_{kj}(x_{kj}, y_{kj})$  може бути визначене в такий спосіб

$$F_{kj}(x_{kj}, y_{kj}) = \frac{q_{(k+1)j} + s_{(k+1)j}}{n_{(k+1)j}}, \quad (8)$$

де  $q_{(k+1)j}$  – кількість вимог НД рівня ієрархії  $(k+1)$ , виконання яких повністю відображено у експертуємому документі;  $n_{(k+1)j}$  – кількість вимог на рівні ієрархії  $(k+1)$ ;  $s_{(k+1)j}$  – поправочний коефіцієнт, що коректує значення функції з урахуванням важливості зауважень.

Поправочний коефіцієнт  $s$  для формули (8) визначається в такий спосіб:

$$s_{(k+1)j} = \begin{cases} \sum_i^{q-n} z_i^{cat} \cdot z_i^{gr} \cdot z_i^{cl}, \forall i: z_i^{cat} \cdot z_i^{gr} \cdot z_i^{cl} \neq 0; \\ -q_{(k+1)j}, \exists i: z_i^{cat} \cdot z_i^{gr} \cdot z_i^{cl} = 0, \end{cases} \quad (9)$$

де  $z_i^{cat} \in [0, 1)$ ,  $z_i^{gr} \in [0, 1)$ ,  $z_i^{cl} \in [0, 1)$  – вагові коефіцієнти, що залежать, відповідно, від впливу зауваження на безпеку АЕС, від своєчасність усунення зауваження та від спосіб усунення зауваження.

Вищенаведена формула інтерпретується наступним чином. Якщо є зауваження до виконання окремих вимог рівня ієрархії  $(k+1)$ , то коефіцієнт  $s$  приймає значення у діапазоні  $[0, q_{(k+1)j} - n_{(k+1)j})$ , і таким чином, функція  $F_{kj}(x_{kj}, y_{kj})$  буде приймати значення з діапазону  $[0, 1)$ , що відображає ступінь виконання відповідної вимоги рівня ієрархії  $k$ . Якщо ж є хоча б одно суттєве зауваження до будь-якої з вимог рівня ієрархії  $(k+1)$ , то коефіцієнт  $s$  приймає значення  $(-q_{(k+1)j})$ , і таким чином, функція  $F_{kj}(x_{kj}, y_{kj})$  буде приймати значення 0.

Крок 2.5. Формування вектора підсумкової оцінки  $V_{\exists}$  для експертуємого документа в цілому. Результат експертизи має вигляд:

$$R_{\exists} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } V_{\exists} = \begin{pmatrix} F_{(1)1}(x_{(1)1}, y_{(1)1}) = 1 \\ F_{(1)2}(x_{(1)2}, y_{(1)2}) = 1 \\ \dots \\ F_{(1)n}(x_{(1)n}, y_{(1)n}) = 1 \end{pmatrix} \\ 0, \text{ у протилежному випадку.} \end{cases} \quad (10)$$

Важливим етапом оцінки безпеки ІКС АЕС є експертиза звітів з аналізу надійності (ЗАН). Стандартний підхід складається в перевірці коректності методики та розрахунків надійності, наведених в ЗАН. Запропонований підхід полягає у застосуванні незалежного диверсного розрахунку надійності з метою підвищення достовірності результатів експертної оцінки (див. рис. 2).

Рис. 2. Схема експертної оцінки звіту з аналізу надійності ІКС АЕС

У третьому розділі описані розроблені методи статистичного аналізу результатів експертиз ІКС АЕС.

За період з 1995 до 2007 років ДНТЦ ЯРБ було виконано більше 600 експертиз ІКС АЕС. Наявність такої великої кількості експертиз дозволяє провести статистичний аналіз результатів експертиз ІКС АЕС з метою виявлення систем та типів експертуємих документів, найбільш проблемних з погляду відображення виконання вимог НД. Статистичний аналіз виконувався у два етапи.

Етап 1. Підготовка вихідних даних для виконання статистичного аналізу результатів оцінки ІКС АЕС при експертизах ЯРБ. Для даного етапу запропонована наступна модель.

Крок 1.1. Формування списку систем, що пройшли експертизу ЯРБ. Виділено 42 типи основних ІКС, які проходили експертизу.

Крок 1.2. Формування списку типів експертуємих документів. Виділено 11 основних типів документів, які проходили експертизу.

Крок 1.3. Формування списку вимог НД, які пред'являються до різних типів документів, що обґрунтовують безпеку ІКС АЕС. Установлений взаємозв'язок основних вимог НД з типами документів, що обґрунтовують безпеку ІКС АЕС.

Крок 1.4. Створення та заповнення бази даних «Результати оцінки безпеки ІКС та їхніх компонентів», у яку вносяться результати оцінки кожної вимоги НД при проведенні експертизи документа, що обґрунтовує безпеку ІКС АЕС.

Крок 1.5. Формулювання обмежень та допущень, які пов'язані з фактично наявними вихідними даними та враховують особливості проведеного статистичного аналізу результатів експертиз ІКС АЕС.

Етап 2. Розробка метода та виконання статистичного аналізу результатів оцінки ІКС АЕС при експертизах ЯРБ. Запропоновано наступну модель.

Крок 2.1. Оцінка виконання однієї вимоги в одному конкретному документі, що відноситься до однієї конкретної системи.

Оцінку виконання однієї вимоги можна вважати випадковою величиною  $X_i$ , що має закон розподілу Бернуллі та може приймати одне з двох значень: 1, якщо вимога виконана, або 0, якщо вимога не виконана. Математичне очікування та дисперсію цієї випадкової величини можна визначити так:

$$E[X_i] = p_i, \quad D[X_i] = p_i \cdot (1 - p_i), \quad (10)$$

де  $p_i = P\{X_i=1\}$  – імовірність, що оцінка виконання вимоги дорівнює 1.

Крок 2.2. Оцінка виконання усіх вимог в одному конкретному документі, що відноситься до однієї конкретної системи.

Оцінка документа може розглядатися, як випадкова величина

$$Y_j = \frac{1}{n_j} \cdot \sum_{i=1}^{n_j} X_i, \quad \text{де } n_j \text{ – загальна кількість оцінюваних вимог у } j\text{-му документі.}$$

Математичне очікування та дисперсія випадкової величини  $Y_j$  розраховуються за формулами:

$$E[Y_j] = \hat{p}_j, \quad D[Y_j] = \frac{\hat{p}_j \cdot (1 - \hat{p}_j)}{n}, \quad (11)$$

де  $\hat{p}_j = \frac{1}{n_j} \cdot \sum_{i=1}^{n_j} X_i$  – точкова оцінка ймовірності виконання вимоги у конкретному експертуємому документі.

Крок 2.3. Оцінка виконання усіх вимог у всіх документах конкретного типу, що відносяться до однієї конкретної системи.

Оцінка документів одного типу, що відносяться до конкретної системи, являє собою випадкову величину  $Z_h = \frac{1}{m_h} \cdot \sum_{j=1}^{m_h} Y_j$ , де  $m_h$  – загальна кількість документів  $h$ -ого типу. Математичне очікування та дисперсія розраховуються за формулами:

$$E[Z_h] = \frac{1}{m_h} \cdot \sum_{j=1}^{m_h} \hat{p}_j, \quad D[Z_h] = \frac{1}{m_h^2} \cdot \sum_{j=1}^{m_h} \frac{\hat{p}_j \cdot (1 - \hat{p}_j)}{n_j}. \quad (12)$$

Крок 2.4. Визначення систем та типів документів, які є найбільш проблемними з погляду якості документів, що обґрунтовують безпеку, шляхом розрахунку середніх оцінок виконання вимог у експертуємих документах.

Найбільш простим способом виявлення систем, для яких випущені найменш якісні документи, що обґрунтовують безпеку, представляється застосування методу, що складає в обчисленні середніх оцінок невиконання вимог для кожної із систем за формулою:

$$\bar{W}_{S_k} = \frac{1}{Q_{D_k}} \cdot \sum_{h=1}^{Q_{D_k}} \bar{F}_{kh}, \quad D[\bar{W}_{S_k}] = \frac{1}{Q_{D_k}^2} \cdot \sum_{h=1}^{Q_{D_k}} D[\bar{F}_{kh}], \quad (13)$$

де  $\bar{W}_{S_k}$  – середня оцінка невиконання вимог для системи  $k$ -го типу;  $k$  - порядковий номер системи;  $Q_{D_k}$  – кількість типів документів, які пройшли експертизу для системи  $k$ -го типу;  $\bar{F}_{kh}$  – середня оцінка невиконання вимог для  $h$ -го типу документа та для системи  $k$ -го типу (при цьому  $\bar{F}_{kh} = 1 - \bar{Z}_{kh}$ , де  $\bar{Z}_{kh}$  є точковою оцінкою математичного очікування  $E[Z_h]$  та розраховується за формулами (10)-(12)).

Визначення нижньої та верхньої границь довірчих інтервалів з надійністю  $\gamma=0,95$  для зазначених оцінок здійснюється за формулою:

$$\bar{W}_{S_k} \pm \delta = \bar{W}_{S_k} \pm 1,96 \cdot \sqrt{D[\bar{W}_{S_k}]}. \quad (14)$$

Тип документів найгіршої якості виявляється за формулами аналогічними (13) та (14).

Крок 2.5. Визначення систем та типів документів, які є найбільш проблемними з погляду якості документів, що обґрунтовують безпеку, шляхом розрахунку контрастів між кожною парою систем та кожною парою типів

документів. Контрасти дозволяють порівняти одну довільну групу середніх з іншою групою середніх. Контраст, фактично є різницею між двома групами середніх. У нашій випадку контрасти обчислюються для кожної окремо взятої пари систем. Контрасти дозволяють порівняти будь-які дві системи та визначити кращу із двох систем або показати, що вони статистично однакові.

Необхідність попарного порівняння всіх систем з обчисленням контрастів викликана тим, що на відміну від розглянутого вище методу, заснованого на розрахунку середніх оцінок невиконання вимог, даний підхід дозволяє при зіставленні систем урахувати те, що для різних систем оцінка проводилася по різному набору типів документів. При обчисленні контрастів за пропонованим методом для кожної пари порівнюваних систем враховуються тільки однакові типи документів. Наприклад, не цілком коректно порівнювати технічне завдання для однієї із систем із програмою забезпечення якості для іншої системи, оскільки це зовсім різні типи документів, до яких пред'являються різні вимоги. Пропонований метод, заснований на розрахунку контрастів, дозволяє уникнути зіставлення різних типів документів при порівнянні систем.

Формули для розрахунку контрастів та дисперсії при порівнянні будь-яких двох систем (з порядковими номерами  $p$  та  $q$ ) будуть виглядати таким чином:

$$\phi_{C_p C_q} = \sum_{h=1}^{Q_D} R_{ph} \cdot \bar{Z}_{ph} + \sum_{h=1}^{Q_D} R_{qh} \cdot \bar{Z}_{qh}, \quad (15)$$

$$D[\phi_{C_p C_q}] = \sum_{h=1}^{Q_D} R_{ph}^2 \cdot D[\bar{Z}_{ph}] + \sum_{h=1}^{Q_D} R_{qh}^2 \cdot D[\bar{Z}_{qh}], \quad (16)$$

$$R_{ph} = \begin{cases} 0, \forall m_{ph} = 0 \vee m_{qh} = 0; \\ \frac{1}{K_D}, \forall m_{ph} \diamond 0 \wedge m_{qh} \diamond 0, \end{cases} \quad R_{qh} = \begin{cases} 0, \forall m_{ph} = 0 \vee m_{qh} = 0; \\ -\frac{1}{K_D}, \forall m_{ph} \diamond 0 \wedge m_{qh} \diamond 0, \end{cases} \quad (17)$$

де  $p$  – порядковий номер першої системи;  $q$  – порядковий номер другої системи;  $m_{ph}$  – кількість документів  $h$ -го типу для системи з порядковим номером  $p$ ;  $m_{qh}$  – кількість документів  $h$ -го типу для системи з порядковим номером  $q$ ;  $Q_D$  – загальна кількість аналізуємих типів документів;  $K_D$  – кількість порівнюємих документів для двох розглянутих систем.

Для зіставлення кожної пари систем розраховані довірчі інтервали ( $\gamma=0,95$ ):

$$\psi_{C_p C_q} \pm \delta = \psi_{C_p C_q} \pm 1,96 \cdot \sqrt{D[\psi_{C_p C_q}]}. \quad (18)$$

Порівняння різних типів документів здійснюється за формулами аналогічними (15)-(18).

У четвертому розділі описана автоматизована система підтримки експертної діяльності (АСПЕД) для оцінки безпеки ІКС АЕС.

АСПЕД використовується для автоматизації процесу експертизи ІКС АЕС, шляхом забезпечення підтримки прийняття рішень експертами. До складу

АСПЕД входять: підсистема підтримки прийняття рішень; база знань; підсистема редагування бази знань; підсистема інтерфейсу; довідкова підсистема.

У базу знань включено 7 основних баз даних, які виділені виходячи з необхідності їхнього використання в типовій структурі Звіту про проведення експертизи. Схема використання зазначених баз даних у процесі виконання оцінки безпеки ІКС АЕС при експертизі ЯРБ представлена на рис. 3.

Підсистема підтримки прийняття рішень АСПЕД містить у собі модулі формування нормативного профілю; оцінки експертуємого документа; пошуку інформації; розрахунку надійності; статистичного аналізу.

Рис. 3. Використання баз даних при експертизі ІКС АЕС

У загальному виді схема процесу експертизи документів, що обґрунтовують безпеку ІКС АЕС та їхніх компонентів, із застосуванням АСПЕД представлена, як показано на рис. 4.

Рис. 4. Схема процесу експертизи

Фактично, АСПЕД являє собою експертну систему. За типом вирішуємої задачі АСПЕД класифікована, як система підтримки прийняття рішень, що реалізує сукупність процедур, які забезпечують експерта, необхідною інформацією, що полегшує процес прийняття рішень.

На рис. 5 представлена загальна схема автоматизації оцінки безпеки при експертизі ІКС АЕС.

Рис. 5. Автоматизація оцінки безпеки ІКС АЕС при проведенні експертиз ЯРБ

У **п'ятому розділі** представлені основні результати практичного застосування автоматизованої системи підтримки експертної діяльності.

Математична модель оцінки безпеки ІКС АЕС при експертизі ЯРБ, а також створення та застосування АСПЕД пройшла апробацію та була використана у ДНТЦ ЯРБ для виконання експертиз ІКС, вказаних у табл. 1.

Результати апробації показали збільшення кількості експертиз, виконаних ГНТЦ ЯРБ за роки використання бази знань по ІКС АЕС та АСПЕД, у порівнянні з попереднім періодом, коли зазначені засоби інформаційної підтримки не застосовувалися. Відзначено загальне підвищення продуктивності праці експертів у зв'язку із застосуванням автоматизованих засобів інформаційної підтримки експертної діяльності.

Виходячи з отриманих у період апробації даних, зроблено висновок про те, що спостерігається поступове зростання якості ІКС АЕС та документів, що обґрунтовують їхню безпеку, оскільки за розглянутий період відбувається збільшення кількості позитивних експертиз у відсотковому відношенні до загальної кількості виконаних експертиз (так в 2003 році позитивні експертизи становили менш 50% від загального числа експертиз, в 2004 році - близько 60%,

а починаючи з 2005 року - більше 70%). Це в тому числі є результатом застосування системного підходу до виконання оцінки безпеки ІКС АЕС при експертизі ЯРБ. Формалізація процесу експертизи відповідно до моделі, описаної в розділі 2, та застосування АСПЕД зробили у зазначений період відповідний позитивний вплив на експлуатуючі організації та підприємства-розроблювачі ІКС. Ґрунтуючись на строгій системі регулюючих вимог та методів оцінки, застосовуваних експертною організацією, вказані організації та підприємства стали застосовувати більше системні та формалізовані підходи до створення, випробуванням та впровадження ІКС на АЕС України та до розробки відповідних документів, що обґрунтовують безпеку ІКС АЕС.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача, яка полягає в розробці моделей, методів та інструментальних засобів автоматизації процесу експертизи для оцінки безпеки ІКС АЕС. У ході виконання дисертаційної роботи отримані наступні результати.

1. Проведений аналіз існуючих методів та засобів підтримки виконання експертних оцінок, який показав, що процедура виконання експертиз ІКС АЕС автоматизована недостатньо і виникає необхідність розробки моделей, методів та інструментальних засобів автоматизації експертної діяльності у галузі ІКС АЕС.

2. Визначені критерії оцінки безпеки ІКС АЕС при експертизі ЯРБ, у якості яких використовуються регулюючі вимоги діючих нормативних документів. Реалізована формалізація вказаних критеріїв шляхом використання моделі формування нормативного профілю для проведення експертиз ІКС АЕС, яка базується на використанні операцій над множинами.

3. Побудована модель оцінки безпеки ІКС АЕС при експертизі ЯРБ, яка на базі застосування логіки предикатів дозволяє оцінити відображення вимог діючих норм, правил та стандартів з ЯРБ у експертуємому документі. Вплив зауважень експертизи на результат загальної оцінки експертуємого документа у цій моделі визначається з використанням розробленої класифікації зауважень експертизи ІКС АЕС за впливом на безпеку, за своєчасністю усунення та за способом їх усунення.

4. Запропонований метод диверсної оцінки надійності, яка дозволяє підвищити достовірність експертної оцінки звітів з аналізу надійності ІКС АЕС, оскільки вона виконується незалежними експертами та базується на використанні альтернативних методів розрахунку та вихідних даних, отриманих з інших джерел, на переході від структурних схем надійності до дерев відмов (або навпаки) та на виконанні розрахунку із застосуванням спеціальних інструментальних засобів.

5. Поставлена та вирішена задача розробки метода статистичного аналізу результатів виконаних експертиз з оцінки безпеки ІКС АЕС. Статистичний аналіз базується на обчисленні середніх оцінок невиконання регулюючих вимог при експертизі різних систем та документів та на розрахунку контрастів, що

дозволяють порівняти кожен окрему пару ІКС АЕС та кожен окрему пару типів документів. Проведений аналіз дозволив виявити системи та типи документів, найбільш проблемні з точки зору якості документів, що обґрунтовують безпеку ІКС АЕС.

6. Створено алгоритмічне, інформаційне та програмне забезпечення автоматизованої системи підтримки експертної діяльності (АСПЕД), яке використано для проведення експертиз ІКС АЕС для підтримки прийняття рішень експертами та апробовано на реальних системах.

7. Результати дисертаційних досліджень впроваджені у Державному науково-технічному центрі з ядерної та радіаційної безпеки та використані для виконання експертиз ІКС АЕС, розроблених Харківським науково-дослідним інститутом комплексної автоматизації та Науково-виробничим підприємством «Радій».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Клевцов А.Л. К вопросу об использовании инструментальных средств для оценки и анализа программного обеспечения ИУС АЭС / Т.В. Пономаренко, А.Л. Клевцов // Ядерна та радіаційна безпека. – Одеса: ОНПУ, 2002. – №4. – С. 71-80.

*Здобувачем виконано аналіз існуючих інструментальних засобів для оцінки та аналізу програмного забезпечення ІКС АЕС.*

2. Клевцов А.Л. Система управления перегрузочной машиной: обеспечение и оценка безопасности / В.Т. Безсальй, С.В. Виноградская, Ю.В. Розен, А.Л. Клевцов, И. Кондор, М.И. Маршевський, С.И. Малий, М. Штиллер // Ядерна та радіаційна безпека. – Одеса: ОНПУ, 2005. – №1. – С. 5-21.

*Здобувачем описана процедура проведення експертизи ЯРБ на прикладі системи управління машиною перевантажувальною.*

3. Клевцов А.Л. Обеспечение безопасности при реконструкции систем управления перегрузкой топлива в ядерных реакторах (Safety provision during the reconstruction of refueling control systems in nuclear reactors) / В.Т. Безсальй, С.В. Виноградская, Ю.В. Розен, А.Л. Клевцов, И. Кондор, М.И. Маршевський, С.И. Малий, М. Штиллер // Ядерные измерительно-информационные технологии (Nuclear Measurement & Information Technologies). – М., 2005. – №4(16). – С. 12-23.

*Здобувачем описані заходи із забезпечення безпеки на прикладі системи управління машиною перевантажувальною.*

4. Клевцов А.Л. Создание и применение базы знаний для поддержки экспертной деятельности в области ИУС АЭС / А.Л. Клевцов // Ядерна та радіаційна безпека. – Одеса: ОНПУ, 2007. – №1. – С. 86-97.

5. Клевцов А.Л. База знаний для оценки безопасности информационных и управляющих систем АЭС / А.Л. Клевцов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: НАКУ «ХАІ», 2007. – №7(26). – С. 114-120.

6. Клевцов А.Л. Концепция развития информационной среды в государственном научно-техническом центре по ядерной и радиационной



безопасности / Е.В. Белый, В.Ю. Орлов, А.Л. Клевцов // Ядерна та радіаційна безпека. – Одеса: ОНПУ, 2008. – №2 – С. 59-68.

*Здобувачем обгрунтована необхідність розробки комплексу баз даних з метою розвитку інформаційного середовища ДНТЦ ЯРБ.*

7. Клевцов А.Л. Информационные и управляющие системы АЭС: аспекты безопасности (Instrumentation and control systems of nuclear power plants: aspects of safety) / М.А. Ястребенецкий, А.Л. Клевцов // Ядерные измерительно-информационные технологии (Nuclear Measurement & Information Technologies). – М., 2008. – №1 (25). – С. 4-17.

*Здобувачем розглянуті загальні аспекти забезпечення безпеки при модернізації ІКС АЕС.*

8. Клевцов А.Л. Опыт проведения экспертиз ядерной и радиационной безопасности новых и модернизируемых информационных и управляющих систем АЭС / А.Л. Клевцов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: НАКУ «ХАІ», 2008. – №6(33). – С. 122-127.

9. Клевцов А.Л. Модель оценки безопасности информационных и управляющих систем АЭС при экспертизе ядерной и радиационной безопасности / А.Л. Клевцов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: НАКУ «ХАІ», 2008. – №7(34) – С. 53-58.

10. Клевцов А.Л. Информационное обеспечение для оценки безопасности ИУС АЭС : материалы научно-технической конференции "Проблемы безопасности информационных и управляющих систем АЭС" [Электронный ресурс] / А.Л. Клевцов, С.В. Виноградская, С.А. Мошинский. – Харьков: ГНТЦ ЯРБ, 2003. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 8 Mb RAM; CD-ROM; Windows 98; MS Word 97-2000. – Назва з екрану.

*Здобувачем сформульовані загальні принципи інформаційного забезпечення для оцінки безпеки ІКС АЕС при проведенні експертиз ЯРБ.*

11. Klevtsov A. Evaluations of NPP I&C Functional Safety Measures : Proceeding of 5th American Nuclear Society International topical meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Controls, and Human Machine Interface Technology (NPIC&HMIT 2006) [Электронный ресурс] / M. Yastrebenetsky, L. Spector, O. Butova, A. Klevtsov, V. Inushev. – USA, Albuquerque: American Nuclear Society, 2006. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 16 Mb RAM; CD-ROM; Windows 98; Acrobat Reader 6.0. – Назва з екрану.

*Здобувачем сформульовані загальні принципи оцінки функціональної безпеки ІКС АЕС в Україні.*

12. Klevtsov A. Perspectives of developing and using of knowledge base on NPP's I&C for expert activity support : Proceedings of the International Conference on Knowledge Management in Nuclear Facilities [Электронный ресурс] / A. Klevtsov, M. Yastrebenetsky – Austria, Vienna: IAEA, 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 16 Mb RAM; CD-ROM; Windows 98; Acrobat Reader 6.0. – Назва з екрану.

*Здобувачем запропоновані принципи застосування бази знань для підтримки експертної діяльності при оцінці безпеки ІКС АЕС.*

13. Клевцов А.Л. Разработка автоматизированной системы поддержки экспертной деятельности при оценке безопасности информационных и управляющих систем АЭС / А.Л. Клевцов // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Труды Международной научной школы МАБР-2008. – Санкт-Петербург: ГУАП, 2008. – С. 420-425.

14. Клевцов А.Л. Разработка модели экспертной оценки безопасности информационных и управляющих систем АЭС / А.Л. Клевцов // Автоматика-2008: доклады XV международной конференции по автоматическому управлению. – Одесса: ОНМА, 2008. – С. 251-254.

## АНОТАЦІЇ

**Клевцов О.Л. Автоматизація процесу експертизи інформаційно-керуючих систем АЕС за критеріями ядерної та радіаційної безпеки. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”. Харків. – 2009.

Робота присвячена розв’язанню актуальної науково-практичної задачі розробки моделей та методів автоматизації процесу експертизи для оцінки безпеки інформаційно-керуючих систем (ІКС) АЕС та створення автоматизованої системи підтримки експертної діяльності (АСПЕД). Побудована модель експертизи ІКС АЕС за критеріями ядерної та радіаційної безпеки, класифіковані зауваження експертизи, запропонована структура АСПЕД та окремих її модулів, зокрема бази знань з ІКС АЕС. Запропонований метод незалежного диверсного аналізу надійності ІКС АЕС. Розроблений метод статистичної оцінки результатів виконаних експертиз ІКС АЕС, відповідний програмний модуль включено до складу АСПЕД. Виконана програмна реалізація АСПЕД, яка представляє собою систему підтримки прийняття рішень експертами при оцінці безпеки ІКС АЕС.

**Ключові слова:** інформаційно-керуюча система, математична модель процесу експертизи, автоматизована система підтримки прийняття рішень експертом.

**Клевцов А.Л. Автоматизация процесса экспертизы информационно-управляющих систем АЭС по критериям ядерной и радиационной безопасности. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”. Харьков. – 2009.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-практической задачи разработки моделей и методов автоматизации процесса экспертизы для оценки безопасности информационно-управляющих систем (ИУС) АЭС и создания автоматизированной системы поддержки экспертной деятельности (АСПЭД).

На основе результатов проведенного анализа текущего состояния автоматизации экспертиз ИУС АЭС, сделан вывод об актуальности и целесообразности разработки системы поддержки принятия решений экспертами при выполнении оценки безопасности ИУС АЭС в рамках выполнения Государственной экспертизы ядерной и радиационной безопасности.

Разработана модель экспертизы ИУС АЭС по критериям ядерной и радиационной безопасности. В частности предложена алгоритмическая модель формализации критериев оценки безопасности ИУС АЭС путем формирования соответствующего нормативного профиля с применением теории множеств. Также разработана модель выполнения оценки безопасности ИУС АЭС, основанная на использовании логики предикатов и построении функций для оценки отражения в экспертируемом документе регулирующих требований на разных уровнях их иерархии. Классифицированы замечания экспертиз ИУС АЭС по влиянию на безопасность, по своевременности и по способу их устранения. Предложен метод независимого диверсного анализа надежности ИУС АЭС, что расширяет стандартный подход к экспертизе отчетов по анализу безопасности и повышает достоверность полученных результатов.

Разработан метод статистической оценки результатов выполненных экспертиз ИУС АЭС. При этом применено два подхода. Первый состоит в вычислении средних оценок невыполнения регулирующих требований при экспертизе различных систем и документов. Второй подход основан на расчете контрастов, позволяющим сравнить каждую отдельную пару ИУС АЭС и каждую отдельную пару типов документов. Создан соответствующий программный модуль, который включен в состав АСПЭД.

Предложена структура АСПЭД, в состав которой входит подсистема поддержки принятия решений и база знаний по ИУС АЭС. Выполнена программная реализация АСПЭД.

**Ключевые слова:** информационно-управляющая система, математическая модель процесса экспертизы, автоматизированная система поддержки принятия решений экспертом.

**Klevtsov A.L. Automation of expert reviewing process of NPP instrumentation and control systems by the criteria of nuclear and radiation safety.** – The manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering's sciences on speciality 05.13.07 – automation of management process. – National Technical University is the “Kharkov Polytechnic Institute”. Kharkov. – 2009.

Work is devoted to the decision of the actual scientific-practical task on development of models and methods of automation of expert reviewing process for safety assessment of NPP instrumentation and control systems (ICS) and elaboration of automated system for support of expert activity (ASSEA).

The model of NPP ICS expert reviewing by the criteria of nuclear and radiation safety is developed, expert remarks are classified, structure of ASSEA and its modules (in particular, knowledge base on NPP ICS) is proposed. The method of independent

diverse analysis of NPP ICS reliability is created. The method of statistical assessment of results of fulfilled expert reviews of NPP ICS are developed, appropriate software module is included to the ASSEA. The software realization of ASSEA is fulfilled as a system of support of decision-making by experts under NPP ICS safety assessment.

**Keywords:** instrumentation and control systems, mathematical model of expert reviewing process, automated system for support of decision making by the expert.