

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки і електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Удосконалення алгоритмічних засобів програмно-технічних комплексів
АСУ ТП для контролю безпеки АЕС
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2м курсу, групи ДЕА-Е23мг-1
спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/ Євгеній БАРАНОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/ Костянтин БРОВКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/ Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____/ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/ Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

Навчально – науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Електричні станції, мережі та системи

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

К.Т.Н., доцент Артем ЧЕРНЮК

(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти

здобувачу вищої освіти Євгенію БАРАНОВСЬКОМУ

1. Тема «Удосконалення алгоритмічних засобів програмно-технічних комплексів АСУ ТП для контролю безпеки АЕС»

затверджена наказом по академії № 4801-5/3345 від «12» жовтня 2024 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «10» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи/проекту: Структура енергетичної галузі України;
технічні характеристики АЕС; вимоги до систем безпеки атомних
електростанцій

4. Зміст роботи/проекту (перелік питань, які належить розробити):
ВСТУП; РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ БЕЗПЕКИ НА АЕС;
РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
БЕЗПЕКИ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ; ВИСНОВКИ

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

Слайди презентації

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2024р.

Керівник _____ Костянтин БРОВКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ Євгеній БАРАНОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження	02.10.24 – 05.10.24	
2	Проведення аналізу наукової літератури	06.10.24 – 15.10.24	
3	Виконання першого розділу дипломної роботи	16.10.24 – 29.10.24	
4	Виконання другого розділу дипломної роботи	30.10.24 – 26.11.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.24 – 07.12.24	

Студент (ка) _____
(підпис)

Євгеній БАРАНОВСЬКИЙ
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль _____
(підпис)

Юлія ОЛІЙНИК
(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Сторінок тексту – ____ ; рисунків – ____ ; таблиць – ____ ;
літературних джерел – ____ .

Робота присвячена забезпеченню безпечного функціонування українських АЕС. У нормативних документах і законах України розроблені вимоги щодо виконання досліджень щодо всебічної оцінки безпеки АЕС, які є обов'язковими для експлуатуючих організацій при отриманні ліцензії на експлуатацію АЕС, включаючи продовження їх терміну служби.

Одним з найбільш ефективних напрямків для забезпечення безпеки АЕС є вдосконалення та застосування нових технічних і програмних засобів контролю АСУ АЕС, які в цілому для всієї АЕС включає: ядерний реактор, промислова зона, сховище відпрацьованого ядерного палива, 30 км зона прилеглої місцевості і населення, що обслуговує персонал атомної станції.

Такий підхід до аналізу безпеки є засобом, що дозволяє інтегрально оцінити поточний рівень безпеки АЕС і визначити шляхи його підвищення.

Удосконалення автоматизації контролю та аналізу безпеки дозволяє систематично і всебічно проаналізувати всілякі аварійні ситуації та встановити основні джерела аварій на об'єкті, а також дозволяє виявити, які особливості проекту і / або експлуатації АЕС є найбільш значущими для зниження ризику небажаних наслідків.

Ключові слова: електроенергетичні об'єкти, надійність роботи інформаційно-керуючих систем, програмно-технічний комплекс, система контролю безпеки АЕС.

ABSTRACT

Pages of text – ____ ; pictures – ____ ; tables – ____ ;
literary sources – ____ .

The work is devoted to ensuring the safe operation of nuclear power plants. The normative documents and laws of Ukraine develop requirements for the implementation of research on a comprehensive safety assessment of nuclear power plants, which are mandatory for operating organizations when obtaining a license to operate nuclear power plants, including the extension of their service life.

One of the most effective ways to ensure the safety of nuclear power plants is the improvement and application of new hardware and software control of nuclear power plants, which in general for the entire nuclear power plant includes: nuclear reactor, industrial zone, spent nuclear fuel storage, 30 km adjacent area and the population serving the personnel of the nuclear power plant.

This approach to safety analysis is a tool that allows an integrated assessment of the current level of safety of nuclear power plants and identify ways to improve it.

Improving the automation of control and safety analysis allows you to systematically and comprehensively analyze all emergencies and identify the main sources of accidents at the site, as well as identify which features of the design and / or operation of nuclear power plants are most important to reduce the risk of adverse effects.

Key words: electric power facilities, reliability of information and control systems, software and hardware complex, NPP safety control system.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	
ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ БЕЗПЕКИ НА АЕС	
1.1 Аналіз сучасного стану атомної енергетики	
1.2 Аналіз систем безпеки атомних електростанцій після аварії на Чорнобильській АЕС.....	
1.3 Завдання по забезпеченню безпеки АЕС України	
1.4 Визначення поняття «Безпека атомної електростанції».....	
1.5 Вимоги з безпеки атомних електростанцій.....	
1.6 Постановка завдань дослідження.....	
Висновки до розділу 1.....	
РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	
2.1 Постановка завдання забезпечення безпеки АЕС	
2.2 Концепція розробки структури системи контролю безпеки атомної електростанції	
2.3 Розробка структури системи контролю радіаційної обстановки атомної електростанції	
2.4 Розробка інтегрованої моделі програмного забезпечення системи дистанційного контролю внутрішньої безпеки АЕС	
2.5 Розробка засобів програмного забезпечення АСУ ТП для забезпечення безпеки АЕС.....	
Висновки до розділу 2.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ОСНОВНОЇ ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	

ВСТУП

Актуальність теми. Атомна енергетика в країнах з розвинутою економікою в даний час має різні тенденції. Активно і стабільно вона розвивається у Франції, Японії, Китаї та ряді інших країн Азії.

В Україні ведуться активні заходи і роботи з подальшого запуску до експлуатації нового енергоблоку на Хмельницькій АЕС.

Разом з тим в деяких країнах західної Європи введені заборони на будівництво атомних станцій.

За останні 10 років були зупинені блоки АЕС, призупиняється експлуатація діючих блоків, і розвивається тільки наукова діяльність, пов'язана з розробкою нових проєктів АЕС. Планується виведення з експлуатації АЕС з ВВЕР-440/230 в Словаччині, Болгарії, виведені з експлуатації блоки Чорнобильської АЕС на Україні.

Існує суперечлива інформація про плани будівництва нових блоків АЕС в Європі і США.

Об'єктивні психологічні та економічні причини гальмують розвиток ядерної енергетики:

- післячорнобильський синдром;
- поява нових технологій (високоміцні матеріали, що дозволяють забезпечити ефективність роботи пароготурбінних енергетичних установок);
- наявність великих запасів газу;
- соціальні та технологічні проблеми, пов'язані з переробкою відпрацьованого ядерного палива та зберіганням радіоактивних відходів атомної енергетики;
- енергозберігаючі технології, що знижують потребу в електроенергії;
- нестабільна економічна ситуація в країнах східної Європи.

Ці причини можуть мати в основному тимчасовий характер. Необхідно відзначити, що основною причиною зниження ролі атомної енергетики, на думку експертів, є побоювання населення щодо підвищеного ризику її безпечного використання.

Таким чином, для розвитку атомної енергетики необхідно виконання наступних умов з безпеки:

- відсутність аварій на об'єктах ядерної енергетики з пошкодженням ядерного палива та / або виходу продуктів розпаду за межі герметичних огорожень АЕС;
- обґрунтування реальної величини ризику від експлуатації діючих АЕС, меншого, ніж ризик від інших сфер промислової діяльності;
- розробка проектів нових перспективних АЕС підвищеної безпеки.

Очевидно, що забезпечення безпечного функціонування українських АЕС є першочерговим завданням організацій, які проектують і експлуатують АЕС. У нормативних документах і законах України розроблені вимоги щодо виконання досліджень щодо всебічної оцінки безпеки АЕС, які є обов'язковими для експлуатуючих організацій при отриманні ліцензії на експлуатацію АЕС, включаючи продовження їх терміну служби.

Аналіз науково-технічної літератури, проведений автором показав, що одним з найбільш ефективних напрямків для забезпечення безпеки АЕС є вдосконалення та застосування нових технічних і програмних засобів контролю АСУ АЕС, які в цілому для всієї АЕС включає: ядерний реактор, промислова зона, сховище відпрацьованого ядерного палива, 30 км зона прилеглої місцевості і населення, що обслуговує персонал атомної станції.

Такий підхід до аналізу безпеки є засобом, що дозволяє інтегрально оцінити поточний рівень безпеки АЕС і визначити шляхи його підвищення.

Удосконалення автоматизації контролю та аналізу безпеки дозволяє систематично і всебічно проаналізувати всілякі аварійні ситуації та встановити основні джерела аварій на об'єкті, а також дозволяє виявити, які

особливості проекту і / або експлуатації АЕС є найбільш значущими для зниження ризику небажаних наслідків.

Таким чином, результати контролю надають базу для прийняття рішень щодо виконання заходів, що проводяться з метою підвищення рівня безпеки, дозволяючи "зважити" заходи в термінах зниження кількісної оцінки ризику.

Слід особливо відзначити, що застосування автоматизованих систем безпеки дозволяє оцінити ризик всіляких аварій, ініційованих від різних джерел: внутрішніх ініціюючих подій, викликаних відмовами систем або помилками персоналу АЕС, зовнішніх впливів, причинами яких можуть бути як природні явища, так і явища, викликані діяльністю людини як всередині так і за межами АЕС.

Знання найбільш небезпечних факторів ризику дозволяє прийняти компенсуючі заходи, спрямовані на зниження ризику, і тим самим підвищити загальний рівень безпеки блоків АЕС.

Огляд науково – технічної літератури показав, що на сучасному етапі розвитку теорії безпеки стосовно аналізу безпеки АЕС назріла необхідність узагальнення підходів, що використовуються в атомній енергетики України та країнах західної та східної Європи і в США.

Виконання в ході аналізу безпеки АЕС детального аналізу технічних і організаційних заходів щодо підвищення безпеки досліджуваних ядерних реакторів атомних електростанцій (ЯР АЕС) дозволяє виявити фактори, що негативно впливають на безпеку, обумовлені як особливостями проекту ЯР АЕС, так і конкретними умов його експлуатації. Такий аналіз сприяє визначенню найбільш ефективних заходів з підвищення безпеки і встановлення черговості їх реалізації при оптимальному використанні ресурсів на ці цілі.

При цьому, значне підвищення безпеки може здійснюватися досить мало витратними засобами, наприклад, такими, як оптимізація експлуатаційних і протиаварійних регламентів та інструкцій.

В даний час в Україні виконано значний обсяг робіт в області аналізу безпеки об'єктів АЕС, проте якість і глибина досліджень, ступінь достовірності результатів і їх застосовність при прийнятті регулюючих рішень для оцінки безпеки АЕС до теперішнього часу були зведені в основному до локальних систем, що не дозволяє здійснювати контроль безпеки АЕС в цілому для всієї АЕС (ядерний реактор, промислова зона, сховище відпрацьованого ядерного палива, 30 км зона прилеглої місцевості і населення, що обслуговує персонал атомної станції).

На думку автора, можна відзначити наступні аспекти, які обмежують ефективність досліджень проведених в Україні з питань безпеки:

- дослідження виконувалися для обмеженого переліку внутрішніх небезпечних факторів;
- проведено недостатня кількість спеціальних обґрунтовуючих аналізів аварійних процесів (теплогідравлічних, фізичних та інших розрахунків), що визначають можливий розвиток аварійного процесу;
- в ряді випадків використовувалася узагальнена база даних МАГАТЕ по надійності елементів систем і частотам ініціюючих подій, без урахування специфічних даних досліджуваних АЕС;
- глибина розробки моделей аналізу безпеки не дозволяла врахувати неявні (а часто і явні) залежності роботи систем від відмов елементів, від умов роботи обладнання в аварійній ситуації, від ініціюючих подій, що викликає необхідність роботи того чи іншого обладнання;
- ймовірність помилок персоналу оцінювалася методами, заснованими на використанні експериментального і теоретичного зарубіжного досвіду, без обґрунтованості його застосовності для українських АЕС;
- практично відсутні повномасштабні імовірнісні аналізи безпеки для ініціюючих подій, викликаних зовнішніми по відношенню до обладнання АЕС впливами.

Найбільш актуальною є проблема аналізу безпеки діючих блоків АЕС перших поколінь, що наближаються до вичерпання свого ресурсу. З одного боку, в проектах цих блоків не закладалися сучасні вимоги з безпеки, а з іншого боку фахівці, що працюють на них, накопичили величезний досвід, що дозволяє приймати оптимальні рішення.

Мета дослідження. Удосконалення структури системи контролю безпеки АЕС на основі розробки комплексу нових технічних засобів і програмного сполучення з АСУ ТП АЕС.

Об'єктом дослідження є процес обробки інформації в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції.

Предметом дослідження є алгоритмічні засоби програмно-технічних комплексів АСУ ТП.

Завдання дослідження:

1. Проведення аналізу сучасного стану безпеки атомної енергетики;
2. Розробка структури системи контролю безпеки АЕС;
3. Розробка інтегрованої моделі програмного забезпечення АСУ АЕС;
4. Розробка засобів програмного забезпечення АСУ ТП АЕС;
5. Розробка методики оцінки безпеки АЕС;
6. Розробка алгоритму та програми для методики оцінки безпеки АЕС.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ БЕЗПЕКИ НА АЕС

1.1 Аналіз сучасного стану атомної енергетики

Атомна енергетика грає важливу роль в сучасному енерговиробництві – частка енерговироблення на АЕС в світі досягає 16 % до кінця 2018 року в світі діяло 451 реакторів [1, 3, 7].

Проте розвиток атомної енергетики останніми роками істотно сповільнився. Частково це уповільнення темпів зростання пов'язане із загальною тенденцією до стабілізації енергопотреб, з успіхами енергозбережних технологій [2, 4, 8].

Але головною причиною з'явилися ті, що широко розповсюдилися переконання в "шкідливості" атомної енергетики, сумніву в можливостях досягнення прийнятного рівня безпеки АЕС на базі сучасної технології.

Великий вплив на відношення широкої світової громадськості до атомної енергетики надавали аварії на атомних електростанціях, особливо аварія на АЕС "Три-Майл-Айленд" /США/, що відбулася 28 березня 1979 року, і аварія на 4-му блоці Чорнобильської АЕС, що трапилася 26 квітня 1986 року [10, 12].

Під впливом цих аварій у ряді країн піднялася широка хвиля суспільного опору використанню атомних електростанцій, порушувана страхами про небезпеки дії атомної радіації на навколишнє середовище і населення [7, 9, 12].

Ці аварії породили сумніву в зрілості концепцій безпеки, закладених в основи проектів атомних електростанцій, достатності прийнятих мерів безпеки.

Після цих подій різко зросла інтенсивність наукових досліджень в області забезпечення безпеки об'єктів атомної енергетики [13, 15, 17].

Проте велике число досліджень проблем безпеки АЕС, хоча і виявили недоліки, упущення і навіть помилки в заходах забезпечення безпеки АЕС,

лише підтвердили упевненість фахівців в тому, що розумно високий ступінь безпеки АЕС може бути досягнута на основі сучасних знань і технологій.

З іншого боку, уроки аварій вказали на необхідність перегляду концепції забезпечення безпеки, зажадали підвищення властивостей самозахищеності реакторів, забезпечення більш високого рівня безпеці за рахунок використання пасивних засобів захисту [14, 16, 18].

Потреба в різних видах енергії і палива росте високими темпами при обмеженому використанні таких видів енергетичних ресурсів, як нафта, природний газ, ядерне паливо і вугілля [1, 3, 7].

Розміщення підприємств важкої індустрії, де витрати на паливо складають значну частину собівартості готової продукції, знаходяться під великим впливом паливного чинника [15, 17, 19].

На територіальну організацію продуктивних сил і на розвиток всього народного господарства великий вплив робить електроенергетика, яка є складовою частиною паливно-енергетичного комплексу України [2, 4, 5].

Електроенергетичний комплекс України – це основа функціонування і розвитку національної економіки, забезпечення цивілізованих умов життя суспільства, тому його технічний, технологічний і інтелектуальний потенціал знаходиться на достатньо високому рівні [21, 22].

Будівництво могутніх ліній електропередач дає можливість освоєння паливних ресурсів незалежно від віддалення районів споживання.

Розвиток електричного транспорту розширює територіальні межі промисловості. Необхідна кількість електроенергії притягає до себе підприємства і виробництва, в яких частина паливно-енергетичних витрат значно більше в собівартості готової продукції, чим в інших галузях промисловості [23, 25].

Енергетика має велике районне освітнє значення. У ряді районів України (Донбас, Придніпров'я) вона визначає виробничу спеціалізацію, є основою формування територіально-виробничого комплексу [8, 9, 10].

У розвитку і розміщенні електроенергетики в Україні визначають є наступні принципи [1, 3, 7]:

- концентрація виробництва електроенергії унаслідок будівництва великих районних електростанцій, які використовують дешеве паливо і гідро, - енергоресурсі;
- комбінування виробництва енергії і тепла з метою теплозабезпечення міст і індустриальних центрів;
- широке освоєння гідро - енергоресурсів з урахуванням комплексного вирішення завдань електроенергетики, транспорту, водопостачання;
- випереджаючий розвиток атомної енергетики, особливо в районах з напруженим паливно-енергетичним балансом [2, 5].

Розміщення електроенергетики залежить від наступних чинників [7, 9]:

- наявність паливно-енергетичних ресурсів;
- споживачів електроенергії.

В даний час майже 1/3 електроенергії проводиться в районах її споживання і 2/3 споживається в районах її виробництва.

Географію електростанцій може різко змінити технічний прогрес.

Всі електростанції України діляться на 4 види [1, 3, 7]:

- теплові електростанції, які працюють на твердому, рідкісному і газоподібному паливі. Серед них розрізняють конденсаційні і теплоелектроцентралі;
- гідравлічні, які використовують відповідно гідроресурси і діляться на гідроелектростанції і припливні;
- атомні, які у вигляді палива використовують збагачений уран або інші радіоактивні елементи;
- електростанції, які використовують нетрадиційні джерела енергії.

Серед них перспективними є вітрові і сонячні.

Поширеними в Україні є теплові електростанції. вони проводять майже 2/3 всій електроенергії. Перевагою ТЕС є відносно вільне їх розміщення.

Переваги ГЕС в тому, що вони виробляють енергію, яка в 5-6 разів дешевше, ніж ГРЕС, коефіцієнт корисної дії енергії – 80%, але їх розміщення повністю залежить від природних умов і має сезонний характер [2, 10].

Атомні електростанції по характеру використовуваного палива не пов'язані з його родовищем, і це забезпечує широкий спектр їх розміщення. АЕС орієнтовані виключно на споживачів, особливо на райони з обмеженими ресурсами палива і гідроенергії [1, 3, 7].

До складу енергетичної області України входять:

- 8 гідроелектростанцій (ГЕС) потужністю 4.7 млн.КВт.;
- 44 теплових електростанцій (ТЕС) потужністю 36.5 млн.КВт.
- системоутворююча, яка розподіляє лінії понад 1 млн.км.
- 4 могутніх діючих атомних електростанцій (АЕС) - Запорізька, Південноукраїнська, Рівненська, Хмельницька, потужністю 12.818 млн.КВт.ч.

Під тиском громадськості зупинено будівництво Кримською, Чигиринською, Харківською АЕС і Одеською ТЕЦ [1, 3, 7]

На 4 атомних станціях України знаходиться 17 енергоблоків, в т.ч.:

- діючих – 14;
- знятих з експлуатації (№ 1, 2 Чорнобильською АЕС) – 3;
- зруйнований за проектною аварією 4 блок ЧАЕС – 1 [1, 3, 7].

Реалізація виробляючої електроенергії на АЕС склали: 1998 р. – 84,8 %, перше півріччя 2008 р. – 66,8% [2, 10].

Зберігається конкурентоспроможність АЕС на ринку електроенергії. Усереднений тариф виробляючої електроенергії АЕС на 59 % нижче, ніж проведений на теплових електростанціях (ТЕС) [2, 6, 8].

Кількість персоналу на атомних електростанціях (АЕС) – 48.598 чіл., в т.ч. промислово-виробничого персоналу – 29.218 чол [1, 3, 7].

По кількості аварійних останов енергоблоків українські АЕС знаходяться на рівні світових показників.

За міжнародною шкалою МАГАТЕ в 2007 грамів і в першому півріччі 2008г порушень, що відносяться до категорії АВАРІЯ (рівень "4-7") на українських АЕС не було, порушення, які відносяться до категорії ІНЦИДЕНТ (рівень "2") було одне на Запорізькій АЕС. У 2007 грамів порушень, що відносяться до категорії АНОМАЛІЯ (рівень "1"), було сім: Чорнобильська АЕС - 4 порушення; Запорізька, Південноукраїнська і Рівненська АЕС - по одному порушенню [2, 10].

Також було 65 порушень по рівню "0", зокрема:

Запорізька АЕС - 22 порушення;

Рівненська АЕС - 21 порушення;

Чорнобильська АЕС - 8 порушень;

Хмельницька і Південноукраїнська АЕС - по 7 порушень.

У першому півріччі 1999 грама було одне порушення по рівню "1" і 31 по рівню "0".

Газо-аерозольні радіоактивні викиди АЕС значно нижчі за норму. Колективні дози опромінювання персоналу АЕС України знаходяться на рівні нижче допустимих. Утворення радіоактивних відходів на АЕС знижується.

Проблеми безпеки атомної енергетики України характеризуються наступними чинниками:

7 блоків АЕС з 14 експлуатуються вже більше 15 років.

Практично всі блоки (окрім блоку №6 ЗАЕС) підлягають реконструкції.

Необхідно збільшувати об'єм і якість технічного обслуговування, ремонтів і робіт по діагностуванню устаткування.

Є необхідність виконання робіт по модернізації існуючих і створенню додаткових систем безпеки [1, 3, 7].

Склалася критична ситуація на заводах-постачальниках по виробництву устаткування, замість того, що виробив ресурс. Його постачання утруднені, що збільшує витрачання валютних засобів [10 – 12].

Зараз високий ступінь заповнення сховищ рідких і твердих радіоактивних відходів, необхідний перехід на нові норми радіаційної безпеки із зменшенням граничної річної дози персоналу з 50 мЗв/год до 20 мЗв/год.

Фінансові труднощі АЕС в основному пов'язані з неплатежами за електроенергію. Так, наприклад, із-за неплатежів простоював блок № 2 ЗАЕС.

Фінансово-економічний стан АЕС характеризується наступними основними негативними показниками [12, 13, 15]:

- неплатежі (не покриття товарної продукції грошовими коштами).
- низький відсоток оплати грошовими коштами, звідси велика заборгованість до бюджету, по заробітній платі, до пенсійного фонду, підприємствам і виготівникам устаткування і запчастин, затримка в оплаті за паливо;
- надмірна чисельність персоналу (при загальній чисельності 48.598 чіл. - промислово-виробничий персонал складає 29.218 чіл., або 60,1%;
- недовиробіток електроенергії по внутрішніх причинах складає 1344 млн/кВт·ч;
- надмірна інфраструктура;
- необхідність витрат на соціально-побутову сферу [17, 20, 21].

Сьогоднішній тариф не дозволяє здійснювати подальший розвиток атомної енергетики.

Запорізька АЕС сьогодні є наймогутнішою атомною станцією в Європе і третьою - в світі, в експлуатації якої знаходяться 6 енергоблоків потужністю по 1 млн.кВт кожен. Перший енергоблок Запорізької АЕС був введений в експлуатацію 10 грудня 1984 року. Щорічно до 1989 року в лад вводився один енергоблок АЕС. Шостий енергоблок введений в експлуатацію в грудні 1995 року. З початку експлуатації Запорізька АЕС виробила 370,8 млрд. кВтч електроенергії, що дорівнює енергоспоживанню всієї України протягом більш ніж двох років [1, 3, 7].

Маючи встановлену потужність 6000 Мвт, що складає 12,1% від сумарної встановленої потужності енергетики України, виробництво електричної енергії на Запорізькій АЕС останнім часом складає приблизно 47% від загального виробництва електроенергії атомними станціями України і майже 21 % від загального вироблення електроенергії на Україні [2 – 6]. Коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) має тенденцію до підвищення. За 2008 рік КВВП склав в середньому по енергоблоках ОП ЗАЕС - 67,3%, що є найвищим показником серед АЕС України з ВВЕР-1000 і відповідає стандартним показникам зарубіжних АЕС. Перевірка Запорізької АЕС комісією МАГАТЕ за програмою "OSART", підтвердила високий ступінь надійності і безпеки атомної станції [3, 5, 7].

Безперебійне постачання народного господарства електроенергією забезпечує колектив професіоналів, які розуміють, що електроенергетика є стрижнем економіки держави, життєдіяльності країни і її енергобезпеки.

На АЕС проводиться великий комплекс заходів щодо продовження ресурсу устаткування, по розробці модернізованого устаткування, відповідного сучасним правилам [8, 9, 10].

Загальна криза неплатежів в електроенергетиці обумовлює необхідність встановлення додаткової надбавки до тарифу на відпускаєму електроенергію для завершення будівництва [11, 14].

Неплатежі за відпущену і спожиту електроенергію приводять до вимивання оборотних коштів енергетики і до зростання кредиторської заборгованості [16, 18, 20].

1.2 Аналіз систем безпеки атомних електростанцій після аварії на Чорнобильській АЕС

Чорнобильська АЕС є об'єктом атомної енергетики, якій складається з устаткування, будівель і споруд як безпосередньо пов'язаних з виробленням електроенергії, так і допоміжних. У його склад входять [14, 15]:

- енергоблок №1, зупинений в 1996 році у зв'язку з ухвалою уряду України, і що знаходиться в стані припинення експлуатації;
- енергоблок №2, зупинений в жовтні 1991 року після інциденту, пов'язаного із спалахом на 4-му турбогенераторі, якій знаходиться в даний час в режимі відновного ремонту;
- енергоблок №3, якій знаходиться в режимі експлуатації до 2000 року;
- енергоблок №4, на якому в 1986 році відбулася запроектна аварія з повним руйнуванням активної зони, на якому виконані першочергові заходи для зменшення наслідків аварії і продовжуються роботи по забезпеченню контролю його стану, ядерній і радіаційній безпеці;
- енергоблоки №5 і №6 з незавершеним будівництвом відповідно до рішення про припинення будівельних робіт, прийнятим після аварії 1986 року.
- сховища рідких і твердих радіоактивних відходів;
- сховище відпрацьованого ядерного палива СХОЯТ-1;
- пуськорезервна опалювальна котельня ПРК;
- ставок-охолоджувач з гідротехнічними спорудами;
- відкриті розподільні пристрої ВРП-330 і ВПР-750 [14, 17, 20].

Аварія на 4-му блоці Чорнобильської АЕС істотно вплинула на темпи розвитку атомної енергетики в нашій країні. Ретельне розслідування причин аварії, проведене фахівцями, показало, що коріння аварії лежить глибоко у сфері проблем взаємодії людини і машини, що основним "рушійним"

чинником аварії були дії операторів, які грубо порушили експлуатаційні інструкції і правила управління енергоблоком [4, 6, 9].

Подібно до інших "рукотворних" катастроф, аварія відбулася через те, що оперативний персонал, бажаючи виконати план експериментальних робіт за всяку ціну, грубо порушив регламент експлуатації, інструкції і правила управління енергоблоком. Позначилися, звичайно, і деякі особливості фізики активної зони, конструктивні недоліки системи управління і захисту реактора, які привели до того, що захист реактора не зміг запобігти розгону на миттєвих нейтронах. Операторів провели такі заборонені дії, як блокування деяких сигналів аварійного захисту і відключення системи аварійного охолодження активної зони, працювали при запасі реактивності на стрижнях СУЗІ значення, що нижче допускалося регламентом, ввели реактор в режим роботи з витратами і температурою води по каналах вище регламентних, при потужності реактора нижче передбаченою програмою. Ці і інші помилки операторів привели до такого стану реактора, що в умовах зростання потужності, захисні засоби реактора виявилися недостатніми, що і привело до значної надкритичності реактора, вибуху, руйнування активної зони. Чорнобильська проблема вимагає виконання наступних завдань по безпеці [10, 13, 15]:

- закриття ЧАЕС-3 із зняттям з експлуатації блоків №1, 2 і 3;
- перетворення об'єкту "Укриття" в екологічно безпечну систему;
- створення централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива;
- створення заводу по переробці і зберіганню радіоактивних відходів.

На жаль, створені окремі фрагменти наукового забезпечення не відповідають вимогам сьогодення. Необхідне створення галузевої науки по проблемах міцності, діагностування, розрахункових код, водної хімії, технології поводження з радіоактивними відходами, відпрацьованого ядерного палива, сертифікації устаткування, виводу з експлуатації і так далі.

Враховуючи високу конкурентоспроможність атомної енергетики, необхідно уважно проаналізувати тариф на електроенергію для АЕС і включити в нього всі витрати, які забезпечать розвиток атомної енергетики відповідно до Закону про атомну енергетику [17, 20].

1.3 Завдання по забезпеченню безпеки АЕС України

Стратегічні завдання ядерної енергетики України наступні [1, 3, 7]:

- продовження терміну служби енергоблоків;
- добудова блоків високого і середнього ступеня готовності;
- закриття Чорнобильської АЕС із зняттям блоків №1, 2 і 3 ЧАЕС з експлуатації;
- перетворення об'єкту "Укриття" в екологічно безпечну систему;
- створення АЕС на базі реакторів нового покоління;
- наукове забезпечення;
- вирішення фінансових проблем.

Програма розвитку атомної енергетики до 2010 р. визначена в Національній енергетичній програмі України, затвердженою Верховною Радою України в травні 1999г. По ухвалі Верховної Ради України до цієї програми вносяться зміни і доповнення на основі фінансово-економічної ситуації, що склалася на сьогодні, в країні. "Концепція розвитку атомної енергетики України до 2030 року" в даний час розробляється Міненерго України. Концепція припускає досягнення рівня вироблення електроенергії до 100 млрд/кВт·г і підтримка його після 2010 р., яка має бути досягнута за рахунок [2, 5, 9]:

- введення двох блоків високого ступеня готовності ХАЕС-2 і РАЕС-4;
- введення двох блоків середнього ступеня готовності ХАЕС-3 і ХАЕС-4;
- продовження терміну служби енергоблоків, що діють;

– проектування нових АЕС на основі реакторів нового покоління.

Крім того, необхідний подальший фізичний захист і медико-санітарне забезпечення підприємств атомної енергетики і промисловості.

У системі Міністерства діє схема забезпечення фізичного захисту об'єктів атомної енергетики і промисловості (ядерні установки, ядерні матеріали, радіоактивні відходи, інші джерела іонізуючого випромінювання) [1, 3, 7].

Система медико-санітарного забезпечення підприємств атомної енергетики і промисловості у складі дев'яти спеціалізованих медико-санітарних частин і восьми санітарно-епідеміологічних станцій (СЕС) в містах-супутниках АЕС і об'єктах атомної промисловості обслуговує, окрім виробничого персоналу, населення в містах-супутниках загальною чисельністю понад 350 тис. чол. [2, 10, 16].

Екологічний стан багатьох районів нашої країни викликає законну тривогу громадськості. У численних публікаціях і, зокрема, показано, що в багатьох регіонах нашої країни спостерігається стійка тенденція до багатократного, в десятки і більше разів перевищенню санітарно-гігієнічних норм за змістом в атмосфері міст оксидів вуглецю, азоту, пилу, токсичних з'єднань металів, амінів і інших шкідливих речовин [17, 20, 24].

Є серйозні проблеми з меліорацією земель, безконтрольним застосуванням в сільському господарстві мінеральних добрив, надмірним використанням пестицидів, гербіцидів. Відбувається забруднення стічними водами промислових і комунальних підприємств великих і малих річок, озер, прибережних морських вод [5, 8, 19].

Із-за постійного забруднення атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, ґрунтів, рослинності відбувається деградація екосистем, скорочення продуктивних можливостей біосфери [1, 3, 7].

Забруднення місця існування шкідливо відбивається на здоров'ї людей, приносить значні збитки народному господарству [2, 6].

Останнім часом обстановка погіршала настільки, що багато районів оголошено районами екологічного лиха.

Серед інших екологічних проблем, пов'язаних з антропогенною дією на біосферу, слід згадати ризик порушення озонового шару, забруднення Світового океану, деградацію ґрунтів і запустинювання зернопродічних районів, закислення природних середовищ, зміну електричних властивостей атмосфери [8, 10, 14].

Характерні антропогенні радіаційні дії на навколишнє середовище [1, 3]:

- забруднення атмосфери і територій продуктами ядерних вибухів при випробуваннях ядерної зброї в 60-ті роки
- отруєння повітряного басейну викидами пилу, забруднення територій шлаками, які містять радіоактивні речовини при спалюванні викопних палив в казанах електростанцій
- забруднення територій при аваріях на атомних станціях і підприємствах [8, 10, 14].

Значну небезпеку для живих істот, для популяцій організмів в екосистемах представляють аварії на підприємствах хімічної, атомної промисловості, при транспортуванні небезпечних і шкідливих речовин.

Відома аварія на 4-му блоці Чорнобильської АЕС, результати війни в Персидській затоці показують масштаби екологічних лих сучасного суспільства [2, 6, 8].

Очевидно, що необхідний радикальний перегляд наших стосунків з природою, потрібні рішучі кроки по захисту навколишнього середовища, зокрема багатократне посилення мерів дії нормативних важелів на господарську практику [10, 12, 15].

Абсолютно неприпустимо, щоб встановлені нормативами граничні концентрації шкідливих речовин в повітрі, воді реально перевищувалися в сотні разів [16, 18].

Потрібно зробити не вигідним або навіть руйнівним зневага до охорони навколишнього середовища. Право людей на чисте повітря, чисті річки і озера повинні не тільки декларуватися, але і реально забезпечуватися всіма доступними для держави засобами [12].

Особливо актуальними стає питання регулювання відповідальності за збиток, зокрема за екологічний збиток при переході до ринкових стосунків в економіці. Тут важливо знайти розумні економічні важелі, правильно співвідносити вигоди і втрати, доходи і витрати на компенсацію збитку.

Важливим завданням є розробка питань нормативного розмежування допустимих і неприпустимих дій, оцінювання вартості екологічного збитку.

Радикальний шлях оздоровлення екологічної обстановки - скорочення шкідливих викидів і скидань, збільшення безаварійності і безпеки небезпечних виробництв, перехід на безвідходні технології, концентрація і надійне поховання шкідливих відходів, розумна співпраця і міжнародна взаємодопомога при екологічних катастрофах. Атомні електростанції надають на навколишнє середовище - теплову, радіаційну, хімічну і механічну дію. Для забезпечення безпеки біосфери потрібні необхідні і достатні захисні засоби.

Під необхідним захистом навколишнього середовища розуміється система мерів, направлених на компенсацію можливого перевищення допустимих значень температур середовищ, механічних і дозових навантажень, концентрацій токсикогенних речовин в екзосфері [8, 10, 14].

1.4 Визначення поняття «Безпека атомної електростанції»

Поняття "Безпека АЕС" тісно пов'язане з різними видами збитку, з можливими шкідливими наслідками аварій на АЕС [1, 4, 6].

Основний вид збитку - втрата здоров'я персоналу і населення із-за радіаційної дії радіоактивних випромінювань речовин, котрі розповсюдились на майданчику АЕС або за її межами при важких аваріях [2, 7, 10].

Звичайно значущі і інші види збитку - економічні втрати від руйнування технічних систем і споруд, збитку від втрати важко надолужуваного джерела енергопостачання, втрати від забруднення територій, водних систем, лісів.

Не менш важливий і екологічний збиток - необоротні зміни в екосистемах, втрати цінних видів живої природи із-за змін в імунних системах, втрати у видовій різноманітності [8, 10, 14].

Безпека АЕС – це захищеність персоналу, населення і навколишнього середовища від шкідливих радіологічних наслідків функціонування АЕС, тобто від небезпеки шкідливої радіаційної дії на здоров'ї персоналу і населення як безпосередньо від зовнішнього випромінювання, так і за рахунок радіоактивного забруднення землі, повітря або харчових продуктів.

Технічний рівень мерів безпеки залежить від інженерної зрілості творців АЕС, від досвіду, накопиченого в промисловості, від всього того, що охоплюється терміном "культура безпеки" [13, 16, 20].

Крім того, ефективність захисних заходів залежить і від поточного стану устаткування, підготовленості і дисциплінованості персоналу.

Тому слід говорити про безпеку АЕС, як про ступінь захищеності персоналу, населення і навколишнього середовища від радіаційного і іншої шкідливої дії, котра виникає при експлуатації АЕС, зокрема при аваріях.

При цьому експлуатуюча організація має бути готова показувати, що ступінь реалізуємої захищеності на станції, також як і вірогідні ризики і

можливі ущериби такі, що суспільство може визнати їх прийнятними [8, 10, 14].

Технічна безпека АЕС повинна забезпечуватися високою якістю всіх загально інженерних визнаних робіт для забезпечення надійності функціонування і безпечну експлуатацію устаткування атомних енергетичних установок [2, 7, 12].

Ядерна безпека – це властивість запобігати ядерним аваріям, пов'язаним з пошкодженням ядерного палива або переопроміненням персоналу. Ядерна безпека досягається за рахунок унеможливлення важких ядерних аварій, наприклад виключенням розгонів реактора на миттєвих нейтронах.

Радіаційна безпека є система мерів по захисту персоналу, населення і навколишнього середовища від дії проникаючих випромінювань, направлена на забезпечення відсутності несприятливих ефектів або шкоди здоров'ю від опромінювання іонізуючими частинками людей, живих істот і елементів природи. При будь-якій аварії АС опромінювання населення на межі санітарно-захисної зони не повинне перевищувати 10 бер [2, 4, 6].

Аварійні викиди і скидання радіоактивних речовин мають бути такими малими, щоб виключалася необхідність евакуації великих груп населення при найважчих аваріях [8, 10, 14].

Під екологічною безпекою АЕС розуміють її властивості не надавати на навколишнє середовище таких дій за рахунок викидів або скидань радіоактивних речовин, тепла, хімічних речовин, які могли б заподіяти шкоду для мешканців навколишнього середовища, флорі і фауні в природних екосистемах, порушували б біологічне рівновазі, змінювали б кліматичні умови і інші умови, необхідні для збереження і збагачення природи [13, 16].

Атомні станції (АЕС) не повинні надавати надмірних постійно діючих або аварійних теплових, хімічних, радіаційних і інших дій на природні екосистеми, під впливом яких відбувалася б деградація екосистем в часі,

накопичувалися і закріплювалися несприятливі зміни станів динамічної рівноваги [21, 23].

Важливо, щоб всі зміни в екосистемах були б оборотні, щоб були достатні запаси стійкості до граничних, необоротних обурень.

Нормування антропогенних навантажень на екосистеми і призначене для того, щоб запобігати всім несприятливим змінам в них, а в кращому варіанті направляти ці зміни в сприятливу сторону [12, 17].

У країнах з розвиненою атомною промисловістю, ядерною енергетикою, існує система державного регулювання суспільних стосунків при використанні атомної енергії, проблем забезпечення безпеки атомних електростанцій, радіаційного захисту населення, захисту навколишнього середовища.

Ця система "атомного права" постійно удосконалюється, доповнюється новими законоположеннями і нормативами [18, 20, 21].

Проте зміна основоположних, принципових актів відбувається поволі і не завжди встигає за потребами життя. Крім того, в законодавстві часом відсутні багато важливих або принципових документів.

1.5 Вимоги з безпеки атомних електростанцій

Безпека АЕС забезпечується за рахунок вимоги і мерів по [8, 10, 14]:

- попередженню можливості виникнення небезпечних станів або режимів - при проектуванні і споруді АС
- запобіганню розвитку небезпечних станів і режимів за рамки меж і умов безпечної експлуатації – при роботі АС
- просторово – годинному обмеженню небезпечних процесів і їх шкідливих дій – при аварійних ситуаціях і режимах АС
- локалізації майже всіх шкідливих речовин, котрі вийшли за встановлені в проекті межі небезпечних зон в результаті аварії
- забезпеченню умов для приведення установки після закінчення експлуатаційних кампаній або аварій в безпечний стан, придатний для перезагрузки палива, ремонтів, тривалого зберігання її частин і елементів, консервації або зняття з експлуатації [12, 16].

У таких районах, як Київська, Харківська, Івано-франківська, Вінницька, Рівненська, Хмельницька, Запорізька і Одеська областях рівень забруднення навколишнього середовища досить високий унаслідок розміщення великих об'єктів електроенергетики (теплові і атомні електростанції).

Особливо складна екологічна обстановка, пов'язана з радіоактивним забрудненням, в районах, прилеглих до Чорнобильської АЕС.

Необхідно провести реконструкцію атомної енергетики на новій технологічній основі, створювати енергоблоки, які використовували б уран низького збагачення. Доцільне будівництво нових блоків середніх за потужністю атомних електростанцій під землею з високим рівнем техніки безпеки. Їх поховання після експлуатації не вимагає багато часу і фінансування. Збільшувати виробництво електроенергії від нетрадиційних джерел. Важлива тенденція в розвитку електроенергетики – об'єднання

електростанцій в енергосистеми, які здійснюють виробництво, транспортування і розділення електроенергії між споживачами [2, 4, 19].

Створення енергосистем обумовлено потребою ритмічного забезпечення споживачів електроенергією. Енергосистеми дають можливість маневрувати виробництвом електроенергії, як в часі, так і в просторі. Структурне перестроювання народного господарства, економне використання палива і енергії і використання економічних стимулів сприятимуть зменшенню енергоємності національного продукту. Сьогодні в Україні відсутній механізм стимулювання зменшення споживання електроенергії, який повинен включати державну систему енергозбереження на тривалу перспективу, систему стандартів і нормативних витрат паливно-енергетичних ресурсів [14, 16].

В даний час ситуація в електроенергетиці складна, перш за все із-за неплатежів за використану електричну і теплову енергію. Заборгованість споживачів складає приблизно 7 млрд.грн. Уряд України приймає заходи по обмеженню і відключенню споживачів-боржників [3, 5].

Діяльність галузі знаходиться під постійним контролем з боку Президента і Кабінету міністрів, особливо питання про структурне перевлаштування електроенергетичного комплексу. Відповідно до Ухвали Кабінету Міністрів № 1268 від 17/10/1996г. на базі майна атомних станцій і їх інфраструктур було створено державне підприємство "Національна атомна енергогенеруюча компанія "Енергоатом" з покладанням на неї функцій експлуатуючої організації, частина з яких в перехідний період вона делегує атомним електростанціям. Наступним етапом реформування галузі було об'єднання в травні 1997г. Міністерства енергетики і електрифікації з державним комітетом з використання ядерної енергії, внаслідок чого було створено Міністерство енергетики України. Указ Президента України від 2/08/1999 № 944 "Про деякі запитай приватизації об'єктів електроенергетичного комплексу" сприяє створенню умов для залучення стратегічних інвестицій в галузь, що дасть можливість провести

реконструкцію і модернізацію фізично зношеного і морально застарілого устаткування електрооб'єктів АЕС, тим самим значно підвищити безпеку АЕС [12, 17, 19].

1.6 Постановка завдань дослідження

В роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз закономірностей розвитку атомної енергетики України і сформулювати завдання по розробки нових технічних засобів структури системи контролю безпеки АЕС на базі АСУ ТП АЕС;
- з урахуванням критеріїв оперативності та надійності сформулювати концепцію розробки структури системи контролю безпеки АЕС;
- розробка структури системи контролю безпеки АЕС;
- розробка інтегрованої моделі програмного забезпечення системи дистанційного контролю АЕС;
- розробка засобів програмного забезпечення АСУ ТП АЕС для забезпечення безпеки АЕС;
- розробка алгоритму і програмі для методики оцінки безпеки АЕС.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:

Аналіз сучасного стану атомної енергетики показав, що розвиток атомної енергетики останніми роками істотно сповільнився.

Частково це уповільнення темпів зростання пов'язане із загальною тенденцією до стабілізації енергопотреб, з успіхами енергозбережних технологій. Але головною причиною з'явилися ті, що широко розповсюдилися переконання в "шкідливості" атомної енергетики, сумніву в можливостях досягнення прийнятного рівня безпеки АЕС на базі сучасної технології. По кількості аварійних зупинок енергоблоків українські АЕС знаходяться на рівні світових показників.

Проблеми безпеки атомної енергетики України характеризуються наступними чинниками:

- 7 блоків АЕС з 14 експлуатуються вже більше 15 років.
- практично всі блоки АЕС підлягають реконструкції.

Необхідно збільшувати об'єм і якість технічного обслуговування, ремонтів і робіт по діагностуванню устаткування.

Є необхідність виконання робіт по модернізації існуючих і створенню додаткових систем безпеки.

Склалася критична ситуація на заводах-постачальниках по виробництву устаткування, замість того, що виробив ресурс. Його постачання утруднені, що збільшує витрачання валютних засобів.

Показано, як аварія на 4-му блоці Чорнобильської АЕС істотно вплинула на темпи розвитку атомної енергетики в нашій країні.

На жаль, створені окремі фрагменти наукового забезпечення не відповідають вимогам сьогодення.

Необхідне створення галузевої науки по проблемах міцності, діагностування, розрахункових код, водної хімії, технології поводження з радіоактивними відходами, відпрацьованого ядерного палива, сертифікації устаткування, виводу з експлуатації і т.д.

Проведено аналіз стратегічних завдань ядерної енергетики України:

- продовження терміну служби енергоблоків;
- добудова блоків високого і середнього ступеня готовності;
- закриття Чорнобильської АЕС із зняттям блоків №1, 2 і 3 ЧАЕС з експлуатації;
- перетворення об'єкту "Укриття" в екологічно безпечну систему;
- створення АЕС на базі реакторів нового покоління;
- наукове забезпечення;
- вирішення фінансових проблем.

Визначено поняття "Безпека АЕС", яка тісно пов'язане з різними видами збитку, з можливими шкідливими наслідками аварій на АЕС.

Розглянути вимоги для забезпечення безпеки АЕС:

- попередженню можливості виникнення небезпечних станів або режимів - при проектуванні і споруді АЕС ;
- запобіганню розвитку небезпечних станів і режимів за рамки меж і умов безпечної експлуатації – при роботі АЕС ;
- просторово – часовому обмеженню небезпечних процесів і їх шкідливих дій - при аварійних ситуаціях і режимах АЕС ;
- локалізації майже всіх шкідливих речовин, котрі вийшли за встановлені в проекті межі небезпечних зон в результаті аварії ;
- забезпеченню умов для приведення установки після закінчення експлуатаційних кампаній або аварій в безпечний стан, придатний для перезагрузки палива, ремонтів, тривалого зберігання її частин і елементів, консервації або зняття з експлуатації.

Автором поставлені завдання для проведення досліджень.

РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

2.1 Постановка завдання забезпечення безпеки АЕС

З початком використання ядерного палива для виробництва електроенергії, виникла проблема контролю технологічних процесів що відбуваються в ядерних реакторах і радіоактивності в навколишньому середовищі території АЕС [8, 10, 14].

Екологічний контроль радіоактивного забруднення нижніх шарів атмосфери в шлейфі викидів переробних підприємств радіохімічного циклу і АЕС став особливо актуальним після аварії на Чорнобильській АЕС в 1986 році [1 – 5]. Аварії і катастрофи на АЕС характеризуються процесами техногенного характеру (спалахи, аварійні вибухи, викиди радіоактивних і токсичних продуктів) і є швидкоплинними процесами імпульсного характеру [12, 14, 17].

Особливості експлуатації АЕС витікають із специфіки їх технологічної схеми. Джерелом теплової енергії на АЕС є ядерний реактор, в якому теплота виділяється в результаті ділення ядерного палива [15, 16]. Висока теплотворна здатність ядерного палива дозволяє звести до мінімуму витрати по доставці його на станцію і по його переробці.

Проте, принципово неможливе повне спалювання ядерного палива. Відпрацьовані твели містять не вигорілий уран, плутоній, що знов утворився, і інші продукти ділення [11, 15, 18].

Тому, в процесі роботи ядерного реактора, в нім утворюється велика кількість радіоактивних речовин в паливі, конструкційних матеріалах і теплоносії [19, 20].

Наявність у відпрацьованому паливі радіоактивних речовин, а також різних твердих, рідких і газоподібних радіоактивних відходів вимагає

вирішення проблеми збору, переробки, очищення, утилізації і зберігання таких відходів і головним чином проведення своєчасного радіаційного контролю при їх витокі і несанкціонованому розповсюдженні на території АЕС [2].

Таким чином, контроль і, головне, попередження аварійних викидів радіоактивних речовин в атмосферу стає головним завданням по безпечній експлуатації АЕС і недопущенню забруднення навколишнього середовища.

У сучасних умовах, для вирішення різноманітних завдань, пов'язаних з контролем параметрів радіаційної обстановки в районі зони АЕС (вимірюванням іонізуючих випромінювань), фахівцями в області радіаційного контролю, успішно розробляються і проводяться серійні і оригінальні прилади для визначення активності, якісного і кількісного складу радіонуклідів, не перевищення допустимих рівнів їх вмісту в пробах і об'єктах, прилади для індивідуального контролю персоналу [3, 5, 9].

Нові розробки дозволяють вирішувати ряд проблем в області радіаційної безпеки, завдань охорони навколишнього середовища і здоров'я людини.

Проте, всі існуючі технічні засоби і комплекси радіаційного контролю, використовувані на сьогоднішній час не мають єдиної загальної структури системи управління і не сполучаються з відомими програмно-апаратними реалізаціями автоматизованої системи управління атомних електростанцій (АСУ АЕС), яка в основному вирішує завдання управління і контролю параметрів технологічного процесу [10, 19, 20].

Це не дозволяє забезпечити всіх користувачів АСУ АЕС первинною оперативною інформацією єдиного формату з метою вироблення командної інформації по створенню оптимальних варіантів режиму безпеки в зоні АЕС в режимі реального часу [21, 22].

2.2 Концепція розробки структури системи контролю безпеки АЕС

В процесі роботи АЕС утворюються рідкі, газоподібні, аерозольні і тверді радіоактивні відходи.

Тому при експлуатації АЕС необхідно здійснювати оперативний безперервний контроль за утворенням радіоактивних відходів, а на шляху надходження їх в навколишнє середовище контролювати їх якісний і кількісний склад [1, 4]. Автором, для забезпечення безпеки АЕС, була розроблена і запропонована структура системи контролю безпеки (СКБ) території АЕС і її сполучення з системою АСУ АЕС на основі розробки комплексу технічних засобів і програмного забезпечення.

Останнім часом створені нові розробки по різних напрямках. Для радіаційного контролю на АЕС призначений пристрій детектування УДЖГ-А06Р, яке застосовується у складі вимірювального каналу апаратури контролю радіаційної безпеки (АКРБ) на АЕС з метою вимірювання об'ємної активності гамма - випромінюваних нуклідів в рідині технологічних контурів АЕС по їх гамма-випромінюванню [14, 17].

Для радіаційного технологічного контролю в труднодоступних малообслуговуваних вузлах і приміщеннях АЕС, а також для роботи в польових умовах, в умовах мобільної лабораторії або аварійної ситуації розроблений багатоканальний амплітудний аналізатор «АБА-П-07» [8, 9].

Спектрометричний гистограммный амплітудно-цифровий перетворювач АЦП-АК служить для вимірювання амплітуд імпульсних сигналів шляхом аналого-цифрового перетворення з подальшою реєстрацією отриманої цифрової коди в пам'яті ПК [8, 10, 14].

Аналізатори АЦП-АК дозволяють проводити накопичення, обробку і видачу інформації на зовнішні пристрої. «АЦП-АК» має вхід ознаки сигналу на чотири стани, що дозволяє проводити вимірювання від чотирьох джерел випромінювання і роботу в режимі антизбігів [13, 17, 18].

Для визначення змісту гамма – випромінюючих радіонуклідів в тілі людини, інгалаційною складовою внутрішнього опромінювання людини розроблені і випускаються спектрометри випромінювання людини «СИЧ-АКП» [8, 10, 14]. Прилади випускаються різній модифікації і можуть застосовуватися як засіб індивідуального контролю персоналу і населення.

Спектрометричний комплекс СТПК-01 орієнтований на забезпечення дискретно-безперервного оперативного контролю питомої активності радіонуклідів йоду в широкому діапазоні значень в теплоносії 1-го контура (ТПК) ВВЕР-1000, а також періодичного контролю питомої активності ряду радіонуклідів реперів, важливих для оцінки стану ТПК [3, 9, 12].

Створена серія сцинтиляційних блоків детектування типу БДЕГ-АК для реєстрації гамма-випромінювання, вживані в спектрометрах енергії гамору-випромінювання. Пристрій детектування «УДПП-01-АКП» призначений для визначення протечок між першим і другим контуром в парогенераторах за допомогою реєстрації радіонукліда на виході парогенератора на трубопроводі другого контура. Даний метод виявлення течії вважається за найбільш сучасний, оперативний і чутливий. Автоматизовані комплекси АКІДК-201 і АКІДК-301 призначені для вимірювання індивідуального еквівалента дози в полях фотонного випромінювання і в змішаних гамма – нейтронних полях [8, 10].

Комплекси відносяться до засобів вимірювань, вживаних для контролю зовнішнього опромінювання персоналу на підприємствах ядерного паливного циклу, атомних станцій, в науково-дослідних і медичних установах і населення що проживає на територіях з підвищеним радіаційним фоном [16, 19]. Проте, все вище перераховані і інші відомі технічні засоби і системи контролю радіаційної обстановки території АЕС в основному орієнтовані на попередження аварійних ситуацій і не дають уявлення про динаміку швидкоплинних аварійних процесів в режимі реального часу [21, 25]. Особливо складною є проблема захисту навколишнього середовища від АЕС при змінних і аварійних режимах [8].

2.3 Розробка структури системи контролю радіаційної обстановки АЕС

Аналіз існуючих систем управління і комплексів радіаційного контролю території АЕС показує, що для бістропротікаючих процесів характерних для режимів АЕС, важливим критичним параметром є час ухвалення рішень, від якого залежить величина нанесеного збитку і безповоротних втрат персоналу АЕС [14, 17]. Тому, автор вважає за доцільне, для розробки системи контролю радіаційної обстановки (СКРО) території АЕС, введення трьох режимів роботи технічних засобів що входять в АСУ АЕС [1, 4, 7]:

1. Режим спостереження (режим, що чекає) – для виявлення відхилень характеристик параметрів від норми;
2. Режим безперервного контролю – порівняння відхилення норм параметрів з характеристиками параметрів з ознаками аварійного процесу;
3. Режим реєстрації – аналіз динаміки зміни характеристик параметрів [2].

Автором при розробці складу технічних засобів радіаційного контролю зони АЕС були реалізовані наступні підходи [23, 25]:

- багаторівнева, багатоступінчата, мережева конфігурація процесу контролю (можливість компонувати комплекси з різною кількістю і різними типами вимірювальних пристроїв без додаткового ПЗ АСУ АЕС) з отриманням різної оперативної інформації на кожному рівні [23, 25];
- на кожному режимі (ступені) контролю збір узагальненої первинної інформації проводиться на підставі кореляції даних по окремо спостережуваних параметрах і їх характеристиках [23, 25];
- перехід від одного режиму (ступені) контролю до іншого визначається адаптивний за отриманою інформацією, при цьому доцільно виділити окремо динаміку розвитку аварійної ситуації на території АЕС і поза нею [23, 25];

- інтелектуальні вимірювальні пристрої (дистанційні датчики радіаційного контролю, дозволяють проводити первинну цифрову обробку інформації за заданою програмою в реальному масштабі часу і перетворювати вимірюваний параметр в електричний сигнал) [23, 25];
- використання єдиного фізичного інтерфейсу і ПЗ АСУ АЕС;
- програмне завдання параметрів і режимів роботи всіх вимірювальних пристроїв комплексу АСУ АЕС [23, 25];
- можливість видаленого доступу до налаштувань вимірювальних пристроїв [23, 25];
- можливість архівації даних вимірювань різних вимірювальних пристроїв в єдиній базі даних АСУ АЕС [23, 25];
- підтримка ухвалення рішення оператором в системі АСУ АЕС у разі виникнення небезпечних режимів функціонування АЕС.

Виходячи з вимог, автором запропонована загальна структурна схема системи контролю радіаційної обстановки (СКРО) АЕС (рис. 2.1) [25].

До складу СКРО АЕС входять наступні структурні елементи:

1. Підсистема контролю радіаційної обстановки технологічних процесів об'єкту АЕС (ПСКРО-О), яка виконує наступні функції [13, 16]:

- ядерно-фізичний контроль (ядерно-фізичні розрахунки для технологічного устаткування АЕС);
- технологічний радіаційний контроль устаткування АЕС;
- технологічний радіаційний контроль ядерного реактора;
- контроль відпрацьованого ядерного палива в приміщеннях АЕС (вимірювання МЕД, питомої активності радіоактивних газів, радіоактивного йоду);
- прогнозування аварійних режимів роботи АЕС;
- установка параметрів елементів системи;
- відображення мнемосхем контролюваного об'єкту (пром. площадка АЕС);

- архівація поточних даних вимірювань, даних вимірювань і відеороликів тривожних подій в єдиній базі даних, генерація звітів.

2. Підсистема контролю радіаційної обстановки території (санітарно-захисної зони) АЕС (ПСКРО-Т), яка виконує наступні функції [13, 16, 19]:

- безперервний контроль РО території (санітарно-захисна зона (СЗЗ)) з використанням системи дистанційного контролю (СДК);

- радіаційний контроль сховищ відходів на території АЕС;
- радіаційний контроль газоподібних радіоактивних речовин;
- радіаційний контроль аерозольних радіоактивних речовин;
- радіаційний контроль твердих радіоактивних речовин;
- радіаційний контроль рідких радіоактивних речовин;
- збір, обробка, аналіз даних про РО в режимі реального часу;
- формування прогнозу розвитку РО у разі аварійних ситуацій;
- інформаційне обслуговування локальних і видалених користувачів;

- радіаційний контроль питної води;
- радіаційний контроль ґрунту;
- контроль іонізуючих випромінювань аномальних зон, пов'язаних із земними (природними) джерелами радіонуклідів;

- контроль регіональних сховищ радіоактивних відходів;
- збір інформації про радіаційні метеоданих;
- вироблення рекомендацій з потреби проведення захисних заходів для населення, що потрапило в зону аварії.

Для вирішення цих завдань, авторами пропонується комплекс технічних засобів контролю радіаційної обстановки (рис. 2.1) [14, 19]:

- сцинтиляційні інтелектуальні блоки і пристрої детектування;
- радіометр-спектрометр рідких середовищ;
- паспортизатор радіоактивних відходів;
- активний лічильник нейтронних збігів;
- дозиметр-радіометр пошуковий;

- пристрій детектування рідини по гамма-випромінюванню;
- багатоканальний амплітудний аналізатор;
- спектрометричний гистограммний АЦП;
- блок детектування енергії гамма-випромінювання;
- спектрометри випромінювання людини;
- спектрометричний комплекс періодичного контролю;
- пристрій детектування потоків парогенераторів;
- автоматизовані комплекси індивідуального контролю.

Крім того, автором, для вирішення завдань локальних вимірювань характеристик джерел іонізуючого випромінювання (ІВ) і просторового розподілу інтенсивності ІВ, пропонується СДК, на основі методу зондування радіаційних параметрів, з використанням властивостей лазерного випромінювання при взаємодії з радіоактивними речовинами [3 – 5]. Застосування даного методу дозволяє, в режимі реального часу, отримувати інформацію про динаміку швидкоплинних аварійних процесів у разі викиду рідких, газоподібних, аерозольних і твердих радіоактивних відходів як усередині, так і поза АЕС [10, 12, 16].

Система дистанційного контролю (СДК) включає (рис. 2.1.): багатофункціональні дозиметричні дистанційні лазерні прилади (ДДЛП), які розміщаються на стаціонарних пунктах контролю (СПК) санітарно-захисної зони (СЗЗ) і на пересувних вимірювальних засобах (ПВЗ); центр обробки первинної інформації (ЦОП).

Первинна інформація поступає з ДДЛП передається на ЦОП, де проводиться обробка, аналіз і зберігання накопичених даних, для їх подальшої передачі в систему АСУ СКРО АЕС для ухвалення рішення у разі виявлення небезпечних викидів рідких, газоподібних, аерозольних і твердих радіоактивних речовин. Крім того, прогнозування РО може здійснюватися оператором АРМ на основі даних тих, що поступають з СКРО АЕС (рис. 2.1.).

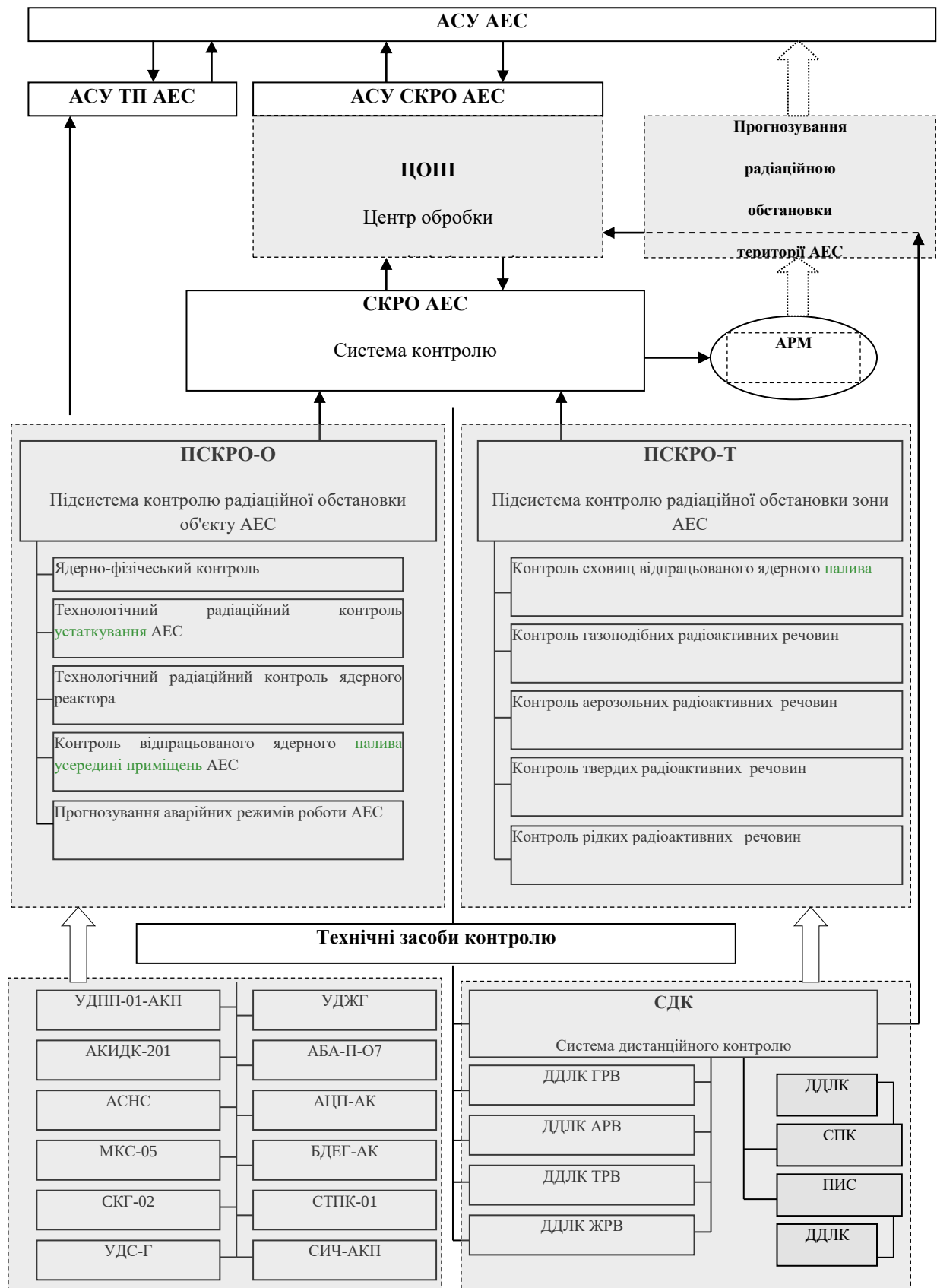


Рисунок 2.1 – Загальна структурна схема системи контролю радіаційної обстановки території АЕС

2.4 Розробка інтегрованої моделі програмного забезпечення системи дистанційного контролю внутрішньої безпеки АЕС

У першій частині роботи було розглянуто завдання розробки системи дистанційного контролю внутрішньої безпеки АЕС (СДК АЕС), як складовій частині АСУ ТП АЕС.

Технічні засоби СДК АЕС володіють високим ступенем швидкодії, надійності і багатофункціональності автоматизованого управління і внутрішнього контролю радіаційної безпеки закритих і відкритих об'єктів і споруд АЕС.

У зв'язку з цим був розроблений алгоритм функціонування СДК АЕС для збору даних зовнішнього контролю радіаційної і ядерної безпеки території АЕС.

Відомі програмно-апаратні реалізації не дозволяють реалізувати алгоритм функціонування технічних засобів СДК АЕС для проведення зовнішнього контролю радіаційної безпеки в режимі реального часу.

Для цього запропоновано використовувати методи по інтегрованому моделюванню програмного забезпечення АСУ ТП АЕС.

У роботі був розроблений такий пакет програмного забезпечення, який дозволяє проводити розрахунки і оцінку радіаційної обстановки території АЕС і складає основу СДК АСУ ТП АЕС [23, 25].

В рамках створення програмного забезпечення (ПЗ) СДК АСУ ТП АЕС розроблена інтегрована модель програмного забезпечення (ІМ ПЗ СДК АСУ ТП) на концептуальному і логічному рівнях уявлення.

Інтегрована модель ПЗ СДК АСУ ТП є результатом виконання об'єктно-орієнтованого аналізу згідно методичних рекомендацій по моделюванню ПЗ [4], представлених в [5-6]. Інтегрована модель ПЗ СДК АСУ ТП реалізована з використанням універсальної мови об'єктно-орієнтованого моделювання UML в Enterprise Architect v 2.50 [12, 15, 17].

Дана модель є основою для подальшого проектування ПЗ СДК АСУ ТП з метою подальшої автоматичного контролю радіаційної обстановки території АЕС [11, 15, 17].

На рис. 2.2. представлений фрагмент ІМ ПЗ СДК АСУ ТП що включає:

- діаграму прецедентів (випадків використання) [18, 19, 21];

- потоки подій, що описують прецеденти «Контроль параметрів радіаційного і ядерного стану об'єктів і споруд території АЕС», «Установка нормального режиму експлуатації АЕС», «Аналіз концентрації ядерного палива в сховище ЯТ (СЯТ)», «Аналіз відпрацьованого ядерного палива в СЯТ»;

- по три сценарії (первинний і два вторинних) для відповідних прецедентів; діаграми послідовностей повідомлень об'єктів для первинних сценаріїв прецедентів «Контроль параметрів радіаційного і ядерного стану об'єктів і споруд території АЕС» і «Установка нормального режиму»;

- діаграму класів – абстракцій суті наочної області; діаграми переходів станів для класів «АРМ» і «СДК АСУ ТП АЕС»;

- діаграму діяльності (співвідношувану в нашому уявленні з відповідною операцією) «Змінити режим функціонування АЕС» для класу «СДК АСУ ТП АЕС».

Діаграма прецедентів (рис. 2.2) представляє зовнішній вигляд що розробляється ПО СДК АСУ ТП АЕС. Іншими словами, поведінка елементів програмного забезпечення описується за допомогою моделі прецедентів, яка відображає [18, 19, 21]:

системні прецеденти

- «Прийом інформації про радіаційну і ядерну обстановку на АЕС»;
- «Контроль параметрів радіаційної і ядерної обстановки на АЕС»

системне оточення

- оператор АРМ СДК АСУ ТП АЕС;
- зв'язки між прецедентами і зовнішніми дійовими особами;

– оператор АРМ СДК АСУ ТП АЕС виконує прогноз, оператор аналізує результати контролю радіаційної і ядерної безпеки.

Виконання прецедентів відображається за допомогою відповідних потоків подій.

Потік подій для прецедентів – це послідовність подій, необхідних для забезпечення необхідної поведінки, - потік подій для прецеденту - «Контроль параметрів радіаційної і ядерної обстановки на АЕС», потік подій для прецеденту «Установка нормального режиму експлуатації АЕС» і так далі.

Для опису того, як реалізуються прецеденти, взаємодіючи між групами об'єктів, використовуються сценарії. Сценарієм є одиночний прохід по потоку подій - сценарії для прецеденту «Контроль параметрів РО об'єктів і споруд АЕС», сценарії для прецеденту «Установка режиму норми експлуатації АЕС» і так далі [2, 5, 8].

Таким чином, модель програмного забезпечення СДК АЕС РО об'єктів закритого і відкритого типів АЕС на концептуальному логічному рівні представлення інформації, отриманої в результат об'єктивно, - орієнтованого аналізу наочної області включає наступні потоки:

1. Потік подій для прецеденту «Контроль параметрів РО і ЯО об'єктів і споруд АЕС».
2. Потік подій для прецеденту «Установка нормального режиму експлуатації АЕС».
3. Потік подій для прецеденту «Аналіз змісту ЯТ в ЯР АЕС».
4. Потік подій для прецеденту «Контроль параметрів РО і ЯО об'єктів і споруд АЕС».
5. Потік подій для прецеденту «Установка нормального режиму експлуатації АЕС».
6. Потік подій для прецеденту «Аналіз рівня концентрації ОЯТ в СЯТ».
7. Потік подій для прецеденту «Аналіз змісту ЯТ в ЯР АЕС».

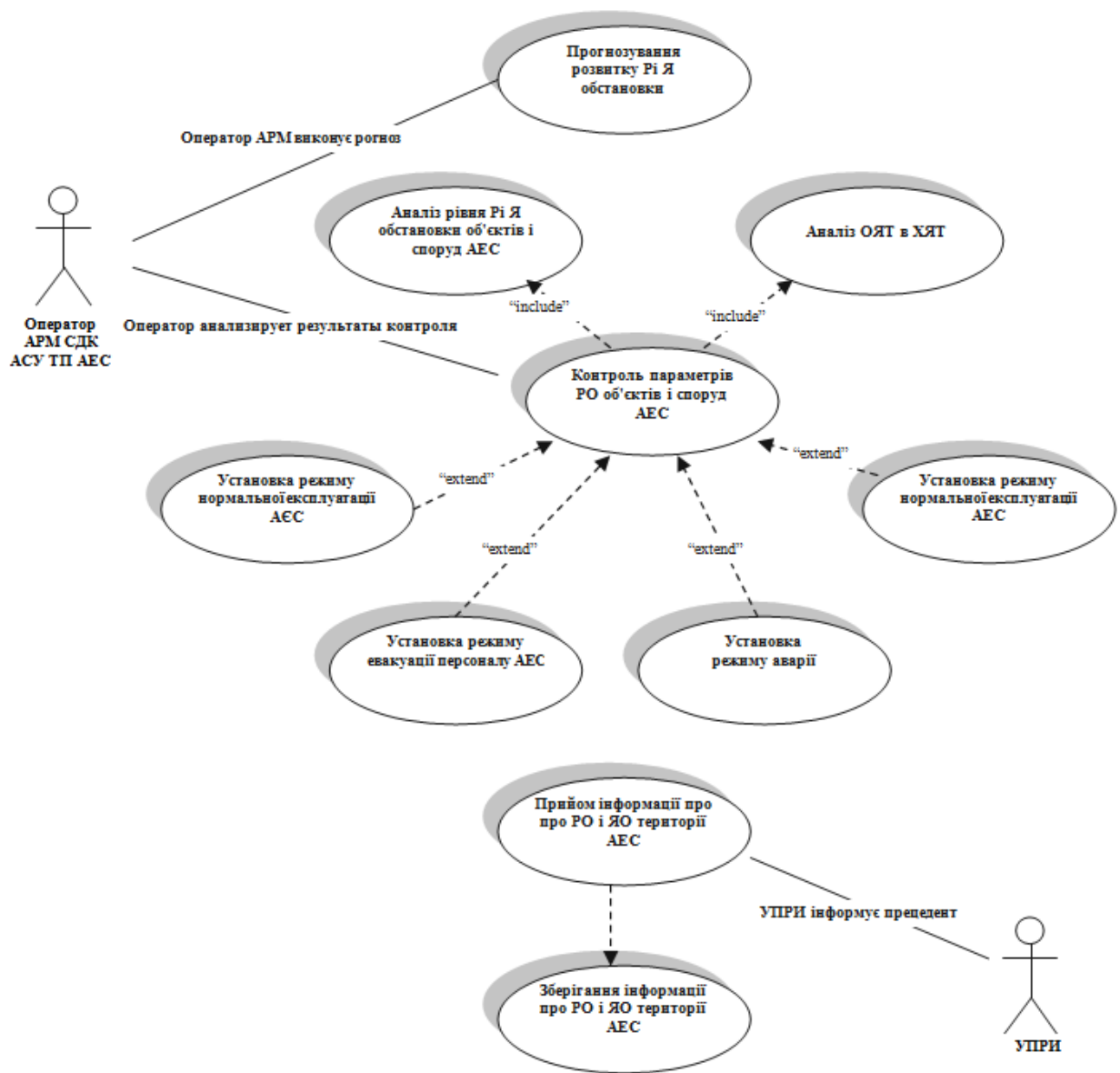


Рисунок 2.2 – Діаграма моделі прецедентів

Сценарії [21]:

1. Сценарії для прецеденту «Контроль параметрів РО об'єктів і споруд АЕС».
2. Сценарії для прецеденту «Установка нормального режиму експлуатації»
3. Сценарії для прецеденту «Аналіз ОЯТ в СОЯТ»
4. Сценарії для прецеденту «Аналіз ЯТ в ЯР АЕС».

Відображаються сценарії за допомогою діаграм послідовностей повідомлень:

- діаграма послідовностей для первинного сценарію «Контроль параметрів РО об'єктів і споруд АЕС»;
- діаграма послідовностей для первинного сценарію «Установка нормального режиму експлуатації».

5. Сценарії і діаграми послідовностей повідомлень допомагають виділити об'єкти і їх взаємодії в наочній області. Наприклад, в результаті аналізу первинного сценарію «Контроль параметрів РО об'єктів і споруд АЕС» і побудови відповідної діаграми послідовностей повідомлень виділені наступні об'єкти наочної області: СДК (O1), АРМ (O3), Про АРМ (O4) і так далі [18, 19].

В результаті абстрагування об'єктів, отриманих при побудові діаграм послідовностей повідомлень, отримуємо безліч класів (клас – це опис групи об'єктів із загальними властивостями, поведінкою і стосунками з іншими об'єктами) інтегрованої моделі. У міру того як додаються нові класи, їх тестове уявлення стає незручним. Діаграми класів допомагають графічно представити класи в моделі (рис. 2.3) [23, 24, 25].

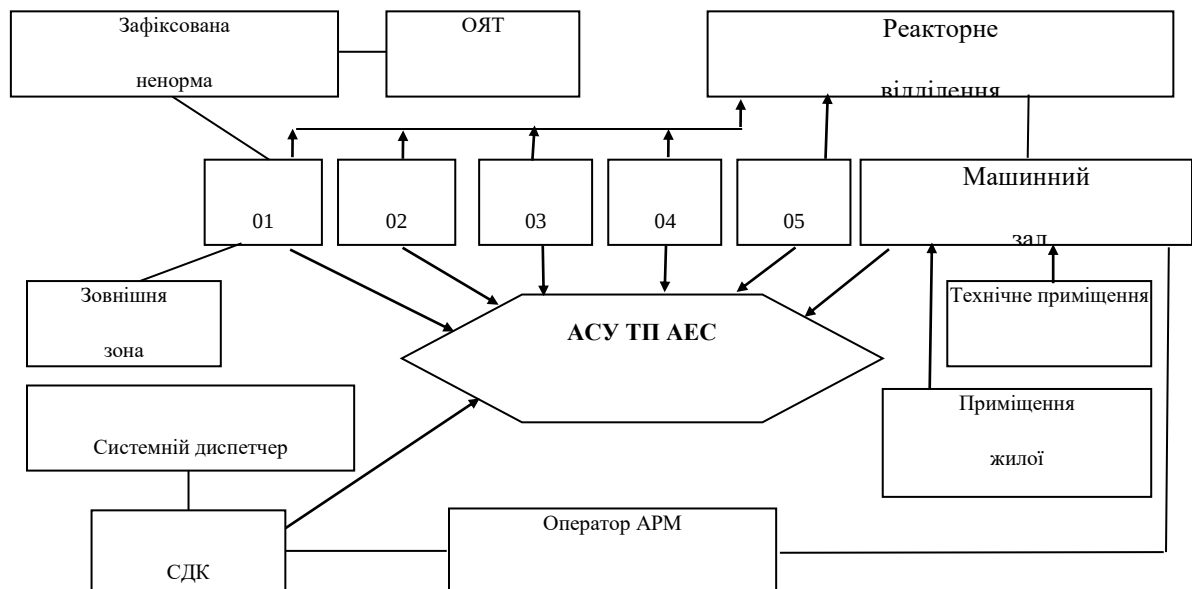


Рисунок 2.3 – Діаграма моделі класів

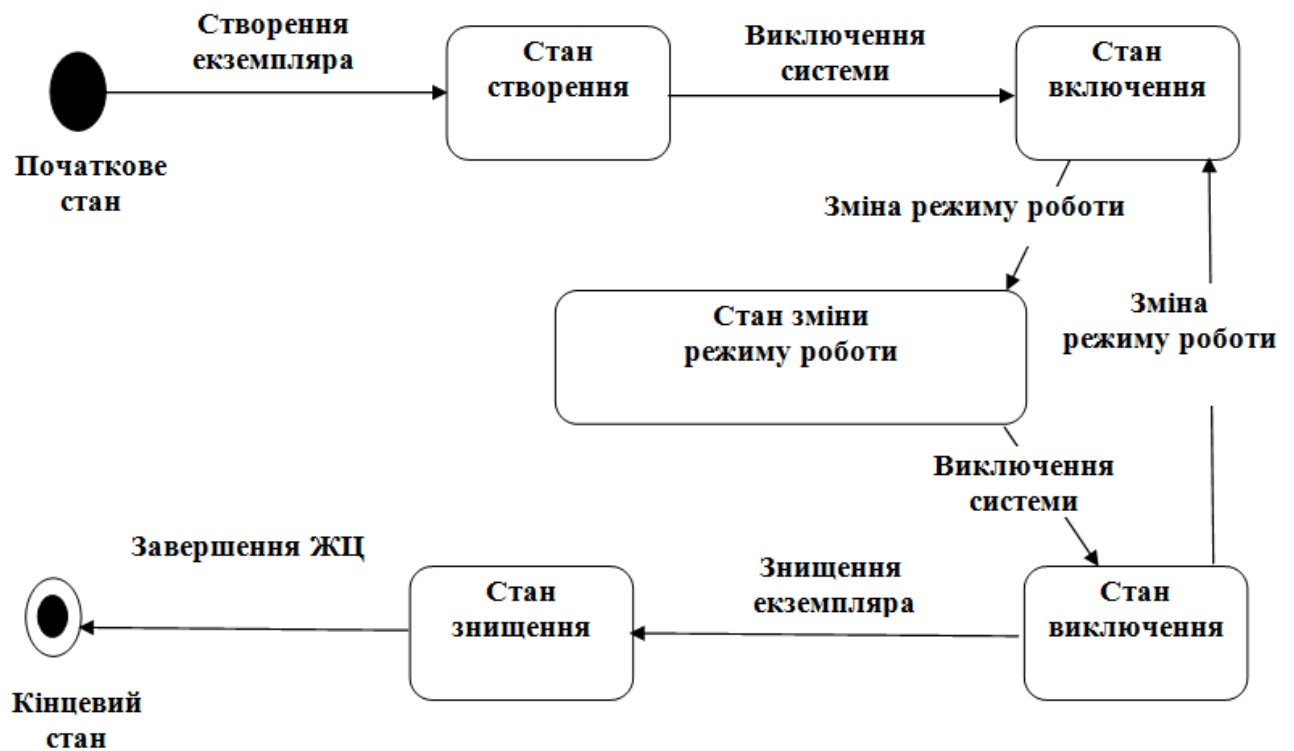


Рисунок 2.4 – Діаграма моделі класу СДК

Прецеденти і сценарії застосовуються для опису поведінки декількох елементів програмного забезпечення, тобто взаємодії об'єктів - екземплярів класу. Іноді потрібно розглянути поведінку усередині самого класу. Діаграма станів показує стани класу, події які викликають перехід з одного стану в інше, дії зміни станів, що є результатом. Так, наприклад (рис. 2.4) клас «СДК» може знаходитися в п'яти станах (включаючи початковий і кінцевий стани): стан створення, стан включення і так далі, переводиться із стану в стан шістьма подіями: створення екземпляра, включення системи і так далі, виконувати п'ять дій: створити, включити систему, змінити режим роботи і так далі [18, 19, 21].

Для опису дій (або точніше діяльності), що виконуються в заданому стані, використовуються діаграми діяльності. Діаграма діяльності дозволяє відобразити внутрішню реалізацію діяльності аж до представлення неподільних операторів. Так для класу «Система Радіаційного Контролю» діяльність «Змінити режим роботи» може бути задана наступною діаграмою (рис. 2.5).

Таким чином, на основі універсальної мови об'єктно-орієнтованого моделювання UML в Enterprise Architect v 2.50 був реалізований алгоритм функціонування системи СДК для радіаційного контролю об'єктів АЕС [21].

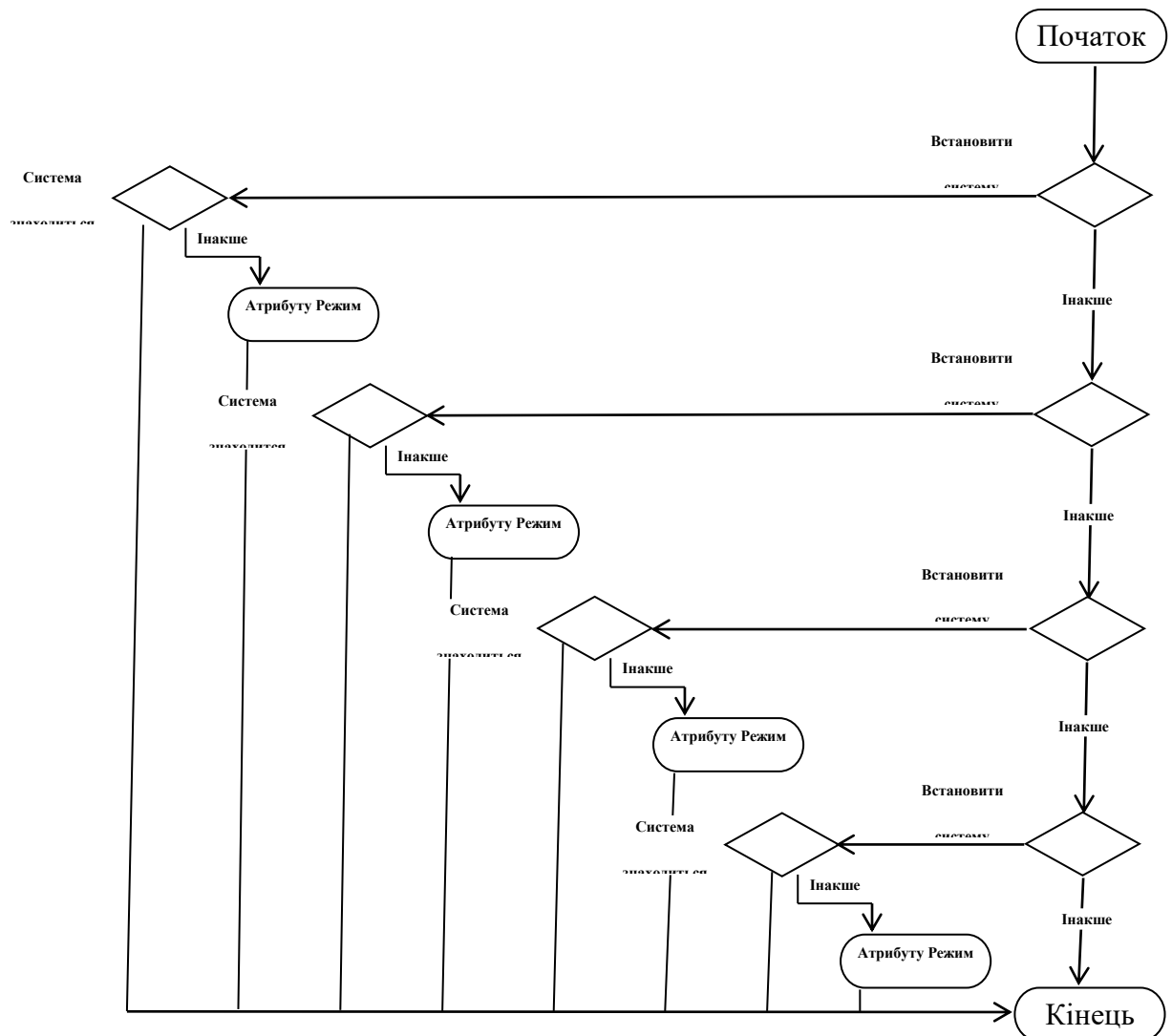


Рисунок 2.5 – Діаграма моделі діяльності зміни режиму роботи для класу СДК

2.5 Розробка засобів програмного забезпечення АСУ ТП для забезпечення безпеки АЕС

Широке застосування програмованих пристроїв (контролерів), цифрових засобів передачі інформації, розрахункових і діагностичних завдань в сучасних автоматизованих системах управління технологічними процесами на ядерно - енергетичних об'єктах АЕС привело до необхідності заміни традиційних засобів контролю і управління технологічним процесом АЕС (стрілочні прилади, самописці, світлові індикатори, ключі індивідуального управління обладнанням і тому подібне) на комп'ютеризовані системи, що використовують нову інформаційну технологію [18, 19, 21].

Нова технологія призначена в основному для побудови нового класу обчислювальних систем (ОС), що інформаційно-управляють, в складі АСУ ТП АЕС і інших складних технологічних об'єктів [2, 4, 6].

Проте застосування нових інформаційних технологій не повинне впливати на безпеку функціонування і експлуатації ядерно – енергетичних об'єктів [7, 8, 12].

Тому в даних умовах пред'являються підвищені вимоги по контролю безпеки АЕС до автоматизованих систем управління технологічними процесами АЕС [13, 14, 16].

Для вирішення цієї проблеми необхідно запроваджувати в склад АСУ ТП АЕС систему контролю безпеки атомних електростанцій (СКБ АЕС), яка повинна відповідати наступним вимогам: висока надійність і безупинна робота протягом тридцяти і більше років; гарантована затримка при передачі інформації; людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ); збереження працездатності при одиничній відмові; захисту від несанкціонованого доступу [17, 18, 20].

Неважко відмітити, що вказані вимоги носять системний характер, що їх можна задовольнити, тільки побудувавши систему, яка не тільки виконує

покладені на неї завдання по контролю і управлінню засобами безпеки, а володіє також засобами внутрішньої діагностики, пере налаштовується при відмовах, спеціалізованими засобами контролю і управління з боку експлуатуючого персоналу, власними засобами захисту обладнання і інформації [21, 22, 24].

Таким чином, система контролю безпеки (СКБ) сама стає не тільки суб'єктом управління, але і об'єктом управління і захисту АЕС.

Тому для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання [25]:

- 1) сформулювати методичні проблеми виконання імовірнісного аналізу безпеки АЕС;

- 2) сформулювати стратегію побудови імовірнісної математичної моделі АЕС і розробити методики виконання системно утворюючих завдань імовірнісного аналізу безпеки для внутрішніх подій, що ініціюють (початкових), і зовнішніх дій природного і техногенного характеру;

- 3) реалізувати розроблені методики при виконанні повномасштабного аналізу безпеки блоку АЕС, що діє, для внутрішніх подій, що ініціюють (початкових), і зовнішніх дій;

Для вирішення завдання побудови систем контролю безпеки на атомних електростанціях, що задовольняє всім необхідним вимогам, автором пропонується наступна абстрактна нова інформаційна технологія, звана обчислювальною системою контролю безпеки (ОСКБ), що далі інформаційно-управляє, АСУ ТП АЕС зображена на рис. 2.6.

Вона включає дві локальні обчислювальні мережі (ЛОМ), позначені на рис.1 як ЛОМО (основна) і ЛОМР (резервна), за допомогою яких елементи ОСКБ обмінюються інформацією між собою [1, 2, 4].

До складу входять два сервери (СО і СР), N робочих станцій (РС1 .., РСN), призначених для контролю і управління безпекою АЕС; М дубльованих шлюзових комп'ютерів (Шо1, Шр1 .., ШОМ, ШРМ), за допомогою яких ІКОС СКБ приєднується до інших підсистем АСУ ТП і

робочим станціям адміністрування програмних і технічних засобів (АТПЗ), позначеним на рис. 2.6, як РСО АТПЗ (основна) і РСР АТПЗ (резервна) [3, 5, 7].

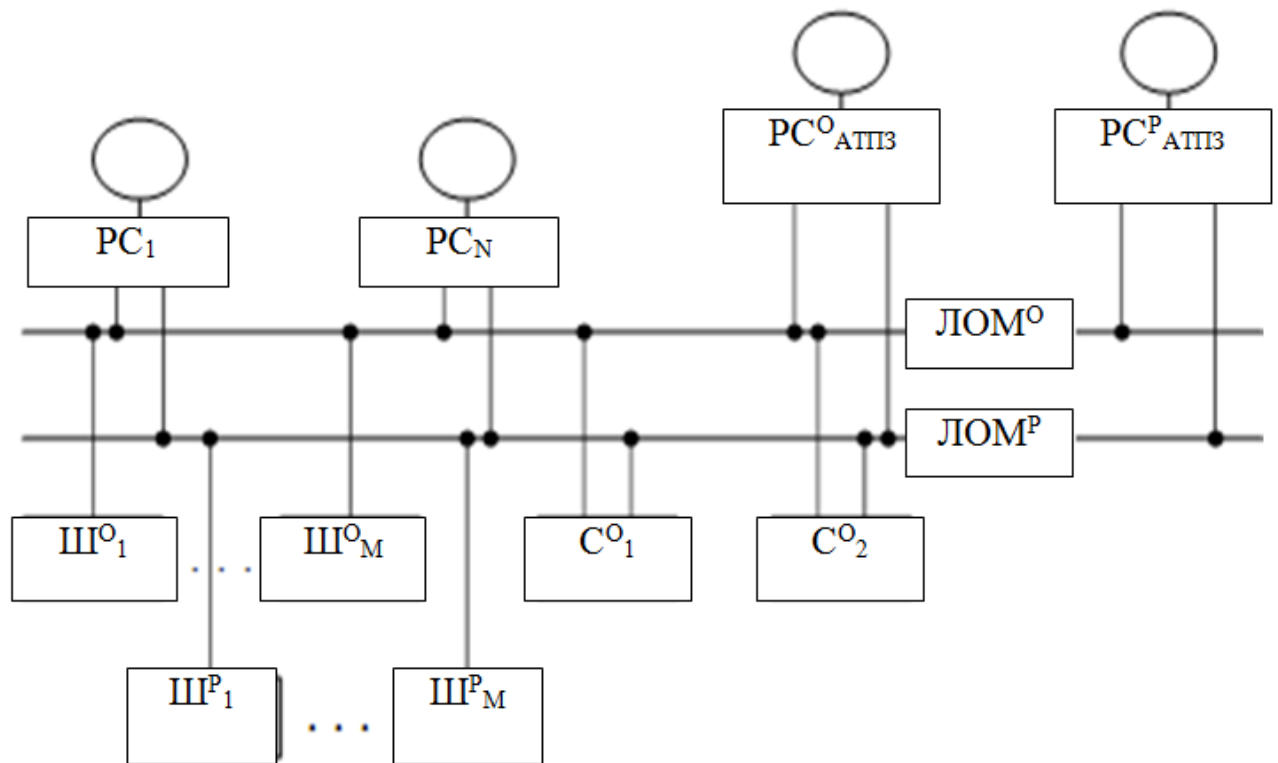


Рисунок 2.6 – Структурна схема інформаційно-керівної обчислювальної системи контролю безпеки (ІКОС СКБ) АСУ ТП АЕС

Загальний спрощений алгоритм функціонування ІКОС СКБ складається з чотирьох потоків: потоку сигналів контролю безпеки стану АЕС; потоку команд управління обладнанням АЕС; потоку сигналів діагностики ІКОС СКБ; потоку команд управління ІКОС СКБ [8, 9, 11].

Потік сигналів контролю безпеки формується в низовій автоматичі, яка в АСУ ТП АЕС розбита на підсистеми, кожна з яких пов'язана з управлінням певними технологічними підсистемами. На рис. 2.6 ці підсистеми АСУ ТП пронумеровані від 1 до М [12, 13, 15].

Структура потоку від кожної підсистеми АСУ ТП містить значення аналогових і дискретних сигналів, які циклічно передаються в шлюзові комп'ютери. З урахуванням великої кількості сигналів, ці потоки сумарно можуть складати велику величину – до декількох тисяч в секунду [14].

Функція шлюзових комп'ютерів (шлюзів) полягає в первинному стисненні цих потоків. Для цього застосовується алгоритм апертурної фільтрації. Він полягає в тому, що кожне подальше значення сигналу порівнюється з попереднім і проходить через фільтр тільки в тому випадку, якщо нове значення розходиться з попереднім більш ніж на певну величину (апертуру) [16, 17, 19].

Розрахунки і експериментальні дані показали, що первинне стиснення здатне не менше чим на 50...70% скоротити потік аналогових сигналів; у 100 разів скоротити потік дискретних сигналів, які формуються на основі даних теплотехнічного контролю; і більш ніж в мільйон разів скоротити потік сигналів діагностики обладнання АСУ ТП АЕС [20, 21, 23].

Далі стислий потік від шлюзів надходить в дубльовану пару серверів, які виконують функції архівації і сортування інформації по її призначенню.

Інформація сортується на аналогові параметри, параметри, що характеризують стан технологічного обладнання, на сигналізацію і на допоміжні інформаційні сигнали [24, 25].

Зокрема, на основі значень потрібного захисту датчиків формується одне значення аналогового параметра; на основі декількох десятків дискретних параметрів, що характеризують стан механізмів, формуються спеціальні повідомлення про стан механізму; з повного списку дискретних сигналів, що формуються алгоритмами АСУ ТП, вичленують ті, які мають статус сигналізації [1, 3, 4].

В результаті в серверах проходить значне ущільнення інформації, яка далі надходить на робочі станції.

Робочі станції (РС) відображають інформацію, яка надходить, в стислій проблемно-орієнтованій формі, яка залежить від вирішуваних операторами АЕС завдань і тієї ролі, яку вони призначають кожною з робочих станцій, кожному дисплею і кожному комп'ютерному вікну [5, 6, 8].

Таким чином, на завершальній стадії завдання стиснення інформації вирішує напівавтомат, за участю людини. Для вирішення цього завдання в

його розпорядження надаються різноманітні способи представлення інформації, серед яких виділимо наступні [2, 7]:

- функціонально – орієнтовані мнемосхеми, що містять ретельно відібрану інформацію, необхідну для виконання технологічних інструкцій;
- узагальнені мнемосхеми, що містять основні параметри АЕС, групову і узагальнену сигналізацію, за допомогою яких оператори мають можливість оцінювати загальний стан АЕС;
- протокол поточних подій, в якому представлена сигналізація та можливість селекції повідомлень по багатьом ознакам: за часом, по важливості, по обладнанню, по технічних підсистемах та ін. [2, 7].

Окрім перерахованих, людино-машинний інтерфейс включає і інші способи відображення детальної інформації: графіки, гістограми, цифрові індикатори, табло і тому подібне [18, 19, 21].

Зворотний потік команд управління обладнанням АЕС починається на робочих станціях. Потім команди надходять в сервери і далі через шлюзи передаються для виконання у відповідні підсистеми АСУ ТП АЕС [8, 9, 11].

Потік сигналів про стан типової ІКОС СКБ формується у всіх елементах, представлених на рис. 2.6.

У нього входять сигнали про стан засобів обчислювальної техніки і програмного забезпечення, зокрема: розмір вільної пам'яті, мережеве завантаження, точність синхронізації часу, сигнали про старт/зупинення програм і ін. [11, 12, 14].

Крім того, в потік входить сигналізація про несправності технічних засобів і несанкціонованих порушеннях цілісності технічних і програмних засобів. Потік поступає в пару резервованих комп'ютерів РСО АТПЗ і РСР АТПЗ, де інформація структурується і відображається для використання експлуатаційним персоналом [15, 16, 18].

Потік сигналів управління в пропонованій типовий ІКОС СКБ формується в РСО АТПЗ і РСР АТПЗ і складається з двох складових. Перша

є сигналами синхронізації єдиного часу для всіх елементів обчислювальної техніки, зображених на рис. 2.6.

При цьому використовується механізм синхронізації по протоколу NTP.

Друга складова потоку містить команди експлуатаційного персоналу по управлінню елементами ІКОС СКБ. До них, зокрема, відносяться команди на старт/зупинення програм, перемикання на роботу з основними/резервуючими елементами і ін. [18, 19, 21].

Надійність і збереження працездатності ІКОС СКБ при одиничній відмові забезпечується використанням дублювання засобів прийому і передачі інформації в суміжні системи АСУ ТП (шлюзи), дублюванням центрів обробки інформації про стан АЕС (серверів), використанням однорідної структури робочих станцій, кожна з яких здатна виконувати функції інший, а також дублюванням локальної обчислювальної мережі [22, 23, 25].

Спосіб резервування елементів ІКОС СКБ і незалежність резервуючих елементів один від одного роблять можливим виводити будь-який з резервованих елементів (шлюз, сервер, робочу станцію, локальну обчислювальну мережу) з роботи без втрати функціональності. Це дозволяє здійснювати плановий і аварійний ремонт і заміну обладнання без виводу з експлуатації [1, 3, 5].

Наявність спеціалізованих засобів контролю і управління (РСО АТПЗ, РСР АТПЗ) дає можливість вчасно, (із затримкою не більш на одну хвилину) виявляти несправності і вчасно проводити ремонт [6, 8, 10].

Це забезпечує теоретично нескінченний термін безупинної роботи системи.

Схема проходження потоків інформації в ІКОС СКБ така, що використовує або основні елементи (шлюзи, сервери), або резервні. Тому вихід з ладу одного з резервних елементів не призводить до деградації

використовуваних обчислювальних потужностей і погіршення тимчасових характеристик системи [11, 13, 15].

Вимоги до людино-машинного інтерфейсу задовольняються, по-перше, за рахунок можливості використання декількох робочих станцій одночасно, а, по-друге, за рахунок різноманіття засобів представлення інформації, налаштування яких під ситуацію і вирішувану задачу проводиться за участю оператора.

Вимоги до захисту від несанкціонованого доступу забезпечуються конструкцією технічних засобів (наявність замків з датчиками, спецпрограм стеження і охорони даних) і наявністю спеціалізованих засобів оперативного контролю (РСО АТПЗ, РСР АТПЗ, на які з мінімальною затримкою (декілька секунд) виводиться сигналізація про несанкціоновані проникнення, що дозволяє оперативно приймати необхідні заходи [16, 18, 20].

Структура СКБ є розподіленою обчислювальною системою, складеною з підсистем, кожна з яких реалізована на основі технології ІКОС.

Система контролю безпеки АСУ ТП АЕС повинна включати наступні основні функціональні підсистеми (рис. 2.7.).

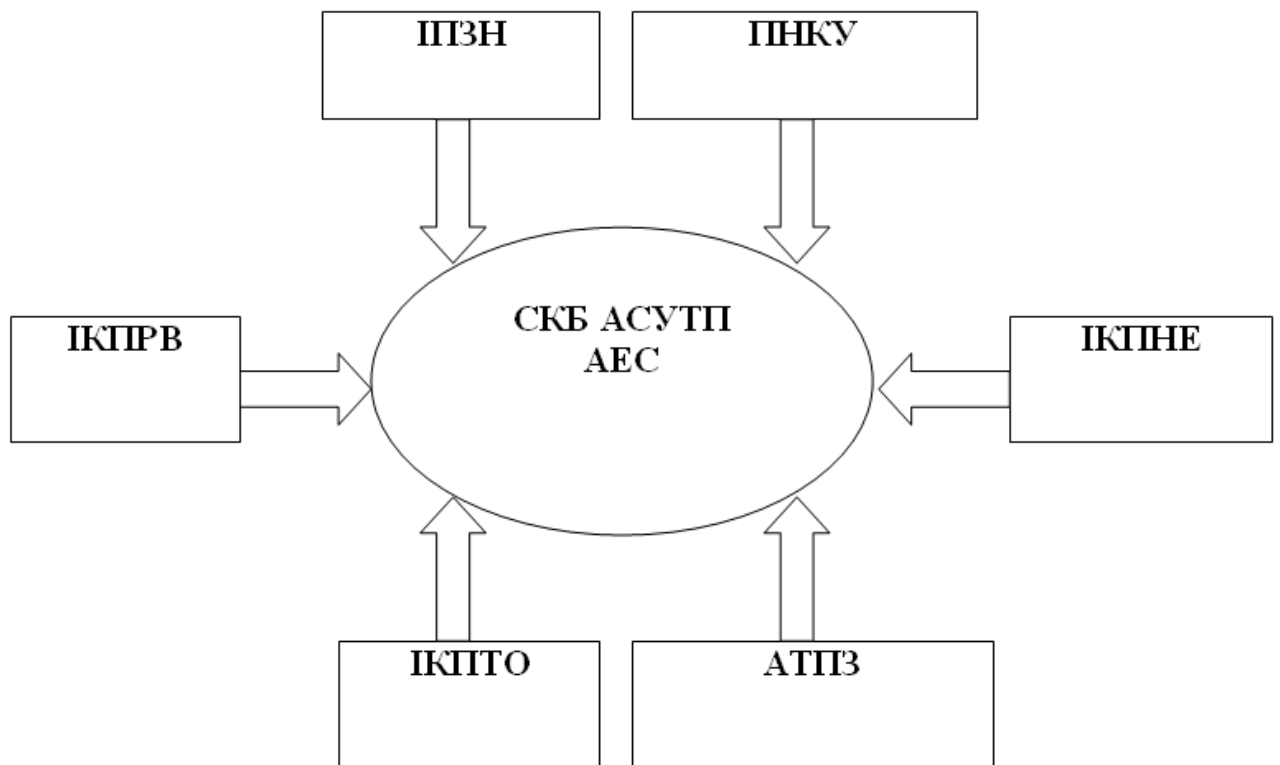


Рисунок 2.7 – Структурний зв’язок функціональних підсистем СКБ АСУТП АЕС

1. Інформаційна підсистема начальника зміни (ІПЗ) призначена для: отримання необхідної інформації начальником зміни блоку; роботи спеціально уповноваженого персоналу в аварійних режимах роботи блоку; отримання необхідної інформації оперативним персоналом зміни, що заступає на чергування [23 – 25].

2. Інформаційно-керівна підсистема реакторного відокремлення (ІКПРВ) оперативного контура управління БПУ призначена для контролю і управління технологічними системами нормальної експлуатації реакторного відокремлення. На засоби відображення даної підсистеми виводиться також інформація по системах безпеки від всіх рівнів АСУ ТП АЕС [23 – 25].

3. Інформаційно-керівна підсистема турбінного відокремлення (ІКПТВ) оперативного контура управління БПУ призначена для контролю і управління системами, що беруть участь в основному технологічному процесі вироблення електроенергії [23 – 25].

4. Інформаційно-керівна підсистема неоперативного контура управління (ПНКУ) БПУ призначена для реалізації інформаційної функції, в частині систем: радіаційного контролю; вентиляції; пожежної сигналізації і автоматики; допоміжних підсистем реакторного і турбінного відокремлення [23 – 25].

5. Інформаційно-керівна підсистема призначена для відображення стану і управління обмеженим набором параметрів і обладнання РВ і ТВ нормальній експлуатації (ІКПНЕ) в умовах, коли управління з АРМ БПУ неможливе.

6. Підсистема адміністрування технічних і програмних засобів (АТПЗ) СКБ призначена для реалізації сервісних і допоміжних функцій СКБ. Ці функції призначені для забезпечення нормальної роботи самої автоматизованої системи, швидкого виявлення несправностей в технічних і програмних засобах і їх ліквідації [23 – 25].

У складі типової СКБ АСУТП АЕС можуть застосовуватися наступні засоби контролю: основний і резервні сервери РВ, ТВ і систем неоперативного контура управління (НКУ); загально-блоковий сервер; основний і резервні комутатори ЛОМ РВ, ТВ, ЛОМ мережі НКУ; основний і резервний комутатори загально блокової ВС; РС АРМ СІКР; концентратори ЛОМ мережі РВ, вбудовані в РС; РС АРМ СІКТ; концентратори ЛОМ; принтер робочої зони (ПРЗ); основний і резервний шлюзи (ОРШ) та інші [13 ,16, 19]. Автором запропонована програмне забезпечення АЕС, яке є сукупністю програмних засобів, що забезпечують реалізацію її цілей, функцій і завдань.

До складу програмного забезпечення (ПЗ) СКБ АЕС пропонується включити наступні елементи: системне ПЗ (СПЗ); ПЗ захисту інформації від несанкціонованого доступу; прикладне ПЗ (ППЗ); тестове програмне забезпечення ТПЗ СКБ АЕС [23 – 25].

До складу пакетів СПЗ входять наступні елементи: ядро операційної системи; системні бібліотеки; системні утиліти; програми, що розширюють

функції операційних систем для забезпечення роботи в розподілених мережних структурах. Ці програми включають: служби обміну даними по протоколах TCP/IP, FTP, NFS, TELNET; програми, що реалізують графічний протокол X-Window; засоби налаштування, діагностики і управління ресурсами локальної обчислювальної мережі; програми синхронізації часу по протоколу NTP; програми діагностики ТС [1, 4, 8].

Програма програмного забезпечення (ППЗ) СКБ складається з набору комплексів програм, спільно із СПЗ виконують функції і задачі системи контролю безпеки [10, 12].

Кожен з комплексів призначений для роботи з РС або сервером певної підсистеми системи контролю безпеки. При цьому у всіх РС однієї підсистеми СКБ використовується один і той же комплекс ППЗ, аналогічно для серверів однієї підсистеми СКБ [1, 17].

Таким чином, для однієї підсистеми СКБ використовується лише два типи комплексів ППЗ: ППЗ для РС і ППЗ для серверів.

Кожним комплексом ППЗ є сукупність робочого програмного забезпечення (РПЗ) і робочої бази даних (РБД), інструментальною системою, що генерується, "Конфігуратор".

Для кожної підсистеми системи контролю безпеки РПЗ є двома універсальним субкомплексом: субкомплекс програмного забезпечення сервера (ПЗС), єдиного для всіх серверів, і субкомплекс програмного забезпечення робочої станції (ПЗРС), єдиного для всіх робочих станцій. Для обміну сигналами з суміжними підсистемами АСУ ТП використовується ППЗ, яке інтегрується до складу суміжних підсистем. У ПЗ захисту інформації від несанкціонованого доступу входить два комплекси програм: програмні агенти; програми централізованого контролю за доступом. Програмні агенти є універсальними комплексами програм, які інсталюються на всі РС і сервери. Програми централізованого контролю за доступом призначені для роботи на РС системи АТПЗ. Розбиття комплексу програм на субкомплекси і

компоненти представлені на рис. 2.8 [23 – 25]. Комплекс програм включає дві основні частини: робоче програмне забезпечення (РПЗ); Конфігуратор.

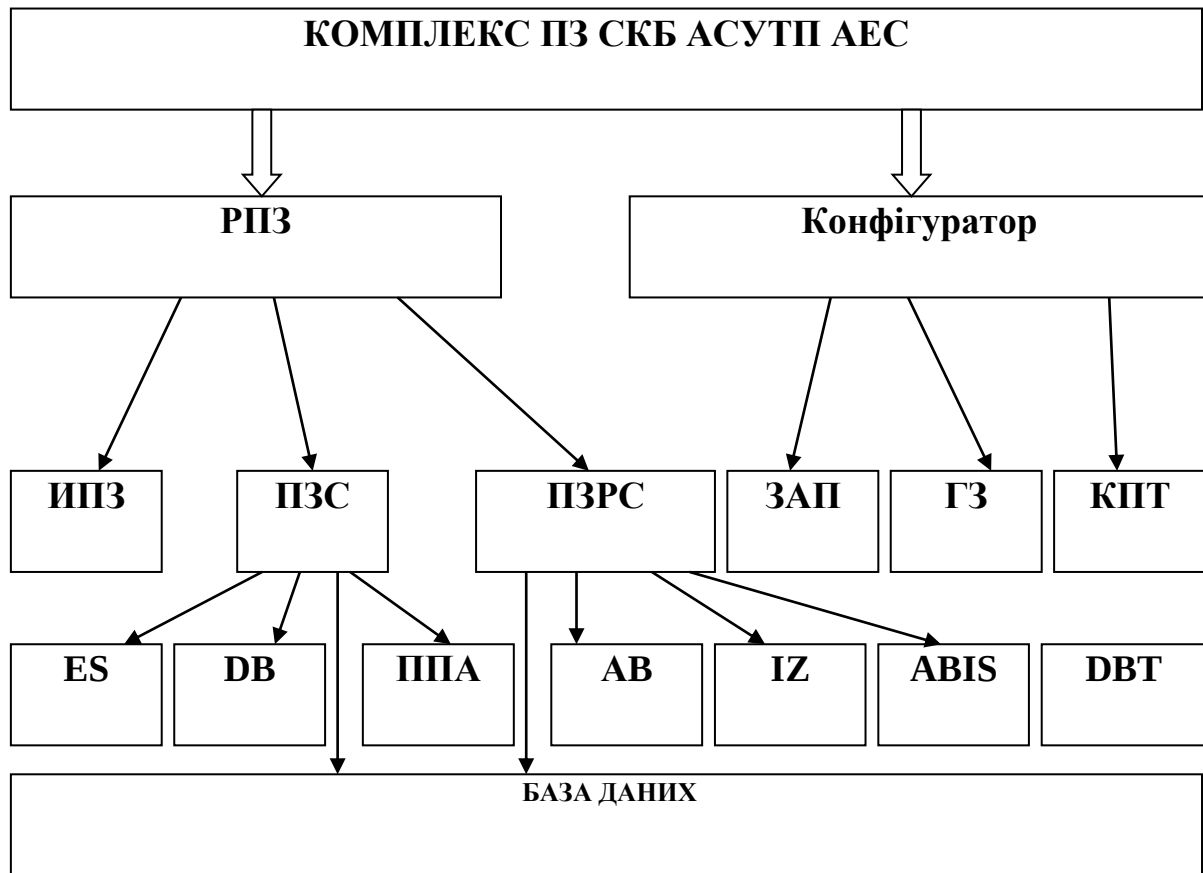


Рисунок 2.8 – Структура комплексу програм СКБ АЕС

У свою чергу, РПЗ ділиться на: програмне забезпечення сервера (ПЗС); програмне забезпечення робочої станції (ПЗРС); інтерфейсне програмне забезпечення (ИПЗ). Базовими компонентами, використовуваними в багатьох субкомплексах, може використовуватися наприклад, мова ABIS і база даних.

Програмним забезпеченням сервера (ПЗС) є комплекс програм, що включає в свій склад наступні компоненти: процес DB; процес ES; програму поглядання архівів (ППА). Окрім цього, ПЗС включає стандартний набір файлів і шаблонів. Процеси DB і ES, ППА є програмами наприклад на мові ABIS. Програмне забезпечення робочої станції (ПЗРС) є комплексом програм, що включає в свій склад дві компоненти: процес IZ; процес AB. Процес IZ є програмою на мові З, яка здійснює видачу і прийом інформації

засобами бібліотек Motif, X Windows. Процес АВ є програмою на мові ABIS [23 – 25].

Конфігуратор включає в свій склад субкомплекси: DB Tools; комплекс підготовки текстових документів (КПТД); генератор звітів (ГЗ). DB Tools є основним засобом автоматизованого проектування (ЗАП) і включає в свій склад: процес IZ (що входить також в ПЗРС); процес DBT; набір утиліт, шаблонів заготовок. Процес DBT написаний на мові ABIS і є програмований редактор робочих баз даних з графічною підтримкою. Інтерфейсне програмне забезпечення (ІПЗ) є бібліотекою програм на мові С. Програмне забезпечення, використовуючи ІПЗ в своєму складі, взаємодіє з процесом DB (одним або декількома) по двох мережних каналах: каналу передачі інформації і каналу прийому. Перший з них служить для передачі значень аналогових і дискретних сигналів, прийнятих від систем нижнього рівня АСУ ТП АЕС. Другий канал служить для прийому команд дистанційного керування. Процес DB має один канал передачі даних в процес ES і два канали з процесом АВ – прийому і передачі даних. Процес АВ пов'язаний з кожним з процесів IZ і ES двома каналами: передачі даних для відображення на дисплеї робочої станції і прийому даних про дії оператора. Програму поглядання архівів (ІПА) не має каналів зв'язку з рештою частин РПЗ, а здійснює зчитування даних з архівів, підготовлених процесом DB. Резервні канали, як і основні, відкриваються при запуску РПЗ і далі підтримуються в режимі гарячого резерву. Передача інформації по ним здійснюється у разі відмови основних каналів [18, 20, 21].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2:

Запропонована система контролю радіаційної обстановки території АЕС дозволяє визначати динаміку змін характеристик радіаційних параметрів.

Програмно-апаратні рішення, використані при розробці технічних засобів контролю радіаційної обстановки і комплексів на їх основі, дозволяють здійснити інтеграцію комплексів будь-якої конфігурації і практично будь-якої територіальної освіти, зокрема промплощадки і санітарно-захисної зони АЕС.

Крім того, на основі універсальної мови об'єктно-орієнтованого моделювання UML в Enterprise Architect v 2.50 був реалізований алгоритм функціонування системи СДК для радіаційного контролю об'єктів АЕС.

Крім того, автором запропоновані і обґрунтовані основні вимоги до функціональної і структурної схеми системи контролю безпеки ядерно-енергетичних об'єктів, а також запропоновано застосування програмного забезпечення системи контролю безпеки атомної електростанції у вигляді сукупності програмних засобів, що забезпечують реалізацію її цілей, функцій і завдань.

ВИСНОВКИ

Аналіз сучасного стану атомної енергетики показав, що розвиток атомної енергетики останніми роками істотно сповільнився. Частково це уповільнення темпів зростання пов'язане із загальною тенденцією до стабілізації енергопотреб та успіхами енергозберігаючих технологій. Головною причиною є широке поширення переконань у "шкідливості" атомної енергетики та сумніви щодо можливості досягнення прийнятного рівня безпеки АЕС на базі сучасних технологій.

Українські АЕС мають кількість аварійних зупинок енергоблоків на рівні світових показників. Проблеми безпеки атомної енергетики України характеризуються наступними чинниками: 7 блоків АЕС з 14 експлуатуються більше 15 років; практично всі блоки АЕС потребують реконструкції; необхідно збільшувати об'єми і якість технічного обслуговування, ремонтів і діагностики устаткування; існує потреба у модернізації існуючих і створенні додаткових систем безпеки.

Аварія на 4-му блоці Чорнобильської АЕС істотно вплинула на темпи розвитку атомної енергетики в Україні, підсиливши сумніви щодо її безпеки. Сучасні фрагменти наукового забезпечення не відповідають вимогам сьогодення, тому необхідне створення галузевої науки, яка б охоплювала проблеми міцності, діагностування, розрахункові коди, водну хімію, технології поводження з радіоактивними відходами та відпрацьованим ядерним паливом, сертифікацію устаткування, виведення з експлуатації тощо.

Проведено аналіз стратегічних завдань ядерної енергетики України, які включають: продовження терміну служби енергоблоків; добудову блоків високого і середнього ступеня готовності; закриття Чорнобильської АЕС із зняттям з експлуатації блоків №1, 2 і 3; перетворення об'єкту "Укриття" в екологічно безпечну систему; створення АЕС на базі реакторів нового

покоління; забезпечення наукового супроводу та вирішення фінансових проблем.

Поняття "безпека АЕС" тісно пов'язане з різними видами збитків і можливими шкідливими наслідками аварій на АЕС. Вимоги для забезпечення безпеки АЕС включають: попередження можливості виникнення небезпечних станів або режимів на етапах проектування і спорудження; запобігання розвитку небезпечних станів і режимів під час експлуатації; просторово-часове обмеження небезпечних процесів і їх шкідливих дій при аварійних ситуаціях; локалізацію шкідливих речовин, котрі виходять за встановлені межі небезпечних зон у разі аварії; забезпечення умов для приведення установки у безпечний стан після закінчення експлуатаційних кампаній або аварій, придатний для перезавантаження палива, ремонтів, тривалого зберігання її частин і елементів, консервації або зняття з експлуатації.

Запропонована система контролю радіаційної обстановки території АЕС дозволяє визначати динаміку змін характеристик радіаційних параметрів. Програмно-апаратні рішення, використані при розробці технічних засобів контролю радіаційної обстановки і комплексів на їх основі, дозволяють здійснити інтеграцію комплексів будь-якої конфігурації та територіального утворення, включаючи проммайданчик і санітарно-захисну зону АЕС. На основі універсальної мови об'єктно-орієнтованого моделювання був реалізований алгоритм функціонування системи для радіаційного контролю об'єктів АЕС.

У роботі запропоновані і обґрунтовані основні вимоги до функціональної і структурної схеми системи контролю безпеки ядерно-енергетичних об'єктів, а також запропоновано застосування програмного забезпечення системи контролю безпеки атомної електростанції у вигляді сукупності програмних засобів, що забезпечують реалізацію її цілей, функцій і завдань.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Коваленко, О., Смірнов, С., Буравченко, К., & Якименко, Н. (2024). Дослідження інформаційного забезпечення та технологічних регламентів процесів керування критичною інфраструктурою енергоблоку АЕС з реактором типу ВВЕР-1000. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 1(25), 253-278.
2. Попов, О. О. (2013). Підходи до організації та ведення комплексного радіоекологічного моніторингу наземних екосистем у районах розташування АЕС. Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. ГЄ Пухова, (68), 11-18.
3. Панін, В., Зубак, В., Белоусов, В., & Кіпріанов, І. (2023). Технологічні основи автоматизованого керування властивостями ядерного палива. Grail of Science, (32), 158-165.
4. Батюк, С. Г. Імітаційне моделювання і цифровий твінінг енергетичних кібер-фізичних систем (кіберенергетичних систем). Досягнення України та країн ЄС у сфері інновацій і винахідництва в галузі техніки: колективна монографія, 44-109.
5. Погосов, О. Ю., Дерев'янко, О. В. (2017). Фізичний захист АЕС та інформаційна безпека як необхідні умови зниження ризиків ядерних і радіаційних аварій. Ядерна та радіаційна безпека, (3), 50-55.
6. Бірюков, Д. С., Бурлаков, В. М. (2012). Влияние современных кибер-угроз на эффективность систем физической защиты критически важных объектов и инфраструктуры. Адаптивні системи автоматичного управління, (21), 9-17.
7. Борона, А. М. (2014). Аналіз оптимального динамічного управління процесом розробки керуючих програм. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2014): тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції, Чернігів, 19–21 травня, 247-

8. Тимченко, А. А., Савченко, Є. А., Савченко, М. Ю. Системний аналіз життєвого циклу комплексу технічних засобів атомних електростанцій. Друкується за Рішенням виконавчого комітету Славутицької міської ради Київської області від 24.01. 2019 № 22 «Про проведення IV Міжнародної конференції INUDECО 19»., 240.

9. Hulak, H., Skiter, I., Hulak, Y. (2021). Методологічні засади створення та функціонування центру кібербезпеки інформаційної інфраструктури об'єктів ядерної енергетики. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 4(12), 172-186.

10. Яцишин, А. В., Яцишин, А. В., Куцан, Ю. Г., Гурєєв, В. О. (2020). Віртуальний науково-навчальний центр для підготовки оперативно-диспетчерського персоналу в енергетиці України. Інформаційні технології і засоби навчання, 5(79), 90-108.

11. Черната, Г. С. (2021). Напрями підвищення ефективності використання персоналу підприємства ВП «Хмельницька АЕС».

12. Книш, Н. О. (2020). Удосконалення роботи системи автоматизації деаератора турбінного відділення атомного енергоблоку в умовах ВП «Запорізька АЕС».

13. Batiuk, S. G. (2022). Simulation modeling and digital twinning of energy cyber-physical systems (cyber-energy systems). Publishing House “Baltija Publishing”.

14. Pranuza, Y. Capacity to build artificial intelligence systems for nuclear energy security and sustainability: Experience of Belarus. In: IFIP International Workshop on Artificial Intelligence for Knowledge Management. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 128-140.

15. Popov, O., Iatsyshyn, A., Sokolov, D., Dement, M., Neklonskyi, I., & Yelizarov, A. (2021). Application of virtual and augmented reality at nuclear power plants. In Systems, decision and control in energy II (pp. 243-260). Cham: Springer International Publishing.

16. Hashemian, H. M. (2011). Nuclear power plant instrumentation and control. *Nuclear Power–Control, Reliability and Human Factors*, InTech, 49-66.
17. Vataman, V., Petik, T., Beglov, K. (2022). Mathematical model and method for automated power control of a nuclear power plant. *Elektronnoe Modelirovanie*, 44(4).
18. Schmitt, K. (2012). Automations influence on nuclear power plants: a look at three accidents and how automation played a role. *Work*, 41(Supplement 1), 4545-4551.
19. Skjerve, A. B. M., Skraaning Jr, G. (2004). The quality of human-automation cooperation in human-system interface for nuclear power plants. *International journal of human-computer studies*, 61(5), 649-677.
20. Kitamura, M., Fujita, Y., Yoshikawa, H. (2005). Review of international standards related to the design for control rooms on nuclear power plants. *Journal of nuclear science and technology*, 42(4), 406-417.
21. Alberti, A. L., Agarwal, V., Gutowska, I., Palmer, C. J., Oliveira, C. R. (2023). Automation levels for nuclear reactor operations: A revised perspective. *Progress in Nuclear Energy*, 157, 104559.
22. Pihlanko, P., Sierla, S., Thramboulidis, K., & Viitasalo, M. (2013, September). An industrial evaluation of SysML: The case of a nuclear automation modernization project. In *2013 IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)* (pp. 1-8).
23. Denisova, L. G., Khrennikov, N. N. (2014). Automatic chemical monitoring in the composition of functions performed by the unit level control system in the new projects of nuclear power plant units. *Thermal Engineering*, 61(8), 566-570.
24. Aizatulin, A. I. (2007). Development of software for simulating and designing algorithms for automatic systems for controlling technological processes on the basis of data on the technological systems. *Atomic Energy*, 102(5), 350-352.
25. Nagatani, K., Kiribayashi, S., Okada, Y., Otake, K., Yoshida, K., Tadokoro, S., Kawatsuma, S. (2013). Emergency response to the nuclear accident

at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants using mobile rescue robots. Journal of Field Robotics, 30(1), 44-63.,

26. Ramezani, I., Moshkbar-Bakhshayesh, K., Vosoughi, N., Ghofrani, M. B. (2022). Applications of Soft Computing in nuclear power plants: A review. Progress in Nuclear Energy, 149, 104253.

27. Ватаман, В. В., Петік, Т. В., Беглов, К. В. (2023). Analysis of models of an automatic power control system for a pressurized water reactor in dynamic mode with a change in the static control program. Праці Одеського політехнічного університету, (1 (67)), 60-72.

28. Qing, T., Liu, Z., Tang, Y., Hu, H., Zhang, L., Chen, S. (2021). Effects of Automation for Emergency Operating Procedures on Human Performance in a Nuclear Power Plant. Health physics, 121(3), 261-270.

29. Цисельська, Т. О., Ковтун, А. В. (2015). An automated boron management system for WWER-1000 nuclear reactors. Праці Одеського політехнічного університету, (1 (45)), 51-57.

30. Korobkin, V. V., Povarov, V. P. (2017). New generation refueling machine information and control system. Nuclear Energy and Technology, 3(4), 302-306.