

Корисна модель належить до галузі обчислювальної техніки та комп'ютерних систем керування складними розподіленими об'єктами, зокрема комп'ютерних систем і мереж, призначених для збору, передачі та оброблення інформації від малих модульних реакторів та забезпечення їх безпеки.

Відома система (Digital Instrumentation and Control Systems for New and Existing Research Reactors, IAEA Nuclear Energy Series No. NR-G-5.1, опубл. 2021, <https://www.iaea.org/publications/13565>), яка містить блочні щити управління (Control Rooms), систему аварійного захисту (RPS), систему керування та моніторингу (RCMS), систему поставарійного моніторингу (PAM), нуклеонічну систему (NIS), систему радіаційного моніторингу (RMS), системи та технічні засоби керування (Process instrumentation, process systems), засоби іррадіації та експериментальні засоби (irradiation and experimental facilities), пули реакторів (reactor pools) та допоміжні системи (auxiliary systems).

Основними недоліками цієї системи є відсутність високорівневого резервування ключових підсистем, що негативно впливає на показники надійності та безпеки.

Найбільш близьким аналогом до системи є система керування АЕС (control room for nuclear power plant, Патент США US 2014/0133618 A1, МПК G21D 3/00, (2006.01); заявл. 11.04.2013; опублікована 15.05.2014), яка містить головний кризовий центр ГКЦ (PML), системи центрів експлуатації та управління СЦЕУ (PCL) з блочним щитом управління БІДУ (CCL), системами безпеки СБ (PPL) та інформаційно-керуючими системами ІКС, системами аварійного моніторингу САМ, системи екологічного і радіаційного контролю СКР (Plant common systems) для кожного малого модульного реактору (SMR). ГКЦ зв'язаний входами з СЦЕУ та БЩУ; БЩУ зв'язаний входами з СЦЕУ та вхід-виходами з ІКС, зв'язаними вхід-виходами з системами аварійного моніторингу САМ; СЦЕУ зв'язані входами з СБ.

Основними недоліками цієї системи є низька надійність та безпечність у разі відмови блочного щита управління CCL, а також недостатні повнота та достовірність контролю і моніторингу внаслідок обмеженого обсягу інформації про стан об'єктів керування, що збирається відповідними засобами, відмова яких призведе до її втрати. Відмова системи за функцією безпеки відбувається у разі відмови ключових систем ГКЦ, СБ, САМ, СКР.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищити надійність та безпеку цифрової інфраструктури групи малих модульних реакторів.

Поставлена задача вирішується тим, що в цифровій інфраструктурі групи малих модульних реакторів, що містить головний кризовий центр, зв'язаний входом з блочним щитом управління системи центрів експлуатації та управління, для кожного малого модульного реактора містить системи екологічного і радіаційного контролю, системи безпеки та інформаційно-керуючі системи, зв'язані входами-виходами з блочним щитом управління та системами аварійного моніторингу, згідно з корисною моделлю, головний кризовий центр додатково зв'язаний виходом з блочним щитом управління, входами-виходами з системами екологічного і радіаційного контролю, інформаційно-керуючі системи зв'язані входами-виходами з системами безпеки, містить центр керування малими модульними реакторами енергомережевої системи, який своїми входами-виходами зв'язаний з головним кризовим центром та блочним щитом управління, допоміжний кризовий центр, який своїми входами-виходами зв'язаний з головним кризовим центром, входами зв'язану з системами аварійного моніторингу та системами екологічного і радіаційного контролю систему мобільного моніторингу, яка складається з центру керування мобільним моніторингом та щонайменше двох безпілотних літальних апаратів з вбудованими системами керування, що зв'язані входами з допоміжним кризовим центром та головним кризовим центром, зв'язаним входами-виходами з системами аварійного моніторингу та центром керування мобільним моніторингом, який з'єднаний входами-виходами з вбудованими системами керування та допоміжним кризовим центром, при цьому головний кризовий центр зв'язаний входами-виходами із системами вищого рівня, а допоміжний кризовий центр зв'язаний входами-виходами із зовнішнім експертним середовищем.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

На фіг. 1 показана запропонована цифрова інфраструктура групи малих модульних реакторів.

На фіг. 2 наведена спрощена структурна схема надійності функції безпеки цифрової інфраструктури групи ММР.

На фіг. 3 наведена спрощена структурна схема надійності функції безпеки аналога.

У таблиці 1 наведено значення ймовірностей безвідмовної роботи кожного зі складових, наведених на фіг. 1 та фіг. 2. Прийнято припущення, що ймовірність безвідмовної роботи складових цифрової інфраструктури ММР не гірше, ніж у найближчого аналога.

На схемах використано наступні позначки: 1 - енергомережева система ЕМС, 2 - головний кризовий центр ГКЦ, 3 - допоміжний кризовий центр ДКЦ, 4 - блочний щит управління БЩУ, 5 - інформаційно-керуючі системи ІКС, 6 - системи аварійного моніторингу САМ, 7 - система екологічного і радіаційного контролю СКР, 8 - центр керування мобільним моніторингом ЦКММ, 9 - безпілотні літальні апарати БПЛА, 10 - вбудовані системи керування БПЛА СКБ, 11 - центр керування мережею малих модульних реакторів ЦКМР, 12 - система мобільного моніторингу СММБ, 13 - система центрів експлуатації та управління СЦЕУ, 14 - системи безпеки СБ, I-XI - зв'язки елементів інфраструктури.

Цифрова інфраструктура групи малих модульних реакторів містить головний кризовий центр ГКЦ 2 та допоміжний кризовий центр ДКЦ 3, з'єднані між собою входами-виходами (VI).

Головний кризовий центр ГКЦ 2 входами-виходами з'єднаний з блочним щитом управління БЩУ 4 системи центрів експлуатації та управління СЦЕУ 13, входами-виходами (II) з'єднаний з центром керування мережею малих модульних реакторів ЦКМР 11 енергомережевої системи ЕМС 1 та входами-виходами (III) з системами екологічного і радіаційного контролю СКР 7. Енергомережева система ЕМС 1 має зв'язки (IX) з малими модульними реакторами та зовнішньою енергосистемою.

Блочний щит управління БЩУ 4 входами-виходами (I) зв'язаний з ЦКМР 11. Також БЩУ 4 входами-виходами зв'язаний з інформаційно-керуючими системами ІКС 5 кожного малого модульного реактора ММР. ІКС 5 входами-виходами зв'язані з системами аварійного моніторингу САМ 6 та системами безпеки СБ 14, які входами-виходами зв'язані безпосередньо з малими модульними реакторами ММР. Системи аварійного моніторингу САМ 6 виходами (III) з'єднані з входом ГКЦ 2.

Виходи САМ 6 та СКР 7 з'єднані з входами системи мобільного моніторингу СММБ 12. СММБ 12 містить центр керування мобільним моніторингом ЦКММ 8, 1...п безпілотних літальних апаратів БПЛА 9 з вбудованими системами керування БПЛА СКБ 10.

ЦКММ 8 входами-виходами (X) з'єднаний з ГКЦ 2 та входами-виходами (VII) -з СКБ 10. ЦКММ 8 та СКБ 10 виходами (IV) зв'язані з допоміжним кризовим центром ДКЦ 3. Також СКБ 10 виходами (V) з'єднані з входом ГКЦ 2.

ГКЦ 2 додатково зв'язаний входами-виходами (XI) з системами вищого рівня, а ДКЦ 3 додатково зв'язаний входами-виходами (VIII) з експертним середовищем.

Цифрова інфраструктура групи ММР працює в штатному режимі функціонування, режимах передаварійного і післяаварійного станів.

У штатному режимі керування відбувається з центру керування мережею малих модульних реакторів ЦКМР 11 енергомережевої системи ЕМС 1 (зв'язки II) або безпосередньо з блочного щита управління БЩУ 4 системи центрів експлуатації та управління СЦЕУ 13 через формування команд інформаційно-керуючих систем ІКС 5 для кожного малого модульного реактора незалежно.

Системи безпеки СБ 14 здійснюють контроль безпекових параметрів в процесі управління і в разі виникнення передаварійної ситуації можуть переводити реактор в захищений стан.

Системи екологічного і радіаційного контролю СКР 7 забезпечують моніторинг і вимірювання рівня радіації та інших параметрів в зоні, підлеглий до ММР і передають цю інформацію в головний кризовий центр ГКЦ 2 для аналізу і прийняття рішень. Ця інформація передається відповідним чином в систему мобільного моніторингу СММБ 12.

Стационарні системи аварійного моніторингу САМ 6 задіюються в разі виникнення аварії на ММР для оперативного контролю ситуації в зоні реактору.

Крім того, здійснюється обмін інформацією між блочним щитом управління БЩУ 4, головним кризовим центром ГКЦ 2 і центром керування мережею малих модульних реакторів ЦКМР 11.

Система моніторингу на базі БПЛА СММБ 12 використовується для отримання інформації з радіаційного контролю навколишнього середовища, а також давачів аварійного моніторингу, резервуючи функції систем САМ 6 і СКР 7. Ця інформація передається також в повному або обмеженому обсягах в допоміжний кризовий центр ДКЦ 3 для накопичення і підтримки прийняття рішень в аварійних режимах. Кількість БПЛА 9 т визначається залежно від просторового розміщення, особливостей конструкцій ММР, забезпечувальної інфраструктури та вимог до оперативності та повноти контролю та моніторингу.

У післяаварійному або передаварійному режимах керування може здійснюватися з головного кризового центру ГКЦ 2, що отримує інформацію від систем аварійного моніторингу САМ 6, систем екологічного і радіаційного контролю СКР 7.

Головний кризовий центр ГКЦ 2 в цих режимах обмінюється інформацією з допоміжним кризовим центром ДКЦ 3, в який також передається інформація від підсистем системи мобільного моніторингу СММБ 12, зокрема, центру керування мобільним моніторингом ЦКММ 8 і безпосередньо від БПЛА 9, які можуть здійснювати відеогляд та вимірювання параметрів навколо групи малих модульних реакторів ММР. Системи керування БПЛА СКБ 10 керують польотом апаратів, обмінюються інформацією з центром керування мобільним моніторингом ЦКММ 8 та передають інформацію в головний 2 і допоміжний 3 кризові центри про поточні результати моніторингу і працездатність БПЛА 9.

Таким чином, наявність резервних систем цифрової інфраструктури, а саме ДКЦ 3, а також мобільної системи моніторингу, яка складається з ЦКММ 8, БПЛА 9 з СКБ 10 дозволяє зберігати працездатність при відмові систем ГКЦ 2 та підсистем СЦЕУ 13 та отримання інформації, важливої для аналізу і прийняття рішень у перед і після аварійних режимах.

Підвищення надійності забезпечується завдяки впровадженню допоміжного кризового центру ДКЦ 3, призначеного для формування даних для головного кризового центру, накопичення та оброблення зібраних великих даних.

ДКЦ 3 може бути розгорнутий як віртуальний центр з використанням приватної захищеної хмарної

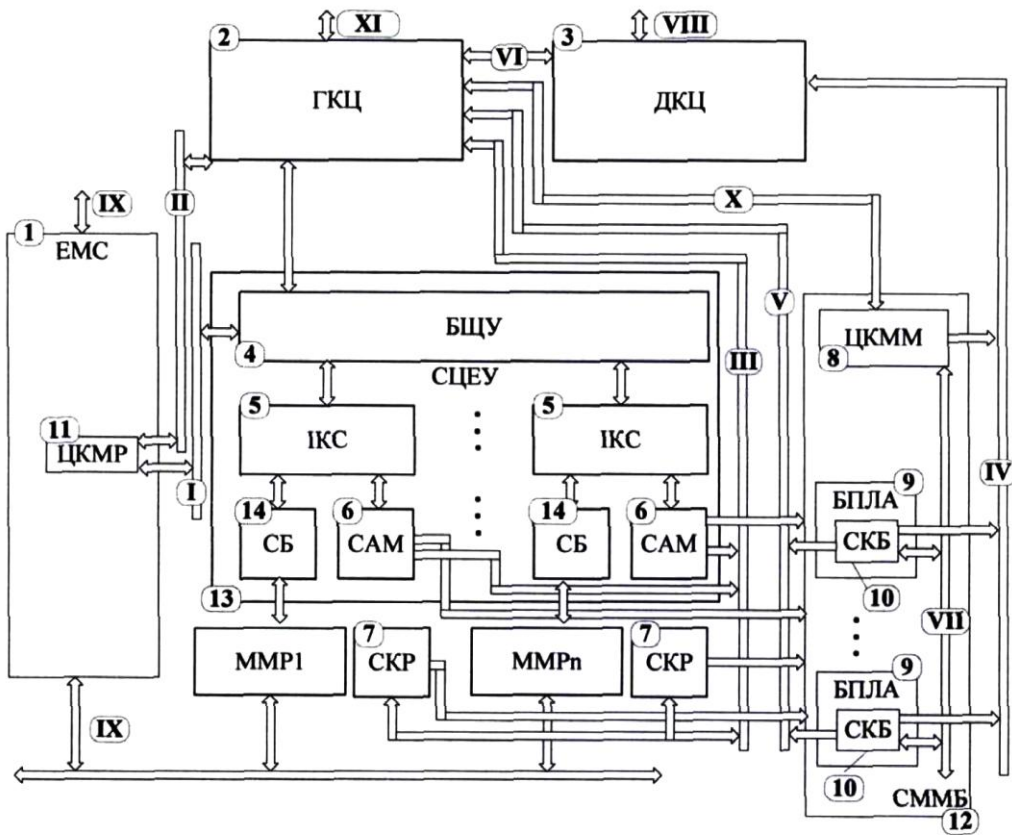
інфраструктури, до якої можуть мати обмежений доступ зовнішні експерти, що забезпечить не тільки підвищення надійності, але й якість управлінських рішень. Крім того, завдяки проведенню зовнішнього моніторингу, контролю фізичної безпеки, а також технічного інспектування СММБ 12 забезпечується динамічне резервування систем аварійного моніторингу СКР 6 і систем екологічного і радіаційного контролю СКР 7.

Таблиця

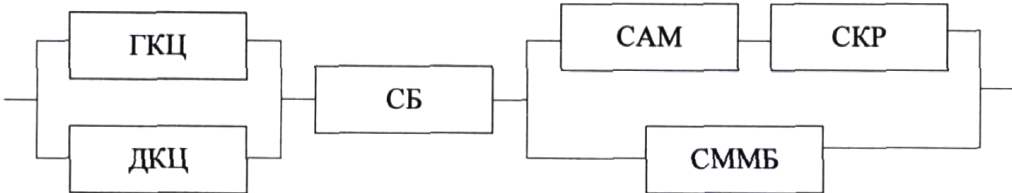
Ймовірності безвідмовної роботи

$P_{ГКЦ}$	$P_{ДКЦ}$	$P_{СБ}$	$P_{САМ}$	$P_{СКР}$	$P_{СММБ}$
0.99	0.99	0.999	0.995	0.995	0.96

Розрахунок показників для вихідних даних, наведених у таблиці, показує, що запропонована система забезпечує зменшення ймовірності відмови на майже на 93 % для наведених значень вихідних параметрів з урахуванням того, що ймовірностями відмови засобів перемикання резервних каналів кризових центрів і системи СММБ можна нехтувати у порівнянні зі системами, що резервуються.



Фиг. 1



Фиг. 2



Fig. 3