



DOI 10.28925/2663-4023.2025.30.984

УДК 004.4

Вінтенко Борис Юрійович

аспірант кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії
Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна
провідний інженер-програміст
КБ АСУ ТП ПАТ “Науково-виробниче підприємство “Радій”, Кропивницький, Україна
ORCID: 0009-0008-3748-0374
boris.vintenko@gmail.com

Миронець Ірина Валеріївна

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії
Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна
ORCID: 0000-0003-2007-9943
i.myronets@chdtu.edu.ua

Смірнов Олексій Анатолійович

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
ORCID: 0000-0001-9543-874X
dr.smirnovoa@gmail.com

Коваленко Олександр Володимирович

доктор технічних наук, професор, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
ORCID: 0000-0001-9297-0650
dr.kovalenkoov@gmail.com

Усік Павло Сергійович

доктор філософії (PhD), старший викладач кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення,
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
ORCID: 0000-0002-3268-342X
usikps@kntu.kr.ua

Буравченко Костянтин Олегович

кандидат технічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
ORCID: 0000-0001-6195-7533
buravchenkok@gmail.com

Лисенко Ірина Анатоліївна

кандидат технічних наук, старший викладач кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення,
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
ORCID: 0000-0003-4394-4960
mim_max@i.ua

ЛОГІКО-СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ КОМП'ЮТЕРНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ПРОЦЕДУРИ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛУ АЕС

Анотація. У даній статті розроблена логіко-структурна модель комп'ютерно-орієнтованої процедури нормальної експлуатації та ліквідації порушень для системи підтримки оперативного персоналу АЕС. Метою даного дослідження є створення моделі комп'ютерно-орієнтованої процедури, структури даних якої будуть відповідати технологічним регламентам і інструкціям оперативного персоналу АЕС та містити інформацію про зв'язок станів й кроків процедур. Об'єктом дослідження є процес формування комп'ютерно-орієнтованих процедур керування енергоблоком АЕС. Предметом дослідження є логіко-структурні моделі комп'ютерно-орієнтованих процедур та методи ідентифікації станів та кроків виконання



процедур, що засновані на продукційних правилах. У даному дослідженні були розв'язані наступні завдання: розроблена структура даних моделі комп'ютерно-орієнтованої процедури, що відповідає актуальним регламентам та інструкціям; створена логіко-структурна модель комп'ютерно-орієнтованої процедури, що буде використовуватися для створення систем підтримки оперативного персоналу АЕС; розроблено метод ідентифікації умов входу в процедуру та виконання її кроків. Модель розроблена для вирішення задачі підтримки актуальності, ранньої ідентифікації станів енергоблоку та його обладнання, забезпечення можливості отримання інформації про стан технологічних параметрів з необхідним рівнем надійності та достовірності. Запропонована модель може бути використана для створення систем підтримки оперативного персоналу, що керує складними технологічними об'єктами з використанням визначених процедур та інструкцій.

Ключові слова: безпека критичної інфраструктури, атомні електростанції; інформаційно-керуючі системи; програмно-технічні комплекси; комп'ютерно-орієнтована процедура; інформаційна модель; системи підтримки оперативного персоналу; енергетика, комп'ютерна інженерія, комп'ютерні науки

1. ВСТУП

1.1 Постановка завдання дослідження

Атомні електростанції є великими високотехнологічними підприємствами, що містять велику кількість обладнання, складних процесів перетворення енергії та інформаційно-керуючих систем (ІКС). Керування енергоблоками АЕС є складним процесом, метою якого є виробництво електроенергії згідно встановленого навантаження з забезпеченням ядерної та радіаційної безпеки.

Основний оперативний персонал (ОП), що керує енергоблоком АЕС, знаходиться на блочному щиті керування (БЩУ). Для керування енергоблоком ОП використовує інформаційну модель, до складу якої входять прилади, індикатори, табло, монітори та ключі керування, які знаходяться на БЩУ. Керування здійснюється згідно з технологічними регламентами та інструкціями, виконання вимог яких є обов'язковим для ОП. Дані документи містять інформацію про межі безпечної експлуатації енергоблоку, вимоги до безпеки та послідовність дій при здійсненні перехідних процесів, а також опис необхідних дій ОП при виникненні порушень нормальної експлуатації та аварійних ситуацій [1].

Постановка проблеми. Послідовності дій керування, що описані в регламентах, на АЕС мають вигляд паперово-орієнтованих або комп'ютерно-орієнтованих процедур (КОП). Використання КОП надає можливість створення систем підтримки оперативного персоналу (СПО), які підвищують надійність та зменшують навантаження на ОП при виконанні складних операцій [2]. Створення моделі КОП, завдяки якій в СПО можуть бути реалізовані функції ранньої ідентифікації подій та станів, надання актуальної інформації ОП про необхідні дії, ефективної взаємодії з іншими системами енергоблоку, для створення СПО є актуальною науковою задачею.

У даному дослідженні необхідно розв'язати наступні завдання:

1. Розробити структуру даних моделі КОП, що відповідає актуальним регламентам та інструкціям.
2. Створити логіко-структурну модель КОП, що буде використовуватися для створення СПО АЕС.
3. Розробити метод ідентифікації умов входу в процедуру та виконання її кроків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [3] пропонується у СПО розділити на два основні типи елементи даних регламентів: правила (Rules) та дії



(Actions). При виконанні кроків процедур інструкції з ліквідації порушень нормальної експлуатації (ІЛП) [4] та інструкції з ліквідації аварійних ситуацій (ІЛА) [5] для СПО має бути дотримана початкова послідовність дій та досягнення очікуваного результату. Робота [6] присвячена трансформуванню у автоматизованих системах підтримки оператора керуючих процедур у КОП, тобто формалізуються, логічно структуровані послідовності дій оператора, які виконуються з використанням комп'ютеризованих інтерфейсів «людина-машина».

Метою даного дослідження є створення моделі комп'ютерно-орієнтованих процедур, структури даних якої будуть відповідати технологічним регламентам та інструкціям оперативного персоналу АЕС та містити інформацію про зв'язок станів та кроків процедур.

Об'єктом дослідження є процес формування комп'ютерно-орієнтованих процедур керування енергоблоком АЕС.

Предметом дослідження є логіко-структурні моделі комп'ютерно-орієнтованих процедур та методи ідентифікації станів та кроків виконання процедур, що засновані на продукційних правилах.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Архітектура побудови систем підтримки оперативного персоналу (СПО)

У технологічних регламентах, які є основою для створення СПО у даному дослідженні, вказані дії оператора, які мають бути виконані в залежності від вихідних умов та результатів попередніх дій (рисунок 1.1). Елементи даних регламентів розділимо на два основні типи: правила (Rules) та дії (Actions) [3]. В термінології інтелектуальних систем дані елементи утворюють систему продукційних правил на основі дерев рішень, а повний їх обсяг – базу знань.

Крок	Дії / Очікуваний результат	Крок	Дії / Результат не отримано
ПРИМІТКА: Періодично переглядайте «Дії постійного контролю».			
1.	Перевірте зупин реактора		
а.	Продублюйте спрацювання АЗ ключами ОБОХ комплектів.		
б.	Всі ОР СУЗ на НКВ.	б.	ЯКЩО секції <u>СЕ</u> <u>ТА</u> <u>CF</u> ПІД НАПРУГОЮ, ТО відключіть електроживлення секцій <u>СЕ</u> <u>ТА</u> <u>CF</u> . Продовжуйте спроби опустити на НКВ ВСІ ОР СУЗ.
в.	Потужність реактора за АКНП МЕНШЕ 5% $N_{ном}$.	в.	ЯКЩО НЕ ВДАЄТЬСЯ опустити на НКВ БІЛЬШЕ ОДНОГО ОР СУЗ, ТО ПЕРЕЙДІТЬ до процедури 4.ВФП-1.1 «ПОЯВА НЕЙТРОННОЇ ПОТУЖНОСТІ АБО НЕСПРАЦЮВАННЯ АВАРІЙНОГО ЗАХИСТУ РЕАКТОРА». ЯКЩО НЕ ВДАЄТЬСЯ опустити на НКВ ТІЛЬКИ ОДИН ОР СУЗ, ТО продовжуйте спроби опустити на НКВ ВСІ ОР СУЗ ТА ПЕРЕЙДІТЬ до кроку 2.

Рисунок 1.1. Фрагмент правил та дій інструкції з ліквідації аварійних ситуацій (ІЛА)



Логіка функціонування СПО визначається правилами виконання регламентів. Так, при виконанні кроків процедур ІЛП [4] та ІЛА [5] має бути дотримана початкова послідовність дій та досягнення очікуваного результату. Якщо при виконанні кроку результат не отримано, має бути виконана передбачена в такому випадку процедурою послідовність додаткових дій. Якщо неможливо виконати дію, процедурою передбачається, що ОП перейде до наступного кроку. При роботі за процедурою немає необхідності чекати на закінчення дій поточного кроку для того, щоб перейти до наступного. Якщо поставлене завдання коротке, то очікувана дія, ймовірно, буде швидко завершена. Однак якщо завдання досить довге, то немає необхідності чекати закінчення виконання необхідної задачі для того, щоб перейти до наступного кроку, достатньо розпочати дії та переконатися, що вони успішно виконуються. Якщо необхідно, щоб до переходу до наступного кроку дію попереднього кроку було виконано, то ця умова має бути чітко визначена в тому ж кроці. Виконання дій кроку припиняється або після повного досягнення поставленого завдання, або якщо однозначно встановлено, що досягнення поставленого завдання неможливе з технічних причин.

Існує низка кроків, які позначені як «безперервні дії» або «дії постійного контролю». Виконання таких дій не повинне припинятися до завершення процедури та має відбуватися паралельно з іншими кроками.

Виходом з процедури є або успішне виконання всіх кроків (при позитивному розвитку подій – повернення до нормальної експлуатації), або перехід до іншої процедури (порушення або аварійної ситуації).

Згідно розглянутої логіки виконання процедур, виділимо декілька особливостей:

- кроки зазвичай виконуються один за одним;
- декілька додаткових умов можуть виникнути одночасно та незалежно;
- окремі групи кроків активуються спрацюванням певних правил, наявні «гілки»;
- виконання гілок може бути одночасним та незалежним;
- після завершення дій однієї гілки виконання дій з інших гілок продовжується.

Виходячи з цих особливостей, базу знань інтелектуальної системи зручно представити у ієрархічній структурі, оскільки така структура природно відображає ієрархічні залежності між правилами та дозволяє легко моделювати гілки активації, коли одні правила спричиняють спрацювання інших. На основі дерев рішень будуть сформовані керуючі процедури.

У автоматизованих системах підтримки оператора керуючі процедури трансформуються у КОП [6], тобто формалізовані, логічно структуровані послідовності дій оператора, які виконуються з використанням комп'ютеризованих інтерфейсів «людина-машина».

У даному дослідженні система на основі КОП передбачає автоматичне визначення спрацювання умов та виконання кроків оператором (категорія 2 за стандартом IEC62646 [7, 12-14]. Тому для забезпечення функціонування система на основі КОП має мати доступ до поточних значень технологічних параметрів, на основі якої виконуються правила. [7, 12-14]

В розглянутих технологічних регламентах для ідентифікації параметрів та механізмів використовуються технологічні назви, такі як «Потужність реактора за АКНП МЕНШЕ 5% $N_{ном}$ ». Стан такого технологічного параметру може визначатися значенням сигналів, що реєструються в багатьох ІКС енергоблоку. ІКС енергоблоку є багатоканальними і використовують три або чотири канали для формування команд за принципом голосування. Для позначення сигналів використовується система символічних ідентифікаторів. Кожна ІКС також має ідентифікатор.

Тому при переході від паперово-орієнтованих процедур до КОП для автоматизованої ідентифікації входу до процедури та ідентифікації стану розвитку подій структура даних КОП має містити набори ідентифікаторів для параметрів та систем (точки прив'язки процедури до інформаційної моделі).

2.2 Модель комп'ютерно-орієнтованої процедури КОП

Для побудови СПО та розробки методів підвищення її відмовостійкості у даному дослідженні було обране представлення процедур керування на основі дерев рішень, описаних у вигляді продукційних правил [8], у формі графу. У даному підрозділі розглядається модель такої блок-схеми процедури та її складових.

Модель представлена у вигляді орієнтованого графу $P = \{E, L\}$, вершини E якого є елементами процедури, а ребра L – напрямками переходів між ними. Елементи процедури є об'єктами двох типів: правила (Rules) та дії (Actions). Приклад моделі процедури у вигляді графу з різним ходом виконання приведений на рисунку 2.1

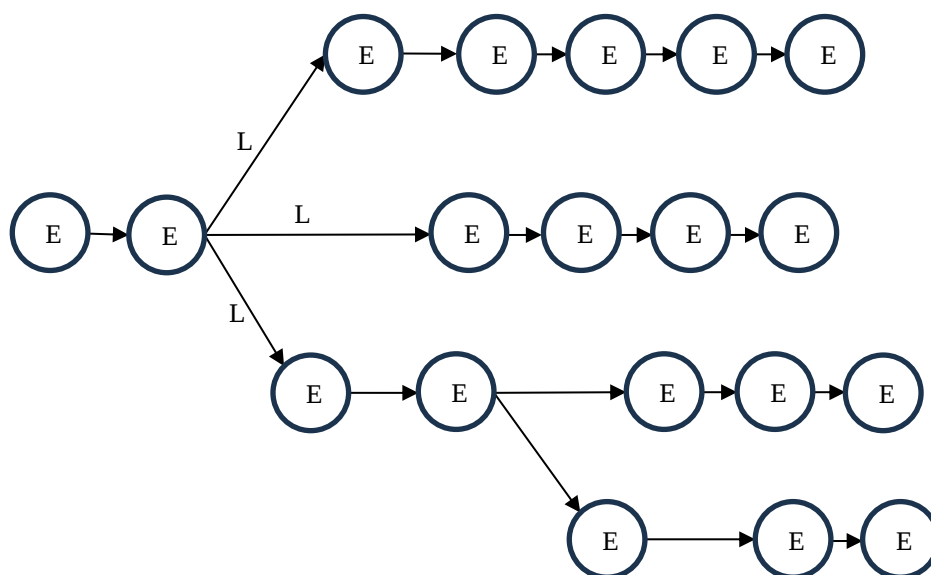


Рисунок 2.1. Представлення процедури у вигляді графу

Стан керуючої процедури в поточний момент часу визначається як стан всіх об'єктів моделі. Розглянемо властивості елементів моделі більш детально.

Правило (Rule). При визначенні умов запуску та розвитку процесу виконання КОП необхідно враховувати стан технологічних параметрів та дій оператора для певних об'єктів. Для розв'язання цієї задачі використаємо поняття об'єкту-правила R (Rule), що буде використовуватися у випадках визначення:

- початкового стану енергоблоку для входу в процедуру;
- умов (ознак) входу в процедуру;
- технологічних обмежень під час виконання процедури;
- визначення актуальних кроків виконання процедури;
- визначення виконання дій оператором.

Схематично структура правила приведена на рисунку 2.2

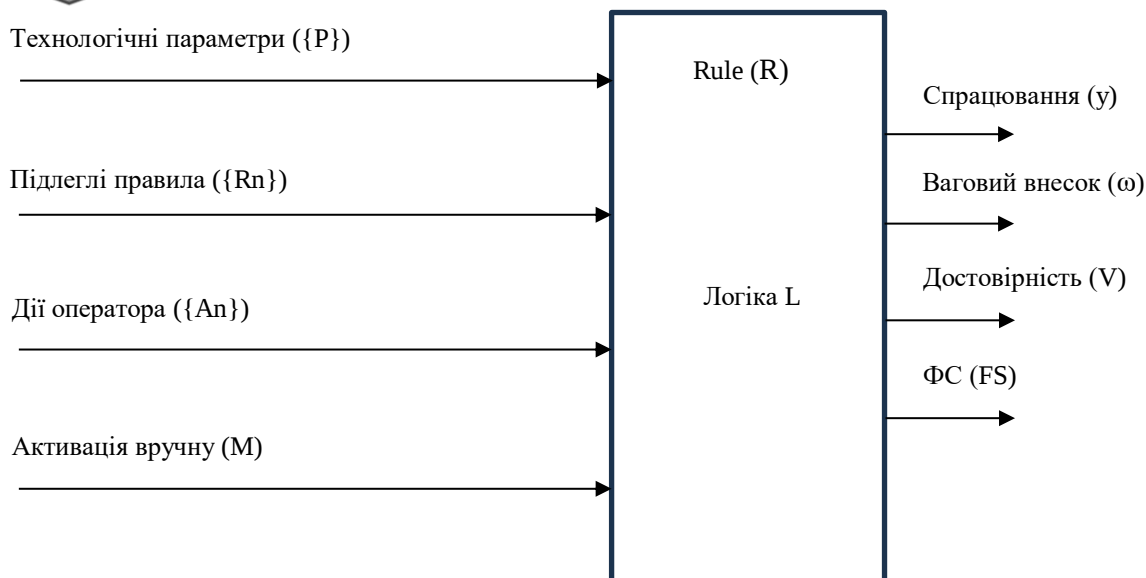


Рисунок 2.2. Структура моделі правила

Під математичною моделлю правила будемо вважати функцію:

$$R_{\{y, \omega, V, FS\}} = f(\{P\}, R_{child}, \{A\}, M, L). \quad (2.1)$$

У даній моделі вхідними даними є наступні: P – технологічні параметри, R_{child} – підлеглі правила, A – дії оператора, M – ознака ручної активації, L – логіка (алгоритм) обробки.

Визначення факту спрацювання правила відбувається за логікою L .

Вихідними даними виконання логіки моделі є наступні:

- ознаки спрацювання y – дискретний параметр, що має значення 0 або 1;
- ваговий внесок ω – аналогова величина, що відображає ступінь «наближення» правила до спрацювання на основі наявності прямих та непрямих ознак;
- достовірність V – дискретний параметр, що означає можливість використання результату;
- ступінь FS – параметр, що вказує на ступінь функціональної стійкості, яка визначається повнотою та достовірністю вхідних даних.

Загалом результат виконання правила R має аналогову природу, оскільки визначає не тільки факт спрацювання правила, а також вагу його інформаційного внеску ω [9] та достовірність визначення V .

Дія (Action). Процедура керування являє собою визначену послідовність дій, що починається та протікає в залежності від визначених станів. Для кожної дії може бути визначні дозволи на виконання, умови початку та ознаки завершеності.

Схематично модель об'єкта-дії як елемента процедури приведена на рисунку 2.3

Під моделлю дії будемо вважати функцію

$$A_{\{a, y\}} = f(\{R_{enable}\}, \{R_{execute}\}, \{R_{complete}\}), \quad (2.2)$$

у якій $\{R_{enable}\}$ – множина правил, що дозволяють виконання дії, $\{R_{execute}\}$ – множина правил, що визначають умови початку виконання дії, $\{R_{complete}\}$ – множина правил, що сигналізують про виконання дії.

Результат виконання функції включає в себе ознаку активації a та виконання y .

Оскільки за логікою виконання існують дії, які можуть бути активовані повторно, то при повторній активації ознака виконання скидається. Також існують дії постійного виконання, що завершуються лише після завершення всієї процедури і не мають ознаки завершення виконання.

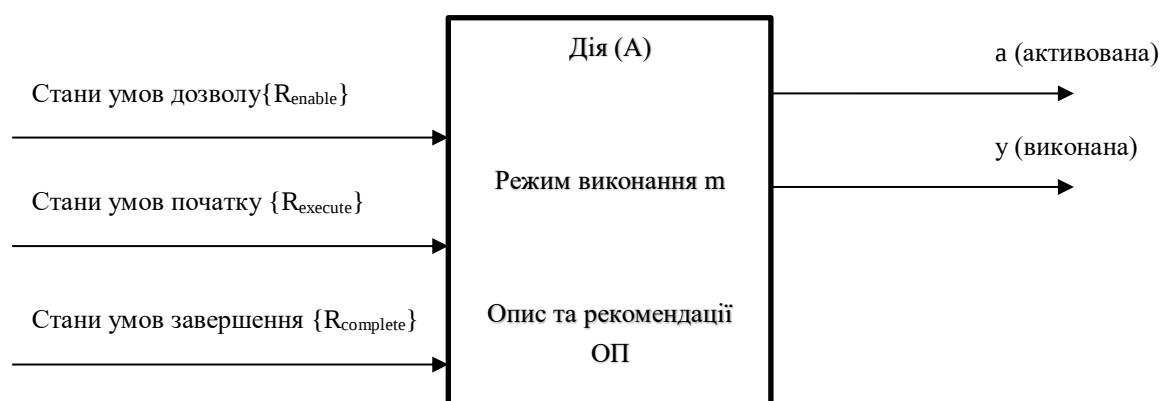


Рисунок 2.3. Структура моделі дії елементу КОП

Переходи. Дії та правила по процедурі пов'язані між собою переходами. В моделі, що розробляється, відсутність переходу буде вважатися ознакою завершення гілки. Перехід може бути в активованому та неактивованому стані в залежності від спрацювання правил.

Керуюча процедура. Модель процедури може бути представлена як розширена версія моделі дії. Під моделлю процедури будемо вважати функцію, що містить всі описані елементи:

$$P = f(\{R\}, \{A\}, \{L\}), \quad (2.3)$$

де $\{R\}$ – сукупність всіх правил, $\{A\}$ – сукупність всіх дій, $\{L\}$ – сукупність всіх переходів.

На рисунку 2.4 приведена структурна схема моделі КОП згідно наведених складових.

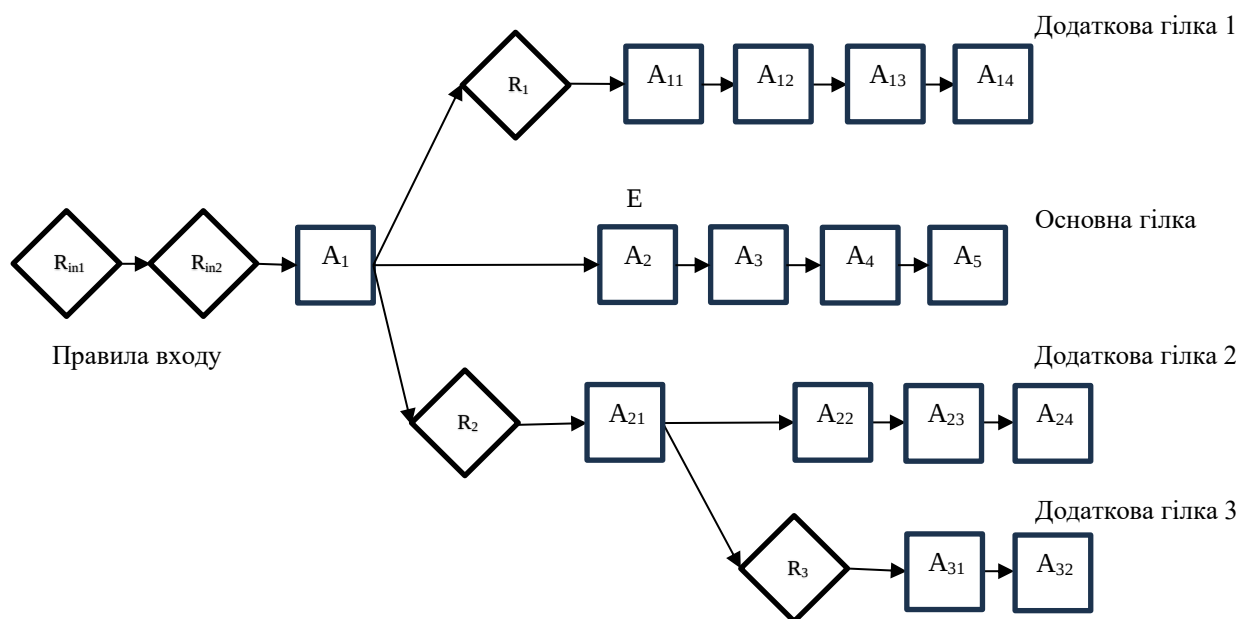


Рисунок 2.4. Хід виконання процедури

Приведені моделі є проєкцією структури технологічних регламентів на структуру бази даних моделей КОП при побудові СПО.

Дані структури є основою для наступних кроків досліджень: дослідження процесу надійної визначення спрацювання правил, розробка та реалізація методу оцінки функціональної стійкості процедури, побудови та підтримки бази даних моделей СПО на основі паперово-орієнтованих документів, розробка та реалізація методу візуалізації ходу виконання процедури.

2.3 Режими ідентифікації стану елементів комп'ютерно-орієнтованої процедури КОП

Дії оператора, що мають бути виконані для забезпечення безпеки або керування перехідним процесом, залежать від стану КОП. Оскільки необхідність початку процедури, хід її виконання та умови завершення визначаються правилами, під станом КОП будемо вважати стан, в якому знаходяться всі правила процедури.

Для визначення стану КОП можна використовувати різні підходи в залежності наявних даних та бажаної точності.

За наявності актуальної повної інформації про стан множини параметрів $\{P\}$ (2.1) у реальному часі стан КОП може бути визначений з використанням порогових значень, множин допустимих меж, логічних операцій за визначеною логікою. В даному випадку момент ідентифікації стану t_{ind} можливий в реальному часі t_0 , тобто при виконанні рівності

$$t_{ind} = t_0. \quad (3.1)$$

В разі наявності архівних даних про стан параметрів $\{P\}$ (часових рядів), стани КОП можуть бути спрогнозовані за певний час до настання реальної події ($t_{forecast}$), тобто



$$t_{ind} = t_0 - t_{forecast}. \quad (3.2)$$

В разі відсутності або недостовірності архівних даних та даних реального часу про стан параметрів $\{P\}$, СПО може перейти в експертний режим визначення стану КОП на основі діалогу з користувачем з використанням параметру M (2.1). В цьому випадку момент ідентифікації t_{ind} можливий після настання стану та завершення його аналізу експертом (оператором) t_{exp} , тобто

$$t_{ind} = t_0 + t_{exp}. \quad (3.3)$$

Наведений гібридний підхід з можливістю використання експертного режиму за відсутності актуальної інформації про стан технологічних параметрів є першим кроком забезпечення відмовостійкості КОП. Недоліком його є час запізнення t_{exp} , що витрачається оператором на прийняття рішень при керуванні. Основним режимом, в якому має визначатися стан КОП, є режим реального часу. Тому надалі розглянемо процес визначення стану КОП за технологічними параметрами і визначимо, які саме дані для цього мають бути обрані.

2.4 Ідентифікація стану правил на основі ознак змін технологічних параметрів

Визначення факту настання окремих подій (вхід у процедуру, ідентифікація додаткових умов) відбувається на основі стану правил, що в свою чергу ідентифікують ознаки змін технологічних параметрів. При цьому, з технологічної точки зору, ознака може як прямо сигналізувати про настання події, так і бути непрямою. Відповідно до цього, прямі ознаки використовуються в СПО для явної ідентифікації спрацювання правила, а непрямі – для завчасної оцінки ступеня наближення настання події. Ступінь наближення доступна для аналізу оператором та надає можливість завчасно спланувати дії.

Досліджені регламенти не містять інформації про те, які ознаки є прямими, а які непрямыми; проте для деяких ознак зустрічається термін «можливе». Тому для кожної ознаки, які входять в логіку ідентифікації стану правила, введемо показник ваги інформаційного внеску в спрацювання $\omega_i \in [0..1]$. При цьому використовуємо такі погодження:

1) Якщо $\omega_i = 1$, то ознака вважається прямою, у протилежному випадку – непрямою.

2) Якщо ознака відсутня, $\omega_i = 0$.

Згідно з цим, загальна ступінь наближення настання події ω за ознаками визначається за формулою

$$\omega = \sum \omega_i. \quad (4.1)$$

Приклад схеми ідентифікації події на основі спрацювання правил, які формують ознаки з різним інформативним внеском, представлено на рисунку 4.1.

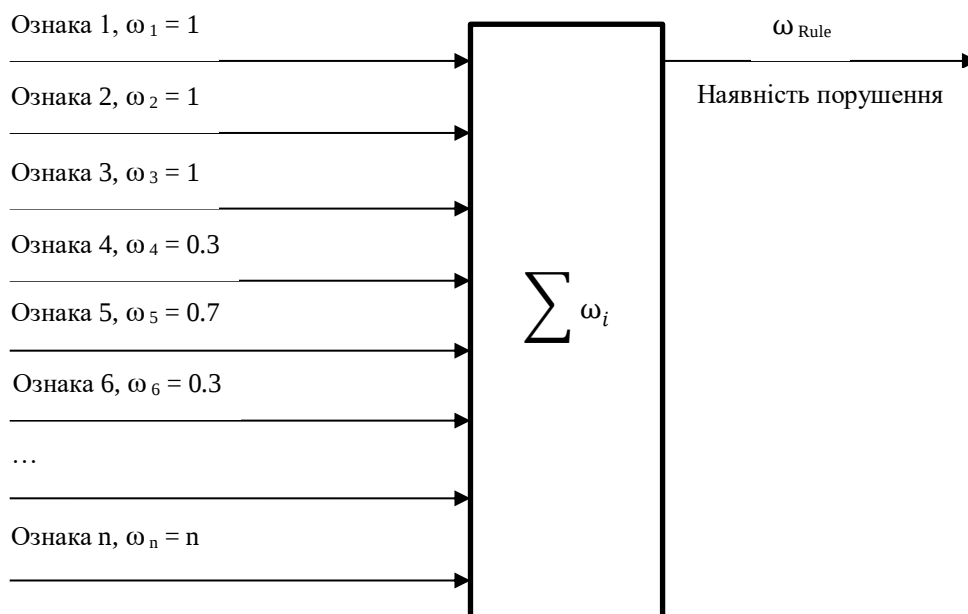


Рисунок 4.1. Ідентифікація події за ознаками

Ваги інформативних внесків ω_i можуть бути отримані як в результаті опитування експертів, так і в результаті статистичних спостережень. Проте, оскільки виникнення порушень та аварійних ситуацій на енергоблоці АЕС є рідким явищем, експертний метод є більш прийнятним для реалізації.

Для отримання інформативних внесків шляхом опитування експертів можуть бути використані різноманітні методи, зокрема метод безпосередньої оцінки та метод ранжування [10], метод Сааті (створення матриці попарних порівнянь) та метод Уея [11]. В даному дослідженні використано метод ранжування, при якому експерти вказують на те, як часто виникає ознака при настанні певної події, числом за шкалою 1..10. Отримані результати переводяться у ваги інформаційних внесків ω_i .

Ідентифікація ознак на основі сигналів. Наявність ознаки визначається станом значень технологічних параметрів. В свою чергу, технологічний параметр P описується набором вхідних сигналів та логікою

$$P = f(\{S\}, L, \{\omega\}), \quad (4.2)$$

де S – сигнали, L – логіка (алгоритм) обробки, ω – вагові інформаційні внески.

Наприклад, при відключенні головного циркуляційного насоса (ГЦН), що спричиняє порушення нормальної експлуатації, формується дискретний сигнал з ідентифікатором #GCN1_OFF, що спричиняє відображення інформації про дану подію на табло БЦУ. Для ініціації процедури ІЛП факт відключення насоса є ознакою, а дискретний сигнал є таким, що формує дану ознаку.

Проте використання лише одного сигналу для ідентифікації ознаки є ненадійним. Для будь-якого сигналу існує імовірність хибного спрацювання або неспрацювання. В такому випадку СПО розпізнає ознаку при умові її фактичної відсутності, або не розпізнає за присутності. Тому для підвищення надійності при ідентифікації важливих ознак доцільно використовувати набір різноманітних сигналів $s \in S$.

Для прикладу, при відключенні ГЦН можуть змінюватися як мінімум наступні сигнали:

- спрацювання сигналізації, сформованої в системі нормальної експлуатації реакторного відділення ($s_1 = 1$);
- зменшення електричної потужності $W_{ГЦН}$ ($s_2 < x$ кВт);
- зменшення тиску в паропроводі $P_{пп}$ ($s_3 < y$ кг/см²)).

Для формування ознаки можуть бути використані всі ці сигнали. Вони формують множину $\{S\}$, а їх технологічні вагові внески – множину $\{\omega\}$ у (4.2)

Схематично формування ознаки відображено на рисунку 4.2.

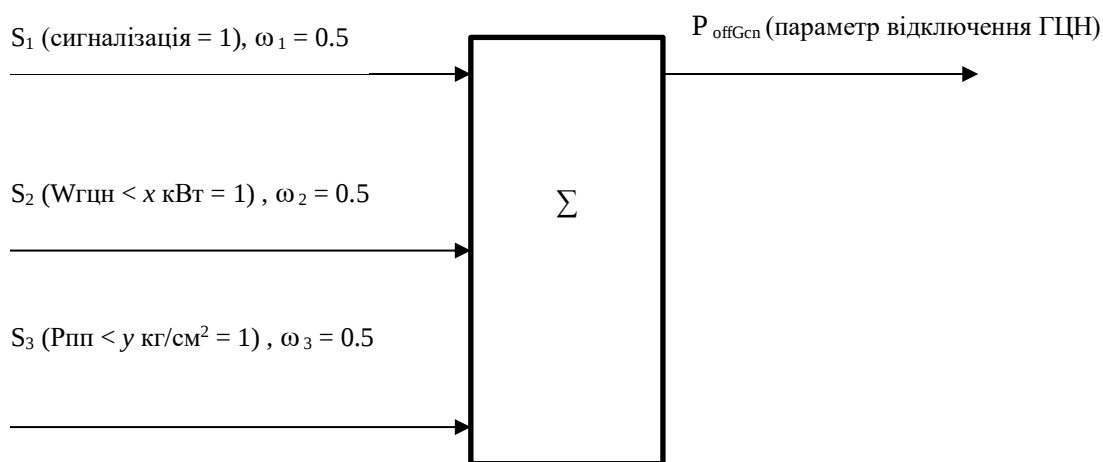


Рисунок 4.2. Формування параметру за набором сигналів

У розглянутій ситуації індикатори мають однакову вагу. Для збільшення або зменшення впливу кожного індикатора в СПО має бути передбачено регулювання ваг індикаторів. Наприклад, два сигнали s_1 та s_2 можуть мати вагу ω_1 та ω_2 рівну 0.4, а третій сигнал s_3 – вагу ω_3 рівну 0.6. В даному випадку ознаку буде сформовано при обов'язковій наявності сигналу s_3 та наявності як мінімум одного з сигналів s_1 або s_2 .

Ідентифікація стану КОП. Процес визначення стану КОП має відбуватися безперервно. В даному процесі відбуваються наступні кроки:

- обхід елементів графу та відбір елементів типу «Action» (дії);
- визначення елементів типу «Rule», що мають відношення до дії;
- отримання актуального стану сигналів для правил;
- визначення стану технологічних параметрів для правил;
- визначення стану правил;
- активація або деактивація дій ОП при спрацюванні правил;
- візуалізація поточного стану КОП.

Модель ієрархії обробки даних приведена на схемі на рисунку 4.3.

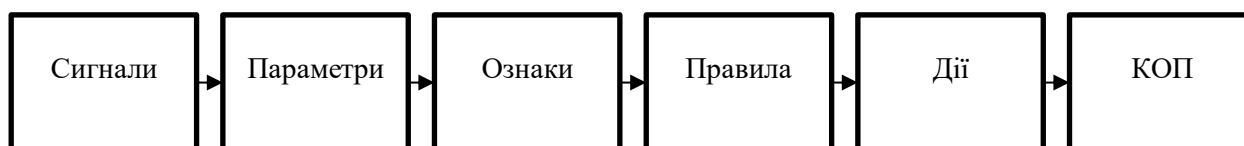


Рисунок 4.3. Модель обробки вхідних даних КОП

Адекватність визначення стану КОП залежить від наявності інформації про стан технологічних параметрів та правильно підібраних вагових коефіцієнтів.

3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Було проаналізовано структуру та принцип взаємодії елементів керуючих процедур оператора АЕС. На цій основі було побудовано структурну модель КОП, до складу якої увійшли такі об'єкти як сигнал, параметр, правило, дія. Дана модель містить вагові коефіцієнти зв'язків між елементами. В ній враховане те, що значення технологічних параметрів може бути визначене на основі сигналів, що приходять з різних джерел.

Подальші дослідження планується присвятити визначенню оптимального набору сигналів, які мають бути розподілені за фізичною природою з метою підвищення відмовостійкості системи. Також планується розробити метод чисельної оцінки відмовостійкості для елементів КОП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Vintenko, B., et al. (2024). Research of information support and technological regulations of control processes of the critical infrastructure of a nuclear power plant unit with VVER-1000 reactor. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 1(25), 253–278. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.25.253278>
2. Vintenko, B., et al. (2024). Study of the use of support systems for operational personnel of a critical infrastructure facility when managing a nuclear power plant unit with a VVER-1000 reactor. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 2(26), 6–26. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.26.673>
3. Benedict, A., & Ras, Z. W. (2025). Towards scalable action rule discovery: A structured vertical partitioning method. *Journal of Intelligent Information Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10844-025-00961-5>
4. Rivne Nuclear Power Plant. (2024). *Instruction for elimination of normal operation violations (ILP) of the Unit No. 4 of RNPP*. Rivne NPP.
5. Rivne Nuclear Power Plant. (2024). *Instruction for elimination of emergency situations (ILA) of the Unit No. 4 of RNPP*. Rivne NPP.
6. Oxstrand, J., & Blanc, K. (2016). Supporting the future nuclear workforce with computer-based procedures. *Nuclear Future*, 12, 34–39. <https://www.researchgate.net/publication/298205131>
7. International Electrotechnical Commission. (2019). *IEC 62646: Nuclear power plants – Control rooms – Computer-based procedures*. Geneva: IEC.
8. Obregon, J., Kim, A., & Jung, J.-Y. (2019). RuleCOSI: Combination and simplification of production rules from boosted decision trees for imbalanced classification. *Expert Systems with Applications*, 126, Article 113. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.02.012>
9. Stańczyk, U. (2022). Pruning decision rules by reduct-based weighting and ranking of features. *Entropy*, 24(11), 1602. <https://doi.org/10.3390/e24111602>
10. Voloshchuk, R. V. (2013). Comparative analysis of approaches to determining weighting coefficients of integral indices of the state of complex systems. *Inductive Modeling of Complex Systems*, 5, 151–165. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Imss_2013_5_29



11. Medykovskyi, M. O., & Shunevych, O. B. (2011). Research of the effectiveness of methods for determining weighting coefficients of importance. *Bulletin of Khmelnytskyi National University: Technical Sciences*, (5), 176–182. https://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2011_5/51_med.pdf
12. Vintenko, B., et al. (2023). Study of regulatory documents and industry standards for the development of software for nuclear power plant control systems important to safety. *Control, Navigation and Communication Systems*, 2(72), 170–178. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.2.170>
13. Vintenko, B., et al. (2023). Study of the requirements of international standards IEC60880 and IEC62138 for software development of information-control systems of nuclear power plants important to safety. *Control, Navigation and Communication Systems*, 3(73), 155–166. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.3.155>
14. Vintenko, B., et al. (2024). Study of requirements and cybersecurity analysis of software of nuclear power plant information-control systems important to safety. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 3(23), 111–131. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.23.111131>

**Borys Vintenko**

PhD graduate student of the department of information security and computer engineering
Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine
leading engineer-programmer of
KB ACS TP PJSC "Radio Scientific and Production Enterprise", Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: 0009-0008-3748-0374
boris.vintenko@gmail.com

Iryna Myronets

candidate of technical sciences,
associate professor, associate professor of the department of information security and computer engineering
Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine
ORCID: 0000-0003-2007-9943
i.myronets@chdtu.edu.ua

Oleksii Smirnov

Doctor of technical sciences, professor, head of Cybersecurity & Software Academic Department
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: 0000-0001-9543-874X
dr.smirnovaa@gmail.com

Oleksandr Kovalenko

doctor of engineering, professor, assistant professor of Cybersecurity & Software Academic Department
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: 0000-0001-9297-0650
dr.kovalenkoov@gmail.com

Pavlo Usik

Doctor of Philosophy (PhD), senior lecturer of Cybersecurity & Software Academic Department
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: 0000-0002-3268-342X
usikps@kntu.kr.ua

Kostiantyn Buravchenko

Candidate of Science (Engineering), associate professor of Cybersecurity & Software Academic Department
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: 0000-0001-6195-7533
buravchenkok@gmail.com

Iryna Lysenko

PhD of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Cybersecurity and Software,
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: 0000-0003-4394-4960
min_max@i.ua

LOGICAL-STRUCTURAL MODEL OF A COMPUTER-BASED PROCEDURE FOR THE SUPPORT SYSTEM FOR NPP OPERATIONAL PERSONNEL

Abstract. This article develops a logical-structural model of a computer-oriented procedure for normal operation and elimination of violations for the support system for NPP operational personnel. The purpose of this study is to create a model of a computer-oriented procedure, the data structures of which will comply with technological regulations and instructions for NPP operational personnel and contain information about the relationship between states and steps of procedures. The object of the study is the process of forming computer-oriented procedures for controlling a NPP power unit. The subject of the study is logical-structural models of computer-oriented procedures and methods for identifying states and steps of procedure execution based on production rules. The following tasks were solved in this study: the data structure of the computer-oriented procedure model was developed, which complies with current regulations and instructions; a logical-structural model of a computer-oriented procedure was created, which will be used to create support systems



for NPP operational personnel; A method for identifying the conditions for entering the procedure and performing its steps has been developed. The model is designed to solve the problem of maintaining relevance, early identification of the states of the power unit and its equipment, ensuring the possibility of obtaining information about the state of technological parameters with the required level of reliability and accuracy. The proposed model can be used to create support systems for operational personnel managing complex technological facilities using specific procedures and instructions.

Keywords: critical infrastructure security, nuclear power plants; information and control systems; software and hardware complexes; computer-oriented procedure; information model; operational personnel support systems; energy, computer engineering, computer science

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

15. Vintenko, B., et al. (2024). Research of information support and technological regulations of control processes of the critical infrastructure of a nuclear power plant unit with VVER-1000 reactor. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 1(25), 253–278. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.25.253278>
16. Vintenko, B., et al. (2024). Study of the use of support systems for operational personnel of a critical infrastructure facility when managing a nuclear power plant unit with a VVER-1000 reactor. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 2(26), 6–26. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.26.673>
17. Benedict, A., & Ras, Z. W. (2025). Towards scalable action rule discovery: A structured vertical partitioning method. *Journal of Intelligent Information Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10844-025-00961-5>
18. Rivne Nuclear Power Plant. (2024). *Instruction for elimination of normal operation violations (ILP) of the Unit No. 4 of RNPP*. Rivne NPP.
19. Rivne Nuclear Power Plant. (2024). *Instruction for elimination of emergency situations (ILA) of the Unit No. 4 of RNPP*. Rivne NPP.
20. Oxstrand, J., & Blanc, K. (2016). Supporting the future nuclear workforce with computer-based procedures. *Nuclear Future*, 12, 34–39. <https://www.researchgate.net/publication/298205131>
21. International Electrotechnical Commission. (2019). *IEC 62646: Nuclear power plants – Control rooms – Computer-based procedures*. Geneva: IEC.
22. Obregon, J., Kim, A., & Jung, J.-Y. (2019). RuleCOSI: Combination and simplification of production rules from boosted decision trees for imbalanced classification. *Expert Systems with Applications*, 126, Article 113. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.02.012>
23. Stańczyk, U. (2022). Pruning decision rules by reduct-based weighting and ranking of features. *Entropy*, 24(11), 1602. <https://doi.org/10.3390/e24111602>
24. Voloshchuk, R. V. (2013). Comparative analysis of approaches to determining weighting coefficients of integral indices of the state of complex systems. *Inductive Modeling of Complex Systems*, 5, 151–165. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Imss_2013_5_29
25. Medykovskyi, M. O., & Shunevych, O. B. (2011). Research of the effectiveness of methods for determining weighting coefficients of importance. *Bulletin of Khmelnytskyi National University: Technical Sciences*, (5), 176–182. https://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2011_5/51_med.pdf
26. Vintenko, B., et al. (2023). Study of regulatory documents and industry standards for the development of software for nuclear power plant control systems important to safety. *Control, Navigation and Communication Systems*, 2(72), 170–178. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.2.170>
27. Vintenko, B., et al. (2023). Study of the requirements of international standards IEC60880 and IEC62138 for software development of information-control systems of nuclear power plants important to safety. *Control, Navigation and Communication Systems*, 3(73), 155–166. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.3.155>
28. Vintenko, B., et al. (2024). Study of requirements and cybersecurity analysis of software of nuclear power plant information-control systems important to safety. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 3(23), 111–131. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.23.111131>

