



УКРАЇНА

(19) UA (11) 94904 (13) C2
(51) МПК (2011.01)
G06F 17/50 (2006.01)
G21C 17/00
G21D 3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ІЗ НЕСТАЦІОНАРНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

1

(21) а200711221
(22) 22.05.2006
(24) 25.06.2011
(86) РСТ/RU2006/000268, 22.05.2006
(31) 2005116169
(32) 20.05.2005
(33) RU
(46) 25.06.2011, Бюл.№ 12, 2011 р.
(72) ФЕДОСОВСКИЙ МИХАИЛ ЕВГЕНЬЕВИЧ, RU, ШЕРСТОБИТОВ АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ, RU, ДУНАЕВ ВАДИМ ИГОРЕВИЧ, RU, КОПЬСВ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, RU
(73) ЗАКРИТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ДИ-АКОНТ", RU
(56) EP 1699058 A; 06.09.2006
US 2003004679 A1; 02.01.2003
(57) 1. Спосіб керування технологічним процесом з нестационарними об'єктами, що включає збір та аналіз інформації про дії на об'єкти, які беруть участь у технологічному процесі, визначення гранично допустимих значень зазначених дій і виявлення порушень технологічного процесу, при яких ці дії перевищують гранично допустимі, який **відрізняється** тим, що, базуючись на даних нормативно-технічної документації з безпеки, визначають як інтервали безпеки технологічного процесу такі інтервали, для яких залишається незмінною сукупність зазначених порушень, і розділяють технологічний процес на інтервали безпеки, для кожного інтервалу безпеки проводять аналіз переходу порушень технологічного процесу з одного інтервалу безпеки в інший з урахуванням причинно-наслідкових зв'язків між можливими порушеннями технологічного процесу і функцією захистів та блокувань на кожному етапі технологічного процесу, будують із використанням засобів обчислювальної техніки детерміністські моделі інтервалів безпеки з урахуванням можливих сценаріїв переходу порушень технологічного процесу на наступні інтервали безпеки, для кожного інтервалу безпеки на основі зазначених моделей з використанням засобів обчислюва-

2

льної техніки визначають показники надійності устаткування і на основі одержаних показників надійності приймають рішення про внесення змін у систему керування технологічним процесом і удосконалення конструктивних та схемних рішень, і вносять зазначені зміни.
2. Спосіб за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що для кожного виявленого порушення визначають безліч частин технологічного процесу, на яких діє це порушення.
3. Спосіб за будь-яким з пп. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що він додатково включає побудову логічних або логіко-імовірнісних моделей для кожного порушення.
4. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що логічні або логіко-імовірнісні моделі будують на основі аналізу можливих дій, що викликають відповідні порушення технологічного процесу, і різних поєднань таких дій.
5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при аналізі безпеки технологічного процесу розглядають нестационарні об'єкти.
6. Спосіб за будь-яким з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що як нестационарні об'єкти розглядають щонайменше одне з наступних: технологічний процес в цілому, етапи й ділянки технологічного процесу, виробу, пристрої, вузли пристроїв, умови безпеки яких змінюються залежно від часу й місцезнаходження даного виробу, вузла або пристрою, зокрема, залежно від того, на якому етапі або ділянці технологічного процесу знаходиться вказаний виріб, пристрій або вузол.
7. Спосіб за будь-яким з пп. 1-6, який **відрізняється** тим, що здійснюють перехід від розгляду нестационарного технологічного процесу до розгляду стаціонарних частин технологічного процесу на основі даних аналізу розподілу зон дії виявлених порушень у різних частинах технологічного процесу.
8. Спосіб за п. 7, який **відрізняється** тим, що здійснюють перехід до стаціонарних умов шляхом аналізу й оцінки безпеки на кожному інтервалі безпеки технологічного процесу.

(13) C2
(11) 94904
(19) UA

9. Спосіб за будь-яким з пп. 1-8, який **відрізняється** тим, що проводять аналіз і оцінку безпеки технологічного процесу шляхом побудови діаграм розділення на інтервали безпеки.

10. Спосіб за будь-яким з пп. 1-9, який **відрізняється** тим, що він додатково включає побудову детерміністсько-імовірнісних моделей безпеки всього технологічного процесу.

11. Спосіб за п. 10, який **відрізняється** тим, що детерміністсько-імовірнісні моделі безпеки всього технологічного процесу будують із використанням отриманих детерміністських моделей інтервалів безпеки.

12. Спосіб за п. 10 або п. 11, який **відрізняється** тим, що детерміністсько-імовірнісні моделі безпеки всього технологічного процесу будують з використанням отриманих логіко-імовірнісних моделей виникнення порушень.

13. Спосіб за будь-яким з пп. 11 або 12, який **відрізняється** тим, що детерміністсько-імовірнісні моделі безпеки всього технологічного процесу будують з використанням отриманих детерміністських моделей інтервалів безпеки й логіко-імовірнісних моделей виникнення порушень технологічного процесу.

14. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при проведенні аналізу переходу порушень технологічного процесу враховують причинно-наслідкові зв'язки між виявленими порушеннями, можливими порушеннями технологічного процесу й функцією захистів і блокувань на кожному етапі технологічного процесу.

15. Спосіб за будь-яким з пп. 1-14, який **відрізняється** тим, що для аналізу розподілу зон дії порушень технологічного процесу проводять аналіз кожної одиничної ділянки операції технологічного процесу для визначення того, які саме джерела небезпеки викликають те або інше перевищення допустимої дії.

16. Спосіб за будь-яким з пп. 1-15, який **відрізняється** тим, що при розділенні інтервалів безпеки враховують кожне виявлене порушення в кожній

частині розглянутого технологічного процесу для кожного гранично допустимого впливу.

17. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як гранично допустимі дії використовують граничні нормативні дії, зазначені у нормативно-технічній документації.

18. Спосіб за п. 17, який **відрізняється** тим, що нормативно-технічна документація включає щонайменше одне з наступних: технологічні алгоритми, схеми зон обслуговування, схеми транспортно-технологічних операцій, нормативну документацію з безпеки.

19. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як показник надійності устаткування використовують показник імовірності відмови устаткування.

20. Система керування технологічним процесом з нестационарними об'єктами, що включає центральний процесор для проведення аналізу й оцінки безпеки технологічного процесу; засоби збору, зберігання й обробки інформації; засоби для моделювання технологічного процесу; обчислювальні засоби для розрахунку показників надійності, засоби для виявлення порушень технологічного процесу, при яких ці дії перевищують гранично допустимі, і розбивання технологічного процесу на інтервали безпеки, для яких залишається незмінною сукупність зазначених порушень; і засоби проведення аналізу переходу порушень технологічного процесу з одного інтервалу безпеки в інший;

яка **відрізняється** тим, що зазначені засоби для моделювання виконані з можливістю створення детерміністських моделей безпеки з урахуванням можливих сценаріїв переходу порушень технологічного процесу з одного інтервалу безпеки в інший, зазначені обчислювальні засоби виконані з можливістю розрахунку показників надійності устаткування для наступного внесення змін у систему керування зазначеним технологічним процесом.

21. Система за п. 20, яка **відрізняється** тим, що вона містить програмувальні засоби обчислювальної техніки для реалізації способу керування за будь-яким з пп. 1-19.

Даний винахід відноситься до аналізу та оцінки безпеки технологічних процесів і може бути використаний, зокрема для виконання аналізу й оцінки безпеки при управлінні АЕС.

До недавнього часу при виконанні імовірнісного аналізу безпеки проводилася тільки якісна оцінка можливості порушень технологічного процесу. При цьому аналіз безпеки, як правило, обмежувався короткими характеристиками вихідних подій і проведенням функціонального аналізу можливості тих або інших порушень процесу або ушкоджень робочих елементів при невеликому переліку ініціюючих подій, що призводять до таких порушень.

Проте все зростаюча складність технологічних процесів, наприклад процесів, пов'язаних з експлуатацією тепло-енергостанцій, особливо, атомних електростанцій, обумовлена великою кількістю логічних і функціональних зв'язків, а також нестационарністю, з погляду безпеки, технологічних процесів з ядерним паливом, викликала розробку нових підходів до вирішення питань аналізу та оцінки безпеки.

Так, наприклад, у заявці США (US 20040086071) описаний спосіб управління атомною станцією, який передбачає моделювання можливих аварійних подій і застосовує моделі для

аналізу безпеки існуючих атомних станцій. При цьому аналіз безпеки включає три процедури. Перша процедура призначена для прийняття рішення про застосовність умов та кодів і складається із кроків з опису сценарію аварії, вибору об'єкта оцінки, підтвердженню основних умов і їх ранжируванню, вибору оптимального коду, впорядкуванню документів, що відносяться до кодів, і прийняттю рішення про застосовність кодів. Друга процедура призначена для оцінки кодів і прийняття рішення про заміну перемінних і складається з кроків щодо оцінки кодів і складання оціночної матриці, прийняттю рішення про розподіл атомної станції на елементи, прийняттю рішення про точність кодів і експериментів, прийняттю рішення про вхідні перемінні атомної станції і їх стани, пов'язані з факторами, одержаними за допомогою аналізу невизначеності й чутливості, а також включає кроки з обчислення чутливості атомної станції, статичної оцінки невизначеності й прийняттю рішення про кінцеву невизначеність. Третя процедура призначена для аналізу чутливості й оцінки невизначеності й полягає в оцінці систематичної помилки, яка не була врахована в першій і другій процедурах.

Цей спосіб дозволяє оцінити безпеку тільки існуючих об'єктів і не дозволяє розробити технічні вимоги по забезпеченню безпеки при модернізації й розробці нового устаткування АЕС.

Відомі способи зведення задачі з оцінки безпеки до вибору підходящого рішення з наявних у базі даних. Згідно способу виконання комп'ютеризованого аналізу безпеки ядерного реактора (WO03/005376) функціонування атомної станції обмежують областю безпечної експлуатації, яку визначають таким чином: а) використовують результати аналізу безпеки, виконаного раніше, і б) підтверджують розрахунками, що визначену раніше область безпечної експлуатації можна застосовувати до нових умов експлуатації атомної станції.

Проте даний спосіб може використовуватися тільки для визначення ресурсу існуючих АЕС і можливості його продовження.

Відомий також спосіб оцінки безпеки при управлінні атомною станцією (US 4,632,802), який забезпечує безперервну експлуатацію атомної станції під час відмови або за відсутності готовності одного або декількох елементів станції. Спосіб використовує засоби зберігання баз даних логічних схем ушкодження активної зони та ймовірностей відмов. Передбачений вибір різних сценаріїв стану станції, коректування ймовірностей відмов елементів, прив'язка чутливості до ризику пошкодження активної зони в результаті несправності елементів, а також оцінка чутливості по відношенню до базового або контрольного значення. При проведенні оцінки безпеки, дерева подій/відмов замінюються однією логічною моделлю пошкодження активної зони, яка дозволяє моделювати взаємодію усередині системи, яка виникає в результаті сумісного використання елементів або загальних допоміжних систем.

Даний спосіб оцінки безпеки може бути використаний тільки при експлуатації АЕС, але не мо-

же застосовуватися при проектуванні як інструмент, що дозволяє оптимізувати устаткування АЕС, наприклад, систему управління, вибрати необхідну й достатню кількість захистів і блокувань, що забезпечують безпеку об'єкта.

Відомий також спосіб детерміністського аналізу безпеки на основі концепції ризиків (EP1378916), який включає впорядкування ініціувальних подій по частоті їх виникнення, визначення граничного рівня частоти ініціувальних подій, визначення критерію приймання, що має настроювальний рівень консерватизму; визначення значення консерватизму з використанням методології аналізу безпеки, аналіз подій за допомогою методології детерміністського аналізу у випадку, якщо частота ініціації події перевищує граничний рівень, або аналіз подій за допомогою методології імовірного аналізу, якщо частота ініціації події нижче граничного рівня.

Відомий спосіб включає також ототожнення додаткової системи відмов, які не знаходяться у прямому зв'язку з ініціувальними подіями й визначення загального граничного значення частоти для комбінації частоти ініціувальної події й частоти додаткових відмов. Далі проводять додавання додаткової системи відмов до аналізу безпеки до того моменту, коли загальна частота події й додаткових відмов не перевищить граничний рівень частоти.

Однак необхідно відзначити, що даний спосіб дозволяє визначити умови, при яких доцільно використовувати або імовірнісні методи аналізу, або детерміністичні методи, але не дозволяє в необхідних випадках використовувати позитивні сторони як тої, так й іншої групи методів.

Відомий також спосіб управління установкою (EP0411873), в якій застосовується моделююча система, що використовує експертні, імовірнісні й детерміністські методи моделювання. Дана моделююча система є моделлю системи у вигляді ієрархічної структури незалежних об'єктних модулів, що взаємодіють між собою, кожен з яких є елементом або системою. Об'єкти зв'язані один з одним за допомогою бази даних, доступної для всіх об'єктів. Структура об'єктного модуля й сама ієрархічна структура стандартизовані й дозволяють додавати нові елементи або системи шляхом додавання стандартних об'єктних модулів, які включають індивідуальну об'єктну модель моделюваного об'єкту. Об'єктна модель містить детерміністську модель деградації елементу, імовірнісну модель деградації елементу й експертні правила, які об'єднують детерміністську й імовірнісну моделі зі знаннями експертів з тим, щоб визначити поточний стан об'єкта й видати рекомендації, відносно майбутніх дій щодо об'єкту.

Відома також процедура з виконання імовірного аналізу безпеки атомних станцій (Procedures for conducting probabilistic safety assessment of nuclear power plants (level 1), International Atomic Energy Agency, Vienna, 1992, STI/PUB/888), яка включає кроки із збору та аналізу початкової інформації, вибору вихідних подій, визначенню функцій безпеки, визначенню функціонально-системних взаємозв'язків, визначенню критеріїв успішної ро-

боти, групуванню вихідних подій, моделюванню послідовностей подій і систем, проведенню якісного й кількісного аналізу.

Пропоновані методи моделювання придатні тільки для стаціонарних, в сенсі умов безпеки, систем, що допускають тільки повільні зміни умов безпеки, пов'язані, наприклад, з деградацією елементів.

Ці процедури не придатні для аналізу технологічних процесів з умовами безпеки, що постійно змінюються, як в ході окремих технологічних операцій, так і в ході технологічних циклів.

Транспортно-технологічні процеси характеризуються, як правило, тим, що умови безпеки істотно змінюються як при переході від однієї технологічної операції до іншої, так і в ході виконання однієї технологічної операції. При цьому є велика кількість логічних і функціональних зв'язків між окремими операціями, що діють на безпеку технологічного процесу.

Ця обставина не дозволяє використовувати для аналізу і оцінки безпеки відомі способи. До таких технологічних процесів відносяться, наприклад, процеси перевантаження ядерного палива. Нестационарність технологічних процесів з ядерним паливом не дозволяє також безпосередньо використовувати методи імовірнісного аналізу безпеки (ІАБ) для аналізу безпеки цих процесів.

Завдання даного винаходу полягає в створенні способу аналізу й оцінки безпеки технологічних процесів, який дозволив би проводити кількісну оцінку технологічних процесів з умовами безпеки, що постійно змінюються, як в ході окремих технологічних операцій, так і в ході технологічних циклів з використанням обчислювальних засобів ІАБ.

Іншим завданням є створення такого способу оцінки безпеки, який міг би дозволити сформулювати обґрунтовані вимоги з безпеки для проведення оптимізації структури системи управління технологічними процесами, у тому числі й визначення необхідної й достатньої кількості захистів і блокувань, зокрема, технологічних процесів перевантаження ядерного палива.

Запропонований згідно даному винаходу спосіб дозволяє вирішити вказані вище завдання, а також забезпечує підвищення надійності і достовірності оцінки безпеки, що є основним чинником при розробці нових технологічних процесів і модернізації або модифікації наявних процесів.

Запропонований згідно даному винаходу спосіб дозволяє також провести кількісну оцінку безпеки технологічного процесу.

Крім того, запропонований спосіб може використовуватися для оцінки безпеки процесів перевантаження ядерного палива та інших технологічних процесів підвищеного ступеня небезпеки.

Згідно винаходу спосіб управління небезпечним технологічним процесом з нестационарними об'єктами здійснюється з використанням пристрою обробки даних, наприклад, комп'ютера і включає в себе наступну послідовність операцій:

- збір та аналіз інформації про дії на об'єкти, що беруть участь у технологічному процесі,
- визначення гранично допустимих значень зазначених дій,

- виявлення порушень технологічного процесу, при яких ці дії перевищують гранично допустимі.

Особливістю пропонованого методу є визначення як інтервалів безпеки технологічного процесу таких інтервалів, для яких залишається незмінною сукупність зазначених порушень і розподіл технологічного процесу на такі інтервали безпеки. При цьому для визначення інтервалів безпеки визначають для кожного виявленого порушення множину частин технологічного процесу, на яких діє це порушення.

Далі для кожного інтервалу безпеки:

- проводять аналіз переходу порушень технологічного процесу з одного інтервалу безпеки в інший з урахуванням причинно-наслідкових зв'язків;

- вибудовують детерміністські моделі інтервалів безпеки з урахуванням можливих сценаріїв переходу порушень технологічного процесу на наступні інтервали безпеки;

- на основі зазначених моделей визначають показники надійності устаткування й вносять відповідні зміни в процес, які дозволяють забезпечити задані показники безпеки всього процесу.

При цьому при аналізі безпеки технологічного процесу розглядають нестационарні об'єкти, такі як технологічний процес у цілому, етапи й ділянки технологічного процесу, виробу, пристрої, вузли пристроїв, умови безпеки яких змінюються залежно від часу й місцезнаходження даного виробу, вузла або пристрою, зокрема, залежно від того, на якому етапі або ділянці технологічного процесу знаходиться зазначений виріб, пристрій або вузол. Аналіз і оцінку безпеки проводять шляхом виконання наступних операцій:

- побудова логічних або логіко-імовірнісних моделей для кожного порушення на основі аналізу можливих дій, що викликають відповідні порушення технологічного процесу, і різних поєднань таких дій.

- перехід від розгляду нестационарного технологічного процесу, до розгляду стаціонарних частин технологічного процесу на основі даних аналізу розподілу зон дії виявлених порушень в різних частинах технологічного процесу, зокрема, аналіз і оцінку безпеки на кожному інтервалі безпеки технологічного процесу здійснюють шляхом побудови діаграм розділення на інтервали безпеки;

- побудова детерміністських моделей інтервалів безпеки з урахуванням можливих сценаріїв переходу порушень технологічного процесу на наступні інтервали безпеки.

На основі вказаних детерміністських моделей інтервалів безпеки з урахуванням можливих сценаріїв і логіко-імовірнісних моделей виникнення порушень технологічного процесу далі будують детерміністсько-імовірнісні моделі безпеки всього технологічного процесу.

При цьому детерміністсько-імовірнісні моделі безпеки всього технологічного процесу можуть бути побудовані з використанням раніше отриманих детерміністських моделей інтервалів безпеки та/або логіко-імовірнісних моделей виникнення порушень технологічного процесу.

Однією з особливостей способу, що заявляється, є те, що при проведенні аналізу переходу порушень технологічного процесу враховують причинно-наслідкові зв'язки між виявленими порушеннями, можливими порушеннями технологічного процесу й функцією захистів і блокувань на кожному етапі технологічного процесу.

За порушення, що є джерелами небезпеки, приймають порушення технологічного процесу, які можуть призвести до перевищення гранично допустимих дій на вузлі, деталі вузлів (пристроїв), й інші об'єкти, дії на які підлягають нормуванню в рамках даного технологічного процесу. Як гранично допустимі дії використовують граничні нормативні дії, зазначені в нормативно-технічній документації з безпеки, що включає технологічні алгоритми, схеми зон обслуговування, схеми транспортно-технологічних операцій, нормативну документацію з безпеки.

Іншою особливістю способу є проведення аналізу розподілу зон дії порушень технологічного процесу на основі аналізу кожної одиничної ділянки операції технологічного процесу й визначення того, які саме джерела небезпеки викликають те або інше перевищення допустимої дії.

Іншою особливістю способу є побудова логіко-імовірнісних моделей можливих порушень технологічного процесу, в яких кожному вихідному подію враховують із показником імовірності її виникнення, отриманим на основі аналізу статистичних даних для даного технологічного процесу.

Ще однією особливістю способу є те, що при розділенні на інтервали безпеки враховують кожне порушення в кожній частині розглянутого технологічного процесу для кожної гранично допустимої дії.

На основі проведеного аналізу і оцінки безпеки додатково здійснюють оптимізацію структури системи управління технологічним процесом, а також визначають показники надійності устаткування, зокрема показник імовірності відмови устаткування.

Даний винахід може бути реалізований також у виді системи для виконання процесу аналізу й оцінки безпеки технологічного процесу, який містить:

- засоби збору, зберігання й обробки інформації, які включають у тому числі засоби зберігання даних про технологічний процес, призначених для аналізу нормативно-технологічної документації, і даних, призначених для аналізу порушень технологічного процесу;

- засоби для виявлення порушень технологічного процесу, при яких ці дії перевищують гранично допустимі, і розбивки технологічного процесу на інтервали безпеки, для яких залишається незмінною сукупність зазначених порушень;

- засоби для проведення аналізу переходу порушень технологічного процесу з одного інтервалу безпеки в інший з урахуванням причинно-наслідкових зв'язків, та з урахуванням вкладу окремих технологічних операцій і окремих захистів і блокувань у загальний показник безпеки технологічного процесу;

- засоби для побудови детерміністських моделей для кожного інтервалу безпеки з урахуванням можливих сценаріїв переходу порушень технологічного процесу на наступні інтервали безпеки й для розрахунку показників надійності устаткування в цьому інтервалі, виходячи з розрахунку імовірнісних показників по кожному виду подій, а також комплексного показника безпеки, і

- засоби управління процесом для внесення змін у процес, які дозволяють забезпечити задані показники безпеки всього процесу.

Система згідно винаходу також може містити засоби створення вербальної моделі технологічного процесу, що включає опис умов та меж експлуатації.

Далі, система переважно містить програмовані засоби обчислювальної техніки для реалізації способу управління небезпечним технологічним процесом з нестационарними об'єктами згідно із даним винаходом.

Зазначені засоби обчислювальної техніки переважно виконані з можливістю розробки й вибору сценаріїв розвитку порушень технологічного процесу з використанням бази даних, що зберігає статистичну інформацію про ймовірності настання різних подій для даного технологічного процесу.

Інші особливості й ознаки системи заявленого способу будуть далі описані детальніше на прикладі способу оцінки безпеки процесу перевантаження ядерного палива з посиланнями на фігури, що додаються.

Однак слід зазначити, що вказаний приклад реалізації не є обмежувальним, оскільки спосіб, запропонований у даному винаході, може використовуватися для аналізу й оцінки безпеки будь-якого технологічного процесу, в якому це потрібно.

Короткий опис фігур

Фіг. 1 - діаграма розділення на етапи технологічної операції "Встановлення ТВЗ в реактор".

Фіг. 2 - вербальна модель для аналізу безпеки технологічного процесу.

Фіг. 3 - детерміністська модель транспортно-технологічної операції "Встановлення ТВЗ в реактор".

Фіг. 4 - типова логіко-імовірнісна модель виникнення ПНД (перевищення необхідної дії) на інтервалі безпеки.

Фіг. 5 - детерміністсько-імовірнісна модель технологічного процесу перевантаження активної зони РУ (реактивної установки).

Фіг. 6 - укрупнена структурна схема системи управління машини перевантажувальної.

Фіг. 7 - діаграма розділення на інтервали безпеки технологічної операції "Встановлення ТВЗ в реактор".

Фіг. 8 - детерміністська модель технологічної операції "Встановлення ТВЗ у реактор".

Фіг. 9 - логіко-імовірнісна модель "Падіння ТВЗ".

Фіг. 10 - модель ПНД для інтервалу безпеки R07.

Фіг. 11 - модель ПНД для інтервалу безпеки R19.

Фіг. 12 - модель ПНД для інтервалу безпеки R18.

Фіг. 13 - модель ПНД для інтервалу безпеки R17.

Фіг. 14 - логіко-імовірнісна модель ПНД F11 для інтервалу безпеки R17.

Фіг. 15 - послідовність моделей F123.

Фіг. 16 - логіко-імовірнісна модель ПНД F117 для інтервалу безпеки R21+.

Фіг. 17 - алгоритм виконання кількісного аналізу безпеки;

Фіг. 18 - алгоритм розробки графічної моделі.

Реалізація даного винаходу далі буде показана на прикладі аналізу й оцінки безпеки технологічного процесу перевантаження активної зони реакторної установки ВВЕР-1000.

Процедура аналізу безпеки технологічного процесу активної зони проводиться з використанням системи для виконання процесу аналізу й оцінки безпеки технологічного процесу, яка містить центральний процесор для проведення аналізу й оцінки безпеки технологічного процесу, засобу зберігання даних про технологічний процес, і засобу розрахунку імовірнісних показників безпеки по кожному виду подій, а також комплексного показника безпеки.

Засоби зберігання даних містять з одного боку, наприклад, дані нормативно-технологічної документації, які служать як початкові дані для розробки переліку критеріїв безпеки і переліку перевищень нормативних дій, а з іншої сторони, дані про реальний технологічний процес, які використовуються при аналізі можливих порушень технологічного процесу і складанні списку таких порушень, які призводять до перевищення припустимих дій.

Далі, система містить засоби створення вербальної моделі технологічного процесу, що включає опис умов і меж експлуатації, засоби побудови детерміністсько-імовірнісної моделі, засоби розрахунку імовірнісних показників безпеки, засоби створення логіко-імовірнісних моделей та інші розрахункові засоби.

Процедура аналізу й оцінки безпеки згідно даному винаходу полягає у виконанні наступної послідовності операцій.

На першому етапі здійснюють збір вихідної інформації, що включає в себе нормативно-технічну й експлуатаційну документацію на перевантажувальну машину, систему управління, перевантажувані вироби, технологічні алгоритми, схему зони обслуговування, схему транспортно-технологічних операцій та інші необхідні документи.

На другому етапі здійснюють аналіз вихідної інформації, на основі якої розробляють наступні основні документи:

1. Схема технологічного процесу

Дану схему представляють у вигляді багаторівневої структури, що включає в себе процес перевантаження активної зони реактора, технологічний цикл і транспортно-технологічну операцію.

Процес перевантаження представляють у вигляді деякого числа технологічних циклів, перелік яких визначається на підставі технічних умов на перевантажувальну машину МПС-В-1000-3 У4.2.

У загальному випадку процес перевантаження складається з 22 видів технологічних циклів з тепловиділяючими зборками (ТВЗ), включаючи підриг ТВЗ, контроль рівня встановлення ТВЗ у реакторі, огляд гнізд під встановлення ТВЗ у реакторі; 5 видів технологічних циклів з елементами, що впливають на працездатність (кластер); 4 видів технологічних циклів із пробкою пенала СОДЗ/пенала герметичного.

Кожний технологічний цикл складається із заданої кількості типових транспортно-технологічних операцій. Так, наприклад, згідно даному прикладу реалізації, кількість видів транспортно-технологічних операцій даного процесу включає 11 видів транспортно-технологічних операцій по поводженню з ТВЗ, 4 види транспортно-технологічних операцій при поводженні з кластером; 2 види транспортно-технологічних операцій при поводженні з пробкою пенала СОДЗ/пенала герметичного.

2. Перелік критеріїв безпеки

За критерії безпеки приймають гранично-допустимі значення нормативних дій на перевантажувані вироби.

Перевищення допустимої дії є порушенням, яке полягає в перевищенні нормативної дії, встановленої нормативно-технічними документами для різного виду дій на перезавантажуваний виріб. При цьому критерієм безпеки служитиме відсутність перевищень нормативних дій на даний об'єкт, у даному випадку, наприклад, на перезавантажуваний виріб.

Критерії безпеки встановлюють на підставі аналізу Норм і Правил Ростехнадзору і експлуатаційної документації на ядерне паливо.

Примірний перелік критеріїв безпеки при перевантаженні активної зони РУ (при поводженні з ТВЗ) наведений в таблиці 1.

Таблиця 1

Вид дії	Критерії безпеки	Нормативно-технічний документ
Падіння ТВЗ	Падіння ТВЗ не допускається	Пункт 4.2.8 "Правил безпеки при зберіганні і транспортуванні ядерного палива на об'єктах атомної енергетики" ПНАЕ Г- 14-029-91
Обертний момент	Обертний момент не допускається	Пункт 8.2.7 керівництво з експлуатації "КОМПЛЕКС КАСЕТ ВВЕР-1000" 0401.22.00.000 РЕ
Бічний удар	Зіткнення штанги перевантажувальної машини, що транспортує ТВЗ, з конструкціями реактора або басейну витримування (БВ) не допускається	Пункт 6.5.11 "Правил безпеки при зберіганні і транспортуванні ядерного палива на об'єктах атомної енергетики" ПНАЕ Г-14-029-91
Зусилля виймання/установки	Зусилля виймання не повинне перевищувати 2205 Н Зусилля установки не повинне перевищувати 735 Н	Пункт 8.2.4 керівництво з експлуатації "КОМПЛЕКС КАСЕТ ВВЕР-1000" 0401.22.00.000 РЕ
Зусилля стискання	Величина зусилля стискання не повинна перевищувати 9800 Н	Пункт 8.2.3 керівництво з експлуатації "КОМПЛЕКС КАСЕТ ВВЕР-1000" 0401.22.00.000 РЕ
Граничне верхнє положення ТВЗ	Підйом відпрацьованої ТВЗ вище відмітки, яка забезпечує відповідний шар води з умови безпеки персоналу, що управляє перевантаженням ядерного палива, не допускається	Пункт 6.5.11 "Правил безпеки при зберіганні і транспортуванні ядерного палива на об'єктах атомної енергетики" ПНАЕ Г-14-029-91
Зусилля вигину	Зусилля вигину не допускається	Пункт 6.5.11 "Правил безпеки при зберіганні і транспортуванні ядерного палива на об'єктах атомної енергетики" ПНАЕ Г- 14-029-91
Зусилля розтягування	Максимальне зусилля при витяганні ТВЗ у реакторі на початковій ділянці 40 мм не повинне перевищувати 39200 Н	Пункт 8.2.5 керівництво з експлуатації "КОМПЛЕКС КАСЕТ ВВЕР-1000" 0401.22.00.000 ТЕ
Саморуйнування ТВЗ	Перевантаження ТВЗ із механічними пошкодженнями (відрив окремих деталей або частин вузлів) не допускаються	Пункт 10.6 керівництво з експлуатації "КОМПЛЕКС КАСЕТ ВВЕР-1000" 0401.22.00.000 РЕ
Перегрів ТВЗ	Перевантаження ТВЗ при зниженні рівня води в басейні витримки не допускаються	Пункт 4.2.11 "Правил безпеки при зберіганні і транспортуванні ядерного палива на об'єктах атомної енергетики" ПНАЕ Г-14-029-91

3. Перелік порушень технологічного процесу й умов експлуатації, які можуть призвести до ПНД.

Як порушення технологічного процесу перевантаження активної зони приймають порушення нормальної експлуатації, які, в загальному вигляді, зводяться до наступних:

- несанкціоновані переміщення механізмів;
- несанкціоновані швидкості переміщення механізмів;
- несанкціоновані напрямки переміщення механізмів;
- помилка виходу механізму на задані координати;
- знаходження механізму не в заданому положенні;
- знаходження перезавантажуваного виробу в положенні, що не відповідає заданому положенню;
- наявність сторонніх предметів в зоні розташування перезавантажуваних виробів;
- відхилення геометрії перезавантажуваних виробів;
- втрата енергопостачання;
- сейсмічні дії та ін.

Порушення технологічного процесу розподіляють на дві групи:

- порушення дії, наприклад: несанкціоноване переміщення моста;
- порушення стану, наприклад: захват ТВЗ знаходиться в проміжному положенні.

Загальна кількість порушень технологічного процесу (ПТП), що розглядається в рамках даного процесу, складає 55, з них до порушень стану відносяться 16 НТП.

4. Схема розділення транспортно-технологічних операцій на інтервали з незмінними умовами безпеки.

Наступним етапом є розробка діаграми розділення транспортно-технологічних операцій на інтервали, для яких умови безпеки залишаються постійними.

Процедура побудови схеми розділення транспортно-технологічних операцій на інтервали з незмінними умовами безпеки буде розглянута стосовно операції "Встановлення ТВЗ в реактор".

Спочатку складають таблицю, що містить відомості про ПНВ $D_{\text{доп}}$, відповідні ним джерела

небезпеки й зони дії джерел небезпеки. Зона дії джерела небезпеки визначає ті ділянки технологічної операції, на яких джерела небезпеки можуть

призвести до неприпустимих дій. Наприклад, для деяких критеріїв безпеки, таблиця може виглядати наступним чином (таблиця 2).

Таблиця 2

Критерій безпеки $D_{i\text{доп}}$	Джерело небезпеки $F(D_i)$	Зона дії джерела небезпеки
Падіння ТВЗ (П1)	Несанкціоноване відкривання захвата ТВЗ	Початок - транспортне положення із ТВЗ. Закінчення - хвостовик ТВЗ знаходиться на відстані 100 мм до місця встановлення
Обертотий момент (П2)	Несанкціонований поворот робочої штанги	Початок - хвостовик встановлюваної ТВЗ знаходиться на рівні головок ТВЗ, що стоять. Закінчення - ТВЗ встановлена в гніздо реактора
Зусилля стискання (П5)	Переміщення захвата ТВЗ із ТВЗ донизу на несанкціонованій швидкості	Початок - хвостовик ТВЗ знаходиться на відстані 100 мм до місця встановлення ТВЗ в гніздо реактора. Закінчення - ТВЗ встановлена в гніздо реактора

Далі вибудовують діаграму розподілу зони дії ІО на різних ділянках аналізованої ТО (фіг 1).

При цьому технологічний процес представляють у наступній системі координат:

На горизонтальну вісь наносять точки початку й закінчення дії джерел небезпеки. На вертикальну вісь наносять точки, що відповідні можливим видам пошкодження (ПНД). Потім для кожного джерела небезпеки вибудовують зону його дії, показуючи її горизонтальною лінією. Далі через початкові й кінцеві точки отриманих зон дії джерел небезпеки проводять вертикальні лінії (показані пунктирними лініями), які розділяють всю технологічну операцію на інтервали, для яких залишаються незмінними умови перевищення меж безпеки, тобто, наприклад, кількість і види можливих пошкоджень ТВЗ.

Отримані інтервали безпеки являють собою стаціонарні за умовами безпеки об'єкти, для яких можна застосовувати стандартні розрахункові методи ІАБ (імовірнісного аналізу безпеки).

Таким чином, весь технологічний процес виявляється представленим у вигляді послідовно з'єднаних інтервалів безпеки. Причому, інтервали безпеки зв'язані між собою не тільки порядком виконання окремих технологічних операцій, але й причинно-наслідковими зв'язками порушень технологічного процесу, що відбуваються на цих інтервалах.

5. Таблиця поширення порушень

Дану таблицю складають на основі аналізу переходу порушень технологічного процесу з одного інтервалу безпеки в інший.

Особливістю багатьох транспортно-технологічних операцій, зокрема, операцій з пере-

вантаження ядерного палива, є та обставина, що порушення технологічного процесу перевантаження, яке сталося на якому-небудь інтервалі технологічного процесу може не призводити до ПДД (перевищення допустимої дії) на перевантажувальний виріб на цьому інтервалі, а передаватися на наступні інтервали технологічного процесу, на яких і може відбутися ПДД на перевантажувальний виріб. Наприклад, на інтервалі переміщення ТВЗ у транспортне положення може виникнути порушення технологічного процесу, у результаті якого ТВЗ не буде піднята до потрібного рівня і її нижня частина виступатиме за габарити робочої штанги. На даному інтервалі це порушення не може призвести до пошкодження ТВЗ, проте надалі, при переміщенні ТВЗ через транспортний коридор, можливий її вигин при взаємодії з конструктивними елементами транспортного коридору.

Вказана особливість технологічного процесу призводить до необхідності аналізу процесу поширення порушень за технологічним процесом. У зв'язку з цим були розроблені "Правила поширення порушень технологічного процесу" (Правила), які використовують для аналізу переходу порушень технологічного процесу з одного інтервалу безпеки в інший.

Потім, складають зведену таблицю поширення порушень, в якій перераховують всі можливі порушення технологічного процесу і всі інтервали безпеки, що складають дану операцію. Заповнення даної таблиці здійснюють, використовуючи розроблені раніше Правила. Наприклад, для перших трьох інтервалів безпеки операції "Встановлення ТВЗ" таблиця буде виглядати наступним чином (таблиця 3).

Таблиця 3

Умовні позначення	Найменування порушення	БІ (безпеки інтервал) 1.15			БІ 1.16			БІ 1.17			...
		Вх.		Вих.	Вх.		Вих.	Вх.		Вих.	
Н 2.1.6.1	Міст знаходиться не на необхідних координатах встановлення / витягання ТВЗ	+	×	+	+	×	+	+	2	-	
Н 2.2.6.1	Візок знаходиться не на координатах потрібних для встановлення / витягання ТВЗ	+	×	+	+	×	+	+	2	-	
Н 2.2.6.2	Візок знаходиться не на необхідних координатах входу в транспортний коридор	-	4	-	-	4	-	-	4	-	
Н 2.4.7.1	ЗТВЗ з ТВЗ знаходиться вище «транспортного положення з ВП(виробом перевантажуваним)»	+	1	-	-	1	-	-	1	-	
Н 2.4.7.2	ЗТВЗ з ТВЗ знаходиться нижче «транспортного положення з ВП»	+	1	-	-	1	-	-	1	-	
Н 2.4.7.3	ЗТВЗ із підхопленою ТВЗ знаходиться в "транспортному положенні з виробом"	-	4	-	-	4	-	-	4	-	
Н 2.4.7.4	ЗТВЗ знаходяться не на необхідних координатах встановлення/витягання ТВЗ (по висоті)	-	4	-	-	4	-	-	-	-	
Н 2.5.7.1	Невідповідність потрібному фактичному положення захвата ТВЗ - захват відкритий	-	2	-	-	2	-	-	3	-	
Н 2.5.7.2	Невідповідність потрібному фактичному положення захвата ТВЗ - захват закритий	-	4	-	-	4	-	-	4	-	
Н 2.5.7.3	Фіксатор захвата знаходиться в проміжному положенні	+	×	+	+	×	+	+	×	+	
Н 2.7.7.1	РШ (робоча штанга) знаходиться не в "0°" град (необхідне положення)	+	×	+	+	×	+	+	×	+	
Н 2.7.7.2	РШ знаходиться не в "45°" град (необхідне положення)	-	4	-	-	4	-	-	4	-	
Н 10	ТВЗ встановлена не в гніздо реактора	-	4	-	-	4	-	-	-	-	
і так далі											

У даній таблиці знаки "+", "-" позначають наявність або відсутність можливості існування порушення на вході й виході інтервалу безпеки, цифри "1" - "6" відповідають номерам правил поширення порушень технологічного процесу, які полягають, наприклад, у наступному.

Правило 1: дія порушення технологічного процесу завершується з початком штатного переміщення механізму. Наприклад, дія порушення технологічного процесу "Помилка виходу моста на

задані координати" припиняється після початку штатного переміщення моста.

Правило 2: можливість порушення технологічного процесу унеможливується, за умови реалізації інтервалу безпеки відповідно до технологічного процесу, що було б неможливо при наявності розглянутого порушення. Наприклад, встановлення ТВЗ в гніздо реактора припиняє дію наступних порушень: "Робоча штанга не в 0 градусів", Міст або візок не на координатах витяган-

ня/встановлення перевантажуваного виробу, і так далі.

Правило 3: дія порушення технологічного процесу (ПТП) припиняється при безумовному переході порушення технологічного процесу в перевищення припустимої дії (ПДД). Наприклад, несанкціоноване відкривання захвата ТВЗ при транспортуванні ТВЗ (ПТП) безумовно, призводить до падіння ТВЗ (ПДД).

Правило 4: порушення технологічного процесу припиняє дію на тому інтервалі безпеки, на якому порушення не є порушенням технологічного процесу для даного інтервалу безпеки. Наприклад, порушення технологічного процесу Положення захвата ТВЗ "Захват ТВЗ відкритий" припиняє дію після установки ТВЗ на штатне місце.

Правило 5: дія порушення технологічного процесу не розглядається, якщо воно не дозволяє виконати штатну технологічну операцію, але при цьому не призводить до ПНВ. Наприклад, при переміщенні донизу захвата ТВЗ, що знаходиться в положенні "Захват ТВЗ закритий" не відбудеться посадка захвата ТВЗ на ТВЗ, однак при цьому не створюються умови, що призводять до пошкодження ТВЗ.

Правило 6: порушення технологічного процесу, пов'язані з порушеннями нормальної експлуатації (сторонні предмети, відхилення геометричних розмірів зони обслуговування, перевантажуваних виробів і тому подібне) вважаються такими, що виникли, коли порушення починають впливати на безпеку технологічного процесу. Наприклад, сторонній предмет, що знаходиться в гнізді реактора, не розглядається як порушення технологічного процесу до тих пір, поки не відбувається встановлення ТВЗ у гніздо реактора, де знаходиться даний предмет. Сторонній предмет у гнізді реактора може призвести до того, що ТВЗ не встане на штатне місце і далі може відбутися падіння ТВЗ.

Далі, на основі перерахованих документів формують вербальну модель для аналізу безпеки технологічного процесу (фіг. 2).

На третьому етапі здійснюють моделювання технологічного процесу, що виконують у наступній послідовності.

На основі отриманої раніше таблиці поширення будують детерміністсько-імовірнісну модель технологічної операції з урахуванням можливого переходу порушень технологічного процесу на наступні інтервали безпеки (фіг. 3). Дана модель являє собою сукупність інтервалів безпеки. При цьому розглядають порушення технологічного процесу, які виникли на даному інтервалі безпеки, а також порушення технологічного процесу, які були передані з попереднього й викликали перевищення допустимої дії на даному інтервалі або можуть викликати перевищення припустимих дій на наступних інтервалах.

Дана модель враховує всі можливі сценарії й шляхи розвитку подій і дозволяє провести якісну оцінку безпеки даної технологічної операції. Результати даного аналізу можуть використовуватися як самостійно, так і для проведення наступної кількісної оцінки безпеки технологічного процесу.

Далі вибудовують логічні або логіко-імовірнісні моделі виникнення кожного перевищення допустимої дії для кожного інтервалу безпеки (фіг. 4). При цьому розглядають такі порушення технологічного процесу, які виникли на даному інтервалі безпеки або прийшли з попереднього і викликали перевищення допустимої дії на даному інтервалі. Також враховують зовнішні дії та захисти і блокування, що є на даному інтервалі безпеки. При цьому для отримання кількісних показників кожне порушення технологічного процесу або відмови захистів і блокувань враховують із відповідним імовірнісним показником його виникнення.

Вхідними діями можуть бути, наприклад: випадкова дія на клавіатуру; видача оператором помилкової команди; відмова пульта дистанційного керування (ПДК) системи управління по функції управління; відмова програмно-технічного комплексу (ПТК) системи управління по функції управління; відмова комплексу електроустаткування (КЕ) системи управління по функції управління.

Зовнішніми вхідними діями можуть бути, наприклад: відмови устаткування (перевантажувальної машини і системи управління перевантажувальної машини); помилки експлуатаційного персоналу; відхилення геометричних розмірів перевантажуваних виробів від проектних розмірів; відхилення геометричних розмірів: гнізд установки ТВЗ у реакторі, осередків стелажів басейну витримання, чохлів для свіжого палива і контейнера для відпрацьованого палива від проектних розмірів; непередбачені проектом конструктивні елементи зони обслуговування; сторонні предмети в зоні обслуговування; зниження рівня води внаслідок течі облицювання басейну витримання; повне припинення енергопостачання; сейсмічна дія.

Захисти і блокування можуть включати, наприклад, захисти і блокування, реалізовані в структурі системи управління перевантажувальної машини. Захисти і блокування підрозділяють на дві групи: загальні захисти і блокування та захисти і блокування для кожного механізму перевантажувальної машини.

За способом реалізації групи захистів і блокувань розподіляють в структурі системи управління таким чином:

- пульт дистанційного керування - захисти;
- програмно-технічний комплекс - захисти і блокування;
- комплекс електроустаткування - захисти і блокування.

Такий спосіб розподілу захистів і блокувань дозволяє здійснити ешелонований захист і використовувати принцип незалежності при формуванні певних захистів і блокувань, направлених на забезпечення меж і умов безпечної експлуатації.

Залежно від цілей і завдань аналізу безпеки технологічного процесу, що проводиться, можливі різні модифікації і поєднання описуваних моделей, наприклад, детерміністських моделей операцій і логіко-імовірнісних моделей порушень технологічного процесу.

Наприклад, послідовно об'єднуючі детерміністсько-імовірнісні моделі технологічних операцій,

будують модель технологічного циклу, а потім і модель усього процесу перевантаження активної зони РУ (фіг. 5).

Модель процесу перевантаження забезпечує можливість визначення комплексного показника безпеки, а також кількісних показників безпеки за кожним критерієм безпеки.

На четвертому етапі проводять розрахунок імовірнісних показників безпеки технологічного процесу перевантаження активної зони з використанням атестованого розрахункового комплексу "Risk Spectrum Professional".

Процедуру розрахунку кількісних імовірнісних показників безпеки (критеріїв безпеки) виконують в наступній послідовності:

- вводять модель процесу перевантаження в розрахунковий комплекс;
- призначають імовірнісні характеристики можливих порушень технологічного процесу;
- призначають характеристики надійності захистів і блокувань;
- виконують необхідні розрахунки і аналіз результатів;
- представляють результати розрахунку імовірнісних показників безпеки транспортно-технологічної операції "Встановлення ТВЗ";
- представляють результати аналізу дії окремих захистів і блокувань на імовірнісні показники безпеки.

На п'ятому етапі проводять аналіз показників безпеки, що характеризують внесок окремих транспортно-технологічних операцій і окремих захистів і блокувань у загальний показник безпеки технологічного процесу перевантаження активної зони.

На шостому етапі здійснюють розробку пропозицій і рекомендацій з удосконалення конструктивних і схемних рішень перевантажувальної машини й системи управління.

На сьомому етапі здійснюють розробку рекомендацій з підвищення рівня безпеки АЕС при

виконанні транспортно-технологічних операцій з ядерним паливом.

Далі розглянуто варіант кількісної оцінки безпеки технологічної операції "Встановлення ТВЗ у реактор" для реактора типу ВВЕР-1000, виконаної з використанням заявленого способу аналізу і оцінки безпеки транспортно-технологічного процесу підвищеного ступеня небезпеки.

Об'єктом аналізу є технологічний комплекс перевантаження активної зони реакторної установки, що включає машину перевантажувальну (МП), систему управління МП, структурна схема якої показана на фіг. 6, зону перевантаження (реактор), перевантажувані вироби (ТВЗ), які розглядаються з урахуванням можливих порушень технологічного процесу перевантаження, відмов устаткування, відхилення геометрії перевантажуваних виробів (ПВ) від проектних, помилок персоналу та ін.

Система управління машини перевантажувальної (фіг. 6) містить пульт дистанційного керування 1, програмно-технічний комплекс каналу А 2, програмно-технічний комплекс каналу В 3, блок логічної обробки 4, комплекс 5 електроустаткування (КЕ) управління виконавчими механізмами, датчики каналів А і В (не показані).

У даному прикладі розглянутий один вид ПНВ - Падіння ТВЗ (див. таблицю 1), тобто оцінюється імовірність падіння ТВЗ на операції "Встановлення в реактор".

На першому етапі виконують детальний аналіз процесу перевантаження на основі даних нормативно-технічної документації та інформації про дії D, ($1 < i < n$) на об'єкти, що беруть участь у технологічному процесі на операції "Встановлення в реактор", отриманої з датчиків системи управління (фіг. 6). На підставі проведеного аналізу формують таблицю можливих причин і умов виникнення ПНВ для кожного критерію безпеки $D_{i\text{доп}}$ на даній операції, які наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Критерій безпеки	Дія D _i	Умови відмови
Падіння ТВЗ $D_{i\text{доп}}$	Несанкціоноване відкривання захвата ТВЗ при переміщенні ТВЗ	"Падіння" може відбуватися при знаходженні хвостовика ТВЗ вище рівня установки більш ніж на 50 мм
	Переміщення ТВЗ при не повністю закритому зачепі ТВЗ	"Падіння" може відбуватися при мимовільному відкриванні захвата ТВЗ, при знаходженні переміщуваної ТВЗ на вертикальних і горизонтальних ділянках технологічного процесу
	Несанкціоноване відкривання захвата ТВЗ після встановлення ТВЗ не в гніздо реактора (не на штатне місце)	"Падіння" може відбуватися при сході захвата ТВЗ з ТВЗ
	Переміщення "підхопленої" ТВЗ: - в результаті заклинювання ТВЗ при посадці або сході захвата ТВЗ з головки ТВЗ - при неповному відкритті захвата ТВЗ	"Падіння" "підхопленої" ТВЗ може мимоволі відбуватися на вертикальних і горизонтальних ділянках технологічного процесу

Продовження таблиці 4

Критерій безпеки	Дія D_i	Умови відмови
Падіння ТВЗ $D_{\text{ідоп}}$	Обрив каната захвата ТВЗ	"Падіння" може відбуватися при знаходженні хвостовика ТВЗ вище рівня установки більш ніж на 50 мм
	Руйнування силового ланцюга захвата ТВЗ	
	Руйнування силового ланцюга механізму переміщення ЗТВЗ	

На підставі отриманих даних формують перелік порушень технологічного процесу (ПТП) $F = f(D_i)$ і умов експлуатації, які безпосередньо можуть

призвести до ПНД на операції "Встановлення ТВЗ у реактор", тобто порушень, для яких $D_i > D_{\text{ідоп}}$, наведений у таблиці 5.

Таблиця 5

Позначення ПТП	Найменування ПТП
F06	Вихід моста не в задані координати
F12	Вихід візка не в задані координати
F19	Несанкціоноване переміщення захвата ТВЗ вище координати встановлення ТВЗ при відкриванні ЗТВЗ
F20	Переміщення захвата ТВЗ при знаходженні фіксатора захвата ТВЗ в проміжному положенні
F31	Остановка фіксатора захвата ТВЗ в проміжному положенні
F33	Неповне відкривання захвата ТВЗ
F34	Неповне закриття захвата ТВЗ
F40	Міст знаходиться не на координатах встановлення ТВЗ
F41	Візок знаходиться не на координатах встановлення ТВЗ
F46	Захват ТВЗ знаходиться не на координатах встановлення ТВЗ (по висоті)
F52	Фіксатор захвата ТВЗ знаходиться в проміжному положенні
F55	ТВЗ не в гнізді реактора, внаслідок виходу не на координати встановлення по горизонталі
F56	Встановлення ТВЗ не в гніздо реактора, внаслідок відмов устаткування (по горизонталі)
F57	Відкриття ЗТВЗ при знаходженні ЗТВЗ не на координатах установки по вертикалі
F64	Переміщення механізмів МП при заклинюванні ЗТВЗ (при роботі із ТВЗ)
F66	Переміщення захопленої ТВЗ згідно технологічному процесу
F67	Переміщення захвата ТВЗ при захваті ТВЗ
F68	Несанкціоноване відкриття ЗТВЗ при установці ТВЗ не на координати встановлення по горизонталі
F73	Перешкода руху ТВЗ при встановленні, внаслідок відмов устаткування і порушень умов експлуатації
F75	Перешкода руху ТВЗ при встановленні, внаслідок відхилення встановлених ТВЗ від вертикального положення.
F76	Перешкода встановленню ТВЗ у гніздо реактора (завантажена зона), внаслідок відмов устаткування і порушень умов експлуатації
F79	Перешкода встановленню ТВЗ у гніздо реактора (вільна зона), внаслідок відмов устаткування і порушень умов експлуатації
F117	Встановлення ТВЗ не в гніздо реактора
F118	Несанкціоноване переміщення фіксатора в напрямку відкривання захвата ТВЗ при вертикальних переміщеннях
F123	Захват ТВЗ відкритий при встановленні ТВЗ не в гніздо реактора
F124	ТВЗ не в гнізді реактора внаслідок виходу не на координати встановлення по вертикалі

У таблиці 5 і далі використані позначення ПТП і інших подій, прийняті при проведенні аналізу безпеки перевантаження ядерного палива одного з енергоблоків Російської АЕС.

На наступному етапі виконують розділення транспортно-технологічної операції "Встановлення ТВЗ в реактор" на інтервали R_j ($1 < j < m$) з незмінними умовами безпеки.

Дана операція включає наступні дії:

- переміщення ТВЗ із транспортного положення вниз до гнізда реактора;
- встановлення ТВЗ у гніздо реактора;
- відкривання захвата ТВЗ;
- схід захвата ТВЗ з головки ТВЗ;
- переміщення порожнього захвата вгору в транспортне положення.

Для розділення вказаної операції на інтервали з незмінними умовами (БІ) складають таблицю (фіг. 7), аналогічну таблиці, наведеній на фіг. 1.

В результаті технологічна операція виявляється розділеною на наступні технологічні інтервали:

R17 - Переміщення ТВЗ вниз до положення хвостовика ТВЗ на 200 мм вище за рівень голівки ТВЗ.

R18 - Переміщення ТВЗ вниз до положення хвостовика ТВЗ відповідного рівню головок ТВЗ.

R19 - Переміщення хвостовика ТВЗ від рівня головок ТВЗ до рівня гнізда реактора.

R21 - Встановлення ТВЗ у гніздо реактора.

R23 - Переміщення фіксатора в положення «ЗАХВАТ ТВЗ ВІДКРИТИЙ».

R26 - Схід захвата ТВЗ із ПІ в реакторі.

R07 - Переміщення захвата ТВЗ на 4770 мм вище рівня головок ПІ в реакторі.

R19 - Переміщення захвата ТВЗ у транспортне положення без ПІ в реакторі.

Аналіз ПТП, отриманих на попередньому етапі, показує, що існують такі ПТП, які після їх виникнення можуть не відразу приводити до ПНВ, а зберігатися якийсь час у ході технологічного про-

цесу. У розглянутому прикладі до таких ПТП відносяться наступні:

F40 - Міст знаходиться не на координатах встановлення ТВЗ.

F41 - Візок знаходиться не на координатах встановлення ТВЗ.

F46 - Захват ТВЗ знаходиться не на координатах встановлення ТВЗ (по висоті).

F52 - Фіксатор захвата ТВЗ знаходиться в проміжному положенні.

F55 - ТВЗ не в гнізді реактора, внаслідок виходу не на координати встановлення по горизонталі.

F66 - Переміщення підхопленої ТВЗ згідно технологічному процесу.

F123 - Захват ТВЗ відкритий при встановленні ТВЗ не в гніздо реактора.

Для вказаних ПТП складають таблицю поширення порушень за інтервалами безпеки, що входять в дану технологічну операцію (таблиця 6). Таблицю 6 заповнюють відповідно до Правил поширення порушень технологічного процесу. У необхідних випадках номери Правил вказані в таблиці цифрами.

Таблиця 6

		Позначення ПТП						
		F40	F41	F46	F52	F55	F66	F123
R17	Vx	+	+	-	+	-	-	-
		×	×	4				
	Вих	+	+	-	+	-	-	-
R18	Vx	+	+	-	+	-	-	-
		×	×	4				
	Вих	+	+	-	+	-	-	-
R19	Vx	+	+	-	+	-	-	-
	Вих	+	+	+	+	-	-	-
R21	Vx	+	+	+	+	-	-	-
		2	2					
	Вих	-	-	+	+	+	-	-
R23	Vx	-	-	+	+	+	-	-
					1			
	Вих	-	-	+	-	+	-	+
R26	Vx	-	-	+	-	+	-	+
				3		3		
	Вих	-	-	-	-	-	+	+
R07	Vx	-	-	-	-	-	+	+
								3
	Вих	-	-	-	-	-	+	-
R08	Vx	-	-	-	-	-	+	-
	Вих	-	-	-	-	-	+	-

Далі формують таблицю причинно-наслідкових зв'язків ПНД і ПТП (таблиця 7). У даному прикладі таблиця заповнюється тільки для одного виду ПНД - "Падіння ТВЗ".

Таблиця 7 формується для кожного інтервалу безпеки на підставі даних, наведених в таблиці причин і умов виникнення ПНД (таблиця 4) і пере-

ліку ПТП, які безпосередньо можуть призвести до ПНД (таблиця 5).

Для наочності даного прикладу аналіз виконаний тільки для деяких ПТП (з переліку ПТП, складеного раніше), які можуть призвести до ПНД, а саме ПТП, пов'язані з можливістю несанкціонованого відкривання захвата ТВЗ під час вертикального переміщення ТВЗ і з можливістю встановлен-

ня ТВЗ не в гніздо реактора. При встановленні ТВЗ не в гніздо реактора при подальшому відкритті захвата ТВЗ і сході його з головки ТВЗ, остання

може впасти. Результати аналізу причинно-наслідкових зв'язків ПНД і ПТП наведені в таблиці 7.

Таблиця 7

Позначення БІ	Критерій безпеки	Порушення технологічного процесу	
		Найменування ПТП	Позначення ПТП
R17	Падіння ТВЗ	Несанкціоноване переміщення фіксатора в напрямку відкривання захвата ТВЗ при вертикальних переміщеннях	F118
R18			F118
R19			F118
R21		ТВЗ не в гнізді реактора, внаслідок виходу не на координати встановлення по вертикалі	F124
R23		Захват ТВЗ відкритий при встановленні ТВЗ не в гніздо реактора	F123
R26			F123
R07		-	-
R08		-	-

Результати проведеного аналізу дозволяють побудувати детерміністську модель для аналізу і оцінки імовірності падіння ТВЗ на операції "Встановлення ТВЗ в реактор".

Детерміністську модель вибудовують на підставі проведеного розділення операцій на БІ і даних, наведених в таблицях 4, 5, 6, 7 з урахуванням прийнятих обмежень по даних ПТП. Графічне зображення детерміністської моделі представлено на фіг. 8.

Як показано на фіг. 8, падіння ТВЗ на операції "Встановлення ТВЗ у реактор" по причинах, вибраних для розглянутого прикладу, може відбутися на інтервалах R17, R18, R19, R07.


На фіг. 8 пунктирними лініями показані технологічні зв'язки між інтервалами технологічного процесу, а суцільними, з позначенням порушень, показані порушення, що поширюються, або порушення, що переходять з одного БІ на інший.


На наступному етапі формують логіко-імовірнісну модель (ЛІМ), використовувану для аналізу й оцінки безпеки перевантаження.

Спочатку будують ЛІМ ПНД (падіння ТВЗ) на розглянутій операції. Графічне зображення цієї моделі наведене на фіг. 9.

Для події "Падіння ТВЗ" на технологічній операції прийнято позначення D01. Для події "Падіння ТВЗ" на якому-небудь інтервалі до позначення D01 додається позначення відповідного інтервалу. Аналогічне правило діє для ПТП, тобто якщо ПТП

відбувається на якому-небудь інтервалі, то до позначення ПТП додається позначення інтервалу.

Знак , зображений під подіями моделі, показує, що ця подія є наслідком інших подій і для нього буде створена своя ЛІМ.

Знак , зображений під подією, показує, що ця подія не припускає розглядати її як наслідок інших подій, оскільки для неї може бути призначений імовірнісний показник появи цієї події.

Як показано на фіг. 9, подія D01 на технологічній операції відповідає логічній сумі подій D01RXX на кожному БІ.

Далі на підставі таблиці 7 будують моделі ПНД на БІ, які показані на фіг. 10, 11, 12 і 13 відповідно.

Аналіз цих моделей показує, що вони включають ПТП, які самі є наслідком інших ПТП і для них повинні бути побудовані окремі моделі. До таких ПТП відносяться F118R17, F118R18, F118R19 і F123R07+.

Для побудови таких моделей необхідно визначити перелік ініціювальних подій, які можуть призвести до вказаних порушень і визначити ті захисти і блокування системи управління, які можуть запобігти або припинити розвиток цих ініціювальних подій. Ця інформація може бути отримана в результаті аналізу технічної документації на систему управління МП. Вказаний перелік ініціювальних подій для даної операції наведений в таблиці 8.

Таблиця 8

Позначення ПТП	Ініціювальні події		Відмови захистів і блокувань	
	Найменування	Позначення	Найменування	Позначення
F118	Помилкова команда оператора на відкриття ЗТВЗ	I061	Відмова захисту ПДУ на заборону відкриття ЗТВЗ при вертикальному переміщенні ТВЗ	FP007
	Мимовільна видача ПДУ команди на відкриття ЗТВЗ	I062	Відмова захисту ПТК на заборону відкриття ЗТВЗ при вертикальному переміщенні ТВЗ	FP033
	Мимовільна видача ПТК команди на відкриття ЗТВЗ	I063	-	-
F123	ТВЗ не в гнізді реактора, внаслідок виходу не на координати встановлення по вертикалі (сторонній предмет в гнізді реактора)	F124	Відмова захисту ПТК на заборону відкриття ЗТВЗ при встановленні ТВЗ вище необхідного рівня	FP063

На фіг. 14 наведена ЛІМ F118R17. Аналогічні моделі будують для R18 і R19.

ПТП F123 є порушенням (див. таблицю 6), що розповсюджується, тому для оцінки імовірності F123 на R07 повинна бути побудована послідовність моделей F123 по всіх БІ. Ці моделі наведені на фіг. 15. Зв'язок моделей різних інтервалів показаний пунктирними лініями.


ПТП F123 виникає на інтервалі R23 як наслідок відмови захисту FP063 при встановленні ТВЗ не в гніздо реактора (F117). Таким чином, необхідна побудова ще однієї моделі - F117R21 +.

Встановлення ТВЗ не в гніздо реактора може відбуватися з ряду причин. Для даного прикладу розглянутий один випадок, а саме, встановлення ТВЗ не в гніздо реактора через влучення стороннього предмета в гніздо реактора. ЛІМ F117R21+для цього випадку показана на фіг. 16.

Всі побудовані моделі об'єднують в одну загальну модель падіння ТВЗ на операції "Встановлення ТВЗ в реактор".

Як правило, через громіздкість, фізичне об'єднання окремих моделей в одну не проводять.

Об'єднання здійснюють шляхом організації посиленя з подій моделі більш високого рівня на верхню подію моделей більш низького рівня. Такий спосіб застосовується, наприклад, при використанні для формування моделі і проведення розрахунків програмного комплексу Risk Spectrum (RELCON, Швеція).

Події моделей, позначені знаком , є базовими подіями, для яких призначаються імовірнісні показники. У даному прикладі до них відносяться: FP063, F070, I061, FP007, I062, FP033, I063.

Вихідні дані по імовірності базових подій взяті з аналізу безпеки, виконаного для одного з енергоблоків АЕС із реактором типу ВВЕР-1000, і наведені в таблиці 9.

Таблиця 9

Позначення події	Назва події	Імовірність події $P(FD_i)$
FP063	Відмова захисту ПТК на заборону відкриття ЗТВЗ при встановленні ТВЗ вище необхідного рівня	$5 \cdot 10^{-3}$
F070	Сторонній предмет у гнізді реактора	$6 \cdot 10^{-3}$
I061R17	Помилкова команда оператора на відкриття ЗТВЗ	$5,4 \cdot 10^{-2}$
I061R18		$2,7 \cdot 10^{-2}$
I061R19		$4,12 \cdot 10^{-1}$
FP007	Відмова захисту ПДУ на заборону відкриття ЗТВЗ при вертикальному переміщенні ТВЗ	$6,24 \cdot 10^{-3}$
I062R17	Мимовільна видача ПДУ команди на відкриття ЗТВЗ	$8,1 \cdot 10^{-5}$
I062R18		$4,05 \cdot 10^{-5}$
I062R19		$6,18 \cdot 10^{-4}$

Продовження таблиці 9

Позначення події	Назва події	Імовірність події $P(FD_i)$
FP033	Відмова захисту ПТК на заборону відкривання ЗТВЗ при вертикальному переміщенні ТВЗ	$5 \cdot 10^{-3}$
I063R17	Мимовільна видача ПТК команди на відкривання ЗТВЗ	$5,4 \cdot 10^{-5}$
I063R18		$2,7 \cdot 10^{-5}$
I063R19		$4,12 \cdot 10^{-4}$

Імовірність подій розраховувалася з урахуванням загального числа операцій по установці ТВЗ в реактор, виконуваних у процесі перевантаження активної зони.

Розрахунки і аналіз результатів виконувалися з використанням програмного комплексу Risk Spectrum [Risk Spectrum PSA Professional 1.20/Theory Manual - RELCON AB, 1998.- 57с.].

Результати розрахунків наведені в таблиці 10.

Таблиця 10

№ МСО	Імовірність $P(\sum F_i)$	Внесок %	Подія F_1	Подія F_2	Подія F_3	Подія F_4
1	1,70 E-07	39,27	I063R19 A	I063R19 B		
2	1,50 E-07	34,71	F070R21	FP063 A	FP063 B	
3	6,43 E-08	14,87	FP007	FP033 A	FP033 B	I061R19
4	1,55 E-08	3,57	FP033 A	FP033 B	I062R19	
5	8,42 E-09	1,95	FP007	FP033 A	FP033 B	I061R17
6	5,30 E-09	1,23	FP007	FP033 B	I061R19	I063R19 A
7	5,30 E-09	1,23	FP007	FP033 A	I061R19	I063R19 B
8	4,21 E-09	0,97	FP007	FP033 A	FP033 B	I061R18
9	2,92 E-09	0,67	I063R17 A	I063R17 B		
10	2,03 E-09	0,47	FP033 A	FP033 B	I062R17	
11	1,27 E-09	0,29	FP033 A	I062R19	I063R19 B	
12	1,27 E-09	0,29	FP033 B	I062R19	I063R19 A	
13	1,01 E-09	0,23	FP033 A	FP033 B	I062R18	
14	7,29 E-10	0,17	I063R18 A	I063R18 B		
15	9,10 E-11	0,02	FP007	FP033 B	I061R17	I063R17 A
16	9,10 E-11	0,02	FP007	FP033 A	I061R17	I063R17 B
17	2,27 E-11	0,01	FP007	FP033 A	I061R18	I063R18 B
18	2,27 E-11	0,01	FP007	FP033 B	I061R18	I063R18 A
19	2,19 E-11	0,01	FP033 B	I062R17	I063R17 A	
20	2,19 E-11	0,01	FP033 A	I062R17	I063R17 B	
21	5,47 E-12	0	FP033 B	I062R18	I063R18 A	
22	5,47 E-12	0	FP033 A	I062R18	I063R18 B	
Загальне значення імовірності падіння ТВЗ	4,322 E-07					

У таблиці разом із загальним значенням імовірності падіння ТВЗ на операції "Встановлення ТВЗ в реактор" наведені значення імовірності окремих мінімальних перетинів (МПО), які дозволяють визначити групи базових подій, які найбільшою мірою впливають на імовірність падіння ТВЗ.

В інженерній практиці найбільш поширений аналіз значущості базисних подій за коефіцієнтом Fussell-Veselu (FV). Коефіцієнт FV показує наскільки

якщо його вимірювати в %) зменшиться імовірність оцінюваної події (падіння ТВЗ), якщо кожен з компонентів системи стане абсолютно ненадійним. Простота інтерпретації коефіцієнта FV дозволяє використовувати його для формування рекомендацій щодо виключення слабких місць у даному об'єкті аналізу.

Значення коефіцієнтів FV для даних базисних подій наведені в таблиці 11.

Таблиця 11

№	Позначення базисної події	Опис базисної події	FV
1	I063	Мимовільна видача ПТК команди на відкриття ЗТВЗ	$4,079 \cdot 10^{-01}$
2	FP063	Відмова захисту ПТК на заборону відкриття ЗТВЗ при встановленні ТВЗ вище необхідного рівня	$3,47 \cdot 10^{-01}$
3	F070	Сторонній предмет у гнізді реактора	$3,47 \cdot 10^{-01}$
4	FP033	Відмова захисту ПТК на заборону відкриття ЗТВЗ при вертикальному переміщенні ТВЗ	$2,362 \cdot 10^{-01}$
5	FP007	Відмова захисту ПДУ на заборону відкриття ЗТВЗ при вертикальному переміщенні ТВЗ	$2,03 \cdot 10^{-01}$
6	I061	Помилкова команда оператора на відкриття ЗТВЗ	$1,732 \cdot 10^{-01}$
7	I062	Мимовільна видача ПДУ команди на відкриття ЗТВЗ	$4,164 \cdot 10^{-02}$

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільший вплив на імовірність падіння ТВЗ здійснюють базисні події I063, FP063 і F070 ($FV=0,347 \div 0,408$). Перші дві події пов'язані з відмовами ПТК (по функції управління і функції захисту).

Основою ПТК (програмно-технічного комплексу) є контролери, в які завантажена керуюча програма та програма, що реалізовує роботу захистів і блокувань. Відмови ПТК можуть бути викликані як відмовою технічних засобів, так і відмовами програмного забезпечення (ПЗ), які пов'язані з наявністю помилок ПЗ, не виявлених у процесі наладки й випробувань. Проте якщо ПЗ тривалий час функціонує на декількох об'єктах без прояву дефектів, то імовірність відмови внаслідок помилок ПЗ може вважатися зневажливо малою. Імовірність відмови технічних засобів контролера залежить від надій-

ності комплектуючих його виробів і якості виготовлення контролера. Як правило, контролери різних типів, що випускаються різними виробниками, мають різні надійнісні характеристики і це дає можливість, при необхідності, провести заміну одних виробів на інші, що мають ті ж самі функціональні можливості, але кращі показники надійності.

Аналіз надійності програмувальних контролерів, що випускаються провідними фірмами, показує, що в ПТК можуть бути використані контролери, надійність яких у декілька разів перевищує надійність існуючого устаткування.

Далі показано, як вказана заміна вплине на імовірність падіння ТВЗ.

Для ПТК на базі нових контролерів (фірма Siemens) узяті дані з імовірності базових подій, що наведені в таблиці 12.

Таблиця 12

Позначення події (F_i)	Назва події	Імовірність події $P(F_i)$
FP063	Відмова захисту необхідного рівня ПТК на заборону відкриття ЗТВЗ при установці ТВЗ вище	$1,25 \cdot 10^{-3}$
FP033	Відмова захисту ПТК на заборону відкриття ЗТВЗ при вертикальному переміщенні ТВЗ	$1,25 \cdot 10^{-3}$
I063R17	Мимовільна видача ПТК команди на відкриття ЗТВЗ	$1,35 \cdot 10^{-5}$
I063R18		$0,675 \cdot 10^{-5}$
I063R19		$1,03 \cdot 10^{-4}$

Дані з імовірності решти базових подій залишаються такими ж самими (див. табл. 10).

Далі проводять повторний розрахунок імовірності падіння ТВЗ. Результати розрахунку зведені в таблицю 13.

Таблиця 13

№ МСО	Імовірність $P(\sum F_i)$	Внесок %	Подія F_1	Подія F_2	Подія F_3	Подія F_4
1	1,06 E-08	39,24	I063R19A	I063R19B		
2	0,93 E-08	34,43	F070R21	FP063 A	FP063 B	
3	4,01 E-09	14,84	FP007	FP033 A	FP033 B	1061R19
4	0,97 E-09	3,59	FP033 A	FP033 B	I062R19	
5	5,26 E-10	1,95	FP007	FP033 A	FP033 B	1061R17
6	3,31 E-10	1,23	FP007	FP033 B	1061R19	I063R19A
7	3,31 E-10	1,23	FP007	FP033 A	1061R19	I063R19B
8	2,62 E-10	0,97	FP007	FP033 A	FP033 B	1061R18
9	1,82 E-10	0,67	I063R17A	I063R17B		
10	1,27 E-10	0,47	FP033 A	FP033 B	I062R17	
Загальне значення імовірності падіння ТВЗ	2,701 E-08					

Отриманий результат показує, що імовірність падіння ТВЗ при використанні контролерів, що мають вищу надійність, зменшилася більш ніж в 10 разів (колишнє значення 4,322 E-07).

Таким чином, цілеспрямована зміна характеристик системи управління призводить до ефективного зниження імовірності пошкодження перевантажуваних виробів.

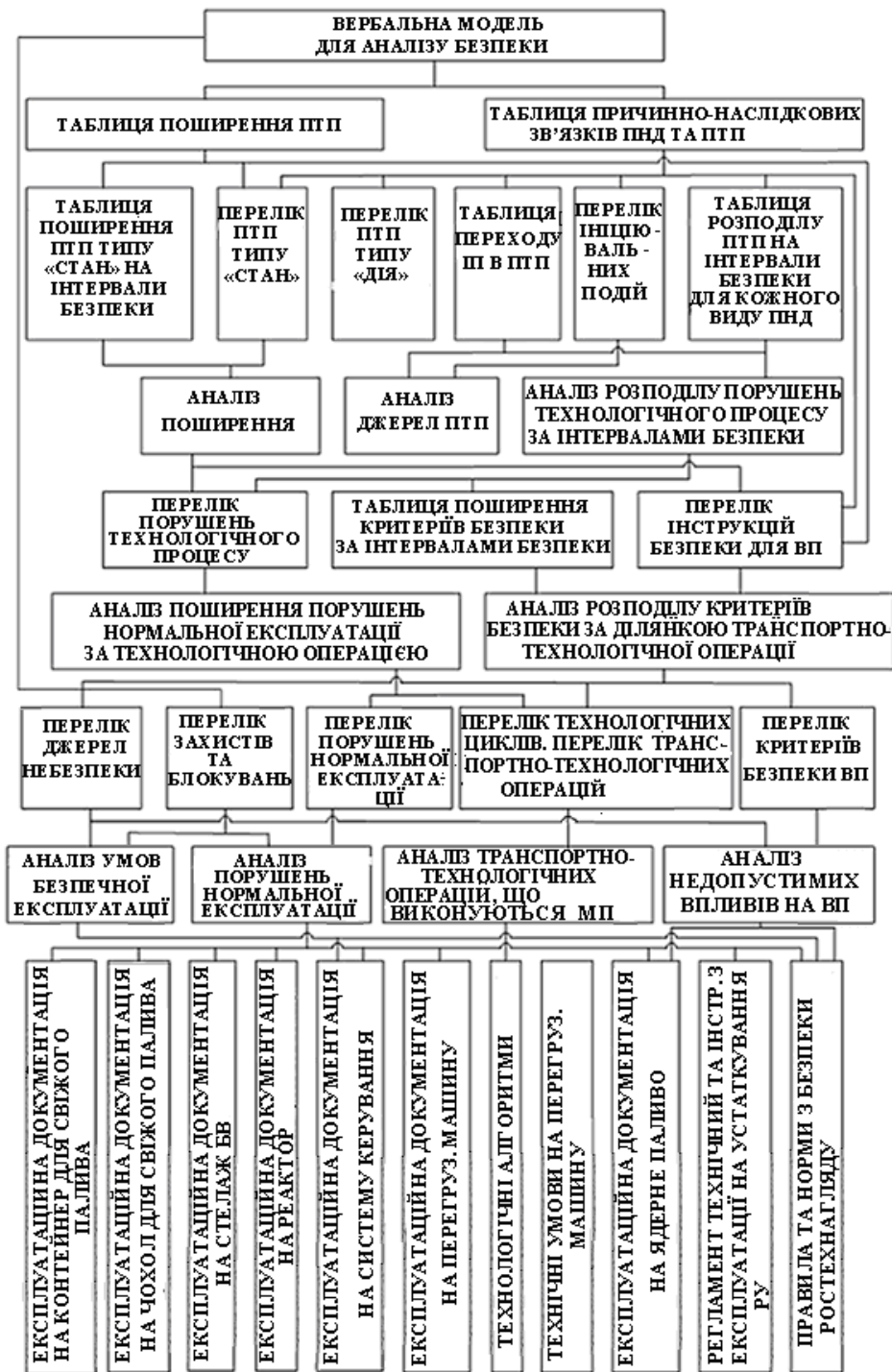
Розглянутий приклад носить ілюстративний характер і не характеризує імовірність падіння ТВЗ при перевантаженні реактора, оскільки при аналізі

була врахована тільки невелика частина можливих порушень технологічного процесу й не враховувалася можливість падіння ТВЗ на інших операціях.

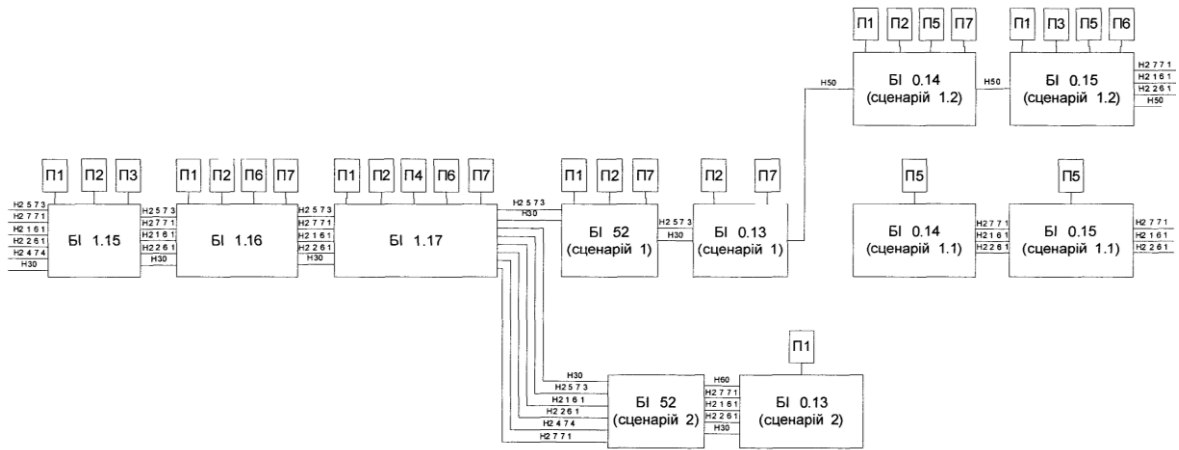
Розглянутий приклад носить ілюстративний характер і не характеризує імовірність падіння ТВЗ при перевантаженні реактора, оскільки при аналізі була врахована тільки невелика частина можливих порушень технологічного процесу і не враховувалася можливість падіння ТВЗ на інших операціях.

Вид ПНВ	Джерела небезпеки	Ділянки технологічної операції							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Падіння ТВЗ (П1)	Можливість несанкціонованого відкривання зачіпу ТВЗ при переміщенні ТВЗ	■	■	■					
	Можливість переміщення ТВЗ з не повністю закритим зачіпом ТВЗ	■	■	■					
	Падіння ТВЗ, встановленої не на штатне місце						■		
	Можливість підхоплення ТВЗ в результаті заклинювання ТВЗ у зачіпі ТВЗ при повністю відкритому зачіпі ТВЗ						■	■	■
	Можливість підхоплення ТВЗ при не повністю відкритому зачіпі ТВЗ						■	■	■
Обертний момент (П2)	Можливість несанкціонованого повороту робочої штанги				■	■	■	■	
Бічний удар (П3)	Можливість несанкціонованого переміщення мосту	■	■					■	■
	Можливість несанкціонованого переміщення візка	■	■					■	■
Зусилля виймання/встановлення (П4)	Можливість помилки при виході мосту на координати ТВЗ			■	■	■			
	Можливість помилки при виході візка на координати ТВЗ			■	■	■			
	Можливість відхилення геометричних розмірів ТВЗ від проектних розмірів			■	■	■			
	Можливість знаходження стороннього предмету в зоні розміщення ТВЗ			■	■	■			
Зусилля стискання (П5)	Можливість встановлення зачіпу ТВЗ із ТВЗ на несанкціонованій швидкості				■	■			
	Можливість несанкціонованого переміщення зачіпу ТВЗ вниз					■	■	■	■
Граничне верхнє положення ТВЗ (П6)	Можливість несанкціонованого переміщення зачіпу ТВЗ із ТВЗ в верх вище транспортного положення з БП	■	■	■					
Зусилля вигину (П7)	Можливість несанкціонованого переміщення мосту		■	■	■	■	■		
	Можливість несанкціонованого переміщення візка		■	■	■	■	■		

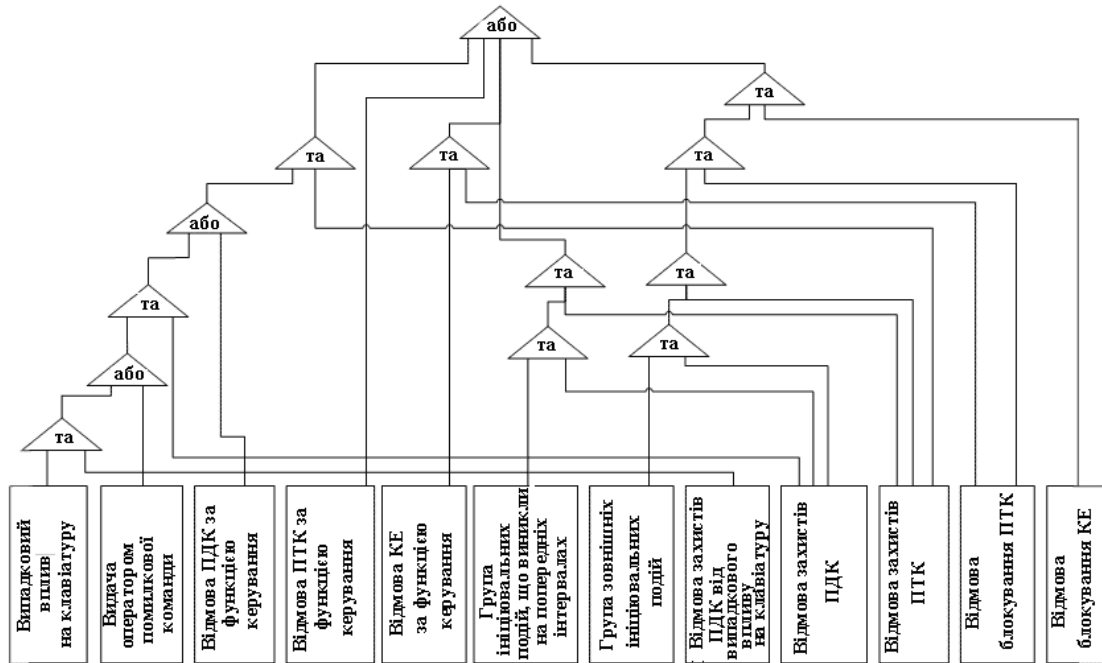
Фіг. 1



Фіг.2



Фіг. 3



Фіг.4

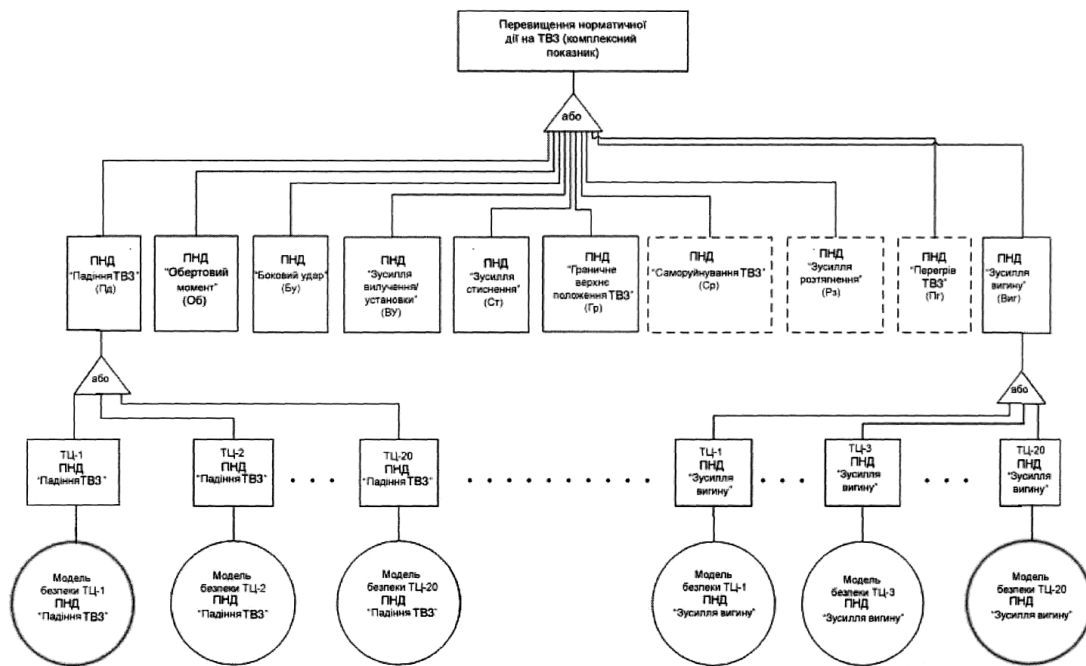


Fig. 5

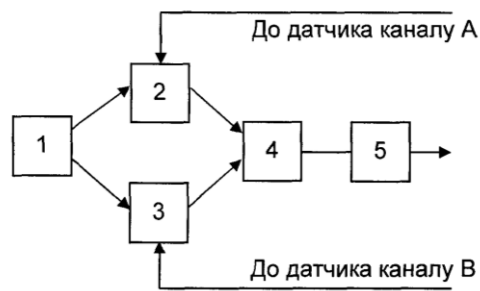
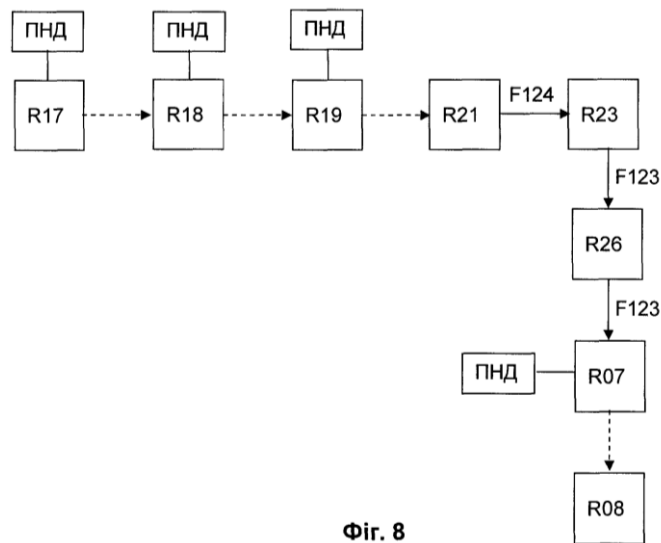


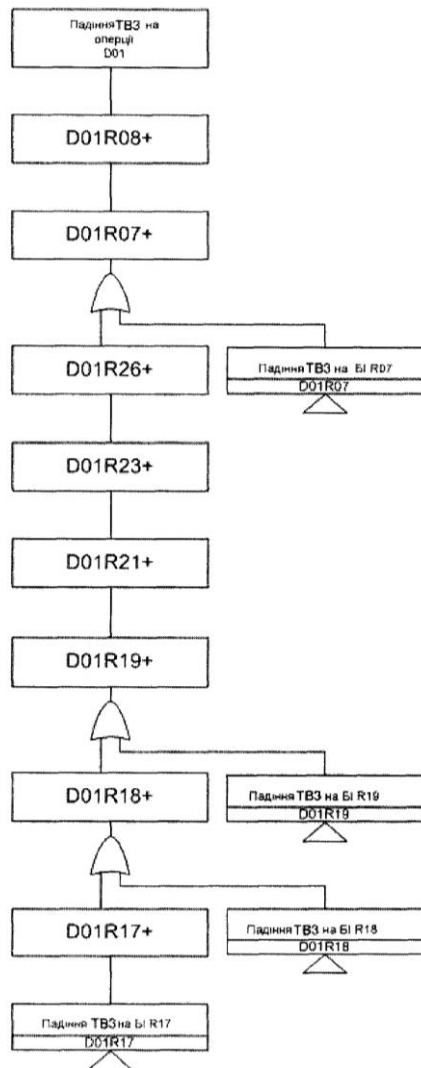
Fig. 6

Критерії відмови	Причини відмови	Транспортне положення з ТВЗ									Рівень головок ТВЗ в реакторі			Рівень гнізда реактора			Транспортне положення без ТВЗ		
Падіння ТВЗ	Відкриття зачіпу ТВЗ при переміщенні ТВЗ																		
	Падіння ТВЗ, встановленого не на штатне місце																		
Обертний момент	Поворот робочої штанги																		
Бічний удар	Переміщення мосту																		
Перевищення допустимого зусилля виймання/ встановлення	Знаходження стороннього предмету в зоні																		
Перевищення допустимого зусилля стискання	Переміщення зачіпу ТВЗ вниз																		
Граничне верхнє положення ТВЗ	Переміщення зачіпу ТВЗ вверх																		
Перевищення зусилля вигину	Переміщення мосту																		
	Інтервали безпеки	R17	R18	R19	R21	R23	R26	R07	R08										

Фіг. 7



Фіг. 8



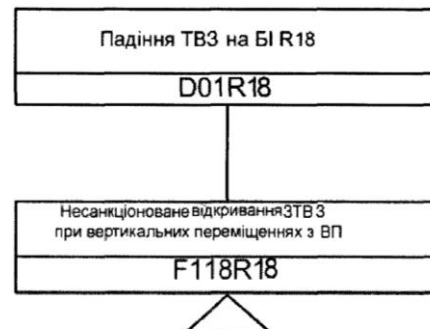
Фіг. 9



Фіг. 10



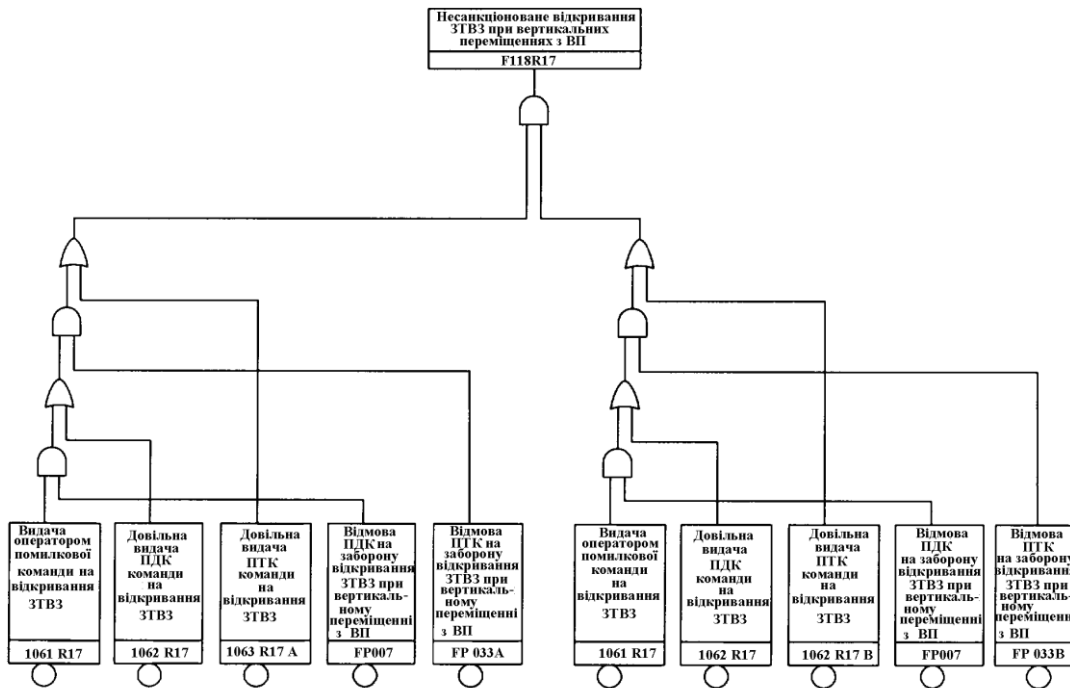
Фіг. 11



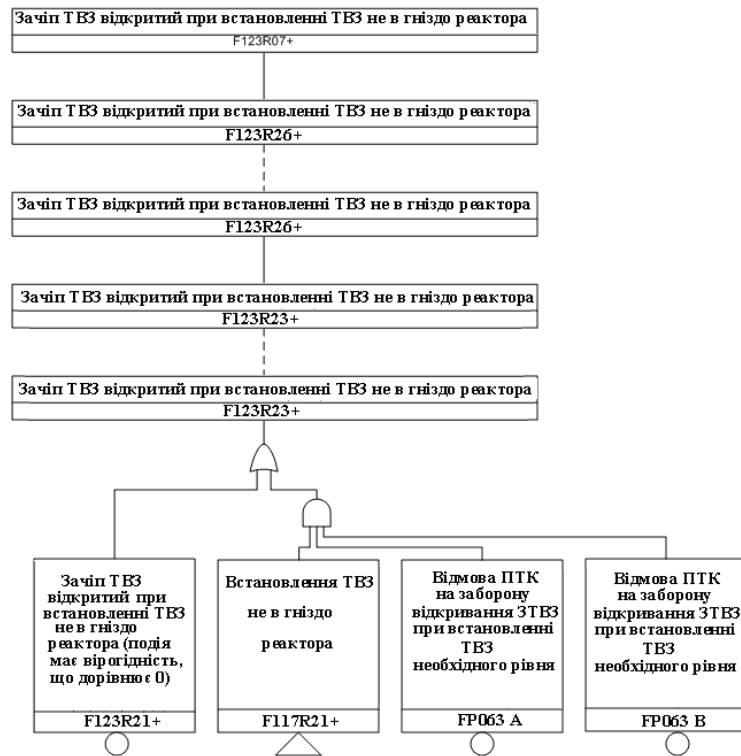
Фіг. 12



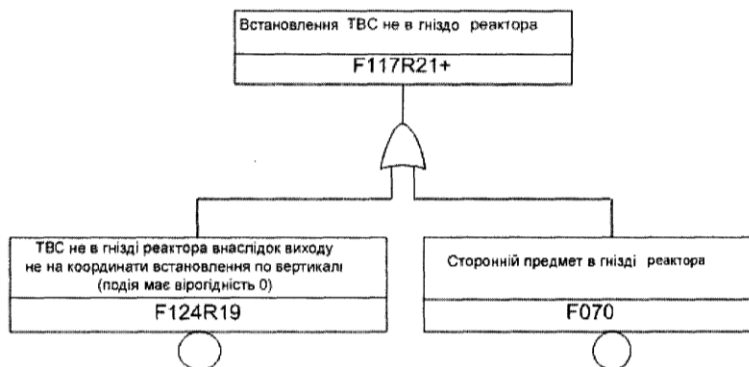
Фіг. 13



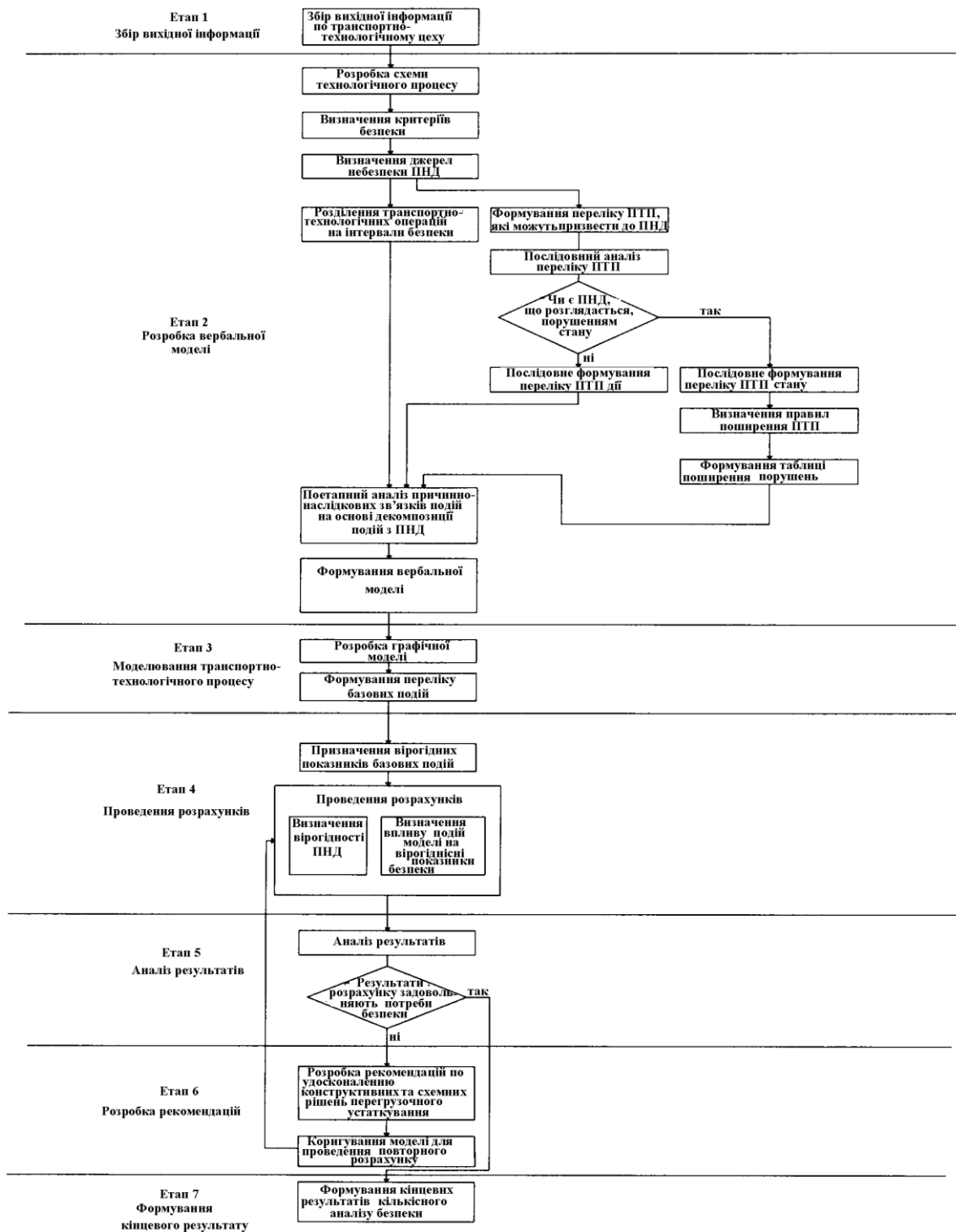
Фіг.14



Фіг. 15



Фіг. 16



Фіг.17