

**Архірей М.М.** аспірант спеціальності 263 Цивільна безпека  
**Алексєєв А.А.** аспірант спеціальності 263 Цивільна безпека  
**Науковий керівник: Чеберячко С.І., д.т.н., професор кафедри ОПЦБ**  
*(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м.Дніпро, Україна)*

### АНАЛІЗ ВИДІВ І НАСЛІДКІВ ВІДМОВ НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ

Аналіз видів і наслідків відмов («Failure Mode and Effects Analysis», далі метод «FMEA») - це спеціальна метод з оцінювання надійності та безпеки промислових об'єктів чи технічних систем, яка з'явилась у 60-х рр. минулого століття в рамках програми створення ракети «Мінітмен». Метою розробки методу «FMEA» було виявлення та усунення *технічних* проблем в складних *технічних* системах.

Сутність методу «FMEA» досить проста. Види відмов кожного компонента тієї чи іншої технічної системи перераховуються в спеціальній таблиці і документуються - разом з появою можливих наслідків. Метод систематичний, ефективний і детальний, хоча іноді і вважається досить затратним за часом, а також, схильним до повторюваних дій. Причина ефективності методу полягає у детальному дослідженні кожного виду відмови окремого компонента технічної системи. Наведемо приклад таблиці, який описаний в одному з вихідних посібників із застосування цього методу, а саме, в МІЛ-ННВК-1629. Так у колонці 1 міститься назва компонента, що розглядається. В колонці №2 - ідентифікаційний номер компонента (серійний номер або код). Разом перші дві колонки повинні унікально ідентифікувати досліджуваній компонент. Колонка №3 описує функцію компонента, а колонка №4 - можливі відмови. Для кожного виду відмови, як правило, використовується одна строчка. Колонка №5 використовується для запису причини відмови, в разі, коли це може бути застосовано. У колонці №6 описуються наслідки кожного відмови. Решта колонки можуть відрізнятися в залежності від того, які версії FMEA застосовуються.

Таблиця 1

Форма таблиці "FMEA"

Назва	Код	Функція	Відмова	Причина	Наслідки	Серйозність	Коментар

Сьогодні існує декілька різновидів методу «FMEA», які застосовуються для вирішення задач пов'язаних з безпекою в різних галузях промисловості. Зокрема, метод «FMEA» використовується для визначення небезпек, які необхідно враховувати під час проектування нафтохімічних підприємств. Цей метод добре цілком узгоджується з іншим добре відомим - Аналізом небезпек і працездатності («Hazard and Operability Study», далі метод «HAZOP»). По суті, обидва методи практично однакові, і є варіаціями списків компонентів системи, які представлені в табличній формі. Основна різниця між методом «FMEA» і методом «HAZOP» полягає в тому, що метод "HAZOP" використовує ключові слова, щоб допомагати співробітникам ідентифікувати відхилення від норми, в той час як метод «FMEA» заснований на відомих видах відмови промислового обладнання.

Наведемо приклад використання методу «FMEA». На рис. 1 схематично зображено спрощений «реактор» з аварійною системою охолодження. Система складається з самопливного резервуара з водою, випускного електричного клапана, охолоджувального кожуха навколо реактора, вимикача з датчиком температури і джерела живлення. При нормальному режимі роботи вимикач знаходиться в активному (провідному) положенні,

оскільки температура реактора знаходиться нижче небезпечної величини. Якщо температура всередині реактора стає занадто високою, на це зреагує вимикач в якому розміщено датчик температури. Він розмикає електричний ланцюг і випускний клапан відкривається. При цьому вода з резервуару потече до охолоджувального кожуха, тим самим знизить температуру, що зафіксує датчик температури і вимикач знову закриє випускний клапан.



Рисунок 1 – Схема охолодження «спрошеного» реактора

Процедура методу «FMEA» вимагає перерахувати всі види можливих відмов для кожного з компонентів представленої технічної системи. В таблиці 2 ідентифіковані критичні компоненти, які слід перевіряти на предмет необхідності в коригувальних діях.

Розробники конструкції спрощеного реактора в даному випадку - можуть розглянути можливість послідовної установки 2 вимикачів. Можна використовувати інтелектуальний перетворювач з функцією автоматичної діагностики і вихідним сигналом, який істотно спростить процедуру перевірки, необхідну для виявлення несправностей. Також можна контролювати рівень води в резервуарі та швидкість її витікання, що дозволить забезпечити необхідний рівень захисту реактора. Можливо безліч інших змін і удосконалень в конструкції для запобігання поломок.

В подальшому метод «FMEA» було розширено з включенням певних числових оцінок для визначення рівня серйозності відмови, частоти її появи та ймовірності її виявлення (наприклад, від 1 до 10). Форму для оцінювання розширили (табл. 3) і головне з'явилась колонка з оцінкою ризику («Risk priority number», далі – «RPN»), який розраховувалась за формулою:

$$RPN=S \times O \times D,$$

де S – числове значення серйозності наслідків відмови; O – частота появи відмови; D – ймовірність виявлення.

Таблиця 3

«Удосконалена форма методу "FMEA"»

Назва	Код	Функція	Відмова	Причина	Наслідки	Серйозність, "S"	Частота, "O"	Ймовірність "D"	Ризик "RPN"	Коментар

Цей розширений метод отримав назву «Аналіз видів, наслідків та критичності відмов» («Failure Modes, Effects and Criticality Analysis», далі метод "FMECA").

Метод «FMEA» продовжує еволюціонувати. Деякі з більш пізніх варіацій можуть бути використані не тільки для технічних систем, але і для технологічних процесів. Аналогічно списку компонентів, створюється список етапів процесу. Кожен крок супроводжується описом всіх варіантів неправильного протікання процесу, що відповідає опису можливих відмов того чи іншого компонента системи. У всьому іншому, ці варіації техніки методу "FMEA" відповідають один одному. У літературі ці

методи іноді називають «design FMEA», або "DFMEA", і «process FMEA» або «PFMEA». Також одним із етапів еволюції у зв'язку з появою автоматичних систем контролю за станом технічних систем став метод "Аналізу відмов, їх наслідків та діагностики" («Failure Modes Effects and Diagnostic Analysis», метод «FMEDA»). Відмінністю від попередніх модифікацій є додавання у FMEDA кількісних даних про відмови (частота відмов та розподіл режимів відмов) для всіх компонентів, що аналізуються, а також - ймовірність виявлення системою або підсистемою внутрішніх збоїв за допомогою автоматичної діагностики (рис. 2)

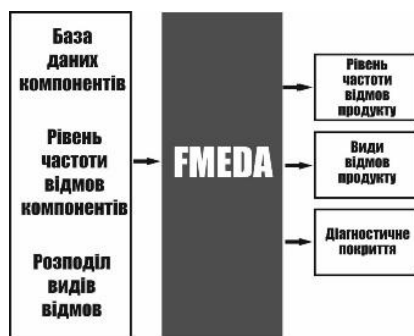


Рисунок 2 – Структура методу «FMEDA»

Так само як і у випадку з методом «FMEA», у методі «FMEDA» перераховуються всі компоненти і види відмов, а також наслідки цих відмов. В таблицю 1 додаються додаткові колонки, в яких перераховуються всі варіанти відмов системи, ймовірність того, що діагностика дозволить виявити конкретні відмови, а також, кількісну оцінку ймовірності виникнення цієї відмови. Коли аналіз методу «FMEDA» завершується, вираховується фактор "діагностичного покриття" на основі показника частоти відмов, середньозважений щодо діагностичного покриття всіх компонентів.

Показники частоти відмов і розподілу відмов необхідно мати для кожного компонента, якщо є необхідність провести аналіз методом «FMEDA». Тому потрібно база даних компонентів, як видно з рисунку «Процес методу «FMEDA»» (див. рис. 2).

У базі даних компонентів повинні бути враховані ключові змінні, що впливають на рівень відмов компонентів (рис. 3). У число змінних включаються фактори навколишнього середовища. Аналіз конструкцій обладнання може використовуватися для створення теоретичних баз даних відмов. Проте, точну інформацію можна отримати, тільки якщо показники частоти відмов компонентів, а також, види відмов, засновані на даних, зібраних на основі дослідження реального польового обладнання. Будь-яка незрозуміла різниця між частотами відмови компонентів, вирахувати на основі польових даних, і на основі методу «FMEDA».



Рисунок 3 – Алгоритм дій методу «FMEDA»

Метод «FMEDA» може використовуватися для того, щоб оцінити ефективність перевірочних випробувань різних функцій безпеки. Це реалізується додаванням

*Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна» 2023*

додаткової колонки, де оцінюється ймовірність виявлення кожного виду відмови компонента в ході перевірконого тестування. При використанні цього детального підходу стає очевидним, що деякі потенційно небезпечні види відмов не виявляються під час перевірконого тестування. Основна проблема при використанні методу «FMEA» (або будь-який його варіації) це великі витрати часу. Багато аналітиків скаржаться на довго тривалість процесу. Завжди необхідно пам'ятати, що вирішення проблеми не є частиною аналізу. Проблеми вирішуються вже після закінчення FMEA. Якщо слідувати цим правилам, результатом стануть досить швидкі поліпшення в безпеці і надійності.

УДК 347.78

**Бас І.К.** аспірант спеціальності 263 Цивільна безпека  
**Гільперт В.В.** аспірант спеціальності 263 Цивільна безпека  
**Науковий керівник: Чеберячко С.І.,** д.т.н., професор кафедри ОПЦБ  
*(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м.Дніпро, Україна)*

### КЕЙС ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НЕБЕЗПЕКИ ТРАВМУВАННЯ ПРИ ПОСАДЦІ НА ПОТЯГ

Спробуємо описати процес відправлення потягу зі залізничної станції після посадки пасажирів методом функціонального резонансного аналізу (FRAM). Цей метод використовує концепцію шести основних елементів (рис. 1) їх взаємодії, щоб отримати уявлення про виробничий процес. Основна увага приділяється виконанню роботи та можливій появі певного резонансу різних подій, що виникає внаслідок мінливості повсякденної діяльності. Опис моделі та програмне забезпечення наведено в табл. 1.



Рисунок 1 – Модель FRAM

Таблиця 1

Характеристика функціональних елементів FRAM

Параметри та символи		Опис
Input I	Вхідні дані	Вхідна інформація (або вхідні дані), яка характеризує функцію в процесі функціонування системи. Це є посилання на попередні функції. Вхідні дані запускають виконання або дію функції.
Output O	Вихід	Результат виконання функції (вихідні дані). Надає посилання на подальші функції. Представляє результат зміни технічного стану елементів системи (автомобіля).