

**МАТРИЧНИЙ МЕТОД ПРОВЕДЕННЯ FMEA-АНАЛІЗУ
ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ
MATRIX METHOD OF FMEA-ANALYSIS
AS A TOOL FOR PREDICTING THE PRODUCTION QUALITY**

*Володимир Ванько, О. Приходько,
Національний університет "Львівська політехніка", Україна*

*Volodymyr Vanko, O. Pryhodko
Lviv Polytechnic National University, Ukraine*

Анотація

У статті описано особливості і специфіку проведення методу FMEA-аналізу, виходячи із вимог чинних нормативних документів. Запропоновано застосування матричного методу оцінювання якості продукції та послуг для прогнозування якості продукції машинобудівного виробництва. Представлено спосіб формування матриць якості під час проектування виробу, підготування виробництва, виконання технологічних процесів, вихідного контролю готового виробу, аналізу факторів і умов навколишнього середовища. Описано оригінальний підхід для формування еталонних матриць якості продукції на всіх етапах життєвого циклу. Подано рекомендації щодо застосування матричного методу проведення FMEA-аналізу у практиці діяльності машинобудівного підприємства.

Ключові слова: матриця, метод FMEA-аналізу, показник якості, вектор-рядок, еталонна матриця якості.

Abstract

The article describes the features and specifics of the method of FMEA analysis, based on the requirements of the current normative documents. The aim of the work is to develop the FMEA-analysis to predict the quality of products of machine-building enterprises, taking into account their entire technological cycle. The matrix method for assessing and forecasting the quality of products and services of machine-building production is proposed.

Initially, the selected commission should collect all the necessary information for FMEA analysis and distribute its groups of related unit quality indicators. A quality matrix is built on the basis of obtained quality vectors. It describes: designing the product, preparing the production cycle, performing the technological processes, controlling the final product, analyzing impact factors and environment influence.

Every quality vectors is fulfilled as a matrix-string, which alters during the implementation of the investigated stage of the established life cycle. In such a way we can receive information on the execution of considered operation. In general, it is expedient for each element of the matrix-line of quality to use their representation in the form of the weighting factor product, which makes it possible to distinguish the most important single quality indices describing the most responsible operations and processes.

The original approach for the formation of standard matrices of product quality is described, with the help of which becomes possible to visualize the potential failures at each stage of the production of machine-building units. This allows access the possibility of defects and their impact on the consumer's opinion at all stages of the life cycle. For the formation of the reference matrix used in the FMEA analysis, the applied approach takes into account the cause of each defect. During the operation of the expert group, each criterion that affects the defect is evaluated in points from 1 to 10, where 1 is the criterion, almost free of defects, and 10 - the criterion equivalent to the serious defect. It also indicates the weight of the defect, its impact on the final quality of the product as well as recommendations for the elimination of defects impacts.

Keywords: Matrix, FMEA Analysis Method, Quality Index, Vector Stitch, Reference Quality Matrix.

Вступ. Аналізуючи досвід закордонних виробників [1-4], можна зробити висновок, що сучасні тенденції розвитку провідних машинобудівних компаній направлені на поліпшення якості продукції ще на етапі її проектування. Саме виключення ризиків відмов на етапі проектування продукції і є найголовнішою актуальною проблемою для вітчизняних підприємств машинобудівного комплексу. Одним із найефективніших методів аналізу потенційних відмов та ризиків у світі є FMEA-аналіз.

Сучасний стан проблеми. Особливості і механізм аналізу. FMEA-аналіз являє собою технологію аналізу можливості виникнення дефектів та їх вплив на думку споживача. Сьогодні існує безліч галузей застосування FMEA-аналізу, основними з яких є: FMEA концептуальних пропозицій, FMEA конструкцій, FMEA систем, FMEA виробничих процесів, FMEA продукції, FMEA сервісного обслуговування, FMEA програмного забезпечення (рис.1). Також широкий набір інструментів FMEA-аналізу дозволяє застосовувати його в невиробничих галузях, таких як маркетинг, реклама, освіта чи менеджмент.

FMEA-аналіз - це системна методика проведення аналізу ризику відмов, що призначена для визначення потенційних видів відмов продуктів і процесів, оцінки ризику, пов'язаного з цими видами відмов, ранжирування проблем відповідно до їх важливості, а також визначення та проведення коригувальних заходів для вирішення найбільш серйозних питань [1]. FMEA - це індуктивний метод аналізу відмов. Він є ключовим завданням з інжинірингу надійності, безпеки і якості. FMEA широко використовується у виробничих галузях на різних етапах життєвого циклу продукції. Існує чотири основних типи аналізу FMEA: FMEA-системи (використовується для аналізу систем і підсистем на ранніх стадіях концептуального та конструкторського планування); FMEA-конструкції (використовуються для аналізу продукції до того, як вона запускається у виробництво); FMEA-процес (застосовується для аналізу виробничих процесів); FMEA-обладнання (служить для розгляду видів відмов обладнання при його використанні у процесі виробництва) [1]. Успішне проведення FMEA вимагає, щоб аналітик врахував всі важливі види відмов для кожного елемента або частини системи. Процедури FMEA можуть виконуватися у трьох основних випадках [2]:

- 1) для нової продукції, нової технології або нового процесу: FMEA-аналіз за обсягом повністю охоплює всю конструкцію, технологію або процес;
- 2) під час модифікації існуючої конструкції або процесу: FMEA повинен фокусуватися на модифікації конструкції або процесу, можливій взаємодії внаслідок модифікації і задокументованої історії;
- 3) при використанні існуючої конструкції або процесу у новому оточенні чи місці: FMEA-аналіз повинен бути зосереджений на впливі нового оточення, місця на існуючий продукт або процес. Користь від FMEA як від інструмента проектування і в ході процесу прийняття рішень залежить від ефективності і своєчасності виявлення проблем з конструкцією.

Мета роботи. Розвиток і можливості застосування FMEA-аналізу для прогнозування якості продукції машинобудівних підприємств з врахуванням всього технологічного циклу виробництва.

Формування матричного методу і особливості його застосування для аналізу виробничого циклу машинобудівних підприємств. Відповідно до вимог нормативних документів [1-3] спочатку для проведення FMEA-аналізу, як правило, формується команда з шести спеціалістів:

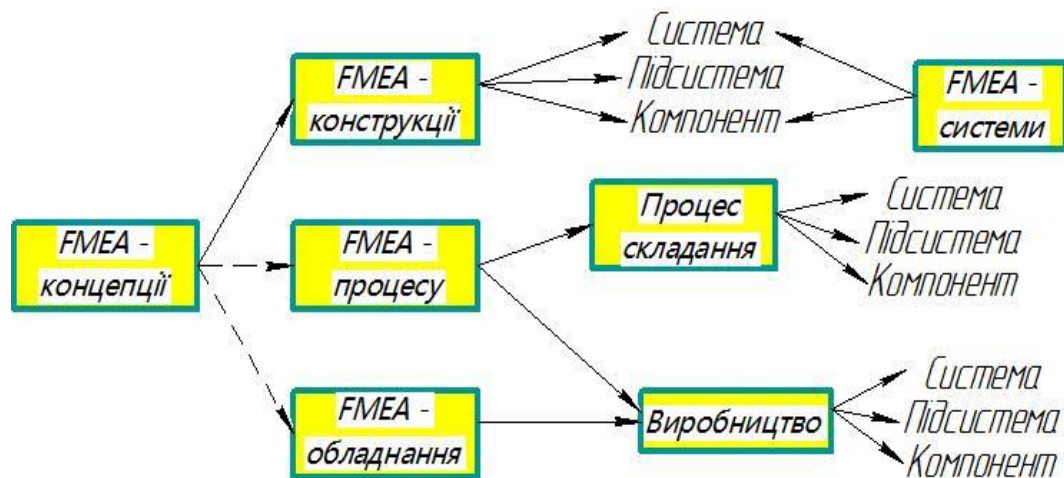


Рис. 1. Приклад типів FMEA
Fig. 1. Example of FMEA Types

- керівник робочої групи;
- інженер-технолог, що відповідає за розробку базового технологічного процесу;
- інженер-технолог, що відповідає за розробку модернізованого технологічного процесу;
- інженер-конструктор;
- представник відділу по роботі зі споживачами або представник відділу маркетингу;
- представник відділу контролю якості.

Завданням даних спеціалістів є сформувати матрицю якості на підставі даних, що слугують підґрунтям для цього аналізу. При цьому, відповідно до матричного методу оцінювання якості [5] отримують узагальнену матрицю якості

$$|(M_{Я})_o| = \begin{vmatrix} (m_{Я})_{o-11} & (m_{Я})_{o-12} & \dots & (m_{Я})_{o-1M_1} \\ (m_{Я})_{o-21} & (m_{Я})_{o-22} & \dots & (m_{Я})_{o-2M_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (m_{Я})_{o-s1} & (m_{Я})_{o-s2} & \dots & (m_{Я})_{o-sM_s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (m_{Я})_{o-s_m1} & (m_{Я})_{o-s_m2} & \dots & (m_{Я})_{o-s_mM_m} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

де $(m_{Я})_{o-sm}$ – одиничний показник якості (ОПЯ), що належить до s -го рядка ($s \in [1, 2, \dots, s_m]$) і m -го стовпця ($m \in [1, 2, \dots, M_1, M_2, \dots, M_s, \dots, M_m, \dots, (M)_{\text{пнх}}]$).

Слід зауважити, що дана матриця складається з матриць-рядків $|(Q_o)_1|, |(Q_o)_2|, \dots, |(Q_o)_s|, \dots, |(Q_o)_{s_m}|$, наприклад для першого рядка матимемо

$$|(Q_o)_1| = |(m_{Я})_{o-11} (m_{Я})_{o-12} \dots (m_{Я})_{o-1M_1}|. \quad (2)$$

Ці ОПЯ описують окремі властивості прообразу досліджуваного об'єкта, характеристики якого змінюються протягом всього життєвого циклу – від проектування, заготовлення первинних матеріалів і напівфабрикатів та підготування технологічних процесів аж до виготовлення і появи готового продукту чи виробу.

Перед проведенням аналізу FMEA-команда експертів збирає та вивчає вихідні дані. Останні повинні містити інформацію про:

- спроектований об'єкт $|(Q_o)_1| \dots |(Q_o)_{1np}|$;
- підготування виробництва $|(Q_o)_2| \dots |(Q_o)_{2ne}|$;
- технологічні процеси $|(Q_o)_3| \dots |(Q_o)_{mn}|$;
- вихідний контроль готового виробу $|(Q_o)_{s_{ек}}| \dots |(Q_o)_{s_{ек}}|$;
- фактори умов навколишнього середовища, які впливають на кінцевий результат виготовлення – $|(Q_o)_{nc}| \dots |(Q_o)_{s_m}|$.

Слід зазначити, що на кожній стадії життєвого циклу об'єкта вказані матриці фіксують його стан протягом всієї тривалості стадії. Наприклад, для стадії «спроектований об'єкт» матимемо $|(Q_o)_1| \dots |(Q_o)_{1np}| \rightarrow \text{var}$, що означає зміну вектора $|(Q_o)_1|$ у часі. При цьому розмір кожного вектора є однаковим, хоча для деяких його елементів, на початку, коли не була ще виконана певна операція, значення $(m_{Я})_{o-sm}$ буде рівним нулю.

Причинами проведення FMEA-аналізу можуть бути наступні обставини:

- на підприємстві впроваджується новий технологічний процес виготовлення чи складання продукції;
- на підприємстві запущено виробництво нової продукції;
- під час технологічного процесу виготовлення продукції необхідно виявити параметри, що впливають на безпеку продукції;
- в ході технологічного процесу виготовлення продукції застосовується модернізоване обладнання, оснащення чи інструмент;
- в ході технологічного процесу контролю якості виробу були змінені методи чи технології контролю;
- в ході технологічного процесу виготовлення продукції були змінені графіки ремонту, обслуговування та атестації обладнання;
- вимоги замовників;
- часті випадки порушень безпеки праці на виробництві;
- вимоги органів по охороні навколишнього середовища та ін.

В машинобудуванні, як правило, метод FMEA-аналізу базується на таких основних принципах: командний, ієрархічний, ітеративний, реєстраційний. Дані принципи дозволяють проаналізувати, вчасно виявити та виключити ризики отримання неякісної продукції ще до етапу її виготовлення.

Вихідними даними для проведення FMEA-аналізу в машинобудуванні можуть бути: креслення, досвід попередніх проектів, технологічні процеси виготовлення деталей, законодавчі та інші обов'язкові акти; інформація по розробкам конкурентів, інформація від споживачів, дані випробувань, результати власних досліджень FMEA, звіти маркетингових служб та інші. FMEA-аналіз можуть проводити, як внутрішні комісії, що складаються з працівників підприємства, так і зовнішні компанії, що працюють на замовлення керівництва підприємства [6].

Такий аналіз полягатиме у порівнянні отриманих матриць якості з певними еталонними матрицями $\left| (Q_o)_{1em} \right|, \left| (Q_o)_{2em} \right|, \dots, \left| (Q_o)_{see} \right|, \dots, \left| (Q_o)_{sm-em} \right|$. За ними складаються зведені таблиці та будуються гістограми, що дозволяє наглядно побачити потенційні ризики відмов на кожному етапі технологічного процесу виготовлення машинобудівної продукції. FMEA-аналіз – це набір інструментів, що дозволяють проаналізувати можливості виникнення дефектів та їх вплив на думку споживача. Для формування еталонної матриці, що використовується у ході проведення FMEA-аналізу, використовують підхід, показаний на рис.2, в якому враховують причину кожного дефекту.

Оцінка			Вага дефекту	Необхідність в додаткових заходах
S	O	D		
1	1	1	Ідеальний випадок, бездефектне виробництво	Ні
1	1	10	Може бути випадковий дефект, додаткова перевірка виробництва не потрібна	Ні
10	1	1	Існує дефект, але він не потрапляє до замовника	Ні
10	1	10	Одиничний серйозний дефект, може потрапити до замовника	Так
1	10	1	Часто повторювальний дефект, вірогідно буде виявлений	Так
1	10	10	Часто повторювальний дефект, може потрапити до замовника	Так
10	10	1	Часто повторювальний серйозний дефект, вірогідно буде виявлений	Так
10	10	10	Серйозні проблеми в технологічному процесі виробництва продукції, необхідно проводити аудиторські дослідження	Так

Рис. 2. Підхід до формування еталонної матриці якості
Fig. 2. Approach to the formation of a standard matrix of quality

Кожен дефект оцінюють експертно за трьома критеріями: значимість (S); імовірність виникнення (O); імовірність виявлення (D). Члени FMEA-команди повинні мати єдину думку щодо системи та порядку визначення критеріїв експертних оцінок. Ці критерії та шкали оцінок можуть бути переглянуті відповідно до умов підприємства в частині опису критеріїв, але після впровадження методу на підприємстві всі таблиці повинні залишатися незмінними при модифікації конструкції і виробничого процесу.

Тобто, у загальному випадку для кожного елемента матриці якості варто вживати вираз

$$(m_{я})_{o-sm} = g_{o-sm} \cdot q_{o-sm}, \quad (3)$$

де g_{o-sm} – коефіцієнт вагомості ОПЯ q_{o-sm} .

В ході роботи експертної групи кожен критерій, що впливає на дефектність, оцінюється в балах від 1 до 10, де 1 – критерій, майже не має дефектів, а 10 – критерій має серйозний дефект [7]. Якщо узагальнена оцінка даного дефекту відповідно до цих критеріїв опиняється вище певної межі, то розглянутий технологічний процес виготовлення FMEA-команда повинна доопрацювати. Причому один критерій може мати вплив на декілька дефектів, в такому випадку необхідно враховувати його вагомість і значення для всього технологічного процесу виготовлення продукції. В наступному стовпці матриці зазначається вага дефекту, тобто його вплив на кінцеву якість продукції, а також рекомендації щодо усунення дефектів. В останньому стовпці матриці зазначається необхідність в додаткових заходах щодо поліпшення якості продукції чи технологічного процесу її виготовлення в цілому.

Матрицю якості необхідно періодично переглядати, особливо в тому випадку, коли відбуваються зміни в конструкції виробу або в технологічному процесі. Крім того, на кожному етапі життєвого циклу формування продукції можливе створення окремої еталонної матриці, відповідно до того підходу, що був наведений вище.

Про необхідність перегляду матриці якості необхідно проінформувати керівника FMEA-команди [8]. Варто відзначити, що FMEA-аналіз – це методика, яку необхідно постійно переглядати та оновлювати, у зв'язку з необхідністю відображати досягнутого рівня якості продукції або стабільності бездефектного технологічного процесу її виготовлення після початку серійного виробництва.

Хоча FMEA дозволяє виявляти всі види відмов деталей, основна його перевага полягає в ранньому виявленні тих видів відмов підсистем і систем, які є критичними і катастрофічними, з тим щоб вони могли бути усунені або зведені до мінімуму шляхом модифікацій конструкції або процесу на ранніх етапах розробки.

Висновок. Таким чином, при проведенні аналізу FMEA у поєднанні із матричним методом оцінювання якості можна досягти відразу кількох позитивних результатів: отримати більш досконалу конструкцію, високу надійність продукту, підвищену безпечність його використання, більш високу ступінь задоволення замовника і зниження загальних витрат на випуск неякісної продукції.

Література

1. ISO/TS16949 Quality management system. – Particular requirements for the application of ISO9001:2008 for automotive production and relevant service part organization.
2. СТП 50.010-2013 Система менеджмента качества. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов (Метод FMEA).
3. IEC 60812:2006. Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).
4. Панюков, Д.И., Инженерные методы управления качеством. Анализ видов, причин и последствий потенциальных дефектов (FMEA): учебное пособие / Д.И. Панюков, А.В. Скрипачев. – Тольятти: ТГУ, 2007. – 133 с.
5. Ванько В.М. Метод оцінки якості продукції та послуг за допомогою теорії матриць / В.М. Ванько, П.Г. Столярчук // Вимірювальна техніка та метрологія. – №67, 2007. – С. 108-114.
6. FMEA-анализ видов и последствий потенциальных отказов / Крайслер Корп., Форд Мотор Компани, Дженерал Моторс Корп. Руководство 4-е издание, 2008 г.
7. MIL-STD-1629A. Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis. – 1984.
8. Анализ видов, последствий и причин потенциальных несоответствий (FMEA). Вашуков Ю.А., Дмитриев А.Я., Митрошкина Т.А. Метод указания / Самарский государственный аэрокосмический университет, 2008. – 31с.

References

- [1] ISO/TS16949:2009. *Quality management system - Particular requirements for the application of ISO9001:2008 for automotive production and relevant service part organization.*
- [2] STP 50.010-2013. *Systema menedzhmenta kachestva. Metod analiza vydiv y posledstvyi potentsyalnykh defektov (Metod FMEA).*
- [3] IEC 60812:2006. *Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).*
- [4] D. Paniukov, A. Skrypachev. *Ynzhenernye metody upravleniya kachestvom. Analiz vydiv, prychyn y posledstvyi potentsyalnykh defektov (FMEA).* Toliatty, RF: THU, 2007.
- [5] V. Vanko, P. Stoliarchuk, “Metod otsinky yakosti produktsii ta posluh za dopomohoiu teorii matryts”, *Measuring Equipment and Metrology*, no.67, p.108-114, 2007.
- [6] *FMEA-analysis of the types and consequences of potential failures*, Kraisler Korp., Ford Motor Kompany, General Motors Corp., 2008.
- [7] MIL-STD-1629A, Military standard: Procedures for performing a failure mode, effects, and critically analysis, Nov.24, 1980.
- [8] Yu. Vashukov, A. Dmytryev, T. Mytroshkina. *Analiz vydiv, posledstvyi y prychyn potentsyalnykh nesootvetstvyi (FMEA).* Metod ukazanyia, Samara, RF: Hosudarstvennyi aerokosmycheskyi unyversytet, 2008.