

УДК 658.562; 621.983.073

## МАТРИЧНИЙ МЕТОД ПРОВЕДЕННЯ FMEA-АНАЛІЗУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

© Ванько Володимир, Приходько Олександр, 2017

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

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

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

*Описано особенности и специфику осуществления FMEA-анализа, исходя из требований действующих нормативных документов. Предложено применение матричного метода оценивания качества продукции и услуг с целью прогнозирования качества продукции машиностроительного производства. Представлено способ формирования матриц качества при проектировании изделия, подготовке производства, выполнении технологических процессов, заключительном контроле готового изделия, анализе факторов и условий окружающей среды. Описано оригинальный подход к формированию эталонных матриц качества продукции на всех этапах жизненного цикла. Даны рекомендации относительно применения FMEA-анализа в практике деятельности машиностроительного предприятия.*

**Ключевые слова:** матрица, метод FMEA-анализа, показатель качества, вектор-строка, эталонная матрица качества.

*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 and use the FMEA-analysis to predict the quality of products of machine-building enterprises, taking into account the entire technological cycle of production. The use of the matrix method for assessing the quality of products and services for forecasting the quality of products 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. From obtained quality vectors is a quality matrix that describes: designing a product, preparing a production, performing technological processes, controlling the finished product, analyzing factors and environmental conditions.*

*If each of the vectors of quality is formed in the form of a matrix-string, which changes during the implementation of the investigated stage of the established life cycle, then this way they receive information on the execution of each operation.*

*Thus, it is possible to receive quantitative data on its flow on each of the listed stages. It is shown that in the general case, it is expedient for each element of the matrix-line of quality to use their representation in the form of the product of the weighting factor and the actual value of this unit value, 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 it is possible to visually see the potential failures at each stage of the technological process of manufacture of machine-building products. This allows us to analyze 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, an approach is used that takes into account the cause of each defect. During the work of the expert group, each criterion that affects the defect is evaluated in points from 1 to 10, where 1 is the criterion, almost no defects, and 10 – the criterion has a serious defect. It also indicates the weight of the defect, that is, its impact on the final quality of the product, as well as recommendations for the elimination of defects.*

*The recommendations for using the matrix method of conducting FMEA-analysis in the practice of the machine-building enterprise are given.*

*Key words: 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 спрямовані на поліпшення якості продукції ще на етапі її проектування. Саме усунення 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 й механізм аналізу.** FMEA-аналіз – це технологія аналізу можливості виникнення дефектів та їх впливу 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 дає змогу застосовувати його в невиробничих галузях, таких як маркетинг, реклама, освіта чи менеджмент.

FMEA-аналіз – це системна методика аналізування ризику відмов, призначена для визначення потенційних видів відмов продуктів і процесів, оцінювання ризику, пов'язаного з цими видами відмов, ранжування проблем відповідно до їх важливості, а також визначення та проведення коригувальних заходів для вирішення найістотніших 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. Є чотири основні типи аналізу FMEA: FMEA-системи (використовуються для аналізу систем і підсистем на ранніх стадіях концептуального та конструкторського планування); FMEA-конструкції (використовуються для аналізу продукції до того, як її запускають у виробництво); FMEA-процес (застосовується для аналізу виробничих процесів); FMEA-обладнання (слугує для

розгляду видів відмов обладнання, яке використовують у виробництві) [1]. Для успішного проведення аналітик повинен врахувати 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 конструкції або процесу: FMEA повинен концентруватися на модифікації конструкції або процесу, можливій взаємодії внаслідок модифікації та задокументованої історії;

3) у разі використання відомої конструкції або процесу в новому оточенні чи місці: FMEA-аналіз повинен бути зосереджений на впливі нового оточення, місця на продукт або процес. Користь від FMEA як від інструмента проектування і в ході процесу прийняття рішень залежить від ефективності та своєчасності виявлення проблем з конструкцією.

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

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

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

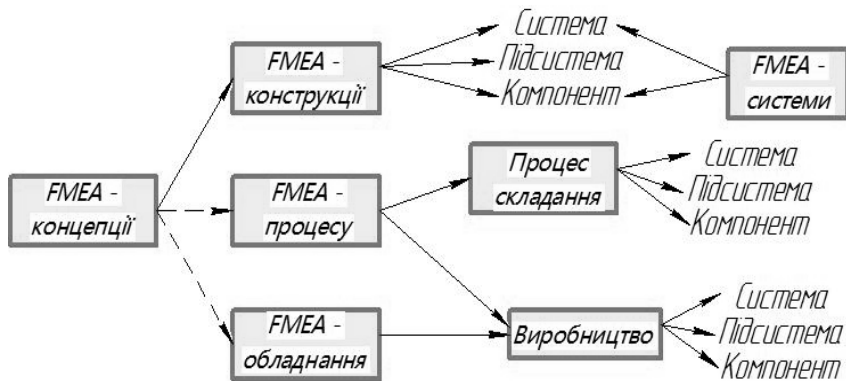


Рис. 1. Приклад типів FMEA

Fig. 1. Example of FMEA Types

Завдання цих спеціалістів – сформувати матрицю якості на підставі даних, що слугують підґрунтям для цього аналізу. Відповідно до матричного методу оцінювання якості [5] отримують узагальнену матрицю якості

$$|(M_{Я})_o| = \begin{vmatrix} (m_{Я})_{o-11} & (m_{Я})_{o-12} & \mathbf{K} & (m_{Я})_{o-1,m_1} \\ (m_{Я})_{o-21} & (m_{Я})_{o-22} & \mathbf{K} & (m_{Я})_{o-2,m_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (m_{Я})_{o-s1} & (m_{Я})_{o-s2} & \mathbf{K} & (m_{Я})_{o-s,m_s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (m_{Я})_{o-sm1} & (m_{Я})_{o-sm2} & \mathbf{K} & (m_{Я})_{o-sm,m_m} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

де  $(m_{Я})_{o-sm}$  – одиничний показник якості (ОПЯ), що належить до  $s$ -го рядка ( $s \in [1, 2, \mathbf{K}, s_m]$ ) і  $m$ -го стовпця ( $m \in [1, 2, \mathbf{K}, m_1, m_2, \mathbf{K}, m_s, \mathbf{K}, m_m, \mathbf{K}, (m)_{\max}]$ ).

Зауважимо, що ця матриця складається з матриць-рядків  $|(Q_o)_1|, |(Q_o)_2|, \mathbf{K}, |(Q_o)_s|, \mathbf{K}, |(Q_o)_{s_m}|$ , наприклад, для першого рядка матимемо

$$|(Q_o)_1| = |(m_{Я})_{o-11} (m_{Я})_{o-12} \mathbf{K} (m_{Я})_{o-1,m_1}|. \quad (2)$$

Ці ОПЯ описують окремі властивості прообразу досліджуваного об’єкта, характеристики якого змінюються протягом всього життєвого циклу від проектування, заготовлення первинних матеріалів і напівфабрикатів та підготовки 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  $|(Q_o)_2| \dots |(Q_o)_{2ns}|$ ;
- технологічні процеси  $|(Q_o)_3| \dots |(Q_o)_{mn}|$ ;
- вихідний контроль готового виробу  $|(Q_o)_{s_{вк}}| \dots |(Q_o)_{s_{вк}}|$ ;
- фактори умов навколишнього середовища, які впливають на кінцевий результат виготовлення –  $|(Q_o)_{nc}| \dots |(Q_o)_{sm}|$ .

Зазначимо, 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. Розміри усіх векторів однакові, хоча для деяких його елементів, на початку, коли не була ще виконана певна операція, значення  $(m_{Я})_{o-sm}$  дорівнюватиме нулю.

Причинами проведення FMEA-аналізу можуть бути такі обставини:

- на підприємстві впроваджується новий технологічний процес виготовлення чи складання продукції;
- на підприємстві започатковано виробництво нової продукції;
- під час технологічного процесу виготовлення продукції необхідно виявити параметри, що впливають на безпечність продукції;
- в ході технологічного процесу виготовлення продукції застосовується модернізоване обладнання, оснащення чи інструмент;

- в ході технологічного процесу контролю якості виробу змінено методи чи технології контролю;
- в ході технологічного процесу виготовлення продукції змінено графіки ремонту, обслуговування та атестації обладнання;
- вимоги замовників;
- часті випадки порушень безпеки праці на виробництві;
- вимоги органів з охорони навколишнього середовища тощо.

У машинобудуванні, як правило, метод FMEA-аналізу ґрунтується на таких основних принципах: командному, ієрархічному, ітеративному, реєстраційному. Ці принципи дають змогу проаналізувати, вчасно виявити та усунути 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 щодо розробок конкурентів, інформація від споживачів, дані випробувань, результати власних досліджень FMEA, звіти маркетингових служб тощо. FMEA-аналіз можуть виконувати 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

$|(\mathcal{Q}_o)_{1em}|, |(\mathcal{Q}_o)_{2em}|, \mathbf{K}, |(\mathcal{Q}_o)_{sem}|, \mathbf{K}, |(\mathcal{Q}_o)_{sm-em}|$ . На їх основі складають зведені таблиці та будують гістограми, що дає змогу унаочнити потенційні ризики відмов на кожному етапі технологічного процесу виготовлення машинобудівної продукції. FMEA-аналіз – це набір інструментів, що дають можливість проаналізувати можливості виникнення дефектів та їх вплив на думку споживача. Для формування еталонної матриці, що використовується у ході проведення FMEA-аналізу, застосовують підхід, показаний на рис. 2, в якому враховують причину кожного дефекту.

Кожен дефект оцінюють експертно за трьома критеріями: значущість (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 можна переглядати відповідно до умов підприємства в частині опису критеріїв, але після впровадження методу на підприємстві всі таблиці повинні залишатися незмінними у разі модифікації конструкції та виробничого процесу.

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

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

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

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

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 цього дефекту відповідно до цих критеріїв перевищує певну межу, то розглянутий технологічний процес виготовлення FMEA-команда повинна доопрацювати. Причому один критерій може впливати на декілька дефектів, у такому випадку необхідно враховувати його вагомість і значення для всього технологічного процесу виготовлення продукції. В наступному стовпці матриці зазначають вагу дефекту, тобто його вплив на кінцеву якість продукції, а також рекомендації щодо усунення дефектів. В останньому стовпці матриці вказують необхідність у додаткових заходах щодо поліпшення якості продукції чи технологічного процесу її виготовлення загалом.

Матрицю якості необхідно періодично переглядати, особливо якщо 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 підходу, наведеного вище.

Про необхідність перегляду матриці якості треба проінформувати керівника FMEA-команди [8]. Варто зазначити, що FMEA-аналіз – це методика, яку необхідно постійно переглядати та оновлювати, у зв'язку з необхідністю відображати досягнутий рівень якості продукції або стабільності бездефектного технологічного процесу її виготовлення після початку серійного виробництва [9].

Хоча FMEA дає змогу виявляти всі види відмов деталей, основна його перевага полягає в ранньому виявленні тих видів відмов підсистем і систем, які є критичними і катастрофічними, щоб виправити їх або звести до мінімуму за допомогою модифікацій конструкції або процесу на ранніх етапах розроблення.

**Висновок.** Отже, проводячи аналіз FMEA у поєднанні із матричним методом оцінювання якості, можна досягти відразу кількох позитивних результатів: отримати досконалішу конструкцію, високу надійність продукту, підвищену безпечність його використання, вищий ступінь задоволення замовника і знизити загальні витрати на випуск неякісної продукції.

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): учеб. пособ. / 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. – 2007. – № 67. – С. 108–114.* 6. *FMEA-анализ видов и последствий потенциальных отказов / Крайслер Корп., Форд Мотор Компани, Дженерал Моторс Корп.: руководство. – 4-е изд. – 2008.* 7. *MIL-STD-1629A. Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis, 1984.* 8. *Анализ видов, последствий и причин потенциальных несоответствий (FMEA): метод. указания // Ваиуков Ю. А., Дмитриев А. Я., Митрошкина Т. А. // Самарский государственный аэрокосмический университет. – 2008. – 31 с.* 9. *Микийчук М. М. Метрологічне забезпечення якості продукції на етапі виготовлення / М. М. Микийчук. – Вишниця: Черемош, 2014. – 256 с.*