

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.П. Гапонова

«__» _____ 2021 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

За спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Розробка методології FMEA-аналізу для підвищення якості матеріалів і виробів»

Студент гр. МТ.м – 61	_____	Руденко С.Г.
Керівник	_____	Берладір Х.В.
Консультант з економічної частини	_____	Берладір Х.В.
Консультант з охорони праці	_____	Говорун Т.П.
Нормоконтроль	_____	Дегула А.І.

Суми 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.П. Гапонова

«__» _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Руденко Софії Геннадіївни

1. Тема проекту (роботи) «Розробка методології FMEA-аналізу для підвищення якості матеріалів і виробів», затверджена наказом по університету від «24» 11 2021р. № 0917-VI
2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи)
3. Вхідні дані до проекту (роботи) Виявлення потенційних невідповідностей та дефектів та запобігання їх появі на всіх стадіях циклу життєдіяльності полімерних композитних матеріалів та виробів з них
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
 - 1) Аналіз літературних джерел за темою роботи.
 - 2) Викладення загальної методики й основних методів досліджень.
 - 3) Експериментальні дослідження та узагальнення результатів.
 - 4) Економічна частина.
 - 5) Охорона праці, довкілля та техніка безпеки.
5. Перелік графічного матеріалу (із точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти проекту (робот) із зазначенням розділів, що їх стосуються.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Говорун Т.П.		
Економічна частина	Берладір Х.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор.	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел за темою роботи	жовтень 2021 р.	
2	Викладення загальної методики й основних методів досліджень	жовтень 2021 р.	
3	Експериментальні дослідження та узагальнення результатів	листопад 2021 р.	
4	Економічна частина	листопад 2021 р.	
5	Охорона праці, довілля та техніка безпеки	грудень 2021 р.	

7. Дата видачі завдання

Студент _____
(підпис)

Керівник проекту _____
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Руденко Софія Геннадіївна. Розробка методології FMEA-аналізу для підвищення якості матеріалів і виробів. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2021.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці методології проведення аналізу наслідків та видів потенційних невідповідностей (FMEA-аналізу) на прикладі оцінки дефектів, які виникають при отриманні та в процесі експлуатації полімерних композитних матеріалів та промислових виробів з них.

В роботі вперше практично застосований метод Ісікава для унаочнення та подальшого аналізу причини виникнення дефектів армованого полімерного композитного матеріалу. Причини були розділені на шість ключових позицій – людина, метод, матеріал, механізми, контроль та середовище. За допомогою методу причинно-наслідкового аналізу було побудовано та проаналізовано діаграму Ісікава.

Проведено аналіз видів і наслідків відмов і дефектів для полімерних матеріалів. Для кожного виду дефекту розраховано значення пріоритетного числа ризику. Для найбільш критичного дефекту запропоновано заходи зі зниження потенційних вад. Надано пропозиції щодо покращення виявлених дефектних зон в структурах полімерних композитів в процесі аналізу.

Розроблено економічну модель процесу FMEA-аналізу, яка дає можливість зробити розрахунок всіх витрат на процес, його поліпшення, а також суми можливого економічного ефекту від впровадження.

Ключові слова: FMEA-АНАЛІЗ, АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ ТА ВИДІВ ПОТЕНЦІЙНИХ НЕВІДПОВІДНОСТЕЙ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, ДЕФЕКТ, ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИТНИЙ МАТЕРІАЛ, МЕТОД ІСІКАВА

ABSTRACT

Rudenko Sofia Gennadiievna. Development of FMEA analysis methodology for improving the quality of materials and products. – Manuscript.

Qualification work for a master's degree in specialty 132 – Materials Science. – Sumy State University, Sumy, 2021.

Qualification work is devoted to the development of a methodology for analysis of consequences and types of potential discrepancies (FMEA-analysis) on the example of assessment of defects that occur during production and operation of polymer composite materials and industrial products from them.

For the first time, the Ishikawa method was practically used to illustrate and further analyze the cause of defects in reinforced polymer composite material. The reasons were divided into six key positions – man, method, material, mechanisms, control and environment. The Ishikawa diagram was constructed and analyzed using the method of causal analysis.

The analysis of types and consequences of failures and defects for polymer composite materials is carried out. For each type of defect, the value of the priority number of risk is calculated. For the most critical defect, measures to reduce potential defects are proposed. Suggestions for improving the detected defective zones in the structures of polymer composites in the analysis process are given.

An economic model of the FMEA-analysis process has been developed, which makes it possible to calculate all the costs of the process, its improvement, and the amount of possible economic effect from the implementation.

Keywords: FMEA-ANALYSIS, ANALYSIS OF CONSEQUENCES AND TYPES OF POTENTIAL NON-CONFORMITIES, QUALITY CONTROL, DEFECT, POLYMERIC COMPOSITE MATERIAL, METHOD ISHIKAWA

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра вміщує 97 сторінок, зокрема 18 рисунків, 13 таблиць, список із 43 використаних джерел на 6 сторінках.

Мета роботи – проведення аналізу видів та наслідків потенційних невідповідностей для оцінки дефектів, які виникають при отриманні та в процесі експлуатації полімерних композитних матеріалів та промислових виробів з них за розробленою методологією FMEA-аналізу.

Об'єкт дослідження – FMEA-аналіз на досліджуваних полімерних композитах.

Предмет дослідження – композитні матеріали, оцінка їх потенційних дефектів за FMEA-аналізом.

Методи дослідження – стандартні методи визначення експлуатаційних властивостей композиту, оптично-електронна мікроскопія для дослідження структури полімерних композитів, методи неруйнівного контролю, методи структурного аналізу матеріалів, методи математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів. Вперше проведено FMEA-аналіз для оцінки дефектів полімерних композитних матеріалів за розробленою методологією. Для кожного виду дефекту розраховано значення пріоритетного числа ризику. Для найбільш критичного дефекту запропоновано заходи зі зниження потенційних вад. В роботі вперше практично застосований метод Ісікава для унаочнення та подальшого аналізу причини виникнення дефектів армованого полімерного композитного матеріалу.

Ключові слова: FMEA-АНАЛІЗ, АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ ТА ВИДІВ ПОТЕНЦІЙНИХ НЕВІДПОВІДНОСТЕЙ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, ДЕФЕКТ, ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИТНИЙ МАТЕРІАЛ, МЕТОД ІСІКАВА

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,	9
ОДИНИЦЬ, СКОРОЕНЬ І ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1	13
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	13
1.1. Основні поняття та принципи FMEA-аналізу.....	13
1.1.1 Мета проведення аналізу наслідків та видів потенційних невідповідностей....	13
1.1.2 Види FMEA-аналізу	14
Основні види та відмінності FMEA представлені в таблиці 1.1.	16
1.1.3 Основні принципи FMEA	17
1.2 Особливості проведення FMEA-аналізу.....	17
1.3 Переваги та недоліки методу FMEA-аналізу	19
РОЗДІЛ 2	23
ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	23
2.1 Порядок проведення FMEA-аналізу.....	23
2.1.1.Планування та підготовка FMEA	25
2.1.2 Команда з проведення FMEA.....	27
2.1.3 Збір інформації для FMEA	28
2.2 Нові інструменти менеджменту якістю	34
2.2.1 Мозковий штурм	34
2.2.2 Метод Ісікава	36
2.2.3 Діаграма Парето.....	39
Висновки до розділу 2.....	42
РОЗДІЛ 3	43
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	43
3.1 Дослідження якості виробів з полімерних композитних матеріалів	43

3.1.1 Аналіз дефектів, притаманних ПКМ.....	43
3.1.2 Контроль якості виробів з полімерних композитних матеріалів	53
3.2 Проведення FMEA-аналізу дефектів ПКМ за розробленою методологією	55
3.2.1 Алгоритм оцінки процесу руйнування ПКМ на основі структурних досліджень	55
3.2.2 Побудова діаграми Ісікава для аналізу виявленого дефекту полімерного композитного матеріалу Флубон 20	56
3.2.3 Складання протоколу FMEA-аналізу дефектів ПКМ.....	60
3.3 Підвищення ефективності застосування ПКМ	62
Висновки до розділу 3.....	66
РОЗДІЛ 4	67
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	67
Висновки до розділу 4.....	73
РОЗДІЛ 5	74
ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	74
5.1. Роль пластику в життєдіяльності людини та вплив на навколишнє середовище	74
5.2. Вимоги охорони праці до технологічних процесів.....	75
5.2.1 Вимоги охорони праці під час екструзійного виробництва	78
5.2.2. Вимоги охорони праці під час лиття під тиском	80
5.2.3 Вимоги охорони праці під час пресування	80
5.2.4.Вимоги охорони праці під час каландрування	81
5.2.5. Вимоги охорони праці під час дроблення відходів пластмас	82
Висновки до розділу 5.....	83
ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	86
ДОДАТКИ.....	92
Додаток А.....	92
Протокол аналізу видів, причин і наслідків дефектів полімерних композитів	92

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЕНЬ І ТЕРМІНІВ

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis

AIAG – Automotive Industry Action Group

APQP – Advanced Product Quality Planning

RPN – Risk Priority Number

FMEA-аналіз – аналіз наслідків та видів потенційних невідповідностей

FMEA-методологія - методологія аналізу наслідків та видів потенційних невідповідностей

ПЗ – програмне забезпечення

ПКМ – полімерні композиційні матеріали

ГДК – граничнодопустимі концентрації

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту

ОБРВ – орієнтовні безпечні рівні впливу

ВСТУП

Майже в кожній промисловій компанії на сьогодні існують або окремі співробітники або цілі відділи, які займаються якістю та управлінням нею. Менеджмент якості на міжнародному рівні забезпечують спеціально підготовлені фахівці, які володіють новітніми методами якості, стандартизації та сертифікації. Це може бути запобігання (оцінка та запобігання ризику), одночасний контроль процесу діяльності (наприклад, внутрішній аудит) або подальші дії, оцінка сильних і слабких сторін сайтів та постійне підвищення якості в компанії.

Аналіз режиму і наслідків відмови (FMEA) – це метод призначений для визначення та повного розуміння можливих видів відмови і їх причин, а також наслідків невдачі на системи або кінцевих користувачів для даного продукту чи процесу; оцінки ризиків, пов'язаних з виявленою невідповідністю; способів, наслідків та причин, а також визначення пріоритетів проблем для розробки коригувальних дій; визначення та здійснення коригувальних дій для вирішення найбільш серйозних дефектів.

FMEA-аналіз – це інженерний аналіз, який виконується міжфункціональною командою експертів у галузі, яка ретельно аналізує дизайн продуктів або виробничі процеси на початку процесу розробки продукту, знаходить і виправляє слабкі місця до того, як продукт потрапить в руки клієнта.

Мета роботи – проведення аналізу видів та наслідків потенційних невідповідностей для оцінки дефектів, які виникають при отриманні та в процесі експлуатації полімерних композитних матеріалів та промислових виробів з них за розробленою методологією FMEA-аналізу.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні **задачі**:

- провести літературний огляд за тематикою роботи, описати класифікаційні ознаки різних видів FMEA-аналізу, проаналізувати переваги і недоліки даного методу;

- розробити методологію проведення FMEA-аналізу для оцінки дефектів, які виникають при отриманні та в процесі експлуатації полімерних композитних матеріалів та промислових виробів з них;

- в ході експериментальних досліджень узагальнити найбільш поширені дефекти, які зустрічаються в ПКМ при отриманні та в процесі їх експлуатації, провести аналіз видів та наслідків потенційних невідповідностей для оцінки узагальнених дефектів ПКМ.

- оцінити економічну доцільність проведення аналізу видів та наслідків потенційних невідповідностей для оцінки узагальнених дефектів ПКМ, розрахувати можливий економічний ефект;

- дати рекомендації щодо охорони праці на підприємствах з виробництва ПКМ та пластмас, безпеки праці та впливу шкідливих речовин на навколишнє середовище.

Об'єкт дослідження – методологія FMEA-аналізу та методу Ісікава для оцінки дефектів, які виникають при отриманні та в процесі експлуатації полімерних композитних матеріалів та промислових виробів з них.

Предмет дослідження – дефекти полімерних композитних матеріалів та їх оцінка за FMEA-аналізом.

Методи дослідження – стандартні методи визначення експлуатаційних властивостей ПКМ, оптично-електронна мікроскопія для дослідження структури ПКМ, методи неруйнівного контролю, методи структурного аналізу матеріалів, методи математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше проведено FMEA-аналіз для оцінки дефектів полімерних композитних матеріалів за розробленою методологією. Для кожного виду дефекту розраховано значення пріоритетного числа ризику. Для найбільш критичного дефекту запропоновано заходи зі зниження потенційних вад.

2. В роботі вперше практично застосований метод Ісікава для унаочнення та подальшого аналізу причини виникнення дефектів армованого полімерного композитного матеріалу.

3. Дано рекомендації щодо вирішення задачі підвищення ефективності застосування ПКМ.

Особистий внесок. Автору належить аналіз літературних джерел, постановка завдань дослідження та визначення мети, розробка методології проведення FMEA-аналізу та подальшого проведення під керівництвом наукового керівника FMEA-аналізу для оцінки дефектів полімерних композитних матеріалів за розробленою методологією, оформлення тексту роботи.

Апробація роботи. За результатами наукових досліджень зроблено доклад та опубліковано тези доповідей «Метод Ісікави: сутність і приклади застосування у матеріалознавстві» у збірнику VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві», яка відбувалась 20–23 квітня 2021 р. Також подано до друку наукову статтю «Features of FMEA-analysis for predicting the materials and products quality» у фахове наукове видання «Journal of engineering science» категорії Б.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 97 сторінок, зокрема 18 рисунків, 13 таблиць, список із 43 використаних джерел на 6 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Основні поняття та принципи FMEA-аналізу

1.1.1 Мета проведення аналізу наслідків та видів потенційних невідповідностей

Метод аналізу наслідків та видів потенційних розбіжностей являє собою систематизовану сукупність дій, що здійснюються з метою:

- виявляти невідповідності в процесах і продуктах, а також наслідки невідповідностей та оцінювати їх кількісно;
- створити ранжований перелік причин і видів невідповідностей для планування попереджувального та коригувального;
- визначити запобіжні заходи та коригувальні дії, які можуть зменшити або виключити ймовірність невідповідності;
- документувати дані результатів аналізу для накопичення в базі знань.

Застосування FMEA є постійною вимогою міжнародного стандарту ISO/TU 16949 та інших стандартів аерокосмічної, автомобільної та аерокосмічної промисловості.

Метою цього методу є вивчення механізму та причин невідповідності, запобігання невідповідності (або мінімізація її негативних наслідків), тим самим покращення якості продукції та зниження витрат на усунення невідповідності пізніше в життєвому циклі продукції.

Своєчасність є найважливішою умовою, яка впливає на ефективність результатів і суперечливість видів методів аналізу. Це слід зробити до виникнення несумісності або відразу після виявлення несумісності чи причини несумісності,

щоб уникнути наслідків або мінімізувати ризик. Вартість аналізу та впровадження профілактичних/коригувальних заходів при розробці процесу та підготовці виробництва значно нижча, ніж вартість подібних заходів у масовому виробництві, які проводяться з невідповідністю. Цей аналіз поділяється на FMEA-аналіз дизайну, FMEA-аналіз бізнес-процесів, FMEA-аналіз виробничого процесу та FMEA-аналіз операційного процесу.

1.1.2 Види FMEA-аналізу

Цей аналіз поділяється на аналіз дизайну, бізнес-процесів, виробничого процесу та аналіз операційного процесу (рис. 1.1). Відповідно об'єктами FMEA-аналізу можуть бути дизайн продукту, виробничий процес, бізнес-процес, функціонування продукту та аналіз процесу.



Рисунок 1.1 – Види FMEA-аналізу

FMEA-аналіз конструкції може проводитися як для конструкції, що розробляється, так і для існуючої. До робочої групи з проведення аналізу переважно

входять представники відділів планування, розробки виробництва, забезпечення якості, збуту, представники дослідного виробництва

Метою аналізу конструкції є виявлення потенційних дефектів продукції, які становлять найбільший ризик для споживачів, і внесення змін до конструкції продукції для зменшення таких ризиків. FMEA аналіз операційного процесу зазвичай виконується з тим же складом, що і розроблений аналіз FMEA. Метою цього типу аналізу є формування вимог до дизайну продукту, щоб забезпечити задоволеність та безпеку замовника, тобто підготувати вихідні дані, включаючи процес проектування та подальший аналіз проекту FMEA.

Аналіз виробничого процесу здійснюється на території виробника плануванням виробництва, забезпеченням якості або відповідальною службою за участю відповідних професійних відділів виробника та за участю споживачів, якщо це необхідно. Аналіз FMEA виробничого процесу починається на етапі технічної підготовки виробництва і закінчується після встановлення виробничого обладнання. Метою FMEA-аналізу виробничого процесу є забезпечення відповідності всім вимогам виробничого процесу та якості складання шляхом зміни технологічного плану технічних операцій високого ризику.

Аналіз бізнес-процесів впроваджується у відділах, які виробляють цей бізнес-процес. Крім представників цих підрозділів, в аналізі найчастіше беруть участь представники якісної служби, представники підрозділів, які є внутрішніми споживачами результатів процесу, та підрозділів, які беруть участь на етапах бізнес-процесу. Метою цього типу аналізу є забезпечення якості запланованого бізнес-процесу. Виявлені під час курсу можливі причини дефектів і невідповідностей дозволять проаналізувати систему причин нестабільності. Розроблені коригувальні заходи мають включати впровадження статистичних методів, особливо тих операцій, де виявлено високий ризик.

Мета аналізу процесу експлуатації виробу – формування вимог до умов експлуатації, які забезпечують безпеку та задоволеність споживача.

Основні види та відмінності FMEA представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Відмінності типів FMEA-аналізу

Типи FMEA	Концепція FMEA	Дизайн FMEA	Процес FMEA
Продукт або процес	Назва системи	Назва компонента	Назва процесу
Функція	Функція системи	Функція компонента	Функція процесу
Ефекти відмов	Вплив на споживача та навколишнє середовище	Відмова в роботі системи	Несправність компонента
Режими відмов	Відмова в роботі системи	Несправність компонента	Несправність процесу
Причини відмов	Несправність компонента	Несправність процесу	Причина несправності процесу

Методологія проведення будь-якого продукту/дизайну FMEA передбачає виконання кроків (рис. 1.2).

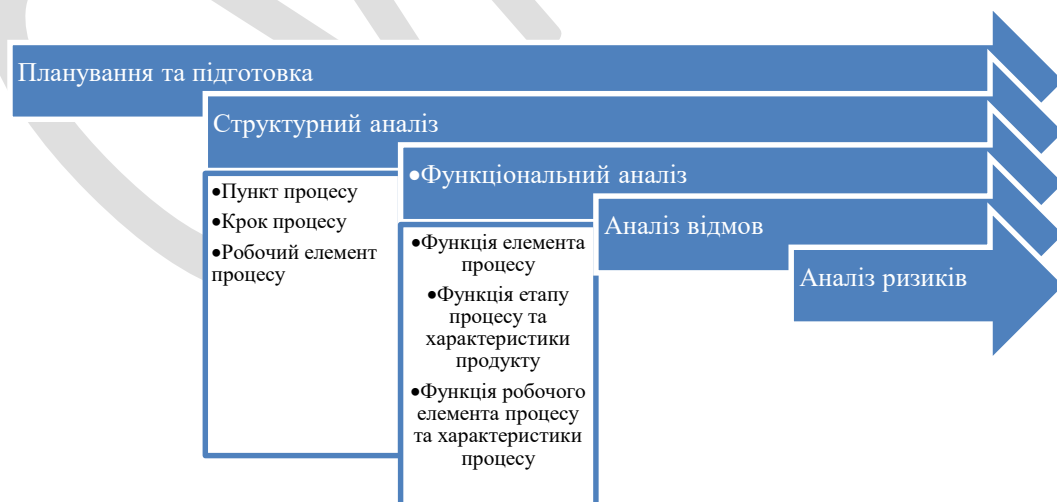


Рисунок 1.2 – Загальна методологія методу FMEA.

Наприклад, компанія Bosch розробила детальний опис методології та керівництво для створення єдиної процедури створення FMEA як методу управління якістю аналізу ризиків [23]. Він закріплений в процесі розробки продукції і використовується для оптимізації продуктів і процесів.

1.1.3 Основні принципи FMEA

Використання даних і наступних методів аналізу невідповідних даних ґрунтується на наступних принципах:

Командна робота. FMEA обраний навмисна багатofункціональних експертів команди. Ефективність програми пропорційного аналізу рівня, особливому досвіду та послідовності за результатами.

Ієрархія. Для складаних процесів, виготовлених і процесів, виготовлених складовими технічними об'єктами, аналізується як продукт працює у виробництві.

Інтерактивність. Аналіз неодноразовий; вона додаткова використовується при виконанні нових засобів і при будь-яких змінах, тягнеться за собою усвідомлення настання та їх ризику.

Реєстрація даних. Аналіз видів та наслідків потенційних невідповідностей та його результати мають бути документально оформлені.

1.2 Особливості проведення FMEA-аналізу

Для проведення FMEA компанія створює спеціальну крос-функціональну команду, склад якої визначається типом FMEA.

При розробці FMEA в команду зазвичай входять дизайнер (розробник досліджуваного дизайну), технологи обробки та складання, тестувальник, представники маркетингу, сервісу, управління якістю.

У процесі FMEA в команду зазвичай входять технолог (розробник процесу дослідження), дизайнер, представники сервісних відділів, організації виробництва,

управління якістю виробництва даного технічного об'єкта. При необхідності до команди FMEA можуть приєднатися досвідчені професіонали з інших організацій.

Команда FMEA використовує мозковий штурм, щоб виявити потенційні дефекти в конструкції, продукті або процесі, складає їх список, оцінює за трьома критеріями, обчислює значення RPN і порівнює їх з критичними значеннями, а також пропонує рішення для мінімізації впливу аналізованих дефектів.).

Розвиток нових технологій сприяв тому, що метод традиційних документів перетворився на самостійне програмне забезпечення. Це програмне забезпечення допомагає забезпечити високу якість та надійність системи та (або) процесів.

Зараз існує велика кількість програм, призначених для створення та впровадження аналізу FMEA. Існують спеціальні програмні пакети, які спеціалізуються на одному конкретному типі аналізу FMEA, тоді як інші містять багато модулів і підходять для розробки аналізу FMEA як системи та процесу. Прикладом є наступне програмне забезпечення:

- XFMEA від ReliaSoft;
- FMEA-Pro від Dyadem;
- FMEA-Med від Dyadem;
- FailureModeAnalyst™ від CCD; Byteworx FMEA Software.

Як правило, програмне забезпечення, розроблене спеціально для аналізу FMEA, включає таблиці, шаблони, рекомендації та багато інших інструментів, які полегшують створення та впровадження розширених оновлень системи документації планування.

Деякі програми пропонують набір рішень для створення цілісного APQP та/або DVP & R. Спеціальне програмне забезпечення також може мати ряд інших переваг:

- забезпечення безпеки;
- створення звітів;
- підготовці діаграм;
- відстеження історії оновлень;

– планування та управління коригуючими діями.

Використання спеціалізованого ПЗ при проведенні FMEA аналізу, дає можливість структурувати підхід до створення FMEA-аналізу, організувати роботу у команді, і навіть виключити подвійну роботу. Сьогодні перспективною є інтеграція модулів FMEA-аналізу в штатні системи планування ресурсів підприємства – Enterprise Resource Planning System (ERP) [14] компаній розробників, що дозволяє використовувати методіку FMEA-аналізу у робочому режимі.

FMEA-аналіз потребує періодичного перегляду. Особливо це важливо коли відбуваються зміни у конструкції чи процесі. Але навіть незважаючи на це, повинна вестись постійна робота з поліпшення конструкції або процесу.

Під час актуалізації FMEA враховуються нові зміни у виробках та методи, а також зміни в умовах експлуатації, правилах ремонту.

Про необхідність перегляду FMEA має бути поінформований виконавець, відповідальний актуалізацію FMEA. Він повідомляється відповідальним за введення або планування змін. Варто відзначити, що FMEA це документ, що постійно змінюється, тому що він повинен завжди відображати досягнутий рівень конструкції або процесу, так само як всі останні проведені зміни, включаючи звичайно ж дії, проведені після початку серійного виробництва.

1.3 Переваги та недоліки методу FMEA-аналізу

Переваги методу. Цей метод дозволяє виключити помилки на ранній стадії створення продукції та процесів. Він має значну ефективність при створенні конкурентоспроможної продукції в короткі терміни і значно економить час і кошти. Також дозволяє ефективно впливати на якість та безпеку об'єктів на стадії проектування шляхом виявлення потенційних відмов із високою критичністю. Досить проста методологія FMEA дає можливість залучати до аналізу фахівців

різного профілю, що полегшує всебічне охоплення проблеми та покращує інформаційний обмін між службами підприємства.

Проведення FMEA запобігає появі катастрофічних відмов та уточнює можливі шляхи перебігу порушень. Найголовніший ефект від застосування FMEA – скорочення втрат, зумовлених низькою якістю, за рахунок запобігання відмовам (дефектам, невідповідностям) на ранніх стадіях проектування. Внаслідок простоти та наочності результати FMEA виглядають для адміністрації підприємства-постачальника більш переконливими, ніж складні математичні моделі розрахунку надійності, тим більше засновані на недостовірних вихідних даних із сумнівних джерел.

Недоліки методу. Метод є надзвичайно ефективним, якщо його використовують для аналізу елементів, які викликають відмову системи в цілому або порушення основної функції системи. Однак він може бути важким і стомлюючим для складних систем, що мають багато функцій і складаються з різних наборів компонентів. Ці складності збільшуються за наявності численних режимів експлуатації, а також кількох політик технічного обслуговування та ремонту.

Метод може бути трудомістким та неефективним процесом при необдуманому застосуванні. Дослідження результати яких передбачається використати надалі, мають бути визначені. Проведення аналізу не повинно бути включено до вимог без попереднього аналізу.

Ускладнення, непорозуміння та помилки можуть статися при спробі охоплення дослідженнями FMEA кількох рівнів в ієрархічній структурі системи, якщо вона передбачає резервування.

Взаємозв'язки між людьми чи групами видів відмов чи причинами видів відмов неможливо знайти ефективно представлені FMEA, оскільки головна пропозиція цього аналізу – незалежність видів відмов. Цей недолік стає ще більш явним через взаємодію програмного забезпечення та апаратних засобів, коли пропозиція про незалежність не підтверджується. Зазначене справедливо для взаємодії людини з

апаратними засобами та моделей цієї взаємодії. Запропоноване про незалежність відмов не дозволяє приділяти належну увагу видам відмови, які при спільній появі можуть мати суттєві наслідки, тоді як кожна з них окремо має низьку ймовірність появи.

Крім того, недоліком FMEA є його нездатність оцінити загальну надійність системи і, таким чином, ступінь поліпшення її конструкції або змін.

Висновки до розділу 1

FMEA-аналіз ефективний як у забезпеченні надійності, так і у створенні стійких до відмов систем, які повинні мати будь-які підприємства – розробники. Цей метод може дозволити розробникам знижувати ризик появи критичних ситуацій. Також FMEA підвищує безпеку продукції і, що важливо, простий у освоєнні.

Але ефективним FMEA буде лише за виконання двох умов:

- правильне застосування;
- повнота дослідження [15]

Основним результатом проведення FMEA є доопрацьовані конструкція продукту та процес його виробництва, що відповідають цілям розробки та вимоги споживача. Інструментом є ті заходи з доопрацювання, які рекомендуються командою FMEA після аналізу всіх можливих проблем та причин їх виникнення. Ці заходи прийнято називати коригуючими або застережливими діями та оцінювати їх результативність та ефективність. Принцип ітеративності, який застосовується при FMEA, якраз цьому сприяє [16].

Важливість та необхідність ефективних коригувальних дій вкрай важко дати переоцінену оцінку. Власне з цього вкрай важливо інформувати відповідального інженера про коригувальні дії, рекомендовані FMEA-командою, інформувати і всі інші служби, і надалі, на їх основі, розробляти найбільш збалансовані заходи.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Порядок проведення FMEA-аналізу

Повний цикл FMEA-аналізу складається з наступних стадій:

- Планування та підготовка FMEA.
- Формування складів спеціалізованих FMEA-команд;
- Ознайомлення із запропонованими проектами конструкції та (або) технологічного процесу. Структурний та функціональний аналіз об'єкта дослідження;
- Визначення видів потенційних дефектів, їх наслідків та причин;
- Оцінка комплексного ризику та ранжування дефектів;
- Визначення та впровадження заходів щодо доопрацювання (оптимізації) конструкції та (або) технологічного процесу;
- Моніторинг впроваджених заходів та критеріїв FMEA.

Даний порядок проведення FMEA-аналізу чітко відображений у великій кількості стандартів і є алгоритмом. FMEA-аналіз має взаємозв'язок з діаграмою потоків процесу та планом управління процесом.

На рис. 2.1 представлена схема алгоритму проведення аналізу з методологічної точки зору. Розглянемо докладніше кожен із етапів аналізу [8].

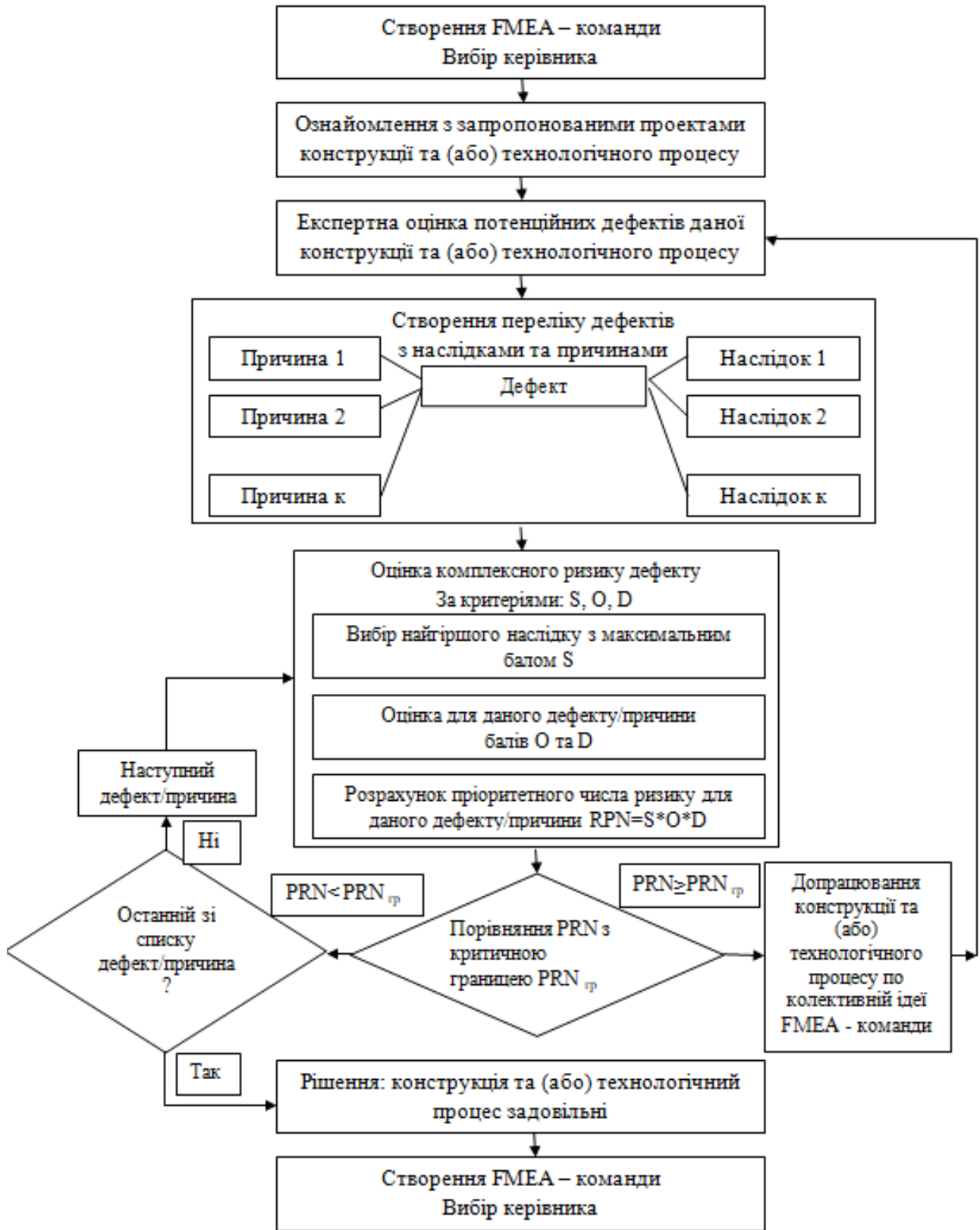


Рисунок 2.1 – Алгоритм методології проведення FMEA-аналізу

2.1.1. Планування та підготовка FMEA

При плануванні FMEA можна спиратися на положення, описані в пункті 6.3 ГОСТ 27.310.

Зазвичай FMEA проводять за планом, що безпосередньо включається до Плану якості (це може бути, наприклад, план або програма підготовки виробництва, план реалізації стадій проекту в рамках APQP-процесу, план покращення системи якості) або оформлений у вигляді самостійного документа, що додається до План якості.

План проведення FMEA має встановлювати:

- стадії життєвого циклу об'єкта та відповідні їм етапи видів робіт, на яких проводять аналіз (надалі – етапи аналізу чи етапи);
- види та методи аналізу на кожному етапі з посиланнями на відповідні нормативні документи та методики. За відсутності необхідних нормативних документів план має передбачати розробку відповідних процедур (наприклад, СТП), із встановленим порядком робіт та набором необхідних форм записів;
- рівні розукрупнення об'єкта, починаючи з якого (до якого) проводять аналіз на кожному етапі;
- граничні (цільові) значення комплексного ризику за кожною групою об'єктів та їх характеристиками (безпека, функціонування, спеціальні характеристики продукту та процесу);
- терміни проведення аналізу на кожному етапі, розподіл відповідальності за його проведення та реалізацію результатів, терміни, форми та правила звітності за результатами аналізу;
- порядок контролю за проведенням та реалізацією результатів аналізу з боку керівництва підприємства та замовника (споживача).

FMEA починають з більш ранніх етапів розробки об'єкта і систематично повторюють на наступних етапах у міру відпрацювання конструкції та технології виготовлення об'єкта, накопичення вихідних даних для аналізу. Під час проведення

FMEA на наступних етапах розробки має бути передбачено перевірку повноти реалізації та ефективності заходів щодо доопрацювань, рекомендованих на попередніх етапах [18].

Рівень розукрупнення об'єкта, починаючи з якого (до якого) проводять FMEA, встановлюють, виходячи з:

- необхідних результатів аналізу;
- ступеня відпрацьованості конструкторської, технологічної та експлуатаційної документації;
- наявності необхідних вихідних даних;
- ступеня новизни конструкції об'єкта та його складових частин, технологій їх виготовлення, умов експлуатації.

При цьому важливо пам'ятати, що чим вищий рівень відпрацьованості конструкції та технології виготовлення об'єкта та його складових частин, тим менший рівень деталізації допускається при аналізі, і, навпаки, об'єкти, що містять принципово нові конструктивно-технологічні рішення, побудовані на новій елементній базі, вимагають поглибленого, більш детального аналізу.

Крім того, при плануванні FMEA, одним з етапів слід встановити визначення професійного складу учасників команд і встановити потребу у навчанні, і, за необхідності, запланувати навчання.

Обов'язково провести оцінку витрат на організацію роботи команд FMEA (визначити потребу в ресурсах) та запланувати їх.

Дуже важливо контролювати виконання плану FMEA як за термінами, так і за результатами, особливо під час реалізації проекту. Зазвичай, у команді є керуючий, який разом із відповідальним за FMEA на рівні проекту та представником конструкторсько-технологічних служб здійснюють всю організаційну підготовку та супровід FMEA-аналізу [5].

2.1.2 Команда з проведення FMEA

FMEA-команда створюється на початку розробки проекту і складатиметься вона з фахівців різної спрямованості. Робота цієї команди триває від 3 до 6 годин на день за таких умов, у яких творча діяльність буде максимальною.

У тому випадку, якщо для аналізу застосовують ПЗ, то поділ у команді може здійснюватися на контролерів, членів команди з правом перегляду, а також тих, хто має повноваження вносити зміни в процесі дослідження

Застосування командного підходу для FMEA використовується через ті переваги, які він у собі несе, а саме таких як:

- використання більшої кількості знань та досвіду, ніж у одного фахівця;
- більш вільний доступ та використання інформації про об'єкт аналізу.
- значно швидше узгоджуються та приймаються рішення.
- паралельна робота замість послідовної та як результат – значна економія часу.

Стимулюється співпраця між підрозділами та руйнуються функціональні бар'єри. Збагачення членів команди новими знаннями та розвиток їхнього творчого потенціалу.

Для максимально продуктивної роботи всі фахівці, що входять до FMEA-команди, повинні мати великий досвід, а також високу кваліфікацію. Цей досвід повинен говорити нам про те, що фахівець провів значну роботу в минулому зі схожими технічними об'єктами.

Як правило, рекомендований досвід, отриманий на практиці, повинен бути отриманий у таких областях:

- конструювання аналогічних технічних об'єктів;
- процеси виробництва компонентів та складання;
- технологія контролю під час виготовлення;
- аналіз роботи відповідних технологічних процесів, можливі альтернативні технологічні процеси;

- аналіз поведінки аналогічних технічних об'єктів в експлуатації;
- технічне обслуговування та ремонт;
- аналіз частоти дефектів та контролю роботи відповідного обладнання та персоналу.

Зазвичай у FMEA-команди включають особи даних спеціальностей: спеціальностей: конструктор; технолог; збирач; випробувач; контролер

При необхідності до складу FMEA-команд можуть бути залучені також фахівці з практичним досвідом в інших сферах діяльності [22].

2.1.3 Збір інформації для FMEA

Відповідальним за проведення FMEA визначається, хто з учасників FMEA команди буде збирати інформацію для проведення FMEA.

Ведучий визначає, хто в групі збирає та здійснює запобіжний аналіз інформації для проведення FMEA. У період збирання інформації відповідальний уточнює, яку саме інформацію слід зібрати для проведення чергового FMEA.

Кількість часу для збору інформації визначає відповідальний. Час збору та обробки інформації становить не менше 6 останніх місяців або від попередньої дати FMEA-аналізу з досліджуваної проблеми. Попередньо інформацію можна отримати на бланках, актах, у вигляді списків, контрольних карт. Для зручності ці дані слід обробити (це робиться відповідальним за збирання інформації):

- групувати дані за місяцями, кварталами (на вимогу провідного угруповання даних може бути і за інший проміжок часу), побудувати графік за цими даними з лінією тренду;
- побудова діаграм або графіків за даними про дефекти;
- подати інформацію у структурованому вигляді (блок-схеми, потокові діаграми тощо) [23].

Експертне визначення потенційних дефектів та відмов системи або процесів

містить кілька етапів:

- формулювання конкретного дослідження потенційних дефектів та відмов.
- систематизація потенційних дефектів та відмов.
- збирання та накопичення даних.
- застосування статистичних методів виділення причинно-наслідкових зв'язків.

Конкретні інструменти наведено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1

Інструменти, що застосовуються у процесі виявлення потенційних причин відмов [10].

№	Інструмент	Короткий опис
1	Мозковий штурм	Дозволяє команді (робочої групі) генерувати велику кількість ідей про причини відмов/помилки
2	Аналіз причин та результатів (Діаграма Ісікава)	Дає можливість команді (робочій групі) ідентифікувати, досліджувати та графічно відображати з подробицями всі можливі причини відмов/помилки
3	Планування експерименту	Метод для одночасного дослідження кількох потенційних причин невідповідності дозволяє команді (робочій групі) зробити робити висновок про причини відмов/помилки
4	Графік кореляцій	Використовується для відображення взаємозв'язку між двома змінними. Забезпечує можливість перевірки причинних зв'язків

Продовження таблиці 2.1

№	Інструмент	Короткий опис
5	Діаграма Гранта	Дає можливість постійно відстежувати плани заходів
6	Діаграма Ісікава	Допомагає команді (робочій групі) об'єктивно оцінити результати запланованих заходів щодо покращення «до» та «після»
7	Цикл PDCA	Забезпечує постійне поліпшення процесу.

Етапи проведення FMEA-аналізу повинні включати:

1) Побудова структурної компонентної, функціональної та потокової моделей об'єкта аналізу;

2) Дослідження моделей. У ході дослідження моделей визначаються:

- *потенційні дефекти кожного з елементів компонентної моделі об'єкта.*

Такі дефекти зазвичай пов'язані або з відмовою функціонального елемента (його руйнуванням, поломкою тощо), з неправильним виконанням його корисних функцій (відмовою по точності, продуктивності тощо) або зі шкідливими функціями елемента. Необхідно також розглядати потенційні дефекти, які можуть виникнути при транспортуванні, зберіганні та зміні зовнішніх умов (вологість, тиск, температура).

- *потенційні причини дефектів.*

Для виявлення можуть бути використані діаграми Ісікави, які будуються кожної з функцій об'єкта з появою дефектів.

- *потенційні наслідки дефектів споживача.*

Оскільки кожен із розглянутих дефектів може викликати ланцюжок відмов у об'єкті, під час аналізу наслідків використовуються структурна і потокова моделі об'єкта.

- *можливості контролю появи дефектів*

Визначається, чи може дефект бути виявленим до наслідків у результаті передбачених в об'єкті заходів з контролю, діагностики тощо.

3) Експертний аналіз моделей. Визначаються такі параметри:

- *параметр тяжкості наслідків споживача S* – це експертна оцінка, що проставляється зазвичай за 10-ти бальною шкалою; найвищий бал проставляється для випадків, коли наслідки дефекту спричиняють юридичну відповідальність;

- *параметр частоти виникнення дефекту O* – це також експертна оцінка, що проставляється за 10-ти бальною шкалою; найвищий бал проставляється, коли оцінка частоти виникнення становить 1/4 та вище;

- *параметр ймовірності виявлення дефекту D* – як і попередні параметри, він є 10-ти бальною експертною оцінкою; найвищий бал проставляється для прихованих дефектів, які не можуть бути виявлені до наслідків;

- *параметр ризику споживача ПЛР*. Він визначається як добуток $S \times O \times D$; цей параметр показує, у яких стосунках один до одного на даний час перебувають причини виникнення дефектів; дефекти з найбільшим коефіцієнтом пріоритету ризику (ПЧР більше, або 100...120) підлягають усунення в першу чергу.

Оцінка факторів S, O та D проводиться за кваліметричними шкалами, представленими в таблиці 2.2.

FMEA-сесія проводиться два рази: перший раз при визначенні потенційних небезпек, і вдруге, коли перевіряється ефективність запропонованих контрольних та попереджувальних заходів. Причому слід звернути увагу, що помилки розглядаються потенційні, а попереджувальні та інспекційні дії впроваджуються в цілком реальні процеси підприємств. Вся FMEA-сесія та її результати занотовуються в таблицю, що має назву FMEA-матриця, або FMEA-таблиця (див. табл. 2.3)

Кваліметричні шкали значущості потенційної відмови (S), ймовірності виникнення дефекту (O), ймовірності виявлення дефекту (D)

Фактор S	Фактор O	Фактор D
1 – дуже низька (майже не має проблем)	1 – дуже низька	1 – майже відразу ефект буде виявлено
2 – низька (проблеми вирішуються працівником)	2 – низька	2 – дуже гарне виявлення
3 – не дуже серйозна	3 – не дуже низька	3 - гарне
4 – нижче середньої	4 – нижче середньої	4 – в міру гарне
5 – середня	5 – середня	5 - помірно
6 – вище середньої	6 – вище середньої	6 - слабе
7 – доволі висока	7 – близька до середньої	7 – дуже слабе
8 – висока	8 – висока	8 - погане
9 – дуже висока	9 – дуже висока	9 – дуже погане
10 – катастрофічна (небезпека для людей)	10 – 100%-ва	10 – майже неможливо визначити

Результати аналізу заносяться до таблиці. Виявлені "вузькі місця", тобто компоненти об'єкта, для яких RPZ буде більше 100...120, зазнають змін, тобто розробляються коригувальні заходи.

FMEA-матриця

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) Аналіз потенційних помилок і їх наслідки									
Об'єкт аналізу	Потенційні помилки	Причини виникнення помилок	Можливі наслідки	S	O	D	SxOxD оцінювання ризику	Засоби вирішення проблеми	Відповідальний, дата
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

де: *S* (тяжкість) — оцінювання найбільш серйозних наслідків потенційної відмови для споживачів *O* (виникнення) — вірогідність виникнення конкретних причин та механізмів відмови *D* (виявлення) — оцінка здатності запропонованих управлінських дій виявити даний вид відмови.

Рекомендується розглядати «напрямки впливу» коригувальних заходів у наступній послідовності:

- 1) Виключити причину виникнення дефекту. За допомогою зміни процесу або конструкції зменшити можливість виникнення дефекту (зменшується параметр *O*).
- 2) Запобігти виникненню дефекту. За допомогою статистичного регулювання завадити виникненню дефекту (зменшується параметр *O*).
- 3) Зменшити вплив дефекту. Зменшити вплив прояву дефекту на замовника або подальший процес з урахуванням зміни витрат та термінів (зменшується параметр *S*).
- 4) Підвищити та полегшити достовірність виявлення дефекту. Полегшити виявлення дефекту та подальший ремонт (зменшується параметр *D*).

За ступенем впливу на підвищення якості виробу або процесу коригувальні заходи розташовуються таким чином:

- зміна структури об'єкта (схеми, конструкції тощо);
- зміна процесу функціонування об'єкта (послідовності переходів та операцій, їх змісту тощо);

- покращення системи якості.

Часто розроблені заходи заносяться до наступної графі таблиці FMEA-аналізу. Потім перераховується потенційний ризик RPZ після коригувальних заходів. Якщо не вдалося його знизити до прийнятних меж (малого ризику ПЧР<40 або середнього ризику ПЧР<100), розробляються додаткові коригувальні заходи і повторюються попередні кроки.

За результатами аналізу для розроблених коригувальних заходів складається план їх впровадження. Визначається:

- в якій тимчасовій послідовності слід впроваджувати ці заходи і скільки часу проведення кожного заходу вимагатиме, через скільки часу після початку проведення проявиться запланований ефект;
- хто відповідатиме за проведення кожного з цих заходів, і хто буде конкретним його виконавцем;
- де (у якому структурному підрозділі організації) вони мають бути проведені;
- з якого джерела проводитиметься фінансування проведення заходу (стаття бюджету підприємства, інші джерела).

2.2 Нові інструменти менеджменту якості

2.2.1 Мозковий штурм

Для простих інструментів якості джерелом інформації є контрольний листок. Збір вихідних даних для нових інструментів управління якістю зазвичай здійснюють із застосуванням «мозкових атак», «штурмів», «осад» тощо. Після проведення «мозкової атаки» зібрані дані аналізують, групують і на основі їх використання складають різні діаграми відповідно до рекомендацій для нових інструментів управління якістю, що розглядаються нижче.

«Мозкова атака» застосовуються як засіб генерування ідей з метою ідентифікації можливих причин невдач та потенційних можливостей покращення якості. Завданням «мозкової атаки» є не допустити виключення з поля зору можливих причин браків або шляхів покращення якості [24].

Методика «мозкової атаки» була придумана А. Ф. Осборном у США і широко використовується при побудові причинно-наслідкових діаграм Ісікави типу «риб'ячий скелет» та з іншими основними, новими та комплексними інструментами управління якістю.

«Мозкова атака» триває 1-1,5 години і відбувається наступним чином, Організатор створює групу з 5-9 осіб з фахівців, які глибоко знають проблему та фахівців із суміжних областей знань, але не надто конкретно оголошується завдання, потім усі члени групи виступають по черзі і висловлюють по одній ідеї. По можливості члени групи розвивають та доповнюють ідеї, висловлені іншими учасниками. Висловлені ідеї записують на спеціально підготовлених картках. Процес триває доти, доки не припиниться потік ідей. Висловлені ідеї групуються, наприклад, з використанням мнемонічного прийому 4М ... 6М або з інших міркувань, обговорюються та розглядаються для уточнення їх формулювань, правильності включення до конкретної групи причин та формування результатів роботи.

«Мозковий штурм», на відміну від «мозкової атаки», триває 3-4 години, а «мозкова облога» – від одного до декількох робочих днів. Наприклад, «мозкова облога» може включати шість «мозкових атак», кожна з яких буде присвячена побудові однієї із шести «великих кісток» діаграми Ісікави.

«Атака розносом», як це випливає з її назви, спрямована на критичний аналіз, наприклад, підготовленого проекту. При «атаці розносом» вся увага колективу має бути спрямована виключно на пошук наявних недоліків предмета аналізу, висловлювання позитивних відгуків і будь-яка підтримка заборонені.

Крім перерахованих, в якості інструментів та методів генерації ідей можуть бути застосовані письмовий варіант «мозкової атаки» та анкетування Кроуфорда.

Метод анкетування Кроуфорд можна розглядати як специфічний випадок письмового варіанту «мозкової атаки» з використанням карток, коли немає циркуляції карток серед учасників роботи. За рахунок цього легко забезпечується анонімність висловлених пропозицій та ідей. Тому перевагою методу анкетування Кроуфорда є те, що він може застосовуватися у випадках, коли є конфлікти групи фахівців, які висувають ідеї.

2.2.2 Метод Ісікава

Причинно-наслідкова діаграма Ісікава (діаграма причин і результатів) – це засіб, що дозволяє висловити відносини «причина – результат» у простій та доступній формі [20].

У 1953 р. професор Токійського університету Каору Ісікава, обговорюючи проблему якості на одному заводі, підсумовував думку інженерів у формі діаграми причин та результатів. Вона отримала назву «схема Ісікави» (в японській літературі цю діаграму через її форму часто називають «риб'яча кістка» або «риб'ячий скелет»).

Діаграма є засіб графічного впорядкування факторів, що впливають об'єкт аналізу. Головною перевагою діаграми Ісікави є те, що вона дає наочне уявлення не лише про тих факторах, які впливають на об'єкт, що вивчається, але і про причинно-слідчих зв'язках цих факторів. У основі побудови діаграми лежить визначення (постановка) завдання, яке необхідно розв'язувати.

Даний метод довів своє практичне застосування у діагностиці та дефектоскопії матеріалів, зокрема, для виявлення основних причин поломки кріплення глушника кронштейна автомобіля [21], хімічній промисловості для цінки безпеки сферичного резервуара природного газу [22], в технології виробництва біодизеля [23] в автомобільній галузі [24] тощо.

При кресленні причинно-наслідкової діаграми Ісікави найбільш значущі параметри та фактори мають (рис. 2.2) найбільш близько до голови «риб'ячого скелета».

Побудову починають із того, що до центральної горизонтальної стрілки, що позначають головні фактори (групи факторів), що впливають об'єкт аналізу. Далі до кожної первинної стрілки підводять стрілки другого порядку, до яких, у свою чергу, підводять стрілки третього порядку і так доти, доки на діаграму не будуть нанесені всі стрілки, позначають чинники, надають помітне впливом геть об'єкт аналізу у конкретній ситуації. Кожна зі стрілок, нанесена на схему, є залежно від її положення або причину, або наслідок: попередня стрілка по відношенню до наступної завжди виступає як причина, а наступна – як наслідок.

Нахил та розмір не мають принципового значення. Головне при побудові схеми полягає в тому, щоб забезпечити правильну підпорядкованість та взаємозалежність факторів, а також чітко оформити схему, щоб вона добре виглядала і легко читалася. Тому незалежно від нахилу стрілки кожного фактора його найменування завжди розташовують у горизонтальному положенні, паралельно до центральної осі.



Рисунок 2.2 – Приклад причинно-наслідкової діаграми

При побудові діаграми Ісікава передбачаються такі етапи виконання:

1) Визначення переліку показників якості (видів невдач, дефектів), які слід проаналізувати.

2) Вибір одного показника якості. Його слід написати в середині правого краю чистого паперу. Зліва направо провести пряму лінію, яка буде «хребет» майбутньої діаграми Ісікава.

3) Виявлення основних чинників, які впливають на показник якості (рекомендується користуватися мнемонічним прийомом 4М ... 6М щодо цих основних причин).

4) Побудова «великих кісток». Для цього треба з'єднати лініями основні причини з «хребтом», розташувавши більш вагомі причини ближче до голови «риб'ячого скелета».

5) Визначення вторинних причин (рекомендується скористатися методом «мозкової атаки» для виявлення вторинних можливих причин обраної проблеми якості). Побічні причини для вже записаних основних причин також наносяться на малюнок.

6) Побудова «середніх кісток». Для цього з'єднують лініями вторинні причини із первинними.

7) Перевірка логічного зв'язку кожного причинного ланцюжка.

8) Нанесення всієї необхідної інформації (написів) та перевірка закінченості складеної причинно-наслідкової діаграми Ісікави.

За допомогою такої діаграми можливо встановити важливість кожної причини на основі об'єктивних значень або даних. Аналіз факторів за допомогою власного стрілки, що зображує об'єкт аналізу, підводять великі первинні намагання або знань можливий, але встановлювати їх важливість тільки на основі суб'єктивних уявлень.. Об'єктивне встановлення важливості чинників з допомогою даних — науковий і логічний підхід.

2.2.3 Діаграма Парето

Діаграма Парето – різновид стовпчикової діаграми, що застосовується для наочного відображення факторів, що розглядаються, в порядку зменшення (зростання) їх значущості.

Діаграма Парето показує у спадному порядку відносний вплив кожної причини на загальну проблему. Ця діаграма є інструментом, що дозволяє розподілити зусилля для вирішення проблем, що виникають і головні причини, з яких треба починати діяти, наприклад, дозволяє точно визначити та кваліфікувати основні види причин браку під час діагностування процесу; встановити, боротьба з якими видами причин браку дозволить найефективніше і швидко підвищити якість продукції.

У 1897 р. італійський економіст В. Парето встановив, що приблизно 70-80% доходів або благ у державі здебільшого належить 20-30% населення. Американський економіст М. Лоренц в 1907 р. незалежно від Парето дійшов того ж висновку, здійснивши подальший розвиток ідей Парето (крім так званої стовпчикової діаграми їм було запропоновано використати кумулятивну криву, яку часто називають кривою Лоренца). Ідея застосування цієї діаграми для аналізу причин виникнення браку та шляхів підвищення якості належить Дж. Джурану [24].

Рекомендується наступний порядок побудови діаграми Парето, що включає у собі такі етапи:

- 1) Розробка контрольного листка для реєстрації даних (про частоту виникнення дефектів залежно від причин, що їх викликають) переліком видів інформації, що збирається.

- 2) Заповнення контрольного листка реєстрації даних та підрахунок необхідних підсумкових даних.

- 3) Розробка бланка таблиці для обробки статистичних даних контрольного листка, необхідні побудови діаграми Парето. У цій таблиці слід передбачити графи для реєстрації: числа зареєстрованих дефектів кожного типу; накопиченої суми

числа дефектів, вираженої в одиницях виміру дефектів; накопиченої суми числа дефектів вираженої в відсотках до загального результату (накопиченого відсотка).

4) Наповнення таблиці (табл. 2.4). При цьому отримані за кожною ознакою (типу дефекту), що перевіряється, дані розташовують у порядку зменшення їх значущості. При цьому групу «інші» треба помістити в останній рядок таблиці незалежно від того, наскільки більшим вийшло число, оскільки її становить сукупність ознак, числовий результат по кожному з яких менше, ніж найменше значення, отримане для ознаки, виділеної в окрему рядок.

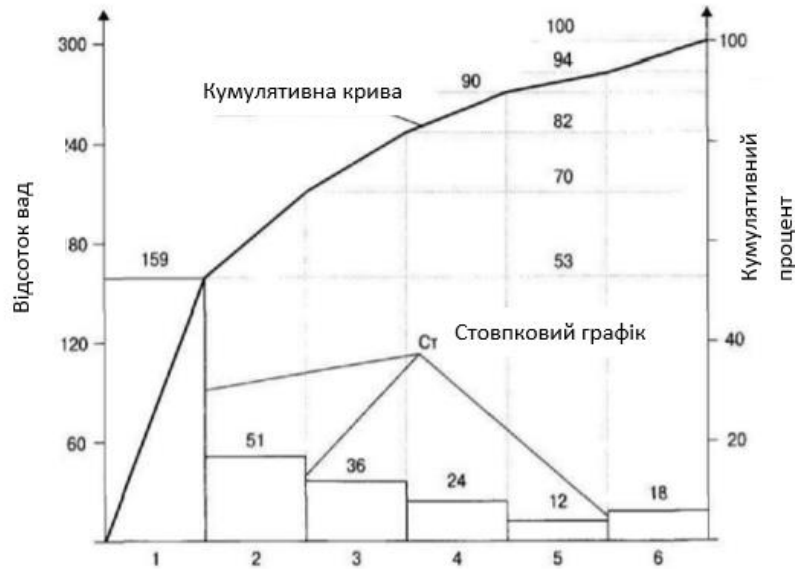
Таблиця 2.4

Дані для побудови діаграми Парето при аналізі тентового матеріалу

Типи дефектів	Число дефектів м.пог.	Накопичена сума числа дефектів, м.пог	Відсоток кількості дефектів по кожному ознакою до загальної сумі	Накопичений відсоток
Кінцеві	159	159	53	53
Складки	52	210	17	70
Засічки	36	246	12	82
Вм'ятини	24	270	8	90
Бруд	12	282	4	94
Інше	18	300	6	100
Всього	300	-	100	-

Побудова стовпчикової діаграми (рис. 2.3). Для цього креслять одну горизонтальну та дві вертикальні осі. Спочатку будують горизонтальну вісь. Поділяють цю вісь на інтервали відповідно до числа контрольованих ознак (типів дефектів), потім будують вертикальні осі з лівого та правого боку графіка. На ліву

вісь наносять шкалу з інтервалами (поділами) від 0 до числа, що відповідає загальному підсумку (сумарному числу дефектів), а на праву - шкалу з інтервалами (поділами) від 0 до 100%.



1 - кінцеві; 2 - складки; 3 - засічки; 4 - вм'ятини; 5 - бруд; 6 - інші

Рисунок 2.3 – Діаграма Парето за видами дефектів тентового матеріалу (див. табл. 2.4)

6) Викреслення кумулятивної кривої (кривий Лоренца) (рис. 2.3). Для цього на вертикалях, що відповідають правим кінцям кожного інтервалу на горизонтальній осі, наносять точки накопичених сум (результатів або відсотків) та з'єднайте відрізками прямих.

7) Нанесення на діаграму всіх позначень та написів, що стосуються: діаграми (назва, розмітка числових значень на осях); даних; місця та часу збору та обробки даних; персоналу, що брав участь у роботі; будь-які інші відомості, які можуть бути корисними у подальшій роботі з побудованою діаграмою Парето.

Визначальною перевагою діаграми Парето є те, що вона дозволяє розгрупувати чинники на значні, тобто. що зустрічаються найчастіше, і незначні, т. е. що зустрічаються щодо рідко.

Висновки до розділу 2

Осмислення проблеми загальної якості підводить нас до розуміння необхідності практичного формування системологічного мислення та розробки концепції його пояснення. Якість - не тільки реалізація потреб людини, вона сама собою формує потреби і свідомість. Досягнення необхідного, можливої та бажаної якості у життєдіяльності людини народжує нову якість людини та її нове ставлення до дійсності. Отже, якість перетворюється на вирішальний чинник розвитку цивілізації.

Повний цикл FMEA-аналізу складається з наступних стадій

- Планування та підготовка FMEA.
- Формування складів спеціалізованих FMEA-команд;
- Ознайомлення із запропонованими проектами конструкції та (або) технологічного процесу. Структурний та функціональний аналіз об'єкта дослідження;
 - Визначення видів потенційних дефектів, їх наслідків та причин;
 - Оцінка комплексного ризику та ранжування дефектів;
 - Визначення та впровадження заходів щодо доопрацювання (оптимізації) конструкції та (або) технологічного процесу;
 - Моніторинг впроваджених заходів та критеріїв FMEA.

Даний порядок проведення FMEA-аналізу чітко відображений у великій кількості стандартів і є алгоритмом. FMEA-аналіз має взаємозв'язок з діаграмою потоків процесу та планом управління процесом.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Дослідження якості виробів з полімерних композитних матеріалів

3.1.1 Аналіз дефектів, притаманних ПКМ

У [24] наведено дані про частоту різних пошкоджень у літаках ДП «Антонов» в елементах конструкцій з вуглепластику (рис. 3.1).

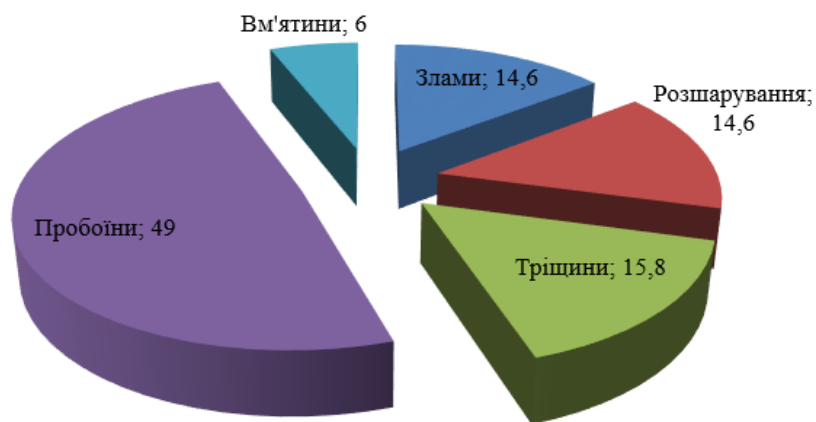


Рисунок 3.1 – Частота виникнення різних пошкоджень в елементах із вуглепластику

Всі дефекти композитних матеріалів розділені на два великі класи: виробничі дефекти, які з'являються в конструкціях або в процесі їх виготовлення, або в процесі виготовлення складових матеріалів компонента, та експлуатаційні пошкодження, що виникають у процесі експлуатації [25].

Дефекти можуть бути поділені на три групи: мікро-, міні- та макродефекти [25].

Мікродефекти – це дефекти армуючих волокон (мікротріщини, мікрровключення, мікропорожнечі, відхилення від форми, злами тощо), дефекти

матриці в проміжках між елементарними волокнами (мікропори, мікротріщини, мікровключення тощо), дефекти на поверхні розділу «волокно – матриця» тощо.

Мінідефекти – це викривлення, розорієнтація волокон, подряпини, вм'ятини, урвища окремих ниток, джгутів або груп елементарних волокон.

Макродефекти – це тріщини, що перетинають шари вглиб (надрізи), раковини, вм'ятини на поверхні КМ, дефекти ударного характеру, розтріскування, розшарування, непроклеї, повітряні макровключення тощо.

У процесі полімеризації композитів при їх виготовленні через внутрішні напруги, нерівномірного розподілу сполучного та інших технологічних факторів можуть виникати розшарування, відшарування окремих шарів, рихлість, тріщини та ін. Також можливі обриви ниток, джгутів арматури тощо (рис. 3.2).

Основні типи дефектів, причини виникнення та їх вплив на механічні характеристики виробів із композитів досить докладно викладені у роботі [26].

Характерні види експлуатаційних дефектів, що виявляються під час візуального контролю, показані на рис. 3.3.

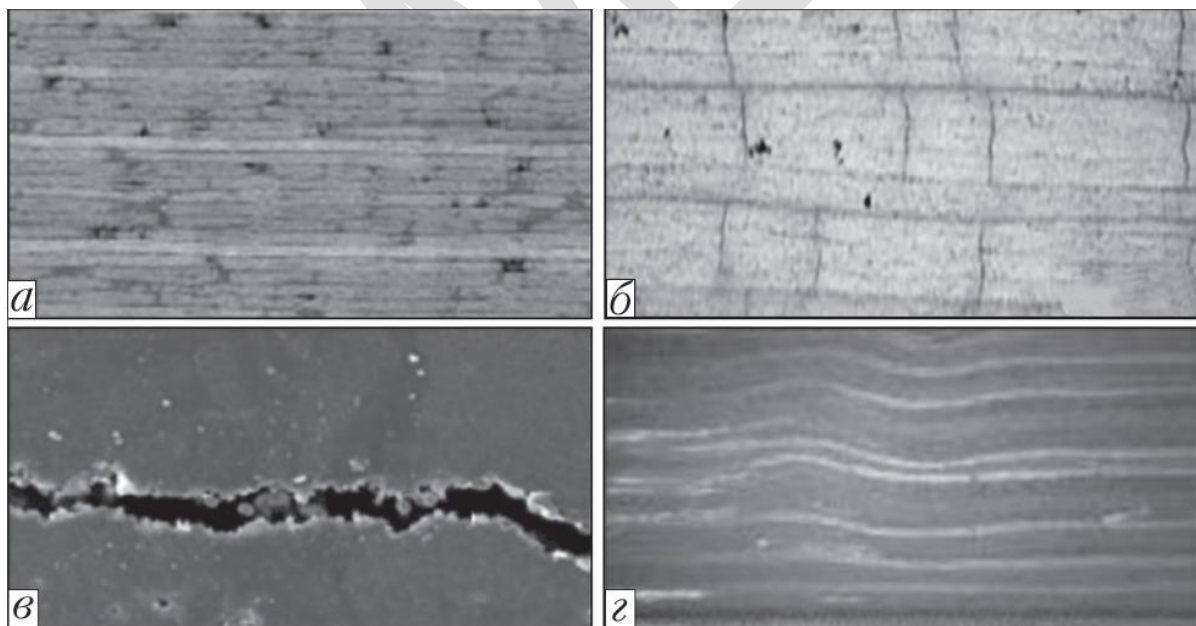


Рисунок 3.2 – Дефекти композитних матеріалів: а – пори (чорні); б – тріщини; в – розшарування; г – хвилястість

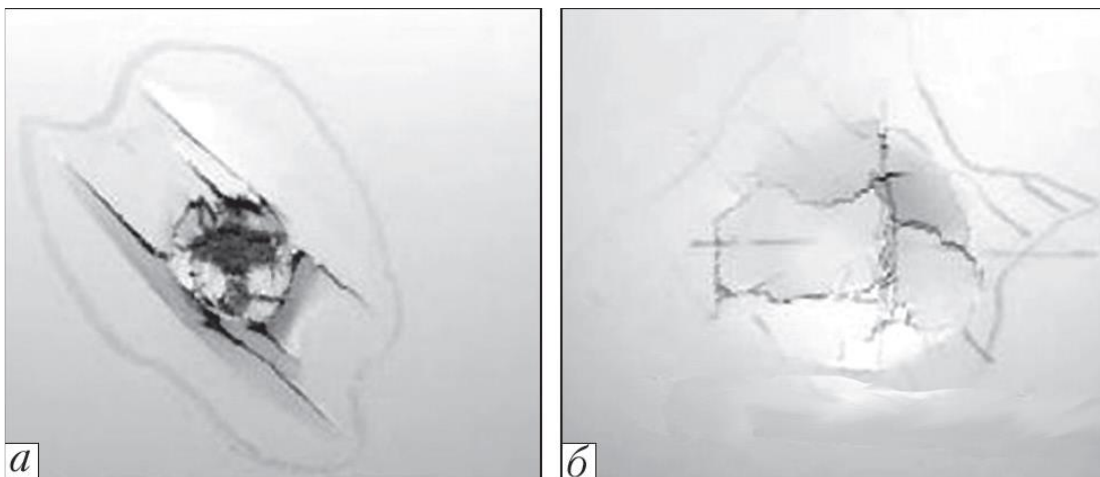


Рисунок 3.3 – Приклади зовнішніх пошкоджень композитних матеріалів: пошкодження поверхні крила (а) та фюзеляжу (б) [27]

На відміну від металевих КМ [28], дефекти ПКМ в процесі експлуатації можуть швидко збільшуватися, що призводить до зниження надійності конструкції. Через поверхневу тріщину матриці волога проникає всередину композиту і розриває його, знижує модуль пружності. Частий дефект у вигляді розшарування призводить до зниження міцності на стиск, обрив волокон, зменшує зусилля на розрив [29].

У [30] розглянуто дефекти монолітних деталей та багат шарових конструкцій з ПКМ, що виникають у процесі їх виготовлення. Для кожної групи вказані вид дефекту, його візуалізація, кількісні та якісні показники та причини утворення. У роботі [13] також наведені фотографії шліфів деталей з вуглепластику каналу повітроводу літака, що демонструють дефекти різних класифікаційних груп.

Найнебезпечнішими макродефектами, що найчастіше зустрічаються. неметалевих виробів та конструкцій, виконаних із застосуванням ПКМ (монолітні та клеєні конструкції, у тому числі комбіновані, містять неметалічні та металеві шари), є дефекти типу порушення суцільності, наприклад розшарування, непроклеї, тріщини, великі повітряні або газові раковини, сторонні включення, міцність у зоні яких дорівнює чи близька до нуля. Крім того, у ПКМ можливі також дефекти на рівні мікроструктури: пори (зони підвищеної пористості), відхилення від

оптимального співвідношення матриці та армуючого наповнювача, низький ступінь затвердіння сполучного при формуванні, порушення орієнтації волокон, складки, поверхневі подряпини, у зоні яких відзначається знижена міцність матеріалу.

Дефекти ПКМ розрізняються: за походженням (що виникають на стадії виготовлення, зберігання, транспортування або експлуатації); місцезнаходження в деталі (поверхневі, ізольовані або вихідні на край деталі); за глибиною залягання; розкриття; по розмірам структурних неоднорідностей (макродефекти – розміром понад 60-100 мкм, які зазвичай локалізовані в об'ємі матеріалу конструкції, і мікродефекти – розміром до 60-100 мкм, як правило, розподілені в об'ємі матеріалу або у значній його частині).

До першої групи за ступенем небезпеки віднесено дефекти, пов'язані з низьким ступенем затвердіння полімерної матриці та відхилення у складі матеріалу з усього об'єму від нормованих показників. Дефект, пов'язаний з неповним затвердінням матриці, що призводить до зниження теплостійкості матеріалу, різкого погіршення таких експлуатаційних характеристик, як водо- та вологостійкість, до зниження опору матеріалу до дії агресивних середовищ, а також зміни характеру руйнування матеріалу при статичному та втомному динамічному навантаженні. Відхилення у складі у значному об'ємі матеріалу призводить до суттєвих змін характеристик міцності, пружності та експлуатаційної надійності. Ці зміни різною мірою залежать від виду деформування (розтяг, стиснення, зсув), характеру напруженого стану (одновісний, плоский, об'ємний), а також від тривалості і циклічності навантаження.

До другої групи віднесено розшарування. Вплив розшарування на властивості матеріалу істотно залежить від виду напруженого стану. На міцність та модуль пружності при розтягуванні розшарування у чистому вигляді практично не впливають, тоді як міцність при стисканні матеріалу з розшарування може істотно знижуватися залежно від глибини залягання та довжини розшарування.

Третю групу дефектів становлять тріщини. Тріщини створюють високу концентрацію напруг, порушують цілісність композиту і можуть призвести до розшарування матеріалу.

До четвертої групи дефектів включено локальні зони з підвищеним вмістом волокна, матриці та пор. Ступінь небезпеки цих дефектів залежить в кінцевому рахунку від розміру, форми та розташування дефекту.

До п'ятої групи віднесено: складки, свилі, раковини, сторонні включення, стики та нахлести армуючого наповнювача. Стики та нахлести в основному впливають на фізико-механічні характеристики через зміну складу матеріалу: збільшення ступеня армування в зоні нахлеста та зменшення в зоні стику, та у меншій мірі впливають на механіку як концентратори напруги. Складки, свили та сторонні включення дуже схоже впливають на фізико-механічні властивості матеріалу, оскільки вони призводять до місцевого викривлення волокон і до зміни складу матеріалу в перерізі дефекту. Вплив цих дефектів на міцність і пружність зростає зі збільшенням ступеня армування матеріалу, оскільки при більшому вмісті волокон ці дефекти впливають на більшу кількість шарів матеріалу.

Шосту групу складають сколи, надрізи та отвори, що є концентраторами напруг. Дослідження показують, що вплив концентраторів напруг у вигляді отворів на міцність вуглепластиків зменшується як при тривалому статичному навантаженні у міру тривалості випробування, так і при підвищенні швидкості одноразового статичного і динамічного деформування. Підвищення температури випробування також призводить до зниження ефективного коефіцієнта концентрації напруг вуглепластиків зі складною схемою армування

У сьому групу включені дефекти, пов'язані з викривленням волокон площини шарів, з незначним відхиленням кута армування від заданого значення. У більшості випадків дефекти такого типу не носять масштабний характер і викривлення або відхилення кута армування, як правило, зачіпають лише один або кілька шарів композиту, а їх розміри значно менші за розміри елемента конструкції.

У табл. 3.1 занесено види дефектів у деталях та конструкціях з ПКМ, що виникають у процесі їх виробництва та експлуатації, дані кількісні та якісні показники дефектів та вказано причини їх виникнення.

Таблиця 3.1

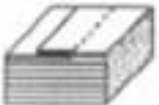


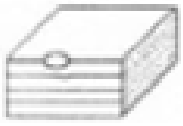
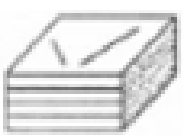


Основні дефекти в деталях з ПКМ

Група за ступенем небезпеки	Вид дефекту	Зображення дефекту	Кількісні та якісні показники	Причина виникнення
1	2	3	4	5
Перша	Низька ступінь затвердіння сполучного при формуванні		Ступінь полімеризації менше 95-98%	Відхилення від норми у сполучному. Недотримання температурно-годинного режиму формування
Перша	Невідповідність норми складу матеріалу по всьому об'єму деталі або більшої його частини		Задані значення об'ємного значення матриці (V %), волоки (V %)	Відхилення складу препрегу від норми, порушення строків або умов зберігання. Недотримання режиму формування
Друга	Розшарування	а) замкнуте (ізольоване від кромки деталі)  б) з виходом на кромку деталі  в) підповерхневе 	Форма і розміри у плані, глибина залягання	Попадання антиадгезійних змазок, плівок. Недостатній вміст сполучних летучих елементів. Порушення режиму формування: підвищення температура, висока швидкість охолодження, ненормоване тепловий або механічний вплив. Неякісне андиадгезійне покриття на поверхні остнастки

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
Третя	Тріщина	а) поверхнева  б) внутрішня  в)наскрізна 	Розмір дефекту у плані . Загнані шари і напрямлення тріщин на деталі.	Порушення режиму формування, висока швидкість охолодження . Переважає допустимих механічних навантажень при знятті деталі з оснастки, транспортуванні. Ударні впливи в процесі експлуатації
Четверта	Локальна невідповідність нормі складу матеріалу	а) локальна зона з підвищеним вмістом матриці або волокна  б) локальна зона з підвищеним вмістом пор 	V%	Нерівномірний тиск при формуванні . Нерівномірність прокатки Недотримання режиму формування, часу та величини прикладеного падіння, швидкості нагріву. Відхилення вмісту препрега
П'ята	Раковина		Розмір дефекту в плані. Глибина залягання	Підвищений вміст летючих елементів у препрегу. Порушення режимів формування: швидкості нагріву, часу, величини, прикладеного тиску
П'ята	Стороннє включення	а)поверхневі  б)внутрішні 	Розміри у плані та товща включення. Глибина залягання. Місцезнаходження та орієнтація зони на деталі	Попадання сторонніх матеріалів при виготовленні препрега, при його викрита викладки

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
П'ята	Складка	<p>а) поверхнева</p>  <p>б) внутрішня</p> 	<p>Розмір складки та товщини включення. Глибина залягання. Місцезнаходження та орієнтація дефекту на деталі</p>	<p>Складка на препрегу. Утворення складки при збиранні пакету та прокатки препрега. Недостатнє зміцнення пакету при таблетуванні. Нерівномірне прикладання тиску</p>
П'ята	Свиль		<p>Амплітуда та довжина хвилі вигину волокон. Орієнтація та кількість шарів, затронутих свилем</p>	<p>Свилі на препрегу. Поява свиней при складанні пакету. Нерівномірне зміцнення пакету під час просочування, таблетуванні, формуванні.</p>
П'ята	Підім'яття		<p>Розмір підім'яття, глибина, ширина, довжина. Орієнтація дефекта на деталі</p>	<p>Дефекти на поверхні оснащення. Стики цулаг, вбирання роздільних шарів. Наявність сторонніх включень на поверхні оснащення та допоміжних матеріалів.</p>
П'ята	Подряпина		<p>Глибина та ширина дефекту. Орієнтація дефекту на деталі</p>	<p>Недбалість при знятті деталі з оснастки та механічної обробки. Вплив у процесі експлуатації</p>
Шоста	Фарбування про крайкам отворів		<p>Розмір дефекту у плані. Глибина дефекту</p>	<p>Неправильна заточка інструменту. Порушення режиму обробки</p>
Шоста	Відрив поверхонь шарів		<p>Розмір дефекту у плані. Глибина дефекту</p>	<p>Відсутність або поганий притиск матеріалу, що прикладається. Неправильна заточка інструменту. Порушення режиму обробки - більша подача інструменту.</p>

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
Шоста	Сколи		Розміри дефекту, ширина, глибина.	Недбалість при знятті деталі з оснащення, при транспортуванні, зберіганні, механічної обробки. Механічна взаємодія при експлуатації.
Шоста	Отвір	а) глухий  б) наскрізний 	Діаметр та глибина отвору. Розташування на деталі	Недбалість при механічній обробці і збиранні
Сьома	Відхилення кута армування		Кут відхилення від заданого напрямлення. Номера та кількість шарів	Помилка при розкрою і викладки пакету
Сьома	Викривлення волокон в плоскості шарів		Амплітуда та довжина або кут. Орієнтація шарів. Розмір дефекту у плані	Викривлення волокон у препрегу. Деформація препрега при викладі або формуванні

На рис. 3.4 показано фотографії шліфів деталей з вуглепластику, що ілюструють дефекти монолітних конструкцій та дефекти в зоні з'єднання декількох шарів [13]. Характерними дефектами деталей з ПКМ та клеєних конструкцій, що виникають при експлуатації виробів авіаційної техніки, є подряпини (наскрізне та ненаскрізне щілинне порушення обшивки); розшарування обшивок з ПКМ, вм'ятини, одно- та двосторонні пробоїни в стільникових агрегатах, наскрізні проколи до 4 мм; тріщини та відшарування обшивок (у зонах: обшивка-стільники, каркас-стільники, обшивка-накладки); накопичення вологи.

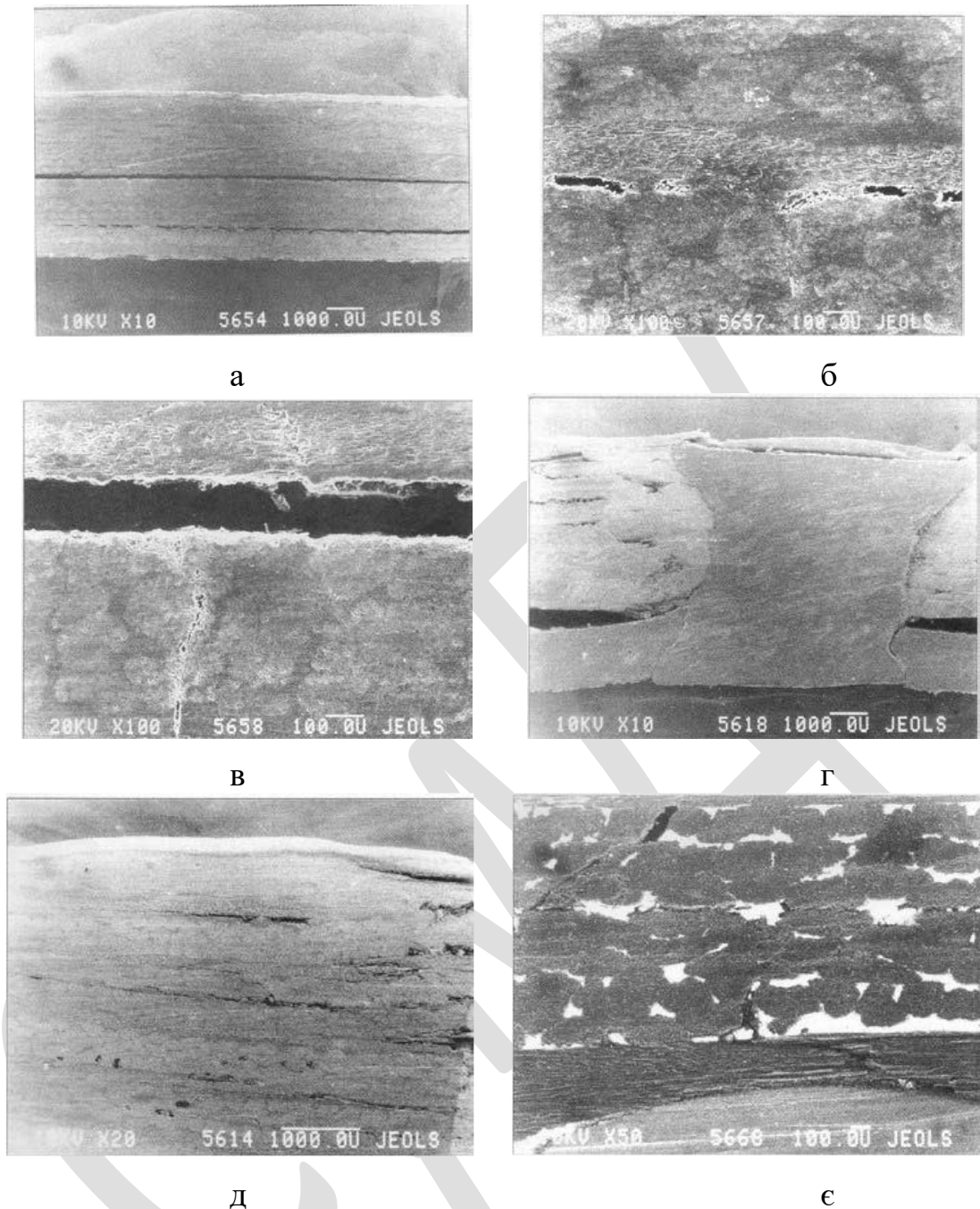


Рисунок 3.4 – Шліфи деталей із вуглепластика з різними видами дефектів:
 а – розшарування поблизу зони заклепувального з'єднання в клепаній конструкції із вуглепластику; б – уривчастість розшарування вуглепластика; в – розшарування між кільцевими та поздовжніми шарами вуглепластику з тріщиною поперек шарів; г – розшарування вуглепластика у зоні заклепувального з'єднання; д – розшарування з малим розкриттям у шарі вуглепластика; е – тріщина під заклепкою. Заклепка у нижній частині знімка

Втомні руйнування структури матеріалу призводять до втрати міцності на стиск при статичному навантаженні. Чітко видима ударна руйнація може знизити міцність на 80%, ледь видима – на 65%.

3.1.2 Контроль якості виробів з полімерних композитних матеріалів

Контроль якості виробів із ПКМ необхідно проводити протягом усього їхнього життєвого циклу. Під повним життєвим циклом виробу розуміють час (і відповідні йому дії), що проходить від постановки чіткого завдання створення цього виробу до повного фізичного чи морального зносу та утилізації. Життєвий цикл деталей з ПКМ складається з чотирьох основних етапів: проектування, виробництво, експлуатація (у тому числі ремонт) та утилізація. Використання сучасних методів неруйнівного контролю всіх стадіях життєвого циклу виробів дозволяє виключити брак і підвищити довговічність деталей з ПКМ (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Методи контролю якості на різних етапах життєвого циклу деталей із ПКМ

На етапі проектування контролюють технічну документацію виробництва деталей. На етапі виробництва виділяють вхідний, міжопераційний та вихідний контроль якості. При вхідному контролі перевіряють якість використовуваної сировини. У процесі міжопераційного контролю необхідно контролювати правильність та точність дотримання технологічних режимів, оцінювати їх надійність, технологічність, конструктивне відпрацювання тощо. Вихідному контролю підлягають готові вироби. На цьому етапі перевіряють відповідність готових виробів заданим вимогам.

Вхідний контроль використовуваної сировини та вихідний контроль готової продукції може бути суцільним або вибіркоvim. При суцільному контролі перевіряється кожна одиниця продукції (сировини). Суцільний контроль застосовують в умовах особливо високих вимог до рівня якості виробів, у яких абсолютно неприпустимий пропуск дефектів у подальше виробництво або експлуатацію через суттєві втрати (матеріальні, трудові тощо), або в тих випадках, коли кількість деталей недостатня для отримання вибірок або проб із встановленими ризиками виробника та споживача, а також якщо технологічний процес (обладнання) не забезпечує стабільності якості деталей, що виготовляються.

При вибірковому контролі перевірці підлягає лише певна частина виробів (вибірka). Вибірковий контроль дає хороший результат за наявності стабільного та відпрацьованого технологічного процесу виготовлення деталей.

На етапі експлуатації та ремонту виробів з ПКМ, крім методів візуальної діагностики, найбільше застосування знаходять різні методи контролю, що не руйнує. Залежно від фізичної природи використовуваного сигналу і характеру взаємодії його з речовиною ці методи поділяються на акустичні, вихрострумові, діелектричні, теплові та радіометричні.

На етапі утилізації проводять розбирання, сортування, оцінку можливості повторного використання та переробку. На цьому етапі контролюються переважно екологічні показники (безпека утилізації).

3.2 Проведення FMEA-аналізу дефектів ПКМ за розробленою методологією

В якості експериментальної частини магістерської роботи було проведено аналіз видів і наслідків відмов для оцінки дефектів полімерних композитних матеріалів, розглянутих вище. Для кожного виду дефекту розраховано значення пріоритетного числа ризику. Для найбільш критичного дефекту запропоновано заходи зі зниження потенційних збитків.

Для отримання результатів до уваги брались не потенційні відмови, а ті, що були визначені за аналізом статистичних даних дефектів ПКМ.

Для візуалізації та виявлення причин появи дефектів у ПКМ була побудована діаграма Ісікава [31].

3.2.1 Алгоритм оцінки процесу руйнування ПКМ на основі структурних досліджень

Завдяки проведенню структурного аналізу на різних масштабних рівнях, накопичується фактичний матеріал, що дозволяє отримати вихідні дані для структурно-параметричного моделювання (рис. 3.6):

- визначення значень ефективних характеристик всіх компонентів композиту;
- оцінки, який з цих компонентів і при якому навантаженні буде руйнуватися в першу чергу;
- кількісної оцінки впливу концентраторів напруг на зростання магістральної тріщини тощо.

Структурне моделювання дозволяє в загальному вигляді описати динаміку процесу руйнування, але не дає чисельних оцінок одержаних моделей. Серед безлічі параметричних моделей, що використовуються для опису поведінки ПКМ під навантаженням, все більше поширення отримує теорія перколяції, яка дозволяє знайти кореляцію між відповідними геометричними (врахувати схему

укладання наповнювача, вплив різнотовщинності, дефектності тощо) і фізичними характеристиками.



Рисунок 3.6 – Алгоритм оцінки динаміки процесу руйнування ПКМ на основі структурних досліджень

3.2.2 Побудова діаграми Ісікава для аналізу виявленого дефекту полімерного композитного матеріалу Флубон 20

Методологію методу Ісікава ілюструють наступні кроки (рис. 3.7).

На кроці 1 формулюється точна проблема (ефект), яку необхідно вирішити або дослідити. Якщо можливо, необхідно визначити, хто задіяний, яка проблема, коли і де вона виникає.



Рисунок 3.7 – Як користуватися інструментом аналізу причин і наслідків.

На кроці 2 визначаються фактори, які можуть бути частиною проблеми. Це можуть бути системи, обладнання, матеріали, зовнішні сили, люди, причетні до проблеми, тощо. Ми повинні постаратися виділити якомога більше з них.

Крок 3 вимагає для кожного з факторів, розглянутих на кроці 2, розглянути можливі причини проблеми, які можуть бути пов'язані з цим фактором.

На кроці 4 у вас повинна бути діаграма, що показує всі можливі причини проблеми, які ви можете придумати. Залежно від складності та важливості проблеми, тепер ви можете дослідити найбільш ймовірні причини. Це може включати дослідження, експерименти, експертизи, опитування тощо. Вони будуть розроблені, щоб перевірити, яка з цих можливих причин сприяє виникненню проблеми.

За цими кроками (рис. 4) було проаналізовано виникнення дефекту отриманих полімерних композиційних заготовок з низькими фізико-механічними властивостями. Ці заготовки призначені для виготовлення з них різноманітних антифрикційних виробів методом механічної обробки, у тому числі підшипників ковзання, ущільнювальних кілець рухомих підшипників та інших вузлів тертя, що працюють у повітряних і рідких середовищах, вологих і сухих газах і у вакуумі в діапазоні температур від мінус 120 °С до 260 °С.

Були отримані заготовки з полімерного композиту, які не відповідають стандартним показникам (властивості занижені). Матеріалом цих заготовок був

Флубон 20 – полімерна матриця з політетрафторетилену та 20% волокнистого наповнювача (вуглецевих волокон) [32].

Візуальний аналіз оброблених поверхонь досліджуваних зразків дозволив виявити неоднорідність розподілу вуглецевого волокна в матриці полімеру (рис. 3.8, а), плямисту структуру (чергування чорних та білих плям) (рис. 3.8, б), а також наявність тріщин (рис. 3.8, в).

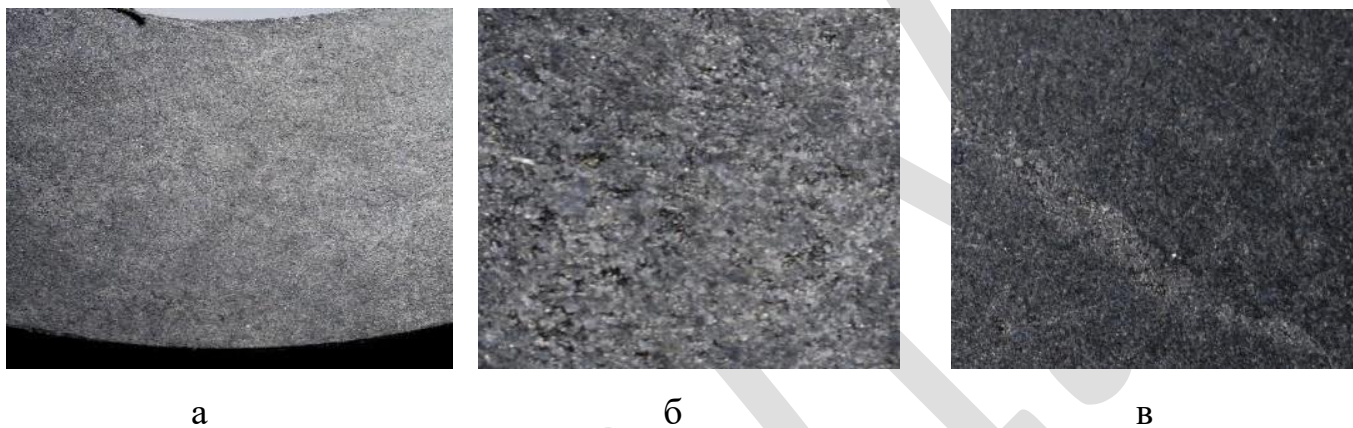


Рисунок 3.8 – Аналіз макроструктури дослідних зразків Флубона 20

При проведенні випробувань на зношування (рис. 3.9, зліва) було відзначено підвищення температури в зоні тертя до 200 °С, що призвело до схоплювання зразка з контртілом. Це пов'язано з низькими фізико-механічними властивостями матеріалу (низькою щільністю, нерівномірністю розподілу вуглецевого волокна в матриці), що підтверджують результати проведених випробувань.

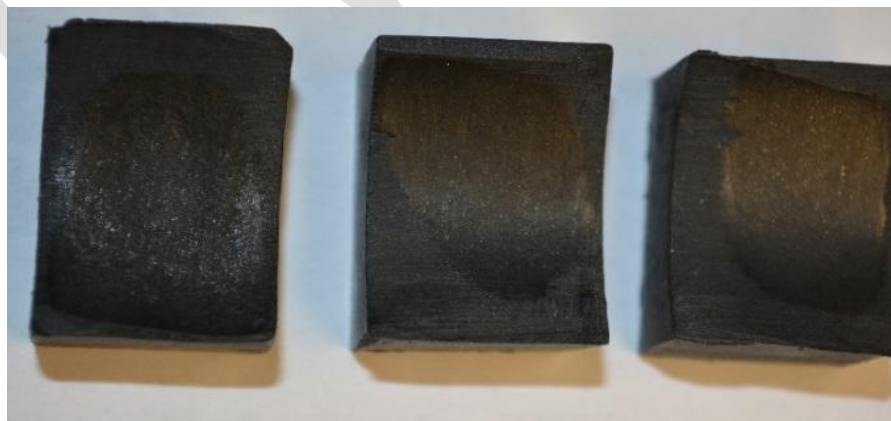


Рисунок 3.9 – Аналіз макроструктури зношених зразків Флубона 20

Результати механічних випробувань показали, що усі зразки мають низьке подовження при розриві (30-100 %). Це, як правило, є наслідком неякісного змішування вихідних компонентів – наявності коагульованого волокна в матриці композиції.

За допомогою методу причинно-наслідкового аналізу було побудовано діаграму Ісікава (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Діаграма Ісікава для аналізу матеріалу з низькими властивостями.

Причини виникнення дефектів були розділені на шість ключових позицій – людина, метод, матеріал, механізми, контроль та середовище. Найбільш суттєві причини цієї проблеми виявлено при низькій кваліфікації працівника та при порушенні технології змішування.

У зв'язку з високою відповідальністю такої продукції, яка буде виготовлена з цього матеріалу, в промисловості необхідно було б перевірити фізико-механічні властивості всієї партії. Це призведе до втрати частини матеріалу, додаткових грошей і часу або до заміни всієї партії.

3.2.3 Складання протоколу FMEA-аналізу дефектів ПКМ

Згідно розробленій методології для складання протоколу аналізу видів, причин і наслідків дефектів полімерних композитів визначались та відповідно оцінювалися наслідки від дефектів (значущість S) за табл. 3.2. Бал значущості при цьому змінюється від 1 – для менш значущих по збитках дефектів, до 10 – для більш значущих.

Таблиця 3.2

Шкала оцінок значущості дефекту ПКМ (S)

Наслідок	Критерій значущості наслідку	Ранг
Небезпечний без попередження	Відмова (дефект) погіршує безпеку роботи чи/та викликає невідповідність обов'язковим вимогам безпеки та екології	10
.....		
Дуже важливий	Вузол непрацездатний із втратою основної функції	8
Важливий	Вузол працездатний, але рівень ефективності знижений	7
.....		
Слабкий	Вузол працездатний, але працює малоефективно	5
.....		
Відсутній	Вузол працездатний	1

Для кожної потенційної причини виникнення дефекту експертно визначився бал частоти виникнення O . При цьому враховувались експериментальні дані (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Шкала оцінок виникнення дефекту ПКМ (O)

Імовірність відмови (дефекту)	Можлива частота виникнення	Ранг
Дуже висока, відмова майже неминуча	Більше 1 з 2	10
.....		
Помірна: випадкові відмови	Більше 1 з 80	6
.....		
Мала	Менше 1 з 1500000	1

Для кожного дефекту визначають бал виявлення D, що змінюється від 10 для тих дефектів, виявлення яких практично неможливе, до 1 – для дефектів, що будуть достовірно виявлені (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Шкала оцінок виявлення дефекту ПКМ (D)

Виявлення	Правдоподібність виявлення при контролі	Ранг
Абсолютна невизначеність	Контроль не виявить потенційну причину і дефект, чи контроль непередбачений	10
.....		
Дуже слабке	Дуже обмежені шанси при контролі	7
.....		
Помірне	Помірні шанси виявлення при контролі	5
.....		
Майже стовідсоткове	Передбачений контроль майже завжди виявляє потенціальну причину і наступний дефект	1

Після отримання експертних оцінок S , O , D обчислюють пріоритетне число ризику ПЧР за формулою:

$$\text{ПЧР} = S \cdot O \cdot D$$

Для пріоритетного числа ризику повинна бути заздалегідь встановлена критична межа ($\text{ПЧР}_{\text{кр}}$) від 100 до 125. Зниження $\text{ПЧР}_{\text{кр}}$ відповідає створенню більш високоякісних і надійних виробів. Далі потрібно скласти перелік дефектів, для яких значення ПЧР перевищує $\text{ПЧР}_{\text{кр}}$. Для таких дефектів потрібно рекомендувати шляхи їх усунення та запобігання, а отже, загальні методи підвищення ефективності застосування ПКМ.

Протокол проведеного аналізу видів, причин і наслідків дефектів полімерних композитів наведено у Додатку А.

3.3 Підвищення ефективності застосування ПКМ

Вагова та економічна ефективність виробів з ПКМ з регламентованим рівнем безпеки та надійності залежить від рівня допустимих максимальних експлуатаційних напружень σ_{max} , що визначають масу конструкції G , а також витрат на виявлення технологічних дефектів та експлуатаційних пошкоджень (рис. 3.11).

Завдання забезпечення високої якості, надійності та конкурентоспроможності виробів із ПКМ промислового призначення, що експлуатуються в жорстких виробничих умовах, не може бути успішно вирішено без застосування ефективних сучасних методів контролю на всіх стадіях виробничого циклу та життєдіяльності даного виду технічного продукту. При цьому кожній стадії відповідають свої методи контролю, які поділяються за кількісними, якісними та альтернативними ознаками.



Рисунок 3.11 – Загальна схема підвищення ефективності застосування ПКМ.

До кількісних методів контролю відносять такі, що дозволяють реєструвати точні чисельні значення параметрів, що визначають якість виробу та його відповідність заданим технічним параметрам. Якісні методи дозволяють відзначити лише категорії та класи, до яких належить контрольований виріб. У випадку, коли вироби поділяються на придатні або дефектні, здійснюють контроль за альтернативною ознакою, яка є окремим випадком контролю за якісною ознакою.

При статистичному контролі вважається, що більш ретельно контролюється технологічний процес виробництва виробів з композиційних матеріалів, тим менш імовірним є факт появи браку і рекламацій від споживачів продукції. Процес, що знаходиться під контролем, забезпечує отримання якісного виробу в необхідних допусках і, в даному випадку, не потребує оперативного втручання. Якщо процес виготовлення виходить з-під контролю, якість виробу під загрозою і необхідно вживати заходів для стабілізації технологічного процесу. Якщо ж процес виробництва стійкий, але якість виробів не задовольняє вимогам, що висуваються,

то необхідно удосконалити процес виготовлення; змінити процес, щоб він став стійкішим; скоригувати вимоги до виробу.

Розроблено два підходи до статистичної оцінки якості виробу: за першим варіантом створюються «карти контролю змінних параметрів», в яких відображаються стадії технологічного процесу та фіксуються всі контрольовані поточні та кінцеві властивості виробів. За другим варіантом – оцінюються ті чи інші конкретні характеристики виробу, з метою визначення того, годиться він для подальшого використання чи ні. Ще деякі автори пропонують доповнити вищезазначені статистичні методи оцінки якості композитного виробу загальнопромислового призначення блоком аналізу економічної інформації, що включає такі параметри:

- статистика причин відмови виробу в процесі експлуатації у споживача продукції;
- дані періодичних технічних оглядів (ТО) підприємства, що експлуатує;
- відгуки споживача;
- динаміка обсягів реалізації продукції.

Таким чином, життєвий цикл виробу, за який у тому числі несе відповідальність його виробник, включає гарантійний термін обслуговування, протягом якого виріб повинен відповідати заданим критеріям якості (рис. 3.12). Виріб повинен бути не тільки технічно досконалим, але й бути безпечним та зручним в експлуатації, обслуговуванні та ремонті. Дефекти виробу, не виявлені у процесі виготовлення, можуть проявити себе за умови гарантійної експлуатації. Непрямим показником якості виробу можуть бути обсяги його реалізації (попит), що включає такий важливий економічний параметр, як відповідність виробу критерію «ціна - якість».

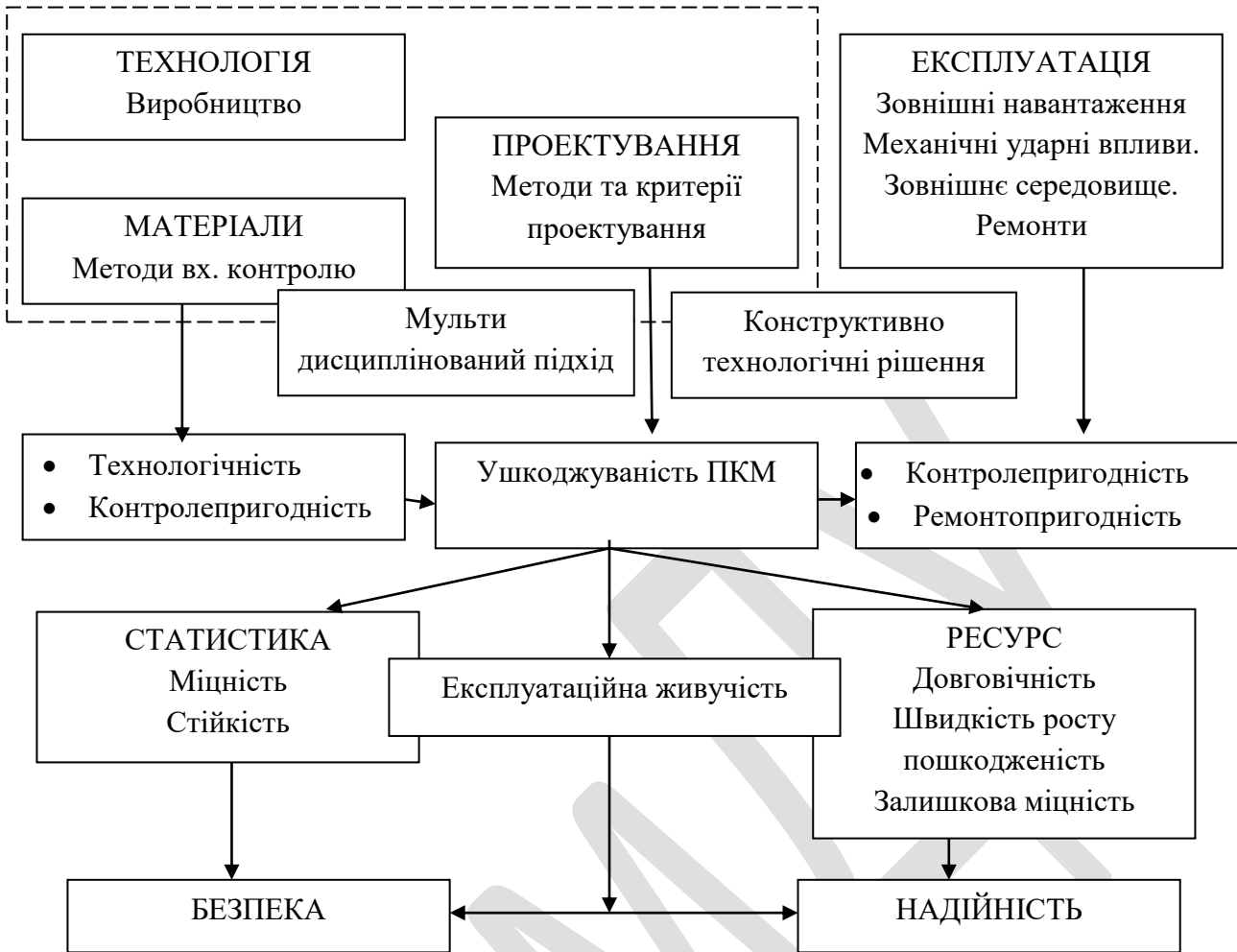


Рисунок 3.12 – Загальна схема вирішення задачі підвищення ефективності застосування ПКМ

Висновки до розділу 3

Застосування методу Ісікава дозволило унаочнити причини виникнення дефектів матеріалу Флубон-20, які були розділені на шість ключових позицій – людина, метод, матеріал, механізми, контроль та середовище. Найбільш суттєві причини цієї проблеми виявлено при низькій кваліфікації працівника та при порушенні технології змішування. У зв'язку з високою відповідальністю такої продукції, яка буде виготовлена з цього матеріалу, в промисловості необхідно було б перевірити фізико-механічні властивості всієї партії. Це призведе до втрати частини матеріалу, додаткових грошей і часу або до заміни всієї партії.

У результаті застосування розробленої FMEA-методології для аналізу видів і наслідків дефектів полімерних композитів в експлуатації було визначено:

1. Найбільше значення пріоритетного числа ризику (ПЧР) дорівнює 112 та відповідає низькому ступеню затвердіння сполучного при формуванні, а також невідповідності норми складу матеріалу по всьому об'єму деталі або більшої його частини та розшаруванню
2. Зменшення ПЧР для дефекту «Низький ступінь затвердіння сполучного при формуванні» можливе за рахунок удосконалення та автоматизації систем контролю стану ступеню полімеризації менше 95-98%
3. Зменшення ПЧР для дефекту «Норми складу матеріалу по всьому об'єму деталі або більшої його частини» можливе за рахунок контролювання заданого значення об'ємного значення матриці (V %), волоки (V %).
4. Зменшення ПЧР для дефекту «Розшарування» можливе за рахунок удосконалення механічних та автоматизованих програм.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Співвідношення витрат на усунення дефектів ілюструється правилом 10 разів А. Фейгенбаума: *витрати на виправлення дефекту в 10 разів зростають на кожному наступному етапі життєвого циклу виробу.*

1:10:100:1000

1000 г.о. – необхідні витрати при експлуатації,

100 г.о. – необхідні витрати при виробництві,

10 г.о. – необхідні витрати при підготовці виробництва,

1 г.о. – необхідні витрати при проектуванні виробу.

Універсальної методики оцінки економічної ефективності діяльності у галузі менеджменту якості не існує. Є окремі пропозиції, рекомендації, які можуть бути використані в конкретних випадках. Оцінка економічної ефективності проектів менеджменту якості так само складна, як і інших проектів у галузі менеджменту. Не завжди вдається виділити ефект, отриманий саме внаслідок впровадження. Тим не менш, слід виявляти та оцінювати економічні вигоди, які можна отримати, і навіть витрати, необхідних реалізації проектів [19].

Вихідні дані для розрахунку представлені в табл. 4.1.

Вартість процесу є повними витратами протікання процесу і складається з витрат за відповідність видів діяльності, складових процес, і збитків, внаслідок невідповідності [19].

У таблиці 4.2 представлені витрати на відповідність та невідповідність для процесу FMEA-аналізу.

Таблиця 4.1

Характеристики процесу виявлення та аналізу дефектів ПКМ

Елементи характеристики процесу	Зміст елементу
Ціль процесу	Визначення потенційних помилок та відмов
Входи	Необхідність проведення аналізу дефектів ПКМ
Виходи	Виконаний FMEA-аналіз
Ресурси	Людські, інформаційні, приміщення, техніка
Результати	Зменшення часу проведення FMEA-аналізу
Результативність	Співвідношення часу аналізу до покращення часу аналізу після покращення
Ефективність	Час проведення FMEA-аналізу до витрат на процес аналізу

Таблиця 4.2

Класифікація витрат

Витрати на співвідношення	Витрати в наслідок невідповідності
<ul style="list-style-type: none"> – Заробітна плата членів FMEA команди; – Відрахування на соціальні потреби; – Електроенергія 	<ul style="list-style-type: none"> – Втрачена вигода від процесів, які можуть бути виконані за той час, який робітники витрачають на зайві дії під час проведення FMEA аналізу; – Заробітна плата FMEA команди на час проведення аналізу.

Моделювання процесів організації (підприємства) може здійснюватися з використанням різних графічних схем відповідно до обраного засобу опису (нотацією). Економічна модель процесу представляється як карти (рис. 4.1).

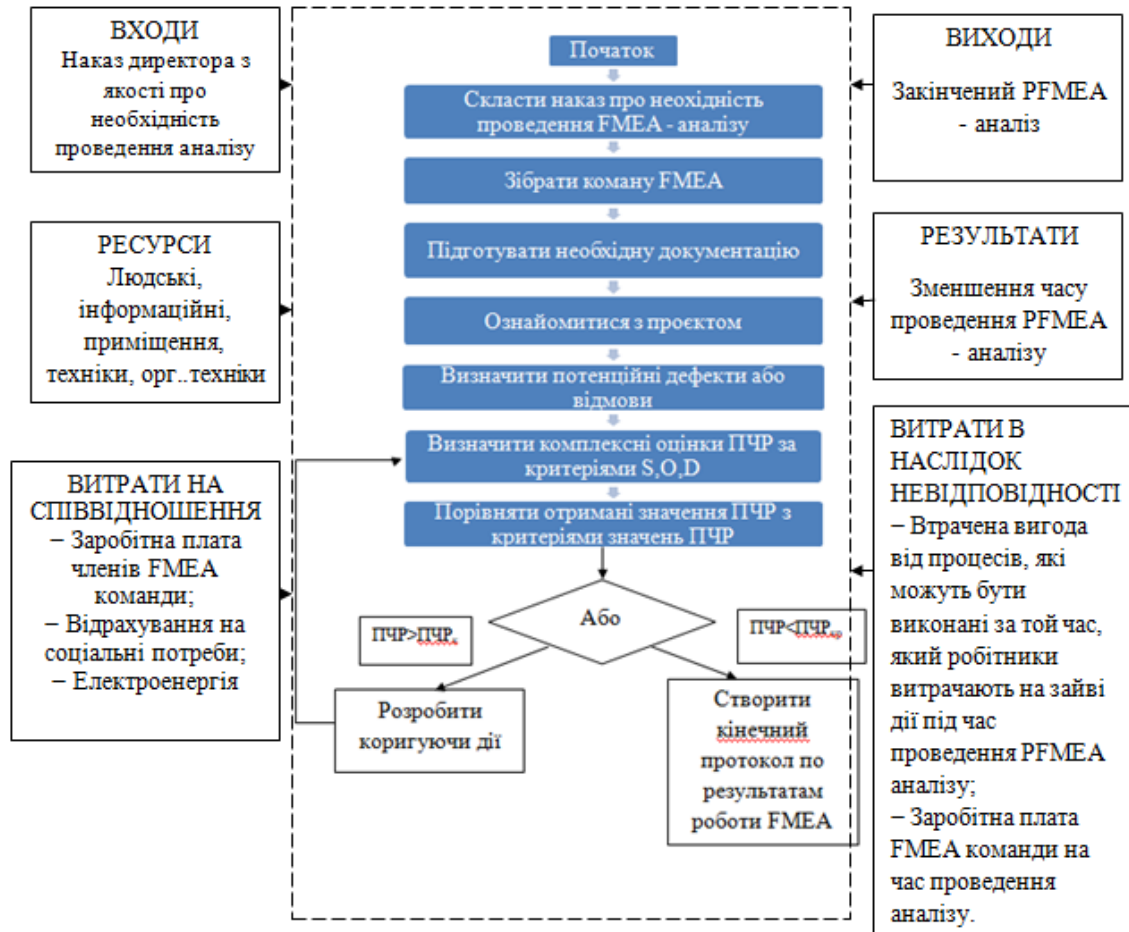


Рис. 4.1 – Карта процесу

Доцільно розраховувати вигоди за період, що дорівнює одному року, а витрати ділити на одноразові та поточні.

Одноразові витрати (B) – це витрати, які отримують за розроблення та впровадження проекту. Вони дорівнюють сумі витрат на розробку (B_p) і витрат за використання (B_B) [19].

Витрати на розробку проекту обчислюються за такою формулою:

$$B_p = 3П \cdot T \cdot (1 + N_{сп}) \cdot (1 + K_{нв}), \quad (4.1)$$

де T – трудомісткість розробки проекту, люд · год.; $N_{сп}$ – норматив відрахувань на соціальні потреби; $K_{нв}$ – коефіцієнт непрямих витрат організації, яка здійснює

розробку; ЗП – середньогодинна заробітна плата фахівців, що беруть участь у розробці, грн.

Середньогодинна заробітна плата фахівців, які беруть участь у проведенні FMEA-аналізу, дорівнює

$$(6500 / (22 * 8)) / 3 = 36,93 \text{ грн.},$$

де 22 – кількість робочих днів на місяці; 8 – кількість робочих годин на день, 6500 – заробітна плата робітників, що беруть участь у проведенні FMEA-аналізу.

Коефіцієнт непрямих витрат становить 10%, норматив відрахувань на соціальні потреби становить 30%.

Для обчислення трудомісткості проведення FMEA-аналізу визначимо склад робіт та їх трудомісткість (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Склад та трудомісткість робіт з проведення FMEA-аналізу

Склад роботи	Час виконання, год	Склад та кількість виконавців, людина	Трудомісткість, люд.*год
Вивчення дефектів ПКМ	3	3	9
Вивчення існуючої таблиці оцінки критерія визначення	2	3	6
Вивчення технологічного процесу	5	1	5

Знаючи трудомісткість всіх робіт, що входять у розробку процесу, можна підрахувати трудомісткість процесу розробки:

$$T=9+6+5, T = 20 \text{ чол * год.}$$

Отже, $V_p = 36,93 \cdot 20 \cdot (1 + 0,3) \cdot (1 + 0,1) = 1056,2$ грн.

До складу витрат на використання включають витрати на роботи з безпосередньої реалізації аналізу, які представлені у таблиці 4.4, а також витрати на сировину та матеріали.

Таблиця 4.4

Роботи з впровадження FMEA-аналізу

Склад роботи	Час виконання , год	Склад та кількість виконавців, год	Трудомісткість, люд.*год
Виділення в окремий процес лабораторного аналізу	4	3	12
Розробка таблиці	10	3	30
Переоцінка ПЧР	8	3	24
Розробка нової методології	3	1	3

Дані витрати пов'язані із заробітними платами людей, які виконували ці роботи. Обчислюються вони за такою формулою:

$$V_B = ЗП \cdot T \cdot (1 + N_{сп}) \cdot (1 + K_{нв}) \quad (4.2)$$

де T – трудомісткість застосування проекту, чол·год.; $N_{сп}$ – норматив відрахувань на соціальні потреби; $K_{нв}$ – коефіцієнт непрямих витрат організації, яка здійснює розробку; $ЗП$ – середньогодинна заробітна плата фахівців, що беруть участь у впровадженні, грн.

Зробивши розрахунки, виявляється, що це витрати рівні 30201,6 грн.

Також у витрати на впровадження увійшли витрати на електроенергію, яку споживав комп'ютер під час проведення FMEA-аналізу.

За час роботи комп'ютер використав 10 кВт електроенергії.

$$B_v = 30201,6 + 14,4 = 30215,6 \text{ грн}$$

Тепер можна порахувати одноразові витрати, склавши значення витрат на розробку та витрат на впровадження

$$B = B_p + B_v = 1056,2 + 30215,6 = 31271,8 \text{ грн.}$$

Економічний ефект, при впровадженні запропонованої методології проведення FMEA-аналізу для дефектів ПКМ, складається з економії у разі зниження трудовитрат.

Висновки до розділу 4

Співвідношення витрат на усунення дефектів ілюструється правилом 10 разів А. Фейгенбаума: витрати на виправлення дефекту в 10 разів зростають на кожному наступному етапі життєвого циклу виробу.

Вартість процесу є повними витратами протікання процесу і складається з витрат за відповідність видів діяльності, складових процес, і збитків, внаслідок невідповідності:

1. Витрати пов'язані із заробітними платами людей становлять 30201,6 грн.
2. Витрати на впровадження увійшли витрати на електроенергію, яку споживав комп'ютер під час проведення FMEA-аналізу становлять 30215,6 грн.
3. Одноразові витрати становлять 31271,8 грн.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1. Роль пластику в життєдіяльності людини та вплив на навколишнє середовище

Отримання пластику в наш час засноване на реакціях полімеризації, поліконденсації або поліпрієднання низькомолекулярних вихідних речовин, що одержуються з вугілля, нафти або природного газу. При цьому отримують високомолекулярні сполуки з великим числом вихідних молекул. Виробництво первинного пластику з газоподібних речовин – процес затратний і дуже складний. Потрібно будівництво великого заводу, що буває недосяжним для підприємств-початківців.

Вторинна ж переробка пластика є реальним варіантом відкриття підприємства, які мають більших коштів. Але є певні проблеми у реалізації вторинної переробки сировини. Для початку потрібно його збирання та сортування за категоріями. на кожне пластиковий виріб нанесено маркування, що означає класифікацію переробки пластмаси.

Кожному кодуванню відповідають певні властивості та правила переробки пластику. Усього відзначають 7 класів переробки пластмаси. Наприклад, до першого класу відносяться поліетилентерефталат, який має стійкість до сонячного світла, тепловий вплив до 60 ° і який не рекомендується використовувати повторно. Він використовується для тари під мінеральну воду, соків, оббивки та має високий потенціал переробки. А ось до сьомого класу відносяться композитні або багат шарові упаковки, що мають дуже поганий потенціал для переробки. І вже судячи з цих двох класам, можна зрозуміти, що сортування пластику дуже важливе для подальшої переробки. Судячи по всьому вищесказаному, можна подумати, що

цей матеріал є абсолютно універсальним і хорошим матеріалом, що не має жодних недоліків, але все не так просто, як здається на перший погляд.

Велика кількість країн починає відмовлятися від пластикової продукції через те, що він завдає непоправної шкоди екології, яка, отже, схильна до атак з боку вихлопних газів. Один з найбільших мінусів у пластмасі - це дуже тривале розкладання при попаданні в землю або воду, тим самим викинуте сміття може десятиліттями розкладатися. отруювати все навколо. Але й це ще не все, адже страждають ще й тварини, у житті яких вторгся пластикове сміття. Не рідкісні випадки, коли страждають моря та океани, засмічені пластиковими відходами, які так неохоче розкладаються.

Кожна людина повинна розуміти, що, викинувши сміття в недозволеному місці, вона шкодить не лише собі, а й оточуючим людям, а що найстрашніше – майбутнім поколінням людей, яким дістанеться наша планета після нас. Потрібно відповідально ставитися до того, що ми маємо навколо себе та берегти

5.2. Вимоги охорони праці до технологічних процесів [42]

Виробничі процеси повинні відповідати вимогам СП 1042-73 "Санитарные правила организации технологических процессов и гигиенические требования к производственному оборудованию", СП 4783-88 "Санитарные правила для производств синтетических полимерных материалов и предприятий по их переработке" та ГОСТ 12.3.002-75 "ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности", Правил охорони праці на об'єктах з переробки пластичних мас, затверджених наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 16 липня 2012 року № 989 [40].

Роботодавець повинен організувати контроль за викидами шкідливих речовин в атмосферне повітря населених місць відповідно до вимог Закону України "Про охорону атмосферного повітря", ДСП 201-97 "Державні санітарні правила охорони

атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами).

Поводження з відходами, які утворюються на підприємствах з виробництва пластмасових виробів, повинно здійснюватись відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.7.029-99 "Гігієнічні вимоги щодо поведження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення".

Технологічні процеси, пов'язані з транспортуванням продукції, необхідно здійснювати відповідно до вимог ГОСТ 12.3.020-80 "ССБТ. Процессы перемещения грузов на предприятиях. Общие требования безопасности".

Роботодавець повинен організувати контроль параметрів повітря робочої зони на вміст шкідливих речовин та пилу відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005-88.

Під час проведення технологічних процесів, пов'язаних із застосуванням шкідливих речовин 1 та 2 класів небезпеки відповідно до ГОСТ 12.1.007-76, повинна бути виключена можливість контакту працівників із цими речовинами.

Окремі стадії технологічного процесу, які не можуть виконуватися в герметичному обладнанні (підготування матеріалів, завантаження сировини та вивантаження продукції), повинні бути механізованими або виконуватися з використанням механічних пристроїв, що унеможливають безпосередній контакт працівників зі шкідливими речовинами.

Крім системи автоматичного вмикання аварійної вентиляції, повинна бути передбачена можливість ручного вмикання аварійної вентиляції за допомогою пускових пристроїв.

Роботодавець повинен забезпечити використання небезпечних факторів, що пройшли державну реєстрацію відповідно до вимог Положення про гігієнічну регламентацію та державну реєстрацію небезпечних факторів і Порядку оплати робіт із проведення гігієнічної регламентації та державної реєстрації небезпечних факторів.

Роботодавець повинен забезпечити проведення державної санітарно-

гігієнічної експертизи технологій, продукції та сировини відповідно до вимог Порядку проведення державної санітарно-гігієнічної експертизи.

Роботодавець повинен організувати розроблення паспортів безпечності на пластмасові вироби, що виробляються, відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 3033:2009 "Паспорт безпечності хімічної продукції. Загальні вимоги (ГОСТ30333-2004, ITD)".

Зберігати та транспортувати сировину, готову продукцію та відходи виробництва необхідно у виробничій тарі.

Порошкоподібні матеріали необхідно зберігати в бункерах або закритій тарі. Транспортування порошкоподібних матеріалів необхідно здійснювати способом, що унеможлиблює їх розпилення.

Речовини та матеріали, що застосовуються під час виробництва пластмасових виробів, повинні зберігатися залежно від пожежонебезпечних фізико-хімічних властивостей, сумісності, а також ознак однорідності речовин, що застосовуються для гасіння пожежі відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004.

Кількість матеріалів та сировини, що зберігається у виробничому приміщенні, не повинна перевищувати добової потреби, а готової продукції - добового випуску.

Технологічні відходи виробництва необхідно направляти на вторинну підготовку сировини і переробку.

Сушильні приміщення (камери, шафи) для вихідних матеріалів, сировини, напівфабрикатів і готових виробів для видалення залишкової вологи повинні бути обладнані виробничою автоматикою, яка вимикає нагрівальні прилади в разі підвищення температури вище допустимої.

Слід застосовувати поличні сушарки періодичної дії для сушіння нетоксичних матеріалів.

Обладнання, машини, устаткування та системи керування ними повинні відповідати вимогам Технічного регламенту безпеки машин.

Перевезення вантажів необхідно здійснювати транспортними засобами (електрокари, автокари тощо) відповідно до вимог Технічного регламенту безпеки

машин.

Експлуатація несправних транспортних засобів не допускається. Заборонено перевозити працівників транспортними засобами, призначеними для перевезення вантажів.

Скидання матеріалу під час звільнення обладнання (термопластавтоматів, екструдерів тощо) від гарячих полімерних матеріалів (під час аварії, виходу браку, при зупинці машин та інших несправностях) необхідно здійснювати в спеціально призначені для цього пересувні ємності з кришками.

Для зменшення виділення пилу операції з транспортування та завантаження матеріалів до бункерів повинні бути механізовані.

Бункери повинні бути забезпечені за необхідності пристосуваннями проти зависання та заклинювання в них матеріалів (перетрушувачами, вібраторами, аераторами), якщо форма і конструкція бункерів (наприклад, наявність в них однієї вертикальної стінки) не забезпечує повного і легкого їх звільнення.

Пускові пристрої основних машин, механізмів і апаратів, механізми для підготування сировини та відходів (дробарки, бігуни, млини) повинні бути зблоковані із запобіжними огорожувальними конструкціями.

На приводах комунікаційних апаратів повинно бути чітко зазначено положення "Включено" та "Відключено" відповідно до схеми розташування та взаємозв'язку технологічного обладнання і трубопроводів та вимог Технічного регламенту безпеки машин.

5.2.1 Вимоги охорони праці під час екструзійного виробництва [43]

Огляд, випробування, експертне обстеження (технічне діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки здійснюються відповідно до вимог Порядку проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки.

Перед запуском екструдера для всіх полімерів, крім поліолефінів, необхідно проводити чистку циліндра та шнека, фільтрів-решіток і формувальної головки.

Для очищення шнека, головки, циліндра, поверхонь деталей слід використовувати тільки латунні або мідні скребки.

Очищення обладнання необхідно проводити відразу після його зупинки і в умовах, що не перевищують охолодження більше ніж на 10 - 20° С нижче температури плавлення полімеру (але не температури переробки).

Запуск екструдера необхідно здійснювати після нагрівання до температури, визначеної технологічним процесом до екструзійного виробництва.

Обладнання для виготовлення виробів методом екструзії з роздувом необхідно перевіряти на холостому ходу з перевіркою подачі води для охолодження на видувні форми та завантажувальну воронку, а також рівня заповнення маслом редукторів, резервуарів гідросистем та змашувальних систем.

Деталі і вузли обладнання, призначеного для переробки жорсткого полівінілхлориду, які контактують з розплавом, повинні бути виготовлені з легованих хромистих сталей та мати стійкі до зношування покриття на основі хрому.

Деталі, виготовлені з вуглецевих сталей, повинні мати хромоване покриття на всіх робочих поверхнях, які контактують з розплавом полівінілхлориду.

На робочих поверхнях шнека, циліндра, головки не повинно бути подряпин, вм'ятин, задирок, забоїн, відшарувань покриття. З'єднувальні частини головки (фланці, ребра дорноприймача тощо) повинні ретельно протиратись після проведення процесу.

У місцях з'єднань деталей екструзійної головки, які контактують з розплавом, не повинно бути виступів, нещільностей в радіусах заокруглень.

Забороняється експлуатувати екструзійно-видувне обладнання у випадку порушення цілісності хромованих покриттів робочих поверхонь, наявності застійних зон в циліндрі, формувальній головці, нещільностей у місцях з'єднань.

5.2.2. Вимоги охорони праці під час лиття під тиском [43]

У ливарних машинах зона змикання рознімних форм повинна бути обладнана надійними огороженнями з прозорого органічного скла. Огороження повинні бути заблоковані з пусковим пристроєм машини таким чином, щоб при зняттю огороження пуск був неможливий.

Під час заливання матеріалу в форму не допускається витікання матеріалу із сопла та ливникової втулки (розмір вихідного отвору сопла повинен відповідати діаметру отвору у ливниковій втулці форми, а також повинна бути забезпечена співвісність сопла з ливниковою втулкою форми).

При автоматичній роботі машини необхідно стежити за тим, щоб після кожного циклу лиття виріб випадав з форми. У разі затримки виробу у формі необхідно вимкнути машину і видалити виріб.

Забороняється проводити змащення реактопластавтоматів, підтягування болтів або інший ремонт без зупинки машини. Під час перерви в роботі машина повинна бути відключена від електричної і водопровідної мереж.

Система очищення прес-форм після знімання готових виробів повинна унеможлилювати потрапляння газоподібних продуктів, пилу і грату до виробничого приміщення.

Під час обробки виробів з пластмас в камерах машин (при нагріванні, промиванні, обробці виробів тощо) перебування працівників всередині камер заборонено.

5.2.3 Вимоги охорони праці під час пресування [42]

Ротор ротатійних машин, зона переміщення повзуна ексцентриккових машин та робочий простір гідравлічних таблетувальних машин повинні бути забезпечені огороженнями, заблокованими з пусковим пристроєм машини.

Таблетувальні машини повинні бути забезпечені герметичними кожухами для захисту від пиловиділення. Пил з робочої зони машини у місцях завантаження та

вивантаження повинен виділятися у спеціальні пилоприймачі.

Пуансони і матриці пресів, нагрівальні пояси роторних ліній повинні мати надійну теплоізоляцію зовнішніх поверхонь або запобіжні пристосування для уникнення прямого контакту працівника з поверхнями.

Преси, під час роботи яких виділяються тепло, гази та пари, повинні мати капсуляцію з вмонтованим місцевим відсмоктувачем.

Преси повинні мати пристрої, що запобігають потраплянню рук у небезпечну зону під час руху повзуна (система вимикання із зайнятістю обох рук, капсуляція з блокуванням дверей).

5.2.4. Вимоги охорони праці під час каландрування [42]

У виробничих приміщеннях, де виконуються роботи на вальцях, каландрах повинно знаходитись не менше двох працівників.

Вальці повинні бути забезпечені пристроями аварійної зупинки, встановленими з обох боків валків, для аварійної зупинки вальців у разі потрапляння рук працівника в небезпечну зону.

Шлях гальмування валків при аварійній зупинці не повинен перевищувати чверті оберту переднього валка при ненавантажених вальцях.

В електричній схемі керування вальцями з груповим приводом повинна бути передбачена світлова та звукова сигналізація, зблокована з пуском вальців, яка вмикається до початку обертання валків вальців.

Заборонено під час роботи вальців проводити їх ремонт, чистити обмежувальні стріли, обтирати й чистити валки.

Каландри повинні мати пристрої для аварійної зупинки, розташовані з обох боків каландрів.

Система приводу гальмування каландрів повинна забезпечувати миттєву зупинку каландра під навантаженням.

При ненавантаженому каландрі шлях гальмування не повинен перевищу- вати

чверті оберту валка при максимальній кількості обертів двигуна.

5.2.5. Вимоги охорони праці під час дроблення відходів пластмас [43]

Переробка відходів пластмас на дробарках різного типу повинна про- водитись в окремих приміщеннях або у виробничих приміщеннях з використанням колективних засобів захисту: звукоізолювальних (кожухи, екрани, кабіни) та звукопоглинальних пристроїв (облицювальні, штучні звукопоглиначі); глушників аеродинамічного шуму; огорожувальних пристроїв відповідно до вимог ДСТУ 7238:2011 "ССБП. Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація".

Дробарки повинні бути забезпечені надійним захисним заземленням та/або зануленням, надійним огороженням рухомих частин обладнання, при- строями для закривання завантажувальних бункерів.

Працівники, які обслуговують дробарки, повинні використовувати ЗІЗ відповідно до вимог Технічного регламенту засобів індивідуального захисту[40].

Висновки до розділу 5

Охорона праці водночас вирішує два основних завдання. Одне з них – інженерно-технічне – передбачає запобігання небезпечним подіям під час трудового процесу шляхом:

- заміни небезпечних матеріалів менш небезпечними,
- переходу на нові технології, які зменшують ризик травмування і захворювання,
- проектування і конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки праці,
- розробки засобів індивідуального та колективного захисту.

Друге – соціальне – пов'язане з відшкодуванням матеріальної, моральної чи соціальної шкоди, завданої внаслідок нещасного випадку або професійного захворювання, тобто це захист працівника та його прав.

Виходячи з поставлених перед нею завдань, охорона праці, ґрунтуючись на правових та організаційних основах, вирішує питання виробничої санітарії, виробничої та пожежної безпеки. Структурно охорона праці включає у себе:

- правові та організаційні основи охорони праці;
- фізіологію, гігієну праці та виробничу санітарію;
- виробничу безпеку;
- пожежну безпеку та профілактику на виробництв

ВИСНОВКИ

FMEA-аналіз ефективний як у забезпеченні надійності, так і у створенні стійких до відмов систем, які повинні мати будь-які підприємства – розробники. Цей метод може дозволити розробникам знижувати ризик появи критичних ситуацій. Також FMEA підвищує безпеку продукції і, що важливо, простий у освоєнні.

Розроблено методологію проведення FMEA-аналіз, що складається з наступних стадій: планування та підготовка FMEA; формування складів спеціалізованих FMEA-команд; ознайомлення із запропонованими проектами конструкції та (або) технологічного процесу; структурний та функціональний аналіз об'єкта дослідження; визначення видів потенційних дефектів, їх наслідків та причин; оцінка комплексного ризику та ранжування дефектів; визначення та впровадження заходів щодо доопрацювання (оптимізації) конструкції та (або) технологічного процесу; моніторинг впроваджених заходів та критеріїв FMEA.

У результаті застосування розробленої FMEA-методології для аналізу видів і наслідків дефектів полімерних композитів в експлуатації було визначено:

1. Найбільше значення пріоритетного числа ризику (ПЧР) дорівнює 112 та відповідає низькому ступеню затвердіння сполучного при формуванні, а також невідповідності норми складу матеріалу по всьому об'єму деталі або більшої його частини та розшаруванню

2. Зменшення ПЧР для дефекту «Низький ступінь затвердіння сполучного при формуванні» можливе за рахунок удосконалення та автоматизації систем контролю стану ступеню полімеризації менше 95-98%

3. Зменшення ПЧР для дефекту «Норми складу матеріалу по всьому об'єму деталі або більшої його частини» можливе за рахунок контролювання заданого значення об'ємного значення матриці (V %), волокни (V %).

4. Зменшення ПЧР для дефекту «Розшарування» можливе за рахунок удосконалення механічних та автоматизованих програм.

В роботі був апробований метод Ісікава для унаочнення причини виникнення дефектів матеріалу Флубон-20 низької якості, які були розділені на шість ключових позицій – людина, метод, матеріал, механізми, контроль та середовище. Найбільш суттєві причини цієї проблеми виявлено при низькій кваліфікації працівника та при порушенні технології змішування.

Вартість проведення FMEA-аналізу є повними витратами протікання процесу і складається з витрат за відповідність видів діяльності, складових процес, і збитків, внаслідок невідповідності. Витрати пов'язані із заробітними платами людей становлять 30201,6 грн. Витрати на впровадження увійшли витрати на електроенергію, яку споживав комп'ютер під час проведення FMEA-аналізу становлять 30215,6 грн. Одноразові витрати становлять 31271,8 грн.

Охорона праці водночас вирішує два основних завдання. Одне з них – інженерно-технічне – передбачає запобігання небезпечним подіям під час трудового процесу шляхом заміни небезпечних матеріалів менш небезпечними, переходу на нові технології, які зменшують ризик травмування і захворювання, проектування і конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки праці, розробки засобів індивідуального та колективного захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT) с..15-18
2. Волошин А.О. Методологічні основи проектування систем безпеки об'єктів водного транспорту; А.О. Волошин, С.В. Руденко , А.В. Шахов: Проблеми техніки: наук.-вироб. журн. - Вип. 3 - О.:Нац. мор. ун-т., 2011- С.96-Вычужанин В.В. Оценки структурного и функционального рисков сложных технических систем : В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко ; Східно - Європейський журнал передових технологій. - 2014. - №1 (67). - с. 18 - 22.
3. Тоніца О. В. Комп'ютерне моделювання систем аналізу безпеки технологічних об'єктів ; О. В. Тоніца, І. В. Єременко ;Вісник національного технічного університету "ХПІ" : зб. наук. пр.: темат. вип. 67. - ; Харківський політехнічний ін-т, нац. техн. ун-т. - 2010. - С. 45-50.
4. Щербовських С.В. Математичні моделі та методи для визначення характеристик надійності багато термінальних систем із урахуванням перерозподілу навантаження ; монографія . – Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”. - 2015. – 296 с.
5. Шевченко Д.Н. Аналіз динамічного дерева відмов. Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті: Науковотехнічний журнал. – 2015.- №2. - с. 142-148.
6. Хом'як Я.І. Розрахунок ризику виникнення аварійного викиду хлору в цеху розливу питної води із застосуванням програми Sapphire. - Науковий вісник УкрНДІПБ - № 2 (20) - Л.: ЛДУ БЖД МНС України, 2014. - С.197-203.
7. Рижков В. Г. Застосування ризик-орієнтованого підходу для аналізу електротравматизму на металургійних підприємствах ;Металургія - Вип. 23. / ред. В. І. Пожуєв. - 3.:Запоріжжя, 2015. - С. 180 - 186.

8. Озірковський, Л.Д. Розробка методики побудови марковської моделі алгоритму поведінки програмно-апаратної системи .Матеріали 9-ої науково-технічної конференції науковопедагогічних працівників «Проблеми та перспективи розвитку економіки і підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні», Львів, – 2013. – С. 499-503.

9. Кривошеїн О.О. Моделювання кислотної відмови геосистеми за допомогою графічної моделі у вигляді «дерева відмов». Наук. праці УкрНДГМІ - Вип. 259 - К.: УкрНДГМІ, 2010. - С. 254-262.

10. Волочій Б.Ю. Порівняння методів оцінки показників ефективності алгоритмів поведінки радіоелектронних .Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2014, – №59, С. 29-39. 113.

11. Волочій Б.Ю. Оцінка надійності програмно-апаратних систем за допомогою моделі їх поведінки.Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2014, № 796, С. 222-231. 114.

12. Волочій Б.Ю. Оцінка ризику експлуатації навігаційно-обчислювальної системи безпілотного літального апарата . Військова техніка та озброєння. – 2015, - №13 – С. 77-87.

13. 1. Бочков К.А. Методи та засоби доведення функціональної безпеки мікроелектронних систем залізничної автоматики . Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті: Науково-технічний журнал. - 2011.- №2. - с. 73-81.

14. Volochiy B. Minimal Cut Sets Determination for Renewable Systems with Limited Repair .Матеріали 12-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії TCSET-2014», Львів - Славсько, 2014. – С. 216-218.

15. Souza Rodrigo de Queiroz FMEA and FTA Analysis For Application of The Reliability Centered Maintenance Methodology: Case Study on Hydraulic Turbines ABCM Symposium Series in Mechatronics - Vol. 3 - P. 803-812

16. Ph. Hönig A New Modeling Approach for Automated Safety Analysis Based on Information Flows .25th Edition of the International Workshop on Principles of Diagnosis Conference DX'14, Graz: Austria.- September 8-11, 2014. - p. 21-28.
17. Mhenni F. Automatic fault tree generation from SysML system models Besacon: IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2014.- p. 715-720.
18. Jong Chaur-Gong Bayesian Network Based Hydro Power Fault Diagnosis system devepolment by Fault Tree Transformation Journal of Marine Science and Technology .- 2013.- Vol. 21, No.4. - p. 367-379.
19. Muzakkir et al ,“Failure Mode and Effect Analysis of Journal Bearing, pp. 2015. 36843-36850.
20. Метод Ішікави: сутність і приклади застосування у матеріалознавстві / Г. С. Руденко, Х. В. Берладір // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції, м. Суми, 20–23 квітня 2021 р. / редкол.: О. Г. Гусак, І. В. Павленко. — Суми : сумду, 2021. — С. 77-78.
21. Dondapati, S., Trivedi, M., Dondapati, R.S., Chandra, D. (2017). Investigation on the mechanical stresses in a muffler mounting bracket using Root Cause Failure Analysis (RCFA), finite element analysis and experimental validation. Engineering Failure Analysis, Volume 81, pp. 145-154, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.08.010>.
22. Luo, T., Wu, C., Duan, L. (2017).Fishbone diagram and risk matrix analysis method and its application in safety assessment of natural gas spherical tank. Journal of Cleaner Production, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.334
23. Abhishek Jayswal, Xiang Li, Anand Zanwar, Helen H. Lou, Yinlun Huang, A sustainability root cause analysis methodology and its application, Computers & Chemical Engineering, Volume 35, Issue 12, 2011, Pages 2786-2798, <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2011.05.004>.

24. Бычков С.А. Решение проблемы создания авиаконструкций из полимерных композиционных материалов на АНТК «Антонов» [Текст] / С.А. Бычков, В.Г. Бондарь, В.Н. Король // *Авіаційно- космічна техніка і технологія: наук.-техн. Журнал.* – Х.: ХАІ, 2003. – Вип. 49 (5). – С. 34-37

25. В. А. Троицкий, м. Н. Карманов, н. В. Троицкая неразрушающий контроль качества композиционных материалов. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, №3, 2014, с. 29-33

26. В. А. Троицкий, м. Н. Карманов, н. В. Троицкая неразрушающий контроль качества композиционных материалов. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, №3, 2014, с. 29-33

27. Allen j. Fawcett (atf/der), gary d. Oakes (atf). Boeing composite airframe damage tolerance and service experience. Boeing commercial airplanes, 787 program

28. Novorun T. P., Berladir K. V., Pererva V. I., Rudenko S. G., Martynov A. I. (2017). Modern materials for automotive industry. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 4(2), pp. F8-F18, doi: 10.21272/jes.2017.4(2).f8

29. В. А. Троицкий, м. Н. Карманов, н. В. Троицкая неразрушающий контроль качества композиционных материалов. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, №3, 2014, с. 29-33

30. Мурашов В.В. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов. Ч.1. [Электронный ресурс] / В.В. Мурашов, А.Ф. Румянцев // *Контроль. Диагностика.* – № 4. – 2007. – С. 1-17

31. Метод Ішікави: сутність і приклади застосування у матеріалознавстві / Г. С. Руденко, Х. В. Берладір // *Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції, м. Суми, 20–23 квітня 2021 р.* / редкол.: О. Г. Гусак, І. В. Павленко. — Суми : СумДУ, 2021. — С. 77-78.

32. Budnik, A.F., Rudenko, P.V., Berladir, K.V., Budnik, O.A.: Structured Nanoobjects of Polytetrafluoroethylene Composites. J. Nano- Electron. Phys. 7(2), 02022 (2015).
33. Галкин, В.Г. Надежность тягового подвижного состава [Текст] / В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А Четвергов. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
34. Головатый, А.Т. Электроподвижной состав: эксплуатация, надежность и технология ремонта [Текст] / А.Т. Головатый, П.И. Борцов и др. – М.: Транспорт, 1983. – 350 с.
35. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
36. Проников, А.С. Надежность машин [Текст] / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
37. Бабешко, Е.В. Возможности совместного использования современных методов анализа отказов систем, важных для безопасности [Текст] / Е.В. Бабешко, В.С. Харченко // Функціональна безпека та живучість. – 2009. – С. 60-64.
38. Розно, М.И. Проектирование: с FMEA или без? [Текст] / М.И. Розно // Стандарты и качество. – 2001. – № 9. – С 32-37.
39. Mcdermott, R.E. The Basics of FMEA [Текст] / R.E. mcdermott et al. - Productivity Press, New York, 2009. – 168 с.
40. Брагин, В.В. Оценка риска и последствий отказов комплексной системы, конструкций, процессов [Текст] / В.В. Брагин. – М.: Кнорус, 2012. – 241 с.
41. Система управления эффективностью поставок. Руководство по анализу видов и последствий потенциальных отказов продукции и технологических процессов [Текст] Стандарт ОАО «РЖД» 1.05.509.12-2008. – М.: Центр Приоритет, 2008. – 29 с.
42. НПАОП 25.0-1.02-13 «Правила охорони праці під час роботи з полімерними композитними матеріалами», наказ МНС України № 1409 від 12.12.2012 р., зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 23/22555 від

02.01.2013 р. – 33 с.

43. НАОП 25.0-1.04-13 «Правила охорони праці на підприємствах з виробництва пластмасових виробів», наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 702 від 01.10.2013 р., зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 1750/24282 від 11.10.2013 р. – 13 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Протокол аналізу видів, причин і наслідків дефектів полімерних композитів

Вид дефекту	Наслідки дефекту	Ранг "S", Бал	Причина дефекту	Ранг "O", бал	Заходи з виявлення дефекту	Ранг "D", бал	ПЧР, бал
1	2	3	4	5	6	7	8
Низька ступінь затвердіння сполучного при формуванні	Призводить до суттєвих змін характеристик міцності, пружності. та експлуатаційної надійності	7	Відхилення від норми у сполучному. Недотримання температурно-годинного режиму формування	4	Ступінь полімеризації менше 95-98%	4	112
Невідповідність норми складу матеріалу по всьому об'єму деталі або більшої його частини	Призводить до суттєвих змін характеристик міцності, пружності. та експлуатаційної надійності	7	Відхилення складу препрегу від норми, порушення строків або умов зберігання . Недотримання режиму формування	4	Задані значення об'ємного значення матриці (V %), волоки (V %)	4	112

Розшарування	Призводить до суттєвих змін характеристик міцності, пружності. та експлуатаційної надійності	7	Попадання антиадгезійних змазок , плівок. Недостатній вміст сполучних летучих елементів. Порушення режиму формування: підвищення температура, висока швидкість охолодження, ненормоване тепловий або механічний вплив. Неякісне антиадгезійне покриття на поверхні оснастки	4	Визначається візуально по формі і розміру у плані, глибині залягання	4	112
Тріщина	Руйнування деталі	9	Порушення режиму формування, висока швидкість охолодження . Переважання допустимих механічних навантажень при знятті деталі з оснастки, транспортуванні. Ударні впливи в процесі експлуатації	3	Визначається Візуально. Розмір дефекту у плані . Затронуті шари і направлення тріщин на деталі.	3	81
	Пошкодження елементів верхньої , внутрішньої, наскрізної частини деталі						

Продовження таблиці

Локальна невідповідність нормі складу матеріалу	Руйнування деталі	9	Нерівномірний тиск при формуванні . Нерівномірність прокатки	3	Визначається Візуально. Розмір дефекту у плані . Затронуті шари і направлення тріщин на деталі	3	81
	локальна зона з підвищеним вмістом матриці або волокна	9	Недотримання режиму формування, часу та величини прикладеного падіння, швидкості нагріву. Відхилення вмісту препрега	3		3	81
	локальна зона з підвищеним вмістом пор	9		4		3	91
Раковина	Впливають на фізико - механічні властивості матеріалу, оскільки вони призводять до місцевого викривлення волокон і до зміни складу матеріалу в перерізі дефекту	7	Підвищений вміст летючих елементів у препрегу. Порухення режимів формування: швидкості нагріву, часу, величини, прикладеного тиску	5	Розмір дефекту в плані. Глибина залягання	3	105
Стороннє включення С	Впливають на фізико - механічні властивості матеріалу, оскільки вони призводять до місцевого викривлення волокон і до зміни складу матеріалу в перерізі дефекту	5	Попадання сторонніх матеріалів при виготовленні препрега, при його викрита викладки	4	Розміри у плані та товща включення. Глибина залягання. Місцезнаходження та орієнтація зони на деталі	4	80

Продовження таблиці

Складка	Впливають на фізико - механічні властивості матеріалу, оскільки вони призводять до місцевого викривлення волокон і до зміни складу матеріалу в перерізі дефекту	5	Складка на препрегу. Утворення складки при збиранні пакету та прокатки препрега. Недостатнє зміцнення пакету при таблетуванні . Нерівномірне прикладання тиску	4	Розмір складки та товщини включення. Глибина залягання. Місцезнаходження та орієнтація дефекту на деталі	4	80
Свиль	Спливають на фізико - механічні властивості матеріалу, оскільки вони призводять до місцевого викривлення волокон і до зміни складу матеріалу в перерізі дефекту	5	Свилі на препрегу. Поява свилей при складанні пакету. Нерівномірне зміцнення пакету під час просочування, таблетуванні, формуванні.	4	Амплітуда та довжина хвилі вигину волокон. Орієнтація та кількість шарів, затронутих свилем	4	80
Підім'яття	Впливають на фізико - механічні властивості матеріалу, оскільки вони призводять до місцевого викривлення волокон і до зміни складу матеріалу в перерізі дефекту	5	Дефекти на поверхні оснащення. Стики цулаг, вбирання роздільних шарів . Наявність сторонніх включень на поверхні оснащення та допоміжних матеріалів.	4	Візуально. Розмір підім'яття , глибина, ширина, довжина. Орієнтація дефекта на деталі	4	80

Продовження таблиці

Подряпина	Впливають на фізико - механічні властивості матеріалу, оскільки вони призводять до місцевого викривлення волокон і до зміни складу матеріалу в перерізі дефекту	5	Недбалість при знятті деталі з оснастки та механічної обробки. Вплив у процесі експлуатації	1	Візуально. Глибина та ширина дефекту . Орієнтація дефекту на деталі	3	15
Фарбування про крайкам отворів		4	Відсутність або поганий притиск матеріалу, що прикладається. Неправильна заточка інструменту. Порухення режиму обробки - більша подача інструменту.	2	Розмір дефекту у плані. Глибина дефекту	2	16
Сколи	не носять масштабний характер	4	Недбалість при знятті деталі з оснащення, при транспортуванні, зберіганні, механічної обробки. Механічна взаємодія при експлуатації.	2	Розміри дефекту, ширина, глибина.	2	16
Отвір	не носять масштабний характер	4	Недбалість при механічній обробки і збиранні	2	Діаметр та глибина отвору. Розташування на деталі	2	16

Продовження таблиці

Відхилення кута армування	не носять масштабний характер	4	Діаметр та глибина отвору. Розташування на деталі	2	Недбалість при механічній обробки і збиранні	2	16
Викривлення волокон в площості шарів	не носять масштабний характер	4	Амплітуда та довжина або кут. Орієнтація шарів. Розмір дефекту у плані	2	Амплітуда та довжина або кут. Орієнтація шарів. Розмір дефекту у плані	2	16

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ