

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра прикладного матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О. П. Гапонова
«__» _____ 2022 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Розробка методології розгортання функції якості при виробництві композитних матеріалів»

Студент гр. МТ.м-11 _____

Кравець В. В.

Керівник _____

Берладір Х. В.

Консультант
з економічної частини _____

Берладір Х. В.

Консультант
з охорони праці _____

Говорун Т. П.

Нормоконтроль _____

Дегула А. І.

Суми 2022

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладне матеріалознавство та
технології конструкційних матеріалів»
зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О. П. Гапонова

«___» _____ 2022 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Кравець Вікторії Вікторівни

1. Тема проекту (роботи) «Розробка методології розгортання функції якості при виробництві композитних матеріалів» затверджена наказом по університету від «01» листопада 2022 р. № 0996-VI.
2. Термін здачі студентом закінченого проекту(роботи)
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Теоретичні засади створення композитних матеріалів, вплив чинників, що формують якість матеріалів. Менеджмент якості, що застосовується у промисловості: методи, класифікація, характеристика, сфери застосування.
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 (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти з проєкту (роботи), із значенням розділів проєкту, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці, довкілля і техніка безпеки	Говорун Т. П.		
Економічна частина	Берладір Х. В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор.	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел та вибір основних напрямів дослідження	жовтень 2022 р.	Виконано
2	Загальна методика та основні методи дослідження	листопад 2022 р.	Виконано
3	Експериментальні дослідження та загальні результати	листопад 2022 р.	Виконано
4	Економічна частина	грудень 2022 р.	Виконано
5	Охорона праці, довкілля, та техніка безпеки	грудень 2022 р.	Виконано

7. Дата видачі завдання

Студент _____
(підпис)

Керівник проєкту _____
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Кравець Вікторія Вікторівна. Розробка методології розгортання функції якості при виробництві композитних матеріалів. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2022.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці методології розгортання функції якості при виробництві композитних матеріалів на прикладі полімерних композитних матеріалів з політетрафторетиленовою матрицею та різних наповнювачів.

Основними параметрами, що характеризують необхідні властивості досліджуваних виробів, є зносостійкість і коефіцієнт тертя матеріалу. На підставі результатів експертної оцінки та QFD-аналізу найбільш вагомими факторами, що впливають на зносостійкість, є: марка полімеру, форма і розміри наповнювача, технологічні параметри змішування, пресування, спікання і механічної обробки, вплив яких слід дослідити для встановлення кількісних залежностей. Стабільне значення зносостійкості виробу у процесі виробництва можна забезпечити своєчасним регулюванням режимів пресування і спікання.

У результаті структурного аналізу процесу розробки полімерних композитів з наперед заданими властивостями на підприємстві підтверджено важливість проведення оцінки ризиків, пов'язаних із процесом багатокритеріальної оптимізації їх основних показників якості. Встановлено необхідність оптимізації ранжованих показників якості ПКМ та визначення складу матеріалу та технологічних режимів виготовлення

Ключові слова: ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИТНИЙ МАТЕРІАЛ, ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕН, ДІАГРАМА ПАРЕТО, ДІАГРАМА ІСІКАВА, РОЗГОРТАННЯ ФУНКЦІЇ ЯКОСТІ, QFD-АНАЛІЗ, МЕТОДОЛОГІЯ IDEF0

ABSTRACT

Kravets Viktoriya Viktorivna. Development of QFD-methodology in the production of composite materials. – Manuscript.

Qualification work for master's qualification in specialty 132 Materials Science. – Sumy State University, Sumy, 2022.

The qualification work is devoted to the development of the methodology for deploying the quality function in the production of composite materials using the example of polymer composite materials with a polytetrafluoroethylene matrix and various fillers.

The main parameters characterizing the necessary properties of the studied products are the wear resistance and friction coefficient of the material. Based on the results of expert assessment and QFD analysis, the most significant factors affecting wear resistance are: polymer brand, filler shape and size, technological parameters of mixing, pressing, sintering and mechanical processing, the influence of which should be investigated to establish quantitative dependencies. A stable value of the wear resistance of the product in the production process can be ensured by timely adjustment of the pressing and sintering modes.

As a result of the structural analysis of the process of development of polymer composites with predetermined properties at the enterprise, the importance of assessing the risks associated with the process of multi-criteria optimization of their main quality indicators was confirmed. The necessity of optimizing the ranked indicators of PCMs quality and determining the composition of the material and technological modes of production has been established.

Keywords: POLYMER COMPOSITE MATERIAL, POLYTETRAFLUOROETHYLENE, PARETO DIAGRAM, ISHIKAWA DIAGRAM, QUALITY FUNCTION DEVELOPMENT, QFD-ANALYSIS, IDEF0 METHODOLOGY

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра вміщує 68 сторінок, зокрема 15 рисунків, 8 таблиць, список із 47 використаних джерел на 6 сторінках.

Мета роботи – проведення статистичного аналізу факторів впливу на якість композитних матеріалів та розробка методології розгортання функції якості при виготовленні композитних матеріалів на виробництві.

Об'єкт дослідження – статистичні методи аналізу факторів впливу на якість композитних матеріалів, методологія розгортання функції якості на досліджуваних композитах.

Предмет дослідження – полімерні композитні матеріали.

Методи дослідження – стандартні методи визначення експлуатаційних властивостей композиту, методи структурного аналізу матеріалів, діаграма Парето, діаграма Ісікава, QFD-аналіз, методологія IDEF0, методи математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів. Вперше проведено розгортання функції якості при виготовленні полімерних композитних матеріалів на підприємстві. Розроблена методологія розгортання функції якості дозволила провести якісний аналіз, в результаті якого виявлені найбільш пріоритетні технічні характеристики для подальшого дослідження та розробки рекомендацій з покращення якості на підприємстві. В роботі також вперше застосовано діаграми Парето та Ісікава для встановлення факторів впливу на якість полімерного композитного матеріалу. У результаті проведеного структурного аналізу процесу розробки матеріалів з наперед заданими властивостями на підприємстві за методології IDEF0 підтверджено важливість проведення оцінки ризиків, пов'язаних із процесом багатокритеріальної оптимізації їх основних показників якості.

Ключові слова: ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИТНИЙ МАТЕРІАЛ, ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕН, ДІАГРАМА ПАРЕТО, ДІАГРАМА ІСІКАВА, РОЗГОРТАННЯ ФУНКЦІЇ ЯКОСТІ, QFD-АНАЛІЗ, МЕТОДОЛОГІЯ IDEF0.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	12
1.1. Цілі і завдання розгортання функції якості	15
1.2. Сфери використання методу.....	15
Висновки до розділу 1.....	16
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	17
Висновки до розділу 2.....	21
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	22
3.1. Аналіз факторів, які впливають на властивості виробів з ПТФЕ.....	22
3.1.1. Вплив полімерної матриці.....	22
3.1.2. Вплив вибору наповнювача.....	24
3.1.3. Технологія виготовлення.....	25
3.2. Проведення методу експертної оцінки і застосування статистичних методів в управлінні якістю ПТФЕ-виробів.....	34
3.3. Проведення розгортання функції якості при виробництві ПТФЕ- виробів.....	41
3.4. Процес створення ПКМ з наперед заданими властивостями на виробництві: практичні рекомендації.....	44
Висновки до розділу 3.....	50
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	51
4.1. Покупні комплектуючі вироби та матеріали.....	51
4.2. Розрахунок витрат за оплату праці.....	52
4.3. Накладні витрати.....	54
4.4. Собівартість робіт із впровадженням QFD-методу.....	54

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	55
5.1. ПТФЕ та ПТФЕ-композити.....	55
5.2. Вуглецеві волокна.....	56
5.3. Етиловий спирт.....	56
5.4. Правила безпеки під час виробництва ПТФЕ-композиції.....	57
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВСТУП

Характерними рисами більшості деталей машин є: висока енергонасиченість, велика маса, багатофункціональність та високий рівень металомісткості. Наслідком перерахованих особливостей є значні екологічні навантаження в процесі експлуатації техніки, викликані токсичними відпрацьованими газами, що відпрацювали, і експлуатаційними матеріалами, підвищеним тиском на ґрунт, електромагнітними полями, високим рівнем шуму, вібрації тощо. Усунення перерахованих недоліків значною мірою може бути досягнуто завдяки збільшенню частки неметалевих матеріалів, що застосовуються у машинобудівному виробництві.

Можливість створення неметалевих матеріалів із заздалегідь заданими фізико-механічними властивостями забезпечує оптимальні експлуатаційні властивості деталей машин і дозволяє значно підвищити їхню безвідмовність і довговічність. Більш мінша в порівнянні з металами питома маса більшості полімерних композитних матеріалів (ПКМ) забезпечує можливість значного зниження маси виробів машинобудування, що забезпечить зниження енергетичних та експлуатаційних витрат протягом усього життєвого циклу машин. Особливості будови, структури та виробництва ПКМ забезпечують можливість зниження витрат на їхню утилізацію після завершення життєвого циклу машини.

До методів управління якістю для удосконалення машинобудівних підприємств відносяться наступні напрями:

- 1) поєднання принципів загального менеджменту якості (Total Quality Management – TQM) з концепцією економного виробництва;
- 2) впровадження систем менеджменту якості відповідно до вимог стандартів ISO серії 9000;
- 3) застосування простих статистичних методів управління якістю у поєднанні з методологією «Шість сигма».

Сучасний підхід до управління якістю при розробці та створенні виробів з композиційних матеріалів передбачає об'єднання всіх перерахованих напрямів організаційного вдосконалення в єдину систему.

Застосування методів управління якістю включає як використання класичних інструментів контролю якості, так і активний розвиток принципів та методів управління якістю, що забезпечують вдосконалення управління інноваційними проектами, якими є нанотехнології, створення кристалічних та композиційних матеріалів. Створення композиційних матеріалів та управління якістю в даній області, як сфері застосування інновацій, базується на використанні сучасних та ефективних методів управління якістю.

Аналіз підприємств показав, що існуючі методи забезпечення якості спрямовані на виявлення проблем у процесі виробництва або після виготовлення продукції. Використання методу розгортання функції якості (QFD-аналізу) полягає в усуненні прогалини у взаємозв'язку маркетингових і конструкторських відділів підприємства, що дозволяє усувати недоліки та низьку конкурентоздатність продукції ще на стадії її розробки.

Цим і визначається актуальність теми даної магістерської роботи.

Абревіатура QFD розшифровується як Quality Function Deployment. Це математичний метод, який дозволяє виявити переваги та цінності споживачів: що людям подобається у конкретному продукті; що вони очікують від нього; які чинники орієнтуються, роблячи вибір.

Основна ідея технології QFD полягає в розумінні того, що між споживчими властивостями (фактичними показниками якості) і встановленими в стандартах параметрами продукту (допоміжними показниками якості) існує велика відмінність. Допоміжні показники якості важливі для виробника, але не суттєві для споживача. Ідеальним випадком був би такий, коли виробник міг проконтролювати якість продукції безпосередньо за фактичними показниками, але це зазвичай неможливо, тому він користується допоміжними показниками.

Технологія QFD – це послідовність дій виробника щодо перетворення фактичних показників якості виробу на технічні вимоги до продукції, процесів та обладнання. Основним інструментом технології QFD є таблиця спеціального виду, що отримала назву «будиночок якості». У цій таблиці відображається зв'язок між фактичними показниками якості (споживчими властивостями) та допоміжними показниками (технічними вимогами).

Мета роботи – проведення статистичного аналізу факторів впливу на якість композитних матеріалів та розробка методології розгортання функції якості при виготовленні композитних матеріалів на виробництві.

Об'єкт дослідження – статистичні методи аналізу факторів впливу на якість композитних матеріалів, методологія розгортання функції якості на досліджуваних композитах.

Предмет дослідження – полімерні композитні матеріали.

Методи дослідження – стандартні методи визначення експлуатаційних властивостей композиту, методи структурного аналізу матеріалів, діаграма Парето, діаграма Ісікава, QFD-аналіз, методологія IDEF0, методи математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів. Вперше проведено розгортання функції якості при виготовленні полімерних композитних матеріалів на підприємстві. Розроблена методологія розгортання функції якості дозволила провести якісний аналіз, в результаті якого виявлені найбільш пріоритетні технічні характеристики для подальшого дослідження та розробки рекомендацій з покращення якості на підприємстві. В роботі також вперше застосовано діаграми Парето та Ісікава для встановлення факторів впливу на якість полімерного композитного матеріалу. У результаті проведеного структурного аналізу процесу розробки матеріалів з наперед заданими властивостями на підприємстві за методології IDEF0 підтверджено важливість проведення оцінки ризиків, пов'язаних із процесом багатокритеріальної оптимізації їх основних показників якості.

РОЗДІЛ 1.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метод QFD – це експертний метод, який використовує табличний спосіб представлення даних, причому зі специфічною формою таблиць, що отримали назву «будинок якості».

Розгортання функції якості (QFD) є оригінальною японською методологією, мета якої полягає в гарантуванні якості з першої стадії створення та розвитку нового продукту. Процедура перетворення вимог споживача отримала назву Розгортання функції якості (РФЯ, Quality Function Deployment – QFD).

Метод QFD або метод Розгортання функції якості був розроблений в 1966 році японцем Йойі Акао та вперше застосований на практиці на фірмі Matsushiba Electric, де отримав назву «План забезпечення якості». Найбільший внесок у розвиток цього методу зробили японські вчені Й. Акао та С. Мі-дзуно, які систематизували основні ідеї та проблеми застосування методу. Дещо пізніше, на початку 70-х років, концепція QFD була реалізована на фірмі Mitsubishi Heavy Industries, досвід якої надихнув корпорацію Toyota, і наприкінці 70-х вона також впровадила QFD. З 1977 року за цим методом працює весь концерн Toyota. У 1983 р. методологія структурування (а в численних літературних джерелах практикують вираз «розгортання») функції якості вперше була представлена в США, а дещо пізніше – і в Європі. Сьогодні метод QFD успішно використовується різними компаніями в Японії, США та Європі, що дозволило таким усесвітньо відомим компаніям, як Rank Xerox, Ford, Hewlett-Packard, Motorola и Digital досягти вагомих результатів [1].

У основі цієї моделі лежить модель профілю якості, розроблена японським вченим Н. Кано. У відповідності до цієї моделі, профіль якості продукції (послуги) включає три складові – базова, бажана і необхідна якість. Її завдання полягає в раціональному їх поєднанні.

Базова (основна) якість відображає характеристики продукції (послуги), які, на думку споживачів, є очевидними і, як правило, про них не інформують виробника. Наприклад, безпека, надійність, екологічність продукції (послуги). Ігнорування базової якості виробником може викликати серйозні проблеми, аж до втрати клієнтури.

Необхідна якість охоплює технічні і функціональні характеристики продукції (послуги), які є в першу чергу значущими для споживача і впливають на сприйману цінність продукції (послуги). Необхідні характеристики в першу чергу використовуються виробником в рекламі. По потрібним характеристикам якості і їх сприйняттю споживачами можна судити, наскільки нова продукція або послуга відповідає очікуванням споживачів.

Бажана якість представлена характеристиками продукції або послуги, про які споживачі раніше не знали, а іноді навіть не мріяли, але після появи нового продукту високо їх оцінили (наприклад, послуга високошвидкісного Інтернету через телефон). Характеристики бажаної якості високо цінуються споживачами і створюють великі конкурентні переваги для виробника на тривалий період. У той же час характеристики бажаної якості з'являються, як правило, в результаті проведення дорогих науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, крупних інвестицій в створення і освоєння випуску принципово нової продукції або послуги.

Згідно до моделі QFD виділяють чотири етапи розгортання функцій якості:

1. Планування продукту.
2. Проектування продукту.
3. Проектування процесів.
4. Проектування виробництва [2].

Найбільш відповідальним є етап планування продукту, на якому повинні бути виявлені групи потенційних споживачів нового продукту або послуг, їх потреби і очікування. Досвід показує, що до 80% додаткових витрат,

викликаних змінами в період розробки і реалізації проекту, розробки і освоєння випуску нової продукції (послуги), удосконалення старої продукції чи послуги, обумовлені помилками у встановленні потреб потенційних споживачів [3].

На другому етапі моделі QFD на основі заданих характеристик продукту здійснюється його проектування. Наприклад, у разі розробки нової моделі автомобіля на цьому етапі буде підготовлений повний комплект конструкторської документації. Характеристики продукції можуть коректуватися і уточнюватися, якщо в цьому виникає потреба (зміна цін на матеріали і що комплектують вироби, зміну кон'юнктури ринку).

Завершується другий етап розробкою повного деталювання і специфікацій. Специфікації містять вимоги, яким повинна відповідати кожна деталь, що комплектує виріб. При розробці специфікацій важливо не завищити вимоги до деталей, оскільки це приводить до зростання собівартості новій продукції і створенню «зайвої якості».

На етапі «проектування процесів» на основі специфікацій проектується процеси закупівлі матеріалів і комплектуючих виробів, проводиться вибір постачальників, проектується технологічні процеси виготовлення окремих деталей, розробляється комплект технологічної документації, визначаються основні параметри процесів.

На етапі «проектування виробництва» опрацьовуються питання організації виробництва нової продукції (послуги), вибирається необхідне технологічне устаткування, а також устаткування для здійснення технічного контролю, розробляються необхідні процедури і робочі інструкції для процесів виготовлення, збірки, контролю і випробування продукту (послуги), використання яких забезпечить високу якість його виготовлення (представлення).

Кваліфіковане використання моделі QFD дозволяє уникати серйозних прорахунків при розробці і освоєнні виробництва нової продукції (послуг) за

рахунок ретельно підготовленого і проведеного проектування нового продукту. На це націлюють стандарти ISO серії 9000.

У основі QFD лежить використання серії матриць — так званих «будинків якості», що дозволяють інтегрувати вимоги споживачів до рівня якості з параметрами продукту або процесу. У матриці вимоги покупців представлені у рядках, а параметри продукту/процесу — в стовпцях.

1.1. Цілі і завдання QFD-методології.

QFD-методологія використовується для забезпечення кращого розуміння очікувань споживачів при розробці та вдосконаленні продукції послуг і процесів із застосуванням все більшої і більшої орієнтації на встановленні і передбачуванні потреби споживачів, а також дозволити «голосу споживачів» бути ясно почутим в процесі вдосконалення як продукції, так і відповідних виробничих операцій.

1.2. Сфери використання методу.

QFD застосовується в широкому спектрі застосувань, зокрема в дизайні продуктів, виробництво, виробництво, інжиніринг, дослідження та розробки (НДДКР), інформаційні технології (ІТ), підтримка, тестування, регулювання та інші фази в обладнанні, програмному забезпеченні, сервісному обслуговуванні, та системні організації. функції організації, необхідні для забезпечення задоволеності споживачів, включаючи бізнес-планування, упаковку та логістику, закупівлі, маркетинг, продажі та обслуговування. QFD також застосовується в галузі підвищення якості, управління якістю, військових потреб та споживчих товарів. Заявки на обслуговування клієнтів для вдосконалення освіти та послуги в готелях тощо.

Висновок до розділу 1.

Метод QFD – це експертний метод, який використовує табличний спосіб представлення даних, причому зі специфічною формою таблиць, що отримали назву «будинки якості».

Розгортання функції якості є оригінальною японською методологією, мета якої полягає в гарантуванні якості з першої стадії створення та розвитку нового продукту. Процедура перетворення вимог споживача отримала назву Розгортання функції якості (РФЯ, Quality Function Deployment – QFD).

В цілому, QFD-аналіз дозволяє не тільки формалізувати процедуру визначення основних характеристик продукту, що розробляється з урахуванням побажань споживача, але й приймати обґрунтовані рішення з управління якістю процесів його створення.

Таким чином, «розгортаючи» якість на початкових етапах життєвого циклу продукту відповідно до потреб і побажань споживача, вдається уникнути коригування параметрів продукту після його появи на ринку (або принаймні звести її до мінімуму), а отже, забезпечити високу цінність і водночас щодо низьку вартість товару (за рахунок мінімізації невиробничих витрат).

РОЗДІЛ 2.

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

«Дах» «будинку якості» — матриці — показує ступінь кореляції між параметрами продукту/процесу, а права частина матриці дозволяє оцінити успішність задоволення вимог клієнтів щодо конкурентів або якнайкращих досягнень в даній області (рис. 1). Використовуючи бальну оцінку характеру залежності вимог споживачів від властивостей продукції одержують наочну картинку якнайкращого варіанту проекту, переводячи вимоги споживачів в конкретні властивості продукції.

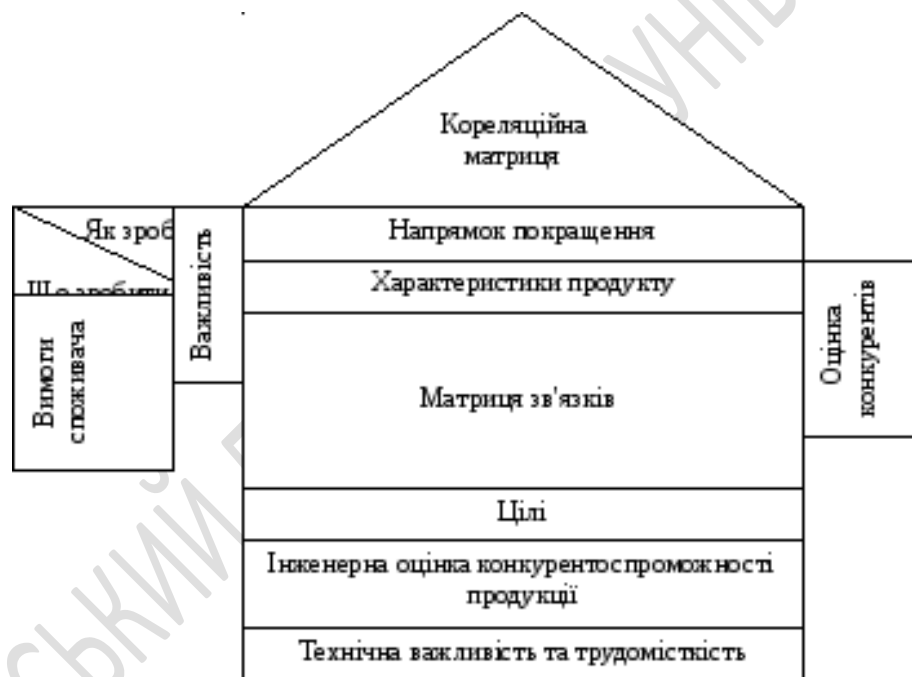


Рисунок 1. Базова структура QFD-діаграми («будинку якості»).

Будинок якості містить такі елементи:

Вимога клієнта. Структурований перелік вимог, що удержується із заяв клієнта.

Технічні вимоги. Структурована сукупність релевантних і вимірюваних параметрів продукції або послуги.

Матриця планування. Ілюструє сприйняття клієнта, спостережувані в ході дослідження ринку. Включає відносну важливість вимог клієнта, ефективність компанії і конкурентів в задоволенні цих вимог.

Матриця взаємин. Ілюструє сприйняття групи QFD відносно взаємин між технічними і споживчими вимогами. Застосовується відповідна шкала, яка ілюструється з використанням символів або цифр. Здійснюється це за допомогою обговорень і досягнення консенсусу усередині групи. Концентрація на ключових відносинах і мінімізація числа вимог є корисними методами для скорочення запитів до ресурсів.

Матриця технічної кореляції. Використовується для визначення того, де технічні вимоги підтримують або перешкоджають зміни послуги або продукту. Можливість для інновацій.

Технічні пріоритети, орієнтири і цільові показники. Використовуються для запису:

- пріоритетів, що приписуються технічним вимогам матриці;
- вимірювань технічних характеристик, що досягаються конкурентною продукцією або послугою;
- ступені труднощі в розвитку кожної вимоги.

Остаточним результатом матриці стає сукупність цільових показників для кожної технічної вимоги, які співвідносяться з клієнтськими запитами.

Спочатку важливі (необхідні, критичні) побажання споживачів за допомогою першого «будинку якості» перетворюються в детальні технічні характеристики продукції, а потім (за допомогою трьох «будинків якості») – в детальні технічні вимоги спочатку до характеристик компонентів продукції, потім – до характеристик процесів і, зрештою, як до способів контролю та управління виробництвом, так і до устаткування для здійснення цього виробництва.

Перший «будинок якості» (рис. 2) встановлює зв'язок між побажаннями споживачів і технічними умовами, що містять вимоги до характеристик продукції [4].

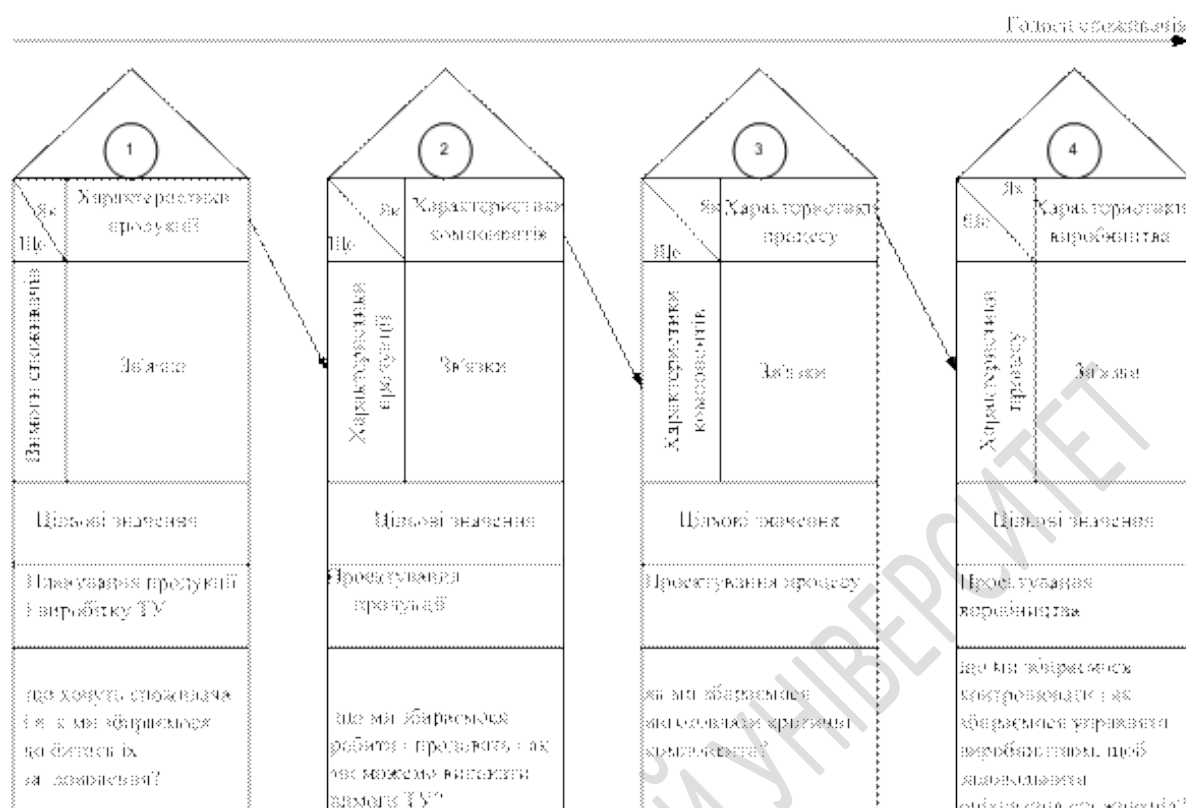


Рисунок 2. Основні кроки послідовного застосування QFD-методології [4].

Для другого «будинку якості» центром уваги є взаємозв'язок між характеристиками продукції та характеристиками компонентів (частин) цієї продукції.

Третій «будинок якості» встановлює зв'язок [4] між вимогами до компонентів продукції та вимогами до характеристик процесу. В результаті встановлюються індикатори (критерії) виконання найважливіших (критичних) процесів.

Нарешті, із застосуванням четвертого «будинку якості» характеристики процесу перетворюються в характеристики обладнання та способи контролю технологічних операцій виробництва, які слід застосувати для випуску якісної продукції за прийнятною ціною, що має забезпечити високий рівень задоволеності споживачів [5].

В результаті застосування QFD-методології, крім іншого, отримані вимоги до обладнання та до технологічних операцій виробництва включаються як невід'ємні частини в стандартні робочі інструкції для кожного кроку виробничого процесу.

QFD-методологія використовується для забезпечення кращого розуміння очікувань споживачів при проектуванні, розробці та вдосконаленні продукції, послуг і процесів із застосуванням все більшої і більшої орієнтації на встановлені й передбачувані потреби споживачів.

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Висновки до розділу 2.

«Дах» «будинку якості» — матриці — показує ступінь кореляції між параметрами продукту/процесу, а права частина матриці дозволяє оцінити успішність задоволення вимог клієнтів щодо конкурентів або якнайкращих досягнень в даній області. Використовуючи бальну оцінку характеру залежності вимог споживачів від властивостей продукції одержують наочну картинку якнайкращого варіанту проекту, переводячи вимоги споживачів в конкретні властивості продукції.

За допомогою QFD - аналізу можна побачити, які властивості товару (або сервісу) мають найбільше значення для клієнта, а які можуть бути введені в процесі поліпшення технічних і споживчих властивостей.

Такий підхід дозволяє вирішити одразу три питання:

- акцентувати маркетингову політику на якостях, які вже були високо оцінені споживачами, сформувати унікальну торгову пропозицію;
- правильно опрацювати політику удосконалення характеристик;
- обрати коректні канали та інструменти просування, за допомогою яких можна максимально швидко і точно донести до потенційних споживачів інформацію про конкурентні переваги вашої пропозиції.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1. Аналіз факторів, які впливають на властивості виробів з ПТФЕ

3.1.1. Вплив полімерної матриці.

Найважливіший компонент композиційного матеріалу – матриця. Вимоги, що пред'являються до них, поділяють на експлуатаційні та технологічні. Експлуатаційні, зумовлені як механічними, так і фізико-хімічними властивостями матриці і забезпечують працездатність композиції під впливом експлуатаційних факторів. Механічні повинні забезпечити роботу армуючих волокон під впливом різних видів навантажень.

Основа матриці визначає робочі температури композиційного матеріалу, характер варіювання властивостей під впливом різних факторів. З підвищенням температури міцність та пружні характеристики матеріалів матриці знижуються. Матриця також визначає хімічну стійкість, електричні, частково теплофізичні та інші властивості.

В останні роки в якості матриць все частіше застосовують термопластичні матеріали. До їх конструкторських переваг відносять надійність виробів з них, обумовлену низьким рівнем залишкових напруг, що релаксують у термопластичній матриці в початкові години після формування виробів [6, 7]. Також значними є їх технологічні переваги: необмежена життєздатність сировини та напівфабрикатів, малий цикл формування виробів внаслідок виключення необхідності затвердіння сполучного, широкі технологічні можливості внаслідок застосування характерних для термопластів методів виробництва.

Додаткові перспективи та екологічний ефект з'являються внаслідок зниження трудомісткості виправлення технологічних дефектів та можливості утилізації відходів та переробки виробів. Застосування термопластичних

матриць також може сприяти істотному зниженню собівартості продукції з композиційних матеріалів. До недоліків можна віднести: залежність характеристик композиційних матеріалів від впливу температури, низьку теплостійкість термопластів (виключаючи спеціальні теплостійкі матеріали) та технологічні складності, внаслідок високої в'язкості їх у розчинах та розплавах.

У даній роботі розглядаються композиційні матеріали з високими фізико-механічними властивостями для роботи в умовах інтенсивного зношування. Основними критеріями, закладеними при розробці таких матеріалів, є здатність працювати без мастила, знижений знос самої деталі та з'єднуваної поверхні, стійкість до хімічного впливу агресивних середовищ, надійна робота при низьких температурах [8]. В якості полімерної матриці, яка найбільш повно задовольняє зазначеним вище критеріям, обрано політетрафторетилен (ПТФЕ) завдяки його унікальним властивостям [9]. Він є незамінним матеріалом у компресорах, які повинні забезпечувати високу чистоту стиснутих газів і використовується в хімічній, харчовій, фармацевтичній та інших галузях [10]. Ці матеріали мають широкий спектр досяжних властивостей, що забезпечується використанням різноманітних технологічних прийомів отримання вихідних компонентів [11] і подальшого синтезу фаз композиції [12]. Через високу в'язкість розплаву (10^{10} Па·с) термопластичний ПТФЕ і композиції на його основі не можуть бути перероблені у виріб методами черв'ячної екструзії або лиття під тиском [13]. Тому в основі методів переробки композицій на основі ПТФЕ в композит лежить двохстадійний процес: отримання заготовки пресуванням і подальша термічна обробка заготовки [14]. У такий спосіб отримують заготовки найпростіших форм, з яких готові вироби виготовляють механічною обробкою на металорізальних верстатах.

3.1.2. Вплив вибору наповнювача.

Наповнювачі – це дрібнодисперсні порошки органічних та неорганічних речовин (каолін, крейда, азбест, оксиди металів, тальк, слюда, біла сажа тощо), волокна (бавовняні, азбестові, полімерні, скляні тощо), листи (тканини з різних волокон, папір тощо) [15]. Їх додають поліпшення експлуатаційних властивостей. Наповнювачі часто називаються зміцнювачами, оскільки вони відіграють головну роль у зміцненні композиційного матеріалу. За властивостями такі включення істотно перевершують матрицю, оскільки мають велику міцність, твердість і модуль пружності. Зі збільшенням модуля пружності та тимчасового опору наповнювача відповідні характеристики композиту підвищуються, хоча і не досягають властивостей наповнювача.

Композиційні матеріали за формою наповнювача поділяються на: шаруваті, волокнисті та дисперсно-зміцнені. Шаруваті композиційні матеріали – зміцнені двовимірними наповнювачами; волокнисті – зміцнені одновимірними або одновимірними та двовимірними наповнювачами; дисперсно-зміцнені – композити, зміцнені нуль-вимірними наповнювачами [16].

Розмір порошкоподібних наповнювачів – частинки, розміром від кількох нанометрів до десятків та сотень мікрометрів. Фракційний склад, форма частинок, як і його розмір, впливають на технологію виробництва композиційних матеріалів та його властивості. Дисперсні наповнювачі сприяють підвищенню в'язкості та температури переробки полімерів, зниженню технологічної усадки, збільшенню розмірної стабільності готових деталей, підвищенню модуля пружності матеріалу. Наповнювачі не тільки впливають на технологічні та експлуатаційні властивості матеріалів, а й, найчастіше, зменшують їх вартість, оскільки, в більшості випадків, дешевші за полімери.

Наповнювачі мають ряд загальних та спеціальних вимог, відповідно до яких ПКМ надаються необхідні властивості. До загальних вимог відносяться високий рівень змочуваності полімерним матеріалом, висока хімічна та

термічна стійкість, диспергування полімеру, нетоксичність, низька вартість. Спеціальні вимоги визначаються завданнями, які вирішуються за допомогою наповнювача: підвищення електропровідності, теплостійкості, створення негорючих матеріалів та зниження їх щільності, покращення технологічності та інші.

Отже, характеристики наповнених ПКМ визначаються властивостями полімерної матриці, дисперсного наповнювача та їхньої спільної дії на межі розділу [17].

Вміст наповнювачів у полімерному композиті має бути обґрунтованим з погляду можливості його переробки, з його збільшенням зростає в'язкість матеріалу з урахуванням впливу на експлуатаційні характеристики. Вміст наповнювача вище за оптимальний може погіршувати властивості композиційного матеріалу.

Основною вимогою, котрій повинен задовольняти наповнювач для ПТФЕ, є здатність витримувати нагрівання до температури 663 К, при якій відбувається спікання виробів з ПТФЕ [18]. Використовуючи різні за своєю природою і станом наповнювачі, для однієї і тієї ж полімерної матриці можна отримати докорінно відмінні за властивостями матеріали. Волокнисті наповнювачі знижують дальнюдію зародження тріщини в об'ємі композиту [19, 20], а дисперсні – підвищують енергетичний поріг утворення тріщини (руйнування) [21, 22].

3.1.3. Технологія виготовлення.

Створення виробів із заданими експлуатаційними характеристиками передбачає вибір методів та режимів обробки для забезпечення монолітності матеріалу, необхідної орієнтації та рівнонапруженості армуючого наповнювача.

На рис. 3 представлена узагальнена схема технології отримання ПТФЕ-композитів [23].



Рисунок 3. Схема технології отримання ПТФЕ-композитів.

Операції підготовки можуть включати сушіння, різні види енергетичної та хімічної обробки наповнювача; підготовку формоутворювальної оснастки та обладнання; приготування матриці та суміщення її з наповнювачем. Також при виборі методу отримання заготовок виробу слід враховувати структуру і форму армуючого наповнювача, що застосовується. ПТФЕ добре забезпечує самозмащувальні властивості композиту, але відзначається низькою поверхневою енергією [24, 25]. Це утруднює одержання міцного адгезійного зв'язку між наповнювачем і матрицею, що різко знижує фізико-механічні характеристики композитів при введенні до їх складу наповнювачів [26].

Єдиною можливістю створення міцного адгезійного з'єднання є структурна модифікація поверхні полімеру і наповнювача.

ПТФЕ доцільно модифікувати шляхом механічної активації, тобто змінювати його фізико-механічні властивості без зміни хімічного складу полімеру і його молекулярної маси, тобто зміна надмолекулярної структури полімеру. Механічна активація застосовується для зміни реакційної здатності твердих тіл, під якими розуміють прискорення або підвищення ефективності хімічних або фізичних процесів [27]. Дана технологія завдяки низьким енерго- та металоємністю обладнання, простотою та безпекою процесу широко використовується в промисловості для активації малих молекул (наприклад, кульове подрібнення) [28]. Досліджено, що композити на основі ПТФЕ з механоактивованими компонентами значно перевершують за показниками міцності та зносостійкості матеріали аналогічного складу, отриманих за традиційною технологією [29-35]. Однак механохімічні технології модифікування ПТФЕ ще не знайшли промислового впровадження, хоча результати лабораторних досліджень є обнадійливими щодо підвищення міцності механоактивованих наповнених ПТФЕ-композитів. Це опосередковано свідчить про підвищений рівень адгезії на межі розділу «ПТФЕ-наповнювач» [36].

Змішування. Змішування – це складні фізико-хімічні та фізико-механічні процеси, пов'язані з впливом силових полів, переміщенням вихідних компонентів суміші в об'ємі змішувального апарату за складними траєкторіями, з утворенням системи, що характеризується статистично випадковим розподілом компонентів.

Найбільш простим, продуктивним та найменш енергоємним є «сухий» спосіб змішування компонентів композиції на основі ПТФЕ. Реалізація методу «сухого» змішування стала можливою після розробки устаткування отримання тонкомолотого порошку ПТФЕ.

Основними факторами, що впливають на процес формування структури матеріалу та його властивостей при сухому змішуванні ПТФЕ та наповнювача є [37, 38]:

- механіко-фізичні властивості та масове співвідношення вихідних компонентів суміші;
- тип та технічні характеристики змішувального обладнання (швидкість обертання робочих органів змішувача, форма робочих органів, ступінь завантаження змішувальної камери, потужність приводу);
- час змішування композиції;
- технологія введення компонентів суміші в змішувальний апарат;
- вплив на компоненти композиції в процесі змішування температури, тиску або розрідження.

Пресування заготовок. Технологія пресування – це пресування дискретних матеріалів, що ущільнюються в прес-формі під дією тиску для отримання заготовки або виробу із заданими розміром, формою і щільністю, що забезпечує ефективність отримання композитів з необхідними експлуатаційними властивостями [39]. Ущільнюваний матеріал – це тіло, що складається з дискретних структуроутворюючих елементів (фаз), певним чином взаємно орієнтованих і упакованих в його об'ємі з утворенням механічних, адгезійних та інших зв'язків в місцях взаємного контакту частинок ПТФЕ і наповнювача.

Сутність методу пресування полягає в отриманні з пухкого порошку політетрафторетилену таблетки-заготовки в результаті щільнішої упаковки частинок порошку під впливом доданого до нього тиску (рис. 4) [40]. У процесі прикладання тиску до пресованого порошку відбуваються поступове зближення частинок порошку за рахунок видалення повітря, що міститься всередині порошку, деформація частинок та їх часткова орієнтація в площині пресування. При цьому слід мати на увазі, що в процесі пресування тиск, що додається, зменшується за рахунок тертя частинок порошку об стінки прес-форми, що обумовлює виникнення градієнта щільності по висоті пресованої

таблетки, який тим більше, чим більше висота засипаного порошку. Такий самий характер градієнта щільності зберігається і в спечених заготовках, а це викликає анізотропію властивостей готового виробу [40].

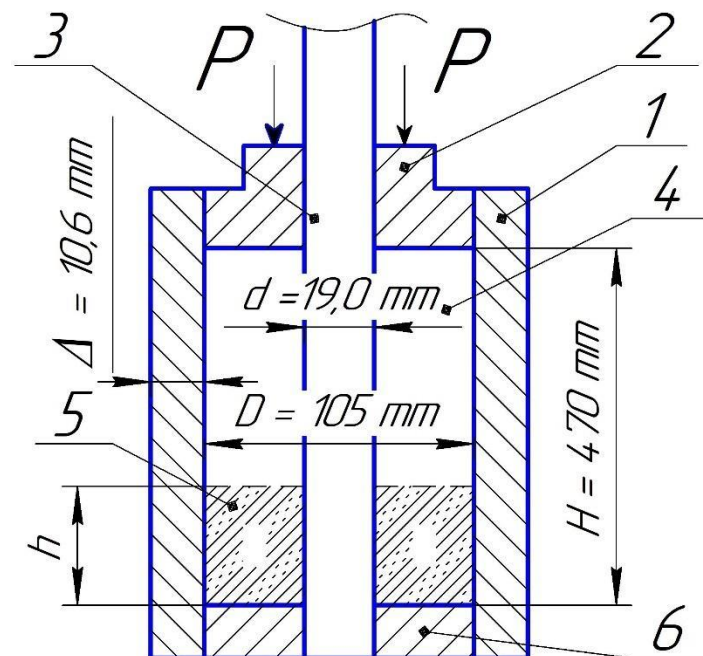


Рисунок 4. Схема компресійного пресування ПТФЕ-композитів: 1 – матриця; 2, 6 – верхній та нижній пуансони; 3 – дорн; 4 – навішування порошку; 5 – спресована таблетка [35].

Сутність процесу пресування дискретного матеріалу подібна пресуванню суцільного тіла, з тією різницею, що можливість суцільного тіла деформуватися в поперечному напрямку замінюється можливістю руху всередину самого себе за рахунок зменшення пористості. Об'єм дискретного тіла при пресуванні змінюється в результаті заповнення порожнин між частинками за рахунок їх зміщення і пластичної деформації.

Технологічний процес пресування включає наступні стадії: підготовка преса та прес-форми; засипання порошку у прес-форму; попереднє підпресування; витримка за максимального тиску пресування; зняття тиску; вилучення таблетки з прес-форми (рис.5).

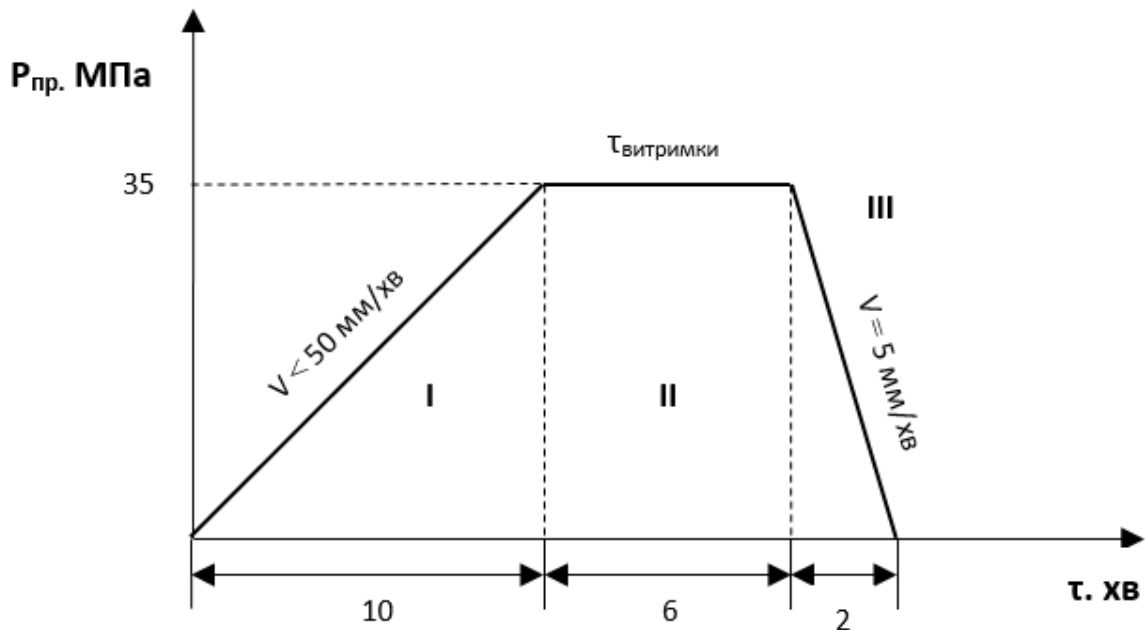


Рисунок 5. Графік реального процесу пресування ПТФЕ-композиції гідравлічним пресом МС-500 (лабораторія Сумського державного університету, Україна).

На першій стадії ущільнення порошку ПТФЕ-композиції відбувається за рахунок перерозподілу частинок порошку і заповнення ними пор, утворених під час вільної засипки порошку матеріалу. Таке ущільнення не супроводжується пластичною деформацією часток порошку композиції. Як показують дослідження, ця стадія характеризується значним впливом пружного розвантаження деяких контактів, яке відбувається вже на самому початку процесу ущільнення порошкової маси композиції. Таке місцеве розвантаження частини контактів зменшує сили адгезійного зв'язку між ними, а також призводить до скорочення площі зіткнення відповідних контактів між частинками і, отже, до виникнення контактних напружень [40].

Друга стадія процесу характеризується тим, що частинки порошку композиції, упаковані максимально щільно, надають певний опір стиску, тиск пресування зростає, а щільність порошкового тіла при цьому деякий час не збільшується. При цьому через пружну деформацію частинок роль місцевого

розвантаження контактів незначна, а пластична деформація в приконтактній зоні носить обмежений місцевий характер.

Коли тиск пресування перевищує опір стиснення частинок порошку і починається їх пластична деформація, процес ущільнення порошку композиції переходить у третю стадію. З цього моменту пластична деформація охоплює весь об'єм кожної частки фаз ПТФЕ-композиції, зсув контактів фактично припиняється і вони фіксуються або руйнуються при досягненні значень контактних напружень вище за границю міцності.

Після пресування в спресованій таблетці виникають пружні та високоеластичні напруги, які виявляються: перші - при знятті тиску пресування, другі – в процесі зберігання та при спіканні заготовки. Прояв пружних напруг підтверджується тим, що після зняття тиску пресування розмір таблетки збільшується на 2-3%.

Термічна обробка заготовок. Заключною стадією виробництва ПТФЕ-композитів є термічна обробка заготовок — переважно вільна випічка в термічних печах, вилучених з прес-форм таблеток (рис. 6).

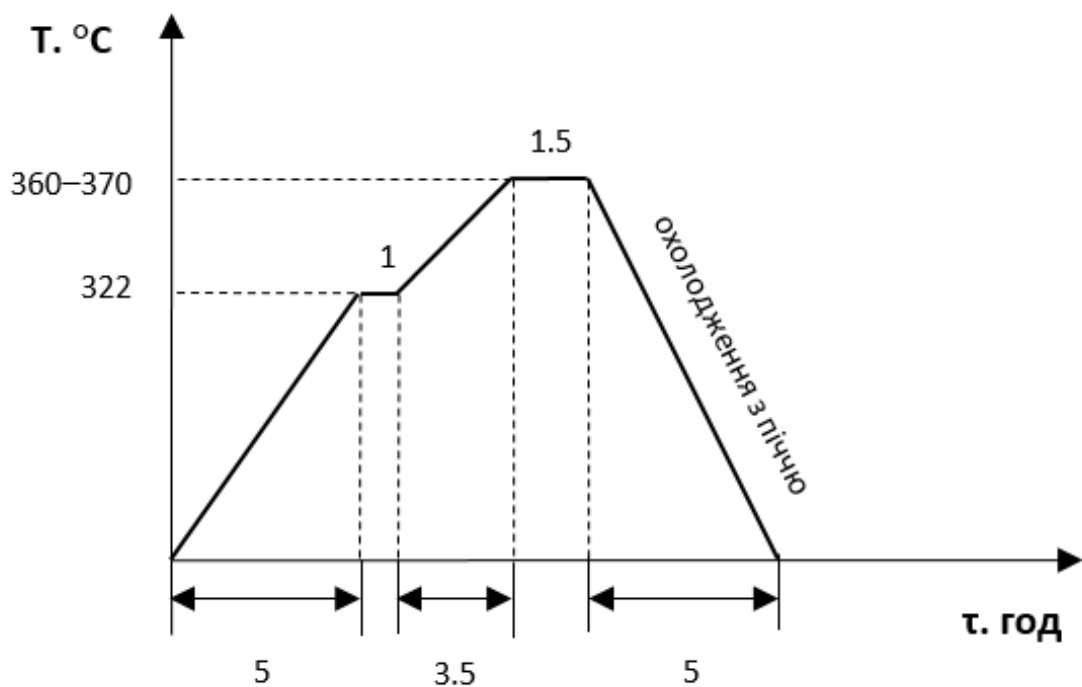


Рисунок 6. Графік реального процесу спікання ПТФЕ-композиції (лабораторія Сумського державного університету, Україна).

Під час спікання в неспеченій композиції послідовно проходять такі процеси, що викликають зміну її об'єму:

1) термічне розширення матеріалу, що проходить практично протягом усього циклу нагріву до 370 ± 10 °С;

2) перехід кристалічної фази ПТФЕ в аморфну, що супроводжується збільшенням обсягу таблетки на 25 % при температурах вище 342 °С для порошків, які раніше не піддавалися термообробці, або вище 327 °С – для повторно термооброблюваних матеріалів; перехід відбувається з появою прозорості таблетки;

3) термічна релаксація високоеластичних напружень, отриманих у процесі таблетування – до температури 342 °С;

4) сплавлення окремих частинок матеріалу в суцільний моноліт, що супроводжується усуненням порожнеч між частинками та злипанням останніх між собою, що призводить до деякого зменшення обсягу таблетки. Виникнення високоеластичної напруги при спіканні таблетки проявляється в тому, що заготівля після охолодження зменшується в об'ємі на 5-8%.

В основі процесу злипання частинок полімеру між собою при термічній обробці лежить дифузійно-сегментаційний механізм, що відбувається в часі, тому реалізація його потребує певного часового інтервалу. При переході полімеру з кристалічної фази в аморфну – плавлення кристалітів за температури 342 °С – починається злипання частинок. Однак сегментаційна рухливість макромолекул при зазначеній температурі ще недостатня для початку дифузії сегментів, тому потрібне деяке підвищення температури - на 30-40 °С вище за температуру плавлення кристалітів. До початку підвищення температури повного прояснення полімеру ще не настає, але зі збільшенням кількості теплоти, що підводиться, зростає рухливість сегментів в макромолекулах, відбувається їх активна взаємодія між собою, що супроводжується витісненням існуючих порожнин і деяким зменшенням об'єму таблетки, що зовні проявляється в досягненні суцільної прозорості таблетки. Таким чином, процес злипання частинок здійснюється в певному

часовому інтервалі, що вимагає витримки полімеру при максимальних температурах, що забезпечують найбільшу рухливість сегментів макромолекулах.

У процесі спікання таблетки на стадії сплаву частинок полімеру закладаються хімічні, фізико-механічні та електричні властивості майбутнього виробу, тому спікання є найважливішим етапом технологічного процесу виготовлення виробів. Після витримки таблетки при максимальній температурі на стадії її охолодження формується надмолекулярна структура полімеру, яка також дуже впливає на властивості майбутнього виробу.

Механічна обробка заготовок. Заготовки з ПТФЕ легко обробляються всіма методами механічної обробки на універсальних металорізальних верстатах: токарних, фрезерних, свердлильних, стругальних і вирубних пресах [39].

Але, порівняно з обробкою металів, обробка ПТФЕ має ряд особливостей, пов'язаних з його фізико-механічними властивостями, які визначають технологічні режими обробки та геометрію різального інструменту:

- низька теплопровідність полімеру, яка на два порядки нижча, ніж у конструкційних сталей;
- великий коефіцієнт лінійного розширення, що в 10 разів перевищує цей показник конструкційних сталей;
- наявність переходу однієї кристалічної модифікації в іншу за температури $19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ і пов'язана з цим зміна об'єму деталі на $1,5\%$
- у процесі різання у виробі виникають пружні та пластичні деформації, які значно вищі, ніж у сталей;
- значно нижча, ніж у сталей поверхнева твердість.

3.2. Проведення методу експертної оцінки і застосування статистичних методів в управлінні якістю ПТФЕ-виробів

Дослідження методів управління якістю полімерних композиційних матеріалів на основі ПТФЕ було проведено на базі ТОВ «СумиПластПолімер» (м. Суми, Україна).

На процес створення та виробництва виробів з полімерних композиційних матеріалів впливає безліч факторів, для аналізу яких був застосований метод експертної оцінки. В якості експертів були запрошені п'ять кваліфікованих спеціалістів в галузі матеріалознавства, порошкової металургії, композиційних матеріалів, механічної інженерії.

В результаті попереднього аналізу впливу факторів на основний показник показники якості виробу – зносостійкість, була побудована причинно-наслідкова діаграма (діаграма Ісікава) (рис. 7).

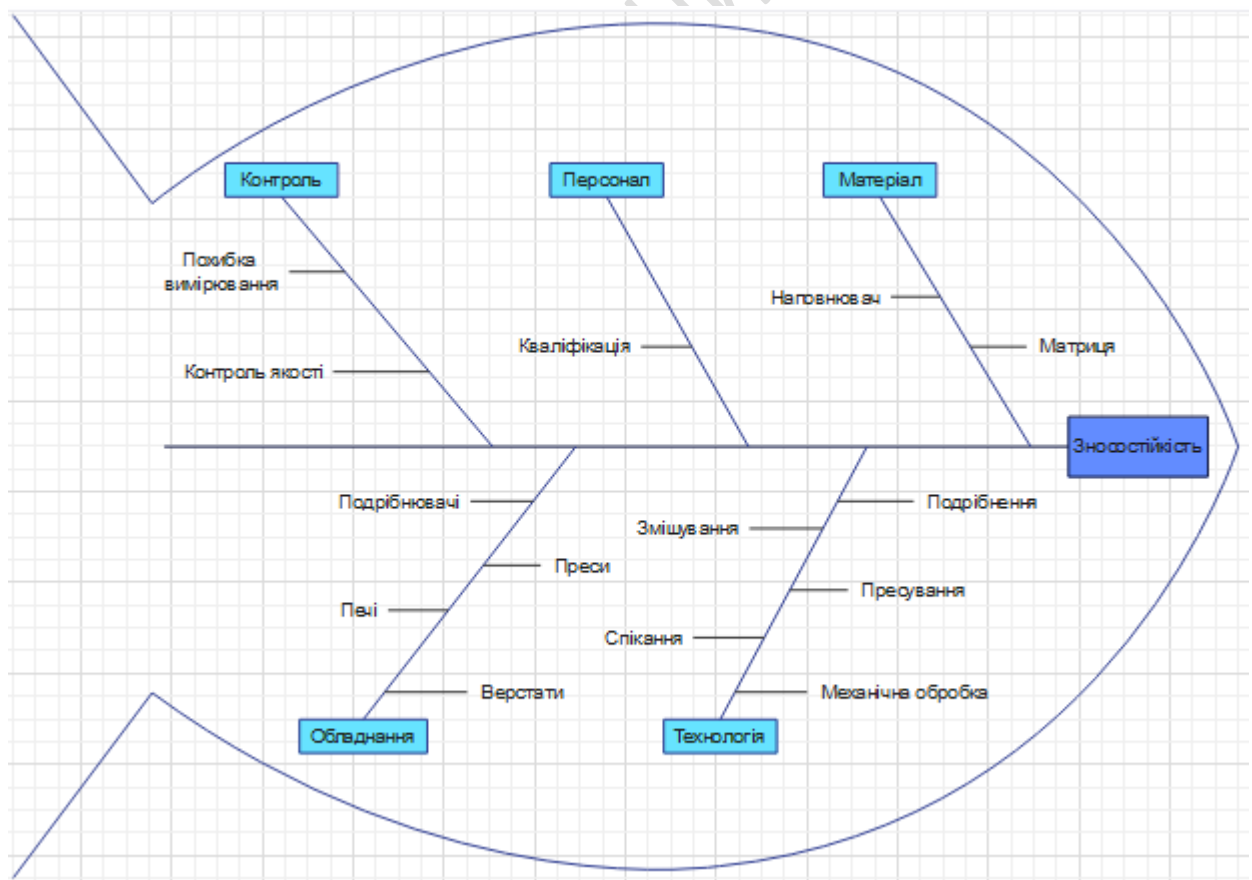


Рисунок 7. Причинно-наслідкова діаграма впливу факторів на зносостійкість ПТФЕ-виробів.

На основі досвіду виробництва, правила «5М» та попередніх досліджень були встановлені найбільш важливі фактори, що впливають на наведені показники та їх можливі граничні значення. До таких факторів належать такі:

- 1) матеріал (склад, матриця та наповнювачі);
- 2) технологія виготовлення (подрібнення, змішування, пресування, спікання, механічна обробка);
- 3) методи та засоби вимірювання, контролю регульованих параметрів та показників якості виробів.
- 4) обладнання та оснащення.

Для визначення вагомості кожного фактору при опитуванні експертів була складена анкета, зразок якої наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Розроблена форма для експертних оцінок впливу факторів на зносостійкість ПТФЕ-виробів.

Фактори першого рівня	%	Фактори другого рівня	%	Фактори третього рівня	%
1	2	3	4	5	6
Вихідна сировина		Матриця		Марка полімеру	
				Розмір частинок порошку	
		Наповнювач		Хімічна природа	
				Розмірність та форма включень	
Технологія виготовлення		Подрібнення		Час і швидкість подрібнення	
		Змішування		Час і швидкість змішування	
		Пресування		Режими пресування (тиск, витримка)	
		Спікання		Нагрів, витримка, охолодження пресовки	

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
		Механічна обробка		Швидкість різання, охолоджуюче середовище, наявність стружки	
Обладнання та оснащення		Подрібнювачі		Умови подрібнення (тепловідвід, вакуум), ножі, оберти	
		Преси		Геометрія та шорсткість прес-форми	
		Піч		Режими термічної обробки (швидкість нагріву/охолодження), атмосфера печі	
		Металорізальні верстати		Матеріал і твердість різального інструменту, умови точіння, точність розмірів	
Контроль		Похибка вимірювання		Похибка обладнання	
				Похибка методики вимірювання	
		Контроль якості		Візуальний контроль	
				Визначення фізико-механічних характеристик заготовки	
Персонал		Кваліфікація		Освіта	
				Підвищення кваліфікації	
				Досвід	

На підставі результатів анкетування складено таблиці кількісного впливу факторів на основний показник якості виробів (табл. 2-4) та діаграми Парето для двох рівнів (рис. 8-10).

Таблиця 2. Експертні оцінки вагомості факторів впливу за правилом «5М», %.

Фактори першого рівня	Оцінка експерта					Середнє значення	Накопичений відсоток
	1	2	3	4	5		
Вихідна сировина	50	60	40	30	55	47	47
Технологія виготовлення	30	15	30	40	25	28	75
Обладнання та оснащення	10	5	20	15	10	12	87
Контроль	5	15	5	10	5	8	95
Персонал	4	3	2	4	2	3	98
Інше	1	2	3	1	3	2	100
Всього						100	

Таким чином, виявилось, що на першому рівні вплив матеріалу та технології на якість ПКМ є основним і становить 75 %.

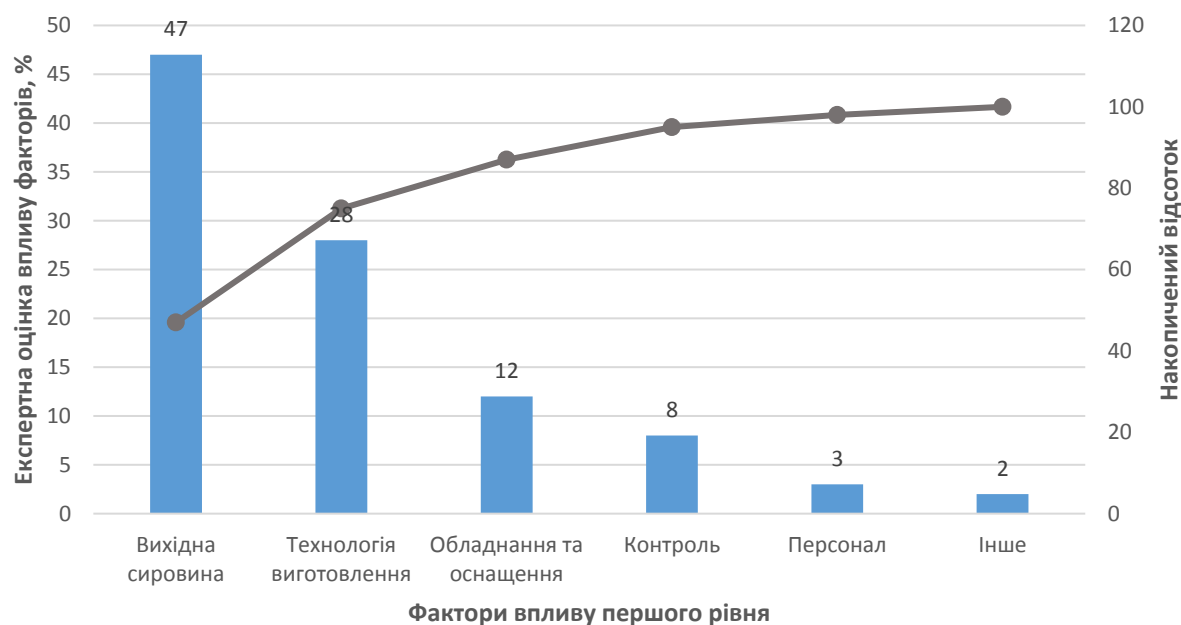


Рисунок 8. Діаграма Парето, яка показує вплив факторів першого рівня на зносостійкість ПТФЕ-виробів.

Таблиця 3. Експертний аналіз впливу факторів другого рівня (вихідна сировина) на зносостійкість ПТФЕ-виробів.

Вихідна сировина	Оцінка експерта					Середнє значення	Накопичений відсоток
	1	2	3	4	5		
1	2	3	4	5	6	7	8
Марка полімеру	50	45	60	35	55	49	49
Хімічна природа наповнювача	30	25	15	30	15	23	72
Розмірність та форма включень наповнювача	5	25	15	20	25	18	90

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Розмір частинок порошку полімеру	15	5	10	15	5	10	100
Всього						100	

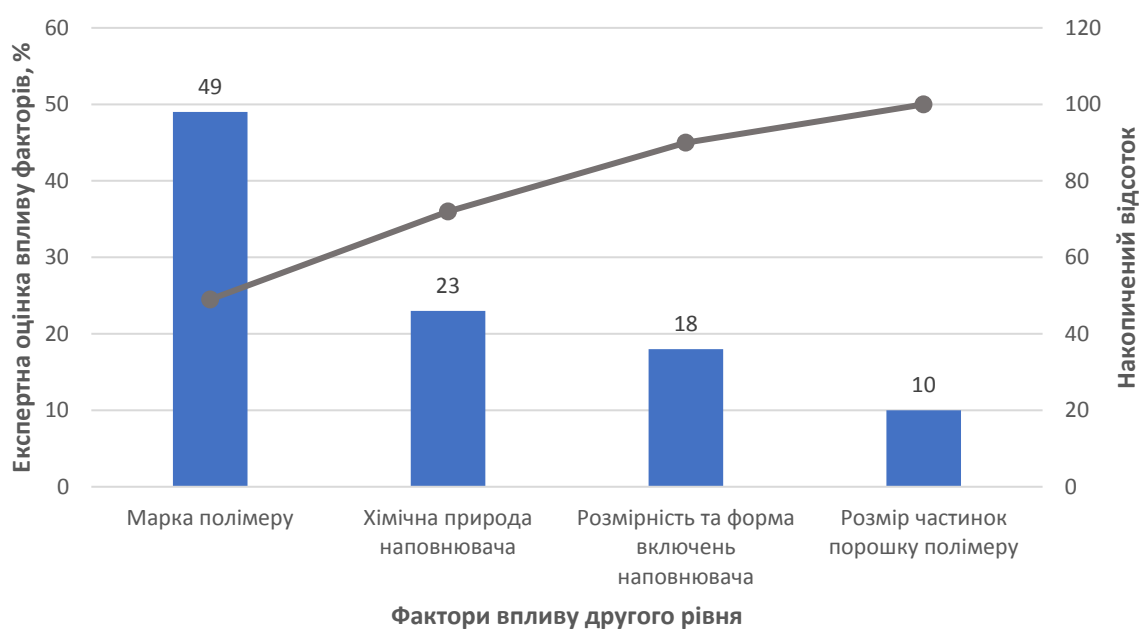


Рисунок 9. Діаграма Парето, яка показує вплив факторів другого рівня (вихідна сировина) на зносостійкість ПТФЕ-виробів.

Таблиця 4. Експертний аналіз впливу факторів другого рівня (технологія виготовлення) на зносостійкість ПТФЕ-виробів.

Технологія виготовлення	Оцінка експерта					Середнє значення, %	Накопичений відсоток
	1	2	3	4	5		
Режими пресування	30	20	15	25	35	25	25
Нагрів, витримка, охолодження пресовки	30	15	25	20	30	24	49
Час швидкість змішування	25	30	20	25	15	23	72
Час швидкість подрібнення	5	20	20	15	15	15	87
Швидкість різання, охолоджуюче середовище, наявність стружки	10	15	20	15	5	13	100
Всього						100	

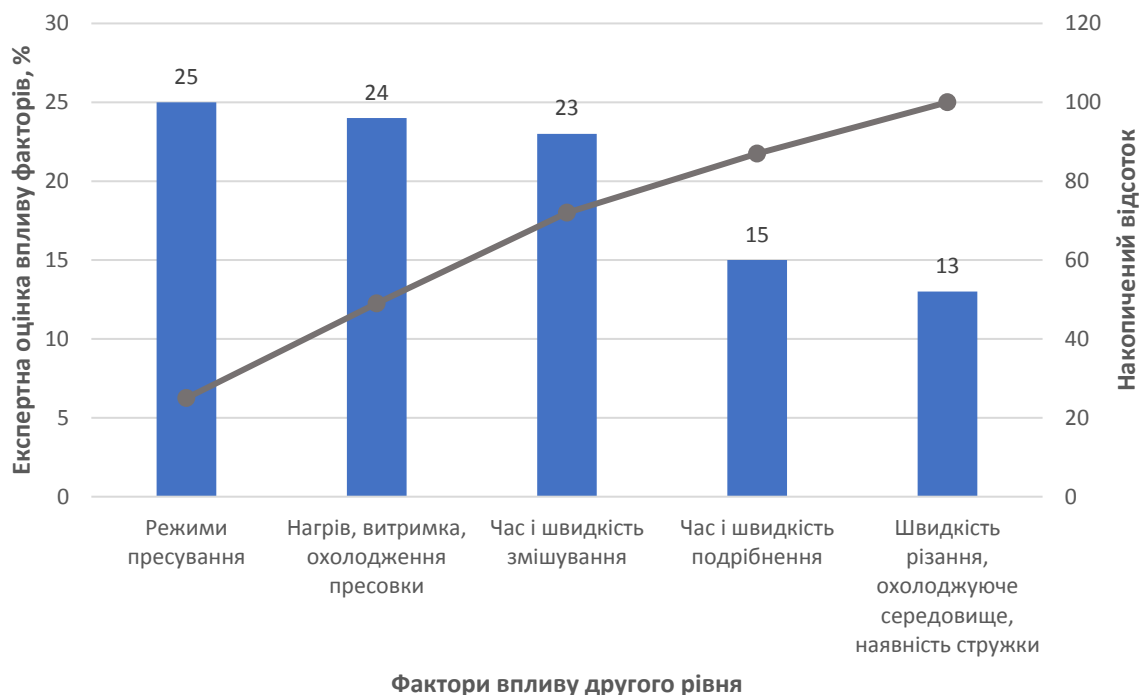


Рисунок 10. Діаграма Парето, яка показує вплив факторів другого рівня (технологія виготовлення) на зносостійкість ПТФЕ-виробів.

На другому рівні встановлено, що для вихідних характеристик матеріалу матриці і наповнювача вплив становить 72 %; для технології – змішування, пресування та спікання – 72 %. Ці цифри є близькими до класичного співвідношення Парето 80:20.

Для подальшого аналізу впливу факторів було використано методологію QFD-аналізу. Перетворення вимог споживача через розгортання функцій якості дозволяє визначити наявність взаємозв'язку між вимогами та характеристиками [41].

3.3. Проведення розгортання функції якості при виробництві ПТФЕ-виробів.

Виробництво полімерних виробів здійснюється на підставі нормативних документів і при цьому не оцінюється рівень якості та не враховуються вимоги споживачів, які необхідні при плануванні виробництва конкурентоспроможної продукції. Продукція не може вважатися

конкурентоспроможною, якщо вона не затребувана споживачами, тобто не має попиту. Попит обумовлений споживчими перевагами, де вирішальними є об'єктивні характеристики, а суб'єктивне сприйняття властивостей виробу – купівельна цінність складається з низки компонентів. Тому важливо встановити, за якими критеріями оцінює покупець ПТФЕ-вироби з бажаними для нього комбінаціями властивостей.

Запитання, задані респондентам, відображають найважливіші аспекти виробу – технічні, економічні та інші вимоги.

Найбільш вагомими факторами першого рівня, встановленими за діаграмами Парето відповідно до результатів експертних оцінок, є вихідна сировина (47 %), технологія виготовлення (28 %), обладнання та оснащення (12 %). Тому ми повинні опиратися на дані фактори при виконанні QFD-аналізу.

Розгортання функції якості QFD реалізується за допомогою побудови матричної діаграми «Дім якості» (House of Quality). На рис. 11 зображено «Дім якості» для найбільш важливих показників виробів із ПТФЕ ПКМ, де наведено зв'язки між вимогами (що) та характеристиками (як). Інтенсивність взаємозв'язків визначено експертним методом.

Виконаний QFD-аналіз дозволив виділити фактори, вплив яких слід досліджувати для встановлення кількісних залежностей. ПТФЕ і наповнювачі є покупним матеріалом, тому в процесі виробництва їх переважні властивості не можуть бути регульованими. Розміри і форма наповнювача виходять на попередніх етапах процесу виробництва, їх параметри необхідно піддавати вхідному контролю. Таким чином, виділено три значущі фактори, регулюванням яких можна забезпечити стабільність значень зносостійкості в установлених межах: режими змішування, пресування і спікання.

Таким чином, розроблена методологія розгортання функції якості дозволила провести аналіз якості ПТФЕ ПКМ, в результаті якого виявлені найбільш пріоритетні технічні характеристики для подальшого дослідження та розробки рекомендацій з покращення якості.



Рисунок 11. Дім якості виробів з ПТФЕ-композитів (якісний аналіз)

3.4. Процес створення ПКМ з наперед заданими властивостями на виробництві: практичні рекомендації.

Аналіз процесу створення нового ПКМ на підприємстві ТОВ «СумиПластПолімер» наведено за допомогою методології IDEF0, результат представлений на контекстній діаграмі (рис. 12).

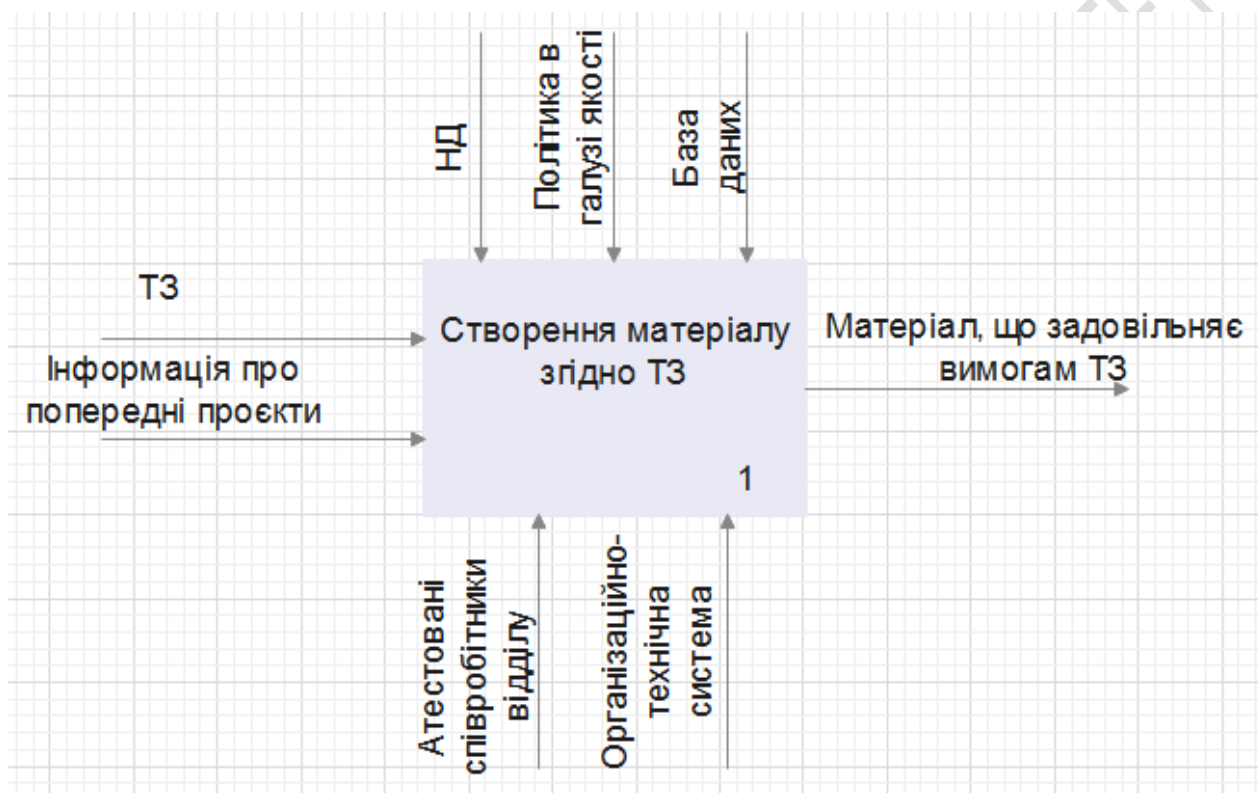


Рисунок 12. Контекстна діаграма методології IDEF0.

Вхідною інформацією є технічне завдання (ТЗ) та інформація про попередні проекти. До керуючих впливів відносяться нормативна документація підприємства, політика в галузі якості, а також база даних про матеріали полімеру, наповнювача, добавок, що можуть використовуватися.

У ролі «Механізмів» виступають атестовані співробітники відділу, організаційно-технічна система (комп'ютери та організаційна техніка підприємства, атестоване програмне забезпечення). На виході отримуємо

відповідний вимогам технічного завдання новий ПКМ з наперед заданими властивостями.

При отриманні ПКМ з наперед заданими властивостями необхідно вирішити завдання вибору полімерних матриць з оптимальними вихідними характеристиками і достатнім рівнем адгезійного поєднання з наповнювачами, які відповідальні за забезпечення основних функціональних характеристик, а саме зносостійкість, міцність у необхідних діапазонах температур, еластичність, твердість тощо. Таким чином, при виконанні роботи потрібна реалізація наступних основних етапів:

– Вибір та випробування полімерних сполучних компонентів, серед яких слід розглянути сполучні на основі термопластичних або реактопластичних полімерів (п. 3.1.1).

– Вибір та випробування наповнювачів різної хімічної природи, що володіють достеменно різними характеристиками (п. 3.1.2).

– Розробка та дослідження композиційних складів на основі відібраних полімерних сполучних компонентів та наповнювачів за принципом взаємної сумісності складових частин, визначення якісних та кількісних співвідношень компонентів, що включають поетапний вимір основних параметрів з метою оперативного коригування складів (п. 3.1.3).

При отриманні ПКМ з наперед заданими властивостями виникають наступні завдання:

1. Існує мінімальна інформація у тому, який рівень властивостей матеріалів буде отримано при поєднанні певних значень технологічних режимів виготовлення.

2. Специфіка матеріалів полягає в тому, що вони виходять кінцевим користувачем перед застосуванням шляхом змішування компонентів суміші (полімеру, модифікатора та порошкового наповнювача). Відсутня методика, що

дозволяє прогнозувати найважливіші властивості ПКМ залежно від відсоткового співвідношення компонентів та технологічних режимів виготовлення.

Варіант розв'язання даних завдань – розробка інструменту підтримки прийняття рішення за значеннями параметрів технологічних режимів виготовлення та складом композитів, що забезпечують отримання матеріалів з оптимальним рівнем наперед заданих властивостей матеріалів, що отримуються. Графічна інтерпретація концепції системи підтримки прийняття рішень наведено на рис. 13.

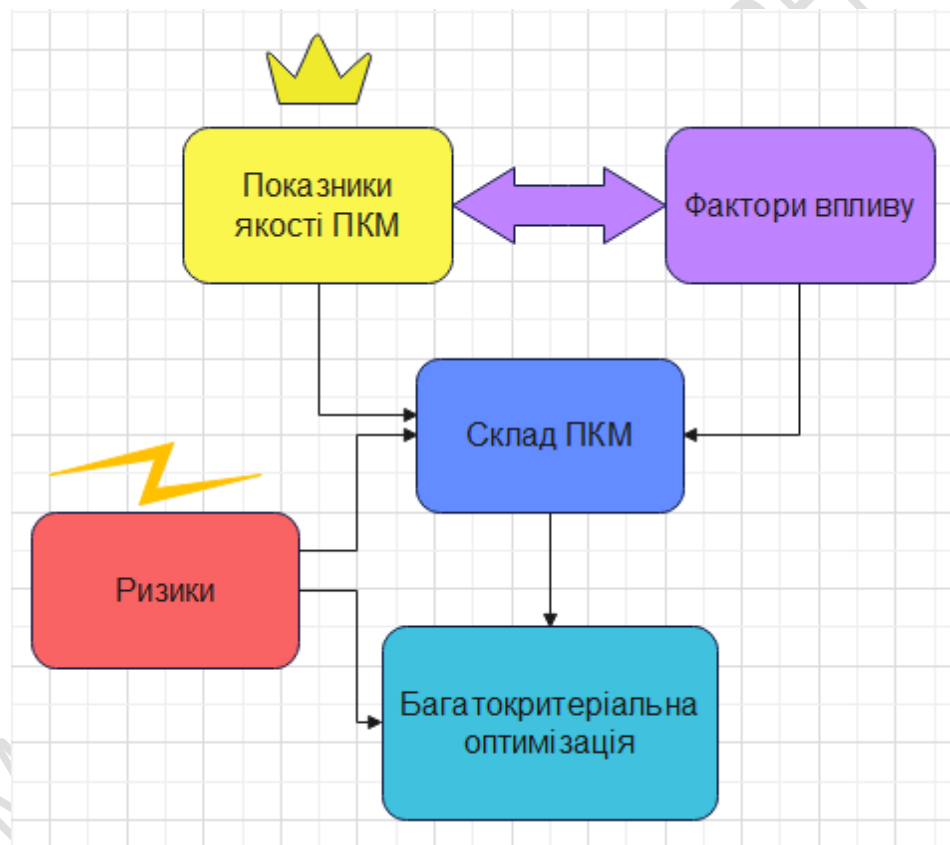


Рисунок 13. Концепція системи підтримки прийняття рішень при розробці ПКМ з наперед заданими властивостями.

На першому етапі необхідно виділити найважливіші для споживачів подібних матеріалів показники якості (п. 3.3, 3.4). Далі повинен бути визначений

взаємозв'язок експлуатаційних характеристик ПКМ з факторами впливу (вихідна сировина, склад матеріалу, технологічні режими виготовлення тощо), представлений у вигляді математичних моделей, що дозволяє надалі оптимізувати властивості одержуваних ПКМ [40, 42, 43]. Це передбачає використання методів багатокритеріальної оптимізації (з одержанням функціоналу з урахуванням ризиків) сукупності фізико-механічних характеристик ПКМ [44-46].

Необхідність впровадження ризик-орієнтованого мислення у концепцію, що розробляється, є обов'язковою вимогою у зв'язку з введенням в дію в Україні ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) [47]. Ризик-орієнтоване мислення є складовою частиною процесного підходу і містить поняття запобіжних дій. За допомогою мислення, заснованого на ризиках, дослідник може визначити фактори, які можуть спричинити відхилення від запланованих результатів процесів і також звести до мінімуму негативні наслідки за допомогою запобіжних засобів.

За допомогою інструментів структурного аналізу з методології IDEF0 розроблено контекстну діаграму (рис. 14) та її декомпозицію першого рівня (рис. 15) процесу створення ПКМ з наперед заданими властивостями.

До керуючих впливів додається ДСТУ ISO 9001:2015, що визначає використання мислення, заснованого на ризиках. Також до управляючих впливів додаються математичний апарат моделювання властивостей матеріалу, оцінки ризиків.

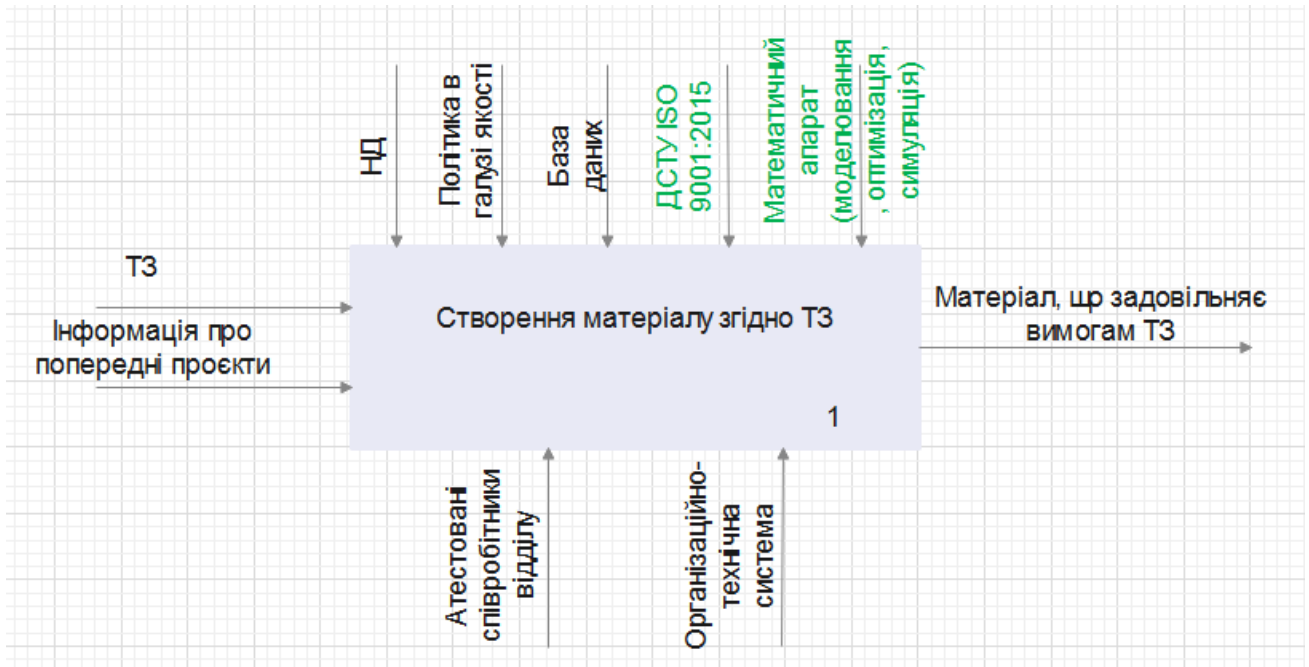


Рисунок 14. Контекстна діаграма методології IDEF0 при розробці ПКМ з наперед заданими властивостями.

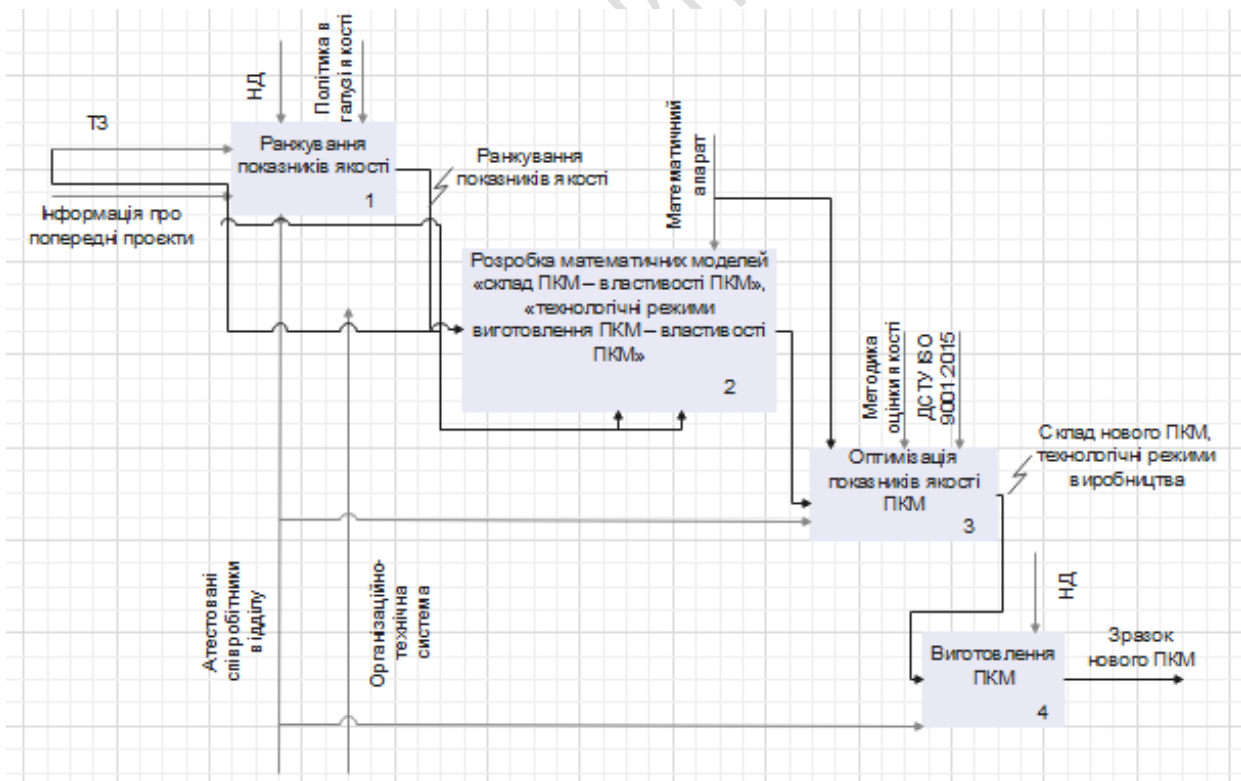


Рисунок 15. Декомпозиція першого рівня контекстної діаграми методології IDEF0 при розробці ПКМ з наперед заданими властивостями.

Для отримання матеріалу, згідно з вимогами ТЗ, на першому етапі необхідно впорядкувати в порядку зменшення показники якості (ПК) матеріалу.

Для ранжованих показників якості розробити математичні моделі двох типів: «склад ПКМ – властивості ПКМ», «технологічні режими виготовлення ПКМ – властивості ПКМ».

Для реалізації відповідних математичних моделей необхідно розробити спеціальне програмне забезпечення (СПО).

На наступному етапі вирішується завдання оптимізації ПК з урахуванням можливих ризиків.

В результаті створюється новий матеріал, що задовольняє вимогам ТЗ.

Висновки до розділу 3.

Властивості виробів з полімерних матеріалів значною мірою визначаються властивостями матриці, складом суміші та режимами процесів виготовлення. Основними параметрами, що характеризують необхідні властивості досліджуваних виробів, є зносостійкість і коефіцієнт тертя матеріалу. На підставі результатів експертної оцінки та QFD – аналізу найбільш вагомими факторами, що впливають на зносостійкість, є: марка полімеру, форма і розміри наповнювача, технологічні параметри змішування, пресування, спікання і механічної обробки, вплив яких слід дослідити для встановлення кількісних залежностей. Стабільне значення зносостійкості виробу у процесі виробництва можна забезпечити своєчасним регулюванням режимів пресування і спікання. Розроблена методологія розгортання функції якості дозволила провести аналіз якості ПТФЕ ПКМ, в результаті якого виявлені найбільш пріоритетні технічні характеристики для подальшого дослідження та розробки рекомендацій з покращення якості. У результаті структурного аналізу процесу розробки ПКМ з наперед заданими властивостями на підприємстві з методології IDEF0 підтверджено важливість проведення оцінки ризиків, пов'язаних із процесом багатокритеріальної оптимізації їх основних показників якості). На основі проведеного аналізу отримано такі результати:

- встановлено необхідність оптимізації ранжованих показників якості ПКМ та визначення складу матеріалу та технологічних режимів виготовлення;
- встановлено, що мале підприємство, яке займається питаннями створення антифрикційних ПКМ для машинобудівної галузі, повинно мати у своєму розпорядженні математичні моделі «склад ПКМ – властивості ПКМ» та «технологічні режими виготовлення ПКМ – властивості ПКМ», а також алгоритм оцінки ризиків при створенні матеріалів відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 9001:2015.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В економічному розділі здійснено розрахунок витрат на розробку та впровадження QFD-методу для збільшення задоволеності споживачів продукції підприємства ТОВ «СумиПластПолімер».

Розрахунок вартості проводився прямим калькулюванням витрат.

4.1. Покупні комплектуючі вироби та матеріали.

Розрахунок витрат за статтею «Покупні комплектуючі вироби та матеріали» розраховані виходячи з потреб у придбанні сировини, матеріалів, покупних виробів, комплектуючих та допоміжних матеріалів за ціною придбання без урахування ПДВ (табл. 5).

Таблиця 5. Розрахунок витрат на покупні комплектуючі вироби та матеріали.

Найменування продукції	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна одиниці (без ПДВ), грн.	Сума, грн.
Папір для принтеру (А4)	упак.	3	220	660
Папка для документів	шт.	4	20	80
Файли	упак.	1	100	100
Картридж для принтеру	шт.	1	500	500
Канцелярський набір	шт.	1	200	200
Флеш-накопичувач 4 Гб	шт.	1	200	200
Всього	–	–	–	1740

4.2. Розрахунок витрат за оплату праці.

Розрахуємо оплату праці працівника ТОВ «СумиПластПолімер» при розробці та впровадженні методики QFD для підвищення задоволеності споживачів продукції підприємства

Витрата на заробітну плату обчислюємо, спираючись на середньомісячну розмір зарплати двох працівників та виходячи з трудомісткості робіт. Необхідно врахувати розмір премії. Обчислимо оплату праці одного працівника:

$$ЗП_{\text{сер}} = О + П \quad (1)$$

де О – окладна частина (12 500.00 гривень на місяць); П – премія (30 % від окладу).

$$ЗП_{\text{сер}} = 12\,500 + 3\,750 = 16\,250.00 \text{ гривень.}$$

Тривалість робіт визначимо, заповнивши табл. 6.

Таблиця 6. Тривалість та трудомісткість робіт.

Найменування робіт	Термін виконання робіт	Трудомісткість по розробці методики (чол/год.)
Отримання завдання для проведення QFD та його аналіз	Листопад 2022 р.	24
Вивчення організаційної структури підприємства та виробничих процесів	Листопад 2022 р.	56
Проведення QFD-аналізу, оформлення результатів	Листопад 2022 р.	82
Всього		162

У листопаді 2022 року середня тривалість роботи співробітників у місяць 162 годин. Таким чином, на розробку QFD методу потрібно 1 місяць.

Обчислимо витрати на оплату праці двох працівників, зайнятих розробкою та впровадженням QFD методу за місяць. Для цього візьмемо витрати на заробітну плату одного робітника та помножимо на 2.

$$16250 \times 2 = 32\,500.00 \text{ гривень на місяць.}$$

4.3. Накладні витрати.

Накладні витрати чи непрямі витрати – це витрати підприємства на управління, організацію та обслуговування виробничого процесу, це додаткові витрати підприємства, що не стосуються виробництва безпосередньо.

Розрахунок накладних витрат провадять за певний період часу. Визначаються індивідуально в кожному підприємстві. За даними планового відділу накладні витрати становлять близько 25 % від витрат на оплату праці співробітників. Накладні витрати в розрахунку на одного робітника:

$$16250 \times 25 \% = 4062.50 \text{ гривень.}$$

Так як у нас дві людини зайняті на розробці та впровадженні методу, накладні витрати збільшуються і дорівнюватимуть 8 125 гривень.

4.4. Собівартість робіт із впровадження QFD методу

Собівартість робіт із впровадження QFD методу є сумою всіх перерахованих вище витрат. Наведемо розрахунок собівартості витрат у табл. 7.

Таблиця 7. Собівартість витрат.

Найменування статей витрат	Всього, гривень	% від повної собівартості
Покупні комплектуючі вироби та матеріали	1 740,00	4%
Витрати на оплату праці	32 500,00	62%
Страхові внески	10 500,00	18%
Накладні витрати	8 125,00	16%
Всього:	52 865,00	100%

З вищепредставлених розрахунків можна зробити висновок, що за допомогою методу QFD поступово зростає задоволеність споживачів та збільшується попит виробленої продукції.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Шкідливість та небезпека виробництва переробки фторополімерних композицій визначається властивостями застосовуваної сировини. Основною складовою всіх композицій є ПТФЕ. Для протирання змішувача та поліетиленових плівок використовується спирт етиловий технічний. Наповнювачами полімерної композиції є вуглецеві волокна з вуглецевих тканин, базальтове, скляне та інші волокна, суміші полімерів та дисперсні наповнювачі (порошок графіту С-1, бронзи, дисульфиду молібдену, карбїду титану, електрокорунду, каолїну та ін.).

5.1. ПТФЕ та ПТФЕ-композиції.

ПТФЕ та композиції на його основі невибухонебезпечні, негорючі і при кімнатній температурі не надають шкідливого впливу на організм людини при безпосередньому контакті. При нагріванні вище 250 °С починається термоокислювальна деструкція ПТФЕ з виділенням перфоринобутилена, фтористого водню і окису вуглецю. При підвищенні гранично допустимих концентрацій фтористий водень перфоринобутилен подразнює слизові оболонки дихальних шляхів, викликає запальні процеси органів дихання, а при високих концентраціях – набряк легень. Роботу в аварійних випадках (наприклад, пожежа) слід проводити у протигазах БФ. У виробничих приміщеннях не допускається куріння, тому що пил ПТФЕ потрапляє на сигарету, згоряє і в легені курця можуть потрапляти токсичні гази високої концентрації. Окис вуглецю викликає ядуху внаслідок утворення карбоксигемоглобіну, діє на центральну нервову систему. Вдихання високодисперсних частинок самого полімеру, а також летких продуктів, що виділяються з ПТФЕ при нагріванні, викликає явища

полімерної лихоманки, що нагадують металеву (висока температура, озноб, подразнення верхніх дихальних шляхів, кашель, задишку).

5.2. Вуглецеві волокна.

У процесі подрібнення вуглецевих тканин, змішування компонентів композиції та пресування заготовок відбувається виділення пилу вуглецевих волокон. Вуглецеві тканини УТМ-8, Текарм, Хортиця є продуктом термообробки віскозних тканин при температурі 850 ° С в інертній атмосфері. Тканина УТМ-8, Текарм та Хортиця містять не менше 60-70% вуглецю. Подрібнене волокно з тканини являють собою волокнистий порошок чорного кольору, що злегка комкується. Пил вуглецевого волокна у суміші з повітрям не утворює вибухонебезпечних концентрацій. Пил вуглецевого волокна при вдиханні високих концентрацій викликає подразнення слизової оболонки очей, кашель і біль у грудях, задишку може викликати запылення легень, подразнення шкіри, дерматит. Температура початку повільного окислення повітря тканини становить +500 °С. При окисленні вуглецевих тканин виділяються окис та двоокис вуглецю. Пил вуглецевого волокна змивається мильною водою. Роботи з вуглецевим волокном необхідно виконувати в респіраторі типу У2К, ШБ-1 («пелюстка», ПРШ-2М-59, ПРШ-2), працювати у спецодязі. Гранично допустимі концентрації повітря робочої зони виробничих приміщень представлені в табл. 8.

5.3. Етиловий спирт.

Спирт етиловий застосовується як допоміжний матеріал – легкозаймиста безбарвна рідина з характерним запахом, відноситься до сильнодіючих наркотиків, що викликають спочатку збудження, а потім параліч нервової системи.

Таблиця 8. Гранично допустимі концентрації повітря робочої зони виробничих приміщень вихідних матеріалів.

Матеріал	мг/м ³	Клас небезпеки
Фтористий водень	0,05	1
Тетрафторетилен	20	4
Перфторизобутилен	0,1	1
Окису вуглецю	20	4
Аерозоль ПТФЕ	10	3
Пил вуглецевого волокна	4	4

При частому дотику до етилового спирту спостерігається сухість шкіри, зрідка – утворення тріщин. Після роботи рекомендується змащувати руки вазеліновим маслом або гліцерином. При гострих отруєннях через рот – негайна госпіталізація.

Гранично допустима концентрація парів етилового спирту повітря виробничих приміщень (ГДК) 1000 мг/м³. Категорія та група вибухонебезпечної суміші етилового спирту з повітрям – 2Б.

Температура самозаймання: нижня 110С, 3,6% за обсягом, 68 г/м³; верхній 410С, 19% за обсягом. 340 г/м³

При роботі з етиловим спиртом повинна бути забезпечена припливно-втяжна вентиляція та суворе дотримання всіх чинних правил техніки безпеки. Як первинні засоби слід використовувати вогнегасники ОХП-10, порошкові та газові.

5.4. Правила безпеки під час виробництва ПТФЕ-композитів.

На робочих місцях мають бути інструкції щодо ведення технологічного процесу та безпечних методів роботи.

Роботу проводити на заземленому справному устаткуванні, при справності контрольно-вимірювальних приладів, технологічних оснастках, інструментах, захисних огороженнях, блокувань та пристроїв електрообладнання, пускової апаратури. Кнопок та рукояток керування та при включеній припливно-витяжній вентиляції. Під час проведення налагоджувальних та ремонтних робіт обладнання має бути знеструмлене.

Для забезпечення безпеки працюючих усі корпуси електроустаткування металеві частини установок, які через порушення ізоляції можуть бути під напругою, повинні бути надійно підключені до заземлюючого контуру. Заземлення має бути виконане відповідно до чинних «Правил пристроїв електроустановок», «Правил технічної експлуатації електроустановок-споживачів», «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок-споживачів».

На кожному робочому місці повинен бути аварійний вимикач, який забезпечує можливість повного відключення машини та двигуна. Все обладнання повинно мати спеціальні інвентарні номери, написані на чільному місці машини. Частини машин, що рухаються, повинні бути оснащені захисними огорожами.

Роботи, не передбачені регламентом або діючими інструкціями, оформляються письмовим розпорядженням із зазначенням запобіжних заходів, обов'язковим при виконанні цих робіт.

При подрібненні вуглецевих тканин та змішуванні композицій повинні застосовуватися закриті пристрої, що усувають проникнення пилу композицій у виробничі приміщення.

Роботу у виробничих приміщеннях проводити у спецодезії, встановленому для кожного робочого місця, з обов'язковим використанням під час роботи індивідуальних засобів захисту.

На кожному робочому місці або при працюючому повинні бути протигаз марки БКФ, захисні окуляри, гумові або з щільної тканини рукавички. Роботи з

наповнювачами проводити у протипилових респіраторах типу У-2К, ШБ-1 («пелюстка»), ПРШ-2М-59. ПРШ-2, у захисних окулярах та у гумових або із щільної тканини рукавичках.

Спецодяг (х/б костюм, гумові чоботи, рукавички) перед роботою повинні бути ретельно оглянуті та перевірені на цілісність. Волосся має бути прибрано під головний убір. Курити у виробничих приміщеннях, зберігати та приймати їжу забороняється.

На робочих місцях та у виробничих приміщеннях повинно проводитися ретельне вологе прибирання підлог та стін. Забороняється відкривати кришки під час роботи млина. Усі роботи виконувати тільки при включеній припливно-втяжній вентиляції.

Недотримання норм технологічного режиму та обов'язкових умов ведення процесу може призвести до аварії, підвищеної концентрації шкідливих речовин у повітрі виробничих приміщень, отруєння чи травмування обслуговуючого персоналу.

Чищення та змащення механізмів при їх роботі не проводити, за винятком випадків. Коли є спеціальні пристрої, які забезпечують безпеку цих робіт.

Прес-форми встановлювати суворо відповідно до технологічної карти пресування на вказаний тип преса. Робоча зона пресів повинна бути оснащена захисними огороженнями, заблокованими з пусковим пристроєм або двокнопковим пристроєм, що виключає попадання рук працюючого в робочу зону на ходу преса. Знімання виробів, чищення прес-форми та завантаження порошку в прес-форму проводити тільки при повній зупинці преса та вимкненому електродвигуні.

Складання та розбирання роз'ємних прес-форм проводити тільки при повній зупинці преса. При роботі на напівавтоматичному режимі з виштовхувачем дозволяється розбирання прес-форм з одночасним виштовхуванням заготовки з матриці-прес-форми.

У пічних відділеннях, пов'язаних з можливістю виділення токсичних газів (фтористого водню, фторфосгену, дифторфосгену, перфторизобутилена та окису вуглецю), має бути передбачений систематичний контроль за їх вмістом у повітрі робочої зони.

Для захисту рук при розвантаженні печей для термообробки фторопластових композицій та фторопласту слід користуватися суконними рукавицями, обшитими азбестовою тканиною.

Електропечі мають бути місцевим відсмоктуванням. Пристрій місцевих відсмоктувачів повинен виключати можливість проходження повітря, що відсмоктується, через дихання працюючого.

Печі повинні бути забезпечені сигналізаторами, що вказують на аварійне підвищення температури та пристосуваннями для ручного відключення.

Персонал, який обслуговує пічне відділення при аварійному підвищенні температури в печах, повинен надіти фільтруючий протигаз марки БКФ. У разі отруєння потерпілого винести на свіже повітря або вдихати кисень, розстебнути одяг, тепло вкрити дати тепле пиття.

Таким чином, дуже важливо притримуватись усіх правил та техніки безпеки під час виробництва ПТФЕ-композитів.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці методології розгортання функції якості при виробництві композитних матеріалів на прикладі полімерних композитних матеріалів з політетрафторетиленою матрицею та різних наповнювачів.

Аналіз підприємств показав, що існуючі методи забезпечення якості спрямовані на виявлення проблем у процесі виробництва або після виготовлення продукції. Використання методу розгортання функції якості (QFD-аналізу) полягає в усуненні прогалини у взаємозв'язку маркетингових і конструкторських відділів підприємства, що дозволяє усувати недоліки та низьку конкурентоздатність продукції ще на стадії її розробки.

Метод QFD – це експертний метод, який використовує табличний спосіб представлення даних, причому зі специфічною формою таблиць, що отримали назву «будинок якості».

«Дах» «будинку якості» — матриці — показує ступінь кореляції між параметрами продукту/процесу, а права частина матриці дозволяє оцінити успішність задоволення вимог клієнтів щодо конкурентів або якнайкращих досягнень в даній області. Використовуючи бальну оцінку характеру залежності вимог споживачів від властивостей продукції одержують наочну картинку якнайкращого варіанту проекту, переводячи вимоги споживачів в конкретні властивості продукції.

Дослідження методів управління якістю полімерних композиційних матеріалів на основі ПТФЕ було проведено на базі ТОВ «СумиПластПолімер» (м. Суми, Україна). На підставі результатів експертної оцінки та QFD – аналізу найбільш вагомими факторами, що впливають на зносостійкість, є: марка полімеру, форма і розміри наповнювача, технологічні параметри змішування,

пресування, спікання і механічної обробки, вплив яких слід дослідити для встановлення кількісних залежностей. Стабільне значення зносостійкості виробу у процесі виробництва можна забезпечити своєчасним регулюванням режимів пресування і спікання. Розроблена методологія розгортання функції якості дозволила провести аналіз якості ПТФЕ ПКМ, в результаті якого виявлені найбільш пріоритетні технічні характеристики для подальшого дослідження та розробки рекомендацій з покращення якості. У результаті структурного аналізу процесу розробки ПКМ з наперед заданими властивостями на підприємстві з методології IDEF0 підтверджено важливість проведення оцінки ризиків, пов'язаних із процесом багатокритеріальної оптимізації їх основних показників якості. На основі проведеного аналізу отримано такі результати:

- встановлено необхідність оптимізації ранжованих показників якості ПКМ та визначення складу матеріалу та технологічних режимів виготовлення;
- встановлено, що мале підприємство, яке займається питаннями створення антифрикційних ПКМ для машинобудівної галузі, повинно мати у своєму розпорядженні математичні моделі «склад ПКМ – властивості ПКМ» та «технологічні режими виготовлення ПКМ – властивості ПКМ», а також алгоритм оцінки ризиків при створенні матеріалів відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 9001:2015.

В економічному розділі здійснено розрахунок витрат на розробку та впровадження QFD-методу для збільшення задоволеності споживачів продукції підприємства ТОВ «СумиПластПолімер». Розрахунок вартості проводився прямим калькулюванням витрат.

Шкідливість та небезпека виробництва переробки фторополімерних композицій визначається властивостями застосовуваної сировини. Основною складовою всіх композицій є ПТФЕ. Таким чином, дуже важливо притримуватись усіх правил та техніки безпеки під час виробництва ПТФЕ-композитів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дослідження ринку як основна складова розгортання функції якості (QFD) С. В. Русанова, О. О. Сабліна, С. М. Коваленко. 2009 рік.
2. Исикава К. Японские методы управления качеством: Сокр.пер. с англ. / Науч.ред. и авт. предисл. А.В. Гличев. – М.: Экономика 1988. – 216 с.
3. Андерсен Берн. Пер с англ. С.В.Ариничева/Науч.ред. Ю.П. Адлер. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования – 3-е изд. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2005. – 272 с.
4. Ровенчак Т. Г., Христич О. В. Стандартизація, управління якістю і сертифікація продукції: Навч. посібник для студ. спец. "Менеджмент організацій" / Вінницький національний технічний ун- т. — Вінниця : ВНТУ, 2005. — 120 с.
5. Петренко В. А., Левченко О. М., Шубін Є. С. Управління якістю на підприємстві: Навч. посіб. для студ. вищих навч. закл. техн. і екон. спец.. — Кіровоград : КДТУ, 2002. — 261с. : рис., табл. — Бібліогр.: с. 251-254.
6. Handbook of fluoropolymer science and technology / edited by D. W. Smith, S. T. Iacono, S. S. Iyer. – Hoboken : John Wiley & Sons, Inc., 2014. – 646 p.
7. Паншин Ю. А. Фторопласты / Ю. А. Паншин, С. Г. Малкевич, Ц. С. Дунаевская. – Ленинград : Химия, 1978. – 232 с.
8. Friedrich, K. Polymer composites for tribological applications. Adv. Ind. Eng. Polym. Res. 2018, 1, 3–39. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2018.05.001>.
9. Conte, M.; Igartua, A. Study of PTFE composites tribological behavior. Wear 2012, 296, 568–574. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2012.08.015>.
10. Budnik, O.A.; Sviderskii, V.A.; Budnik, A.F.; Berladir, K.V.; Rudenko, P.V. Composite Material for Chemical and Petrochemical Equipment Friction

Assemblies. Chem. Petrol. Eng. 2016, 52, 63–68. <https://doi.org/10.1007/s10556-016-0149-x>.

11. Bilous, O.A.; Hovorun, T.P.; Berladir, K.V.; Vorobiov, S.I., Simkulet, V.V. Mathematical modeling of the mechanical characteristic of the activated PTFE-matrix using the method of planning the experiment. Journal of Engineering Sciences 2018, 5(1), C1–C5. [https://doi.org/10.21272/jes.2018.5\(1\).c1](https://doi.org/10.21272/jes.2018.5(1).c1)

12. Zhao, Z.H.; Chen, J.N. Preparation of single-polytetrafluoroethylene composites by the processes of compression molding and free sintering. Composites Part B: Engineering 2011, 42(5), 1306–1310. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.01.005>

13. Брацыхин Е. А. Технология пластических масс : учеб. пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Химия, 1982. – 328 с.

14. Berladir, K.V.; Sviderskiy, V.A. Designing and examining polytetrafluoroethylene composites for tribotechnical purposes with activated ingredients. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2016, 6(84), 14–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85095>

15. Наполнители для полимерных композиционных материалов: справочное пособие / под ред. Г. С. Каца и Д. В. Милевски ; пер. с англ. – Москва : Химия, 1981. – 736 с.

16. Functional fillers for plastics / edited by M. Xanthos. – second, updated and enlarged edition. – Weinheim : Wiley, 2010. – 537 p.

17. Berladir, K.; Zhyhylii, D.; Gaponova, O.; Krmela, J.; Krmelová, V.; Artyukhov, A. Modeling of Polymer Composite Materials Chaotically Reinforced with Spherical and Cylindrical Inclusions. Polymers 2022, 14, 2087. [10.3390/polym14102087](https://doi.org/10.3390/polym14102087)

18. Wang, Y.; Jiang, C.; Wang, Z. Effect of Sintering Factors on Properties of Al-Rich PTFE/Al/TiH₂ Active Materials. Polymers 2021, 13, 1705. <https://doi.org/10.3390/polym13111705>

19. Ma, L.; Liu, F.; Liu, D.; Liu, Y. Review of Strain Rate Effects of Fiber-Reinforced Polymer Composites. *Polymers* 2021, 13, 2839. <https://doi.org/10.3390/polym13172839>
20. Wang, H.; Feng, X.; Shi, Y.; Lu, X. Effects of fibrous fillers on friction and wear properties of polytetrafluoroethylene composites under dry or wet conditions. *China Particuology* 2007, 5, 414–419. <https://doi.org/10.1016/j.cpart.2007.08.003>
21. Woldemariam, M.H., Belingardi, G., Koricho, E.G., Reda, D.T. Effects of nanomaterials and particles on mechanical properties and fracture toughness of composite materials: a short review. *AIMS Materials Science* 2019, 6(6), 1191–1212. <https://doi.org/10.3934/materci.2019.6.1191>
22. Panin, S.V.; Nguyen, D.A.; Buslovich, D.G.; Alexenko, V.O.; Pervikov, A.V.; Kornienko, L.A.; Berto, F. Effect of Various Type of Nanoparticles on Mechanical and Tribological Properties of Wear-Resistant PEEK + PTFE-Based Composites. *Materials* 2021, 14, 1113. <https://doi.org/10.3390/ma14051113>
23. Berladir, K.V.; Budnik, O.A.; Dyadyura, K.A.; Svidersky, V.A.; Kravchenko, Y.O. Physicochemical principles of polymer composite materials technology based on polytetrafluoroethylene. *High Temp. Mater. Process.* 2016, 20, 157–184. <https://doi.org/10.1615/HighTempMatProc.2016017875>.
24. Ren, L.; Wang, T.; Chen, Z.; Li, Y.; Qian, L. Self-Lubricating PEO–PTFE Composite Coating on Titanium. *Metals* 2019, 9, 170. <https://doi.org/10.3390/met9020170>
25. Amenta, F.; Bolelli, G.; De Lorenzis, S.; Bertarini, A.; Lusvarghi, L. Tribological Behavior of Reinforced PTFE Composites and Un-Reinforced Polyketone-Based Materials against Coated Steel. *Lubricants* 2022, 10, 5. <https://doi.org/10.3390/lubricants10010005>
26. Jia, Z.; Yang, Y. Self-lubricating properties of PTFE/serpentine nanocomposite against steel at different loads and sliding velocities. *Composites Part*

B: Engineering 2012, 43(4), 2072–2078,
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.01.014>.

27. Ponomarenko, A.T.; Tameev, A.R.; Shevchenko, V.G. Action of Mechanical Forces on Polymerization and Polymers. *Polymers* 2022, 14, 604.
<https://doi.org/10.3390/polym14030604>

28. Kharissova, O.V.; Kharisov, B.I.; Oliva, G.C.M.; Méndez, Y.P.; López, I. Greener synthesis of chemical compounds and materials. *R. Soc. open sci.* 2019, 6, 191378. <http://doi.org/10.1098/rsos.191378>

29. Vasilev, A.P.; Struchkova, T.S.; Nikiforov, L.A.; Okhlopkova, A.A.; Grakovich, P.N.; Shim, E.L.; Cho, J.-H. Mechanical and Tribological Properties of Polytetrafluoroethylene Composites with Carbon Fiber and Layered Silicate Fillers. *Molecules* 2019, 24, 224. <https://doi.org/10.3390/molecules24020224>

30. Vasilev, A.P.; Struchkova, T.S.; Alekseev, A.G. Development of Antifriction Materials Based on Polytetrafluoroethylene with Carbon Fibers and Tungsten Disulfide. *MSF* 2020, 992, 745–50.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.992.745>.

31. Markova, M.A.; Petrova, P.N. Influence of Carbon Fibers and Composite Technologies on the Properties of PCM Based on Polytetrafluoroethylene. *Inorg. Mater. Appl. Res.* 2021, 12, 551–557. <https://doi.org/10.1134/S2075113321020362>

32. Avdeychik, S.; Voropaev, V.; Auchynnika, Y.; Sarokin, V.; Struk, A. Energy-Saving Technology Obtaining of High Mechanical Engineering Fluorine Composites. In *Proceedings of the 20th International Scientific Conference on Mechanika, Kaunas, Lithuania, 23-24 April 2015*.

33. Mashkov, Yu.K. et al. PTFE-nanocomposites structure and wear-resistance changing in various methods of structural modification. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2018, 944, 012078. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/944/1/012078>.

34. Sarokin, V.; Avdeychik, S.; Struk, V.; Antonov, A. Activation of components functional polymer materials according to energy technologies. In

Proceedings of the 21th International Scientific Conference on Mechanika, Kaunas, Lithuania, 12-13 May 2016.

35. Budnik, O.A.; Budnik, A.F.; Rudenko, P.V.; Sviderskiy, V.A.; Berladir, K.V. Influence of mechanical activation polytetrafluoroethylene matrix of tribotechnical composites at its structural and phase transformations and properties. *Functional Materials* 2015, 22(4), 499–506. <http://dx.doi.org/10.15407/fm22.04.499>

36. Будник А.Ф., Будник О.А., Бурмістр М.В. Вплив та місце технологічних процесів підготовки наповнювачів і композиції у технології виробництва композитів на основі фторопласту-4 // Вісник СумДУ. 2007. № 1. С. 64-72.

37. Ким В.С., Скачков В.В, Диспергирование и смешение в процессах производства и переработки пластмасс. – М.: Химия, 1988. – 240 с.

38. Будник А.Ф., Руденко П.В., Будник О.А. и др. Разработка уплотнительного углефторопластового композитного материала с требуемыми служебными свойствами технологией его получения // Труды междунар. Конф. «Hervicon 2008»-Kielce-Przevysl.-2008. -С. 299-306.

39. Пугачев А.К. Переработка фторопластов в изделия / А.К. Пугачев, О.А. Росляков. – Л. : Химия, 1987. – 168 с.

40. Berladir, K.; Zhyhylii, D.; Brejcha, J.; Pozovnyi, O.; Krmela, J.; Krmelová, V.; Artyukhov, A. Computer Simulation of Composite Materials Behavior under Pressing. *Polymers* 2022, 14, 5288. 10.3390/polym14235288

41. Berladir, K., Trojanowska, J., Ivanov, V., Pavlenko, I. (2022). Materials Selection in Product Development: Challenges and Quality Management Tools. In: Hamrol, A., Grabowska, M., Maletič, D. (eds) *Advances in Manufacturing III. MANUFACTURING 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp 72-86. Springer, Cham. 10.1007/978-3-031-00218-2_7

42. Bilous, O.A.; Hovorun, T.P.; Berladir, K.V.; Vorobiov, S.I., Simkulet, V.V. Mathematical modeling of the mechanical characteristic of the activated PTFE-

matrix using the method of planning the experiment. J. Eng. Sci. 2018, 5, C1–C5.
[https://doi.org/10.21272/jes.2018.5\(1\).c1](https://doi.org/10.21272/jes.2018.5(1).c1).

43. Berladir, K.; Zhyhylii, D.; Gaponova, O.; Krmela, J.; Krmelová, V.; Artyukhov, A. Modeling of Polymer Composite Materials Chaotically Reinforced with Spherical and Cylindrical Inclusions. *Polymers* 2022, 14, 2087. 10.3390/polym14102087

44. Pavlenko, I.; Pitel', J.; Ivanov, V.; Berladir, K.; Mižáková, J.; Kolos, V.; Trojanowska, J. Using Regression Analysis for Automated Material Selection in Smart Manufacturing. *Mathematics* 2022, 10, 1888. 10.3390/math10111888

45. Ponomarenko, O.; Yevtushenko, N.; Berladir, K.; Zapolovskyi, M.; Krmela, J.; Krmelová, V.; Artyukhov, A. Modeling and Optimization of Properties of the Environmentally Clean Molds Based on Oligofurfuryloxysiloxanes for the Production the Metal Castings. *Polymers* 2022, 14, 1883. 10.3390/polym14091883

46. Berladir, K.V., Hovorun, T.P., Bilous, O.A., Baranova, S.V.: The modeling of the composition and properties of functional materials based on polytetrafluoroethylene. *Functional Materials* 25(2), 342-347 (2018). 10.15407/fm25.02.342

47. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Системи управління якістю. Вимоги. Київ ДП «УкрНДНЦ», 2016. 30 с.