

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

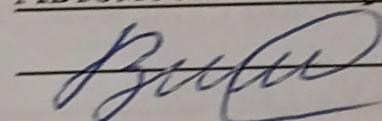
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

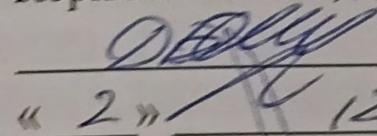
«Удосконалення процесу комплектування деталей та складання вузлів автомобілів під час ремонту в умовах станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто» місто Немирів Вінницької області»

Виконав: здобувач 2-го курсу, групи 1АТ-24м
спеціальності 274 – Автомобільний
транспорт

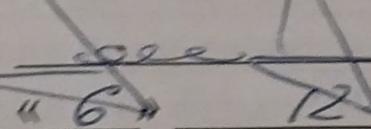
Освітньо-професійна програма –
Автомобільний транспорт

 Винокуров А.Є.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ

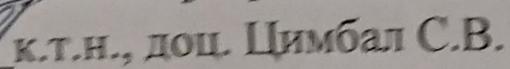
 Борисюк Д.В.
« 2 » 12 2025 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. ГМ

 Сивак Р.І.
« 6 » 12 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

 к.т.н., доц. Цимбал С.В.

« 6 » 12 2025 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 27 – Транспорт
Спеціальність 274 – Автомобільний транспорт
Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.

«25» 09 2025 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

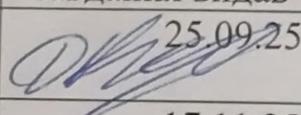
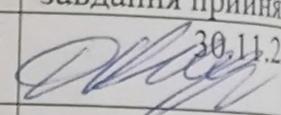
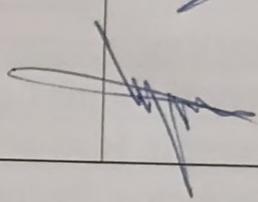
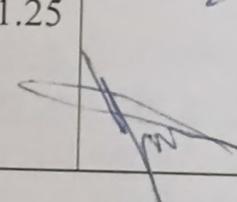
Винокурову Артему Євгеновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення процесу комплектування деталей та складання вузлів автомобілів під час ремонту в умовах станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто» місто Немирів Вінницької області, керівник роботи Борисюк Дмитро Вікторович, к.т.н., доцент, затверджені наказом ВНТУ від «24» вересня 2025 року № 313.
2. Строк подання здобувачем роботи: 30.11.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані моделі АТЗ – автомобілі з КПП типу ЯМЗ-239; об'єкт дослідження – розмірні параметри деталей КПП і редукторів з позицій забезпечення норм співвідношення вихідних валів; похибка прогнозування досліджуваних показників – не більше 10%.
4. Зміст текстової частини:
 1. Дослідження процесу комплектування деталей та складання вузлів автотранспортних засобів в умовах сто «немирів-авто»
 2. Теоретичні основи забезпечення якості складання з'єднань при ремонті машин методами цифровізації і розмірного аналізу
 3. Методика проведення досліджень
 4. Результати досліджень та їх аналіз
 5. Техніко-економічна оцінка результатів досліджень
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1-2 Тема, мета та завдання дослідження

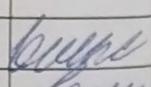
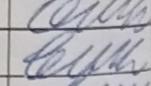
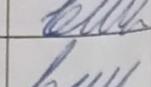
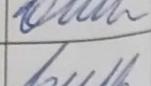
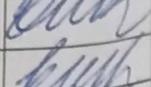
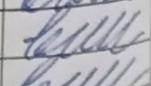
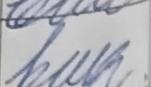
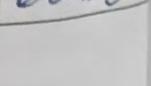
- 3-4. Загальні відомості про СТО «Немирів-Авто»
5. Класифікація видів складання
6. Класифікація ущільнювальних пристроїв
7. Фактори, що впливають на надійність з'єднання «вал-манжета»
8. Теорія герметичності контактних ущільнювальних пристроїв
9. Моніторингові показники якості комплектування і складання
10. Вибір засобів вимірювання для контролю розмірів деталей з'єднання "вал-ущільнення"
11. Розмірний ланцюг для розрахунку сумарної величини відхилення від співвісності
12. Характеристики ланок розмірного ланцюга вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239 відносно манжети при використанні розмірів, допустимих без ремонту
13. Запропонована методика розрахунку параметрів розмірного ланцюга
14. Результати розрахунку параметрів розмірного ланцюга вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239 відносно манжети при використанні розмірів, допустимих без ремонту
- 15-16. Техніко-економічна оцінка результатів досліджень
17. Висновки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

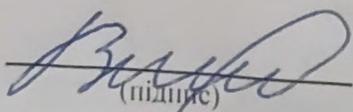
Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Борисюк Дмитро Вікторович, доцент кафедри АТМ	 25.09.25	 30.11.25
Визначення ефективності запропонованих рішень	Буренніков Ю.Ю., професор кафедри АТМ	 17.11.25	 24.11.25

7. Дата видачі завдання « 25 » вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

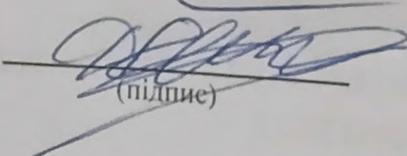
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	25.09-29.09.2025	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	30.09-20.10.2025	
3	Обґрунтування методів досліджень	30.09-20.10.2025	
4	Розв'язання поставлених задач	21.10-10.11.2025	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	11.11-16.11.2025	
6	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	17.11-24.11.2025	
7	Нормоконтроль МКР	25.11-30.11.2025	
8	Попередній захист МКР	01.12-04.12.2025	
9	Рецензування МКР	05.12-09.12.2025	
10	Захист МКР	10.12.2025-12.12.2025	

Здобувач


(підпис)

Винокуров А.Є.

Керівник роботи


(підпис)

Борисюк Д.В.

АНОТАЦІЯ

УДК 629.017

Винокуров А.Є. Удосконалення процесу комплектування деталей та складання вузлів автомобілів під час ремонту в умовах станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто» місто Немирів Вінницької області. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт, освітня програма – Автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2025. 106 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 30 назв; рис.: 23; табл.: 33.

В магістерській кваліфікаційній роботі пророблено питання удосконалення процесу комплектування деталей та складання вузлів автомобілів під час ремонту.

У першому розділі представлено аналіз виробничої діяльності СТО «Немирів-Авто», проведено аналіз інструментів цифрового моделювання, що застосовуються на ремонтних виробництвах.

У другому розділі в ході аналізу процесів комплектування та складання при ремонті коробки передач розроблено цифрові моделі процесів комплектування та складання у нотаціях IDEF0 та BPMN.

У третьому розділі наведено опис об'єктів та методи їх досліджень.

У четвертому розділі представлено результати теоретичних досліджень забезпечення якості складання методами розмірного аналізу.

У п'ятому розділі визначено економічний ефект від застосування цифрових засобів вимірювань при контролі фланця коробки передач та від впровадження технологічного процесу відновлення валів установкою ремонтної втулки для коробки передач силових агрегатів ЯМЗ.

Графічна частина складається з 17 слайдів.

Ключові слова: ремонт, комплектування деталей, складання вузлів, дослідження, математична модель, транспортний засіб, ресурс, технічний стан.

ABSTRACT

UDC 629.017

Vynokurov A.E. Improving the process of completing parts and assembling car units during repair in the conditions of the car service station "Nemiriv-Avto", the city of Nemiriv, Vinnytsia region. Master's thesis on the specialty 274 – Road transport, educational program – Road transport. Vinnytsia: VNTU, 2025. 106 p.

In Ukrainian language. Bibliography: 30 titles; Fig.: 23; tables: 33.

The master's qualification work addresses the issue of improving the process of completing parts and assembling vehicle components during repair.

The first section presents an analysis of the production activities of the Nemyriv-Avto service station, an analysis of digital modeling tools used in repair production.

In the second section, during the analysis of the assembly and assembly processes during gearbox repair, digital models of the assembly and assembly processes in IDEF0 and BPMN notations were developed.

The third section provides a description of the objects and methods of their research.

The fourth section presents the results of theoretical research on ensuring the quality of assembly using dimensional analysis methods.

The fifth section determines the economic effect of using digital measuring instruments when controlling the gearbox flange and from implementing the technological process of restoring shafts by installing a repair sleeve for the YaMZ gearboxes of power units.

The graphic part consists of 17 slides.

Keywords: repair, parts assembly, assembly of components, research, mathematical model, vehicle, resource, technical condition.

Зміст

Вступ	9
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОМПЛЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ ВУЗЛІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ СТО «НЕМИРІВ-АВТО»	13
1.1 Загальні відомості про СТО «Немирів-Авто»	13
1.2 Виробнича характеристика СТО «Немирів-Авто»	14
1.3 Загальна методика дослідження способів забезпечення якості складання з'єднань при ремонті машин методами цифровізації та розмірного аналізу	18
1.4 Аналіз інструментів цифрового моделювання процесів ремонтного виробництва	20
1.5 Роль та місце розмірного аналізу у забезпеченні якості складання з'єднань вузлів автомобілів	23
1.6 Аналіз впливу похибки вимірювань на якість комплектування та складання вузлів автомобілів при ремонті машин	27
1.7 Аналіз впливу параметрів та факторів, що впливають на надійність з'єднань «вал-ущільнення»	31
1.7.1 Класифікація з'єднань «вал-ущільнення», що застосовуються у галузі транспорту	31
1.7.2 Показники якості гумової армованої манжети	34
1.7.3 Аналіз факторів, що впливають на надійність з'єднання "вал-ущільнення"	38
1.8 Висновки до першого розділу	45
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ СКЛАДАННЯ З'ЄДНАНЬ ПРИ РЕМОНТІ МАШИН МЕТОДАМИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ І РОЗМІРНОГО АНАЛІЗУ	48
2.1. Теоретичні основи цифровізації процесів під час ремонту автомобілів	48
2.1.1 Розробка цифрової моделі процесу комплектування та складання для ремонтного виробництва	48

2.1.2 Моніторинг процесу складання	53
2.2 Теоретичні основи розрахунку розмірних ланцюгів для визначення сумарного відхилення від співвісності та радіального биття	55
2.2.1 Математичний опис показників якості машин	55
2.2.2 Різновиди аргументів узагальненої функції якості	57
2.3 Методика складання розмірного ланцюга для виявлення сумарного відхилення від співвісності і радіального биття у з'єднанні валу з манжетою	61
2.4 Методика розрахунку та вибору розмірів компенсаторів за допомогою розмірного аналізу	64
2.5 Висновок до другого розділу	67
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	68
3.1 Вибір засобів вимірювання для контролю розмірів деталей з'єднання «вал-ущільнення»	68
3.2 Методика визначення закону розподілу розсіювання розмірів деталей з'єднань «вал-ущільнення»	70
3.3 Нормування допустимої похибки і вибір засобів вимірювань при контролі відхилення форми та розташування поверхонь	72
3.4 Розробка комп'ютерної програми до розрахунку допуску ланки розмірного ланцюга у вигляді зазору	73
3.5 Висновки до третього розділу	75
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	76
4.1 Дослідження параметрів розсіювання натягів у з'єднанні вихідного кінця вала (фланця) КПП ЯМЗ з манжетою	76
4.2 Розрахунок сумарного відхилення від співвісності вихідного валу КПП ЯМЗ відносно манжети	81
4.3 Дослідження параметрів розмірного ланцюга вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239 відносно манжети при використанні розмірів, допустимих без ремонту	87
4.4 Використання методу групової взаємозамінності підвищення якості складання валів з манжетами у ремонтному виробництві	89

4.5 Висновки до четвертого розділу	90
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	92
5.1 Розрахунок економічного ефекту від застосування цифрових засобів вимірювань при контролі фланця КПП	92
5.2 Оцінка економічного ефекту від запровадження технологічного процесу відновлення валів установкою ремонтної втулки для коробки передач силового агрегату ЯМЗ	97
5.3 Висновки до п'ятого розділу	101
ВИСНОВКИ	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	104
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративна частина магістерської кваліфікаційної роботи	107
Додаток Б (обов'язковий). Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	125

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Дане дослідження спрямоване на вирішення проблеми забезпечення якості складання з'єднань під час ремонту машин та обладнання методами функціональної взаємозамінності та застосуванням інструментів цифровізації. Вибрані напрями покращення процесу складання обумовлені початком четвертої та п'ятої промислових революцій («Індустрія 4.0» та «Індустрія 5.0»), яка передбачає новий підхід до виробництва, заснований на масовому впровадженні інформаційних технологій у промисловість, масштабній автоматизації бізнес-процесів та поширенні штучного інтелекту. У зв'язку з цим актуальним напрямом у проектуванні технологічних процесів ремонтного виробництва є створення цифрових двійників. Разом з цим застосування розмірного аналізу для забезпечення якості збирання у ремонтному виробництві дозволяє оцінити вплив та визначити точність збирання вузлів аналітично ще на етапі проектування технологічного процесу.

Раціональна точність деталей, що входять у розмірні ланцюги, де як замикаюча ланка виступають параметри, що забезпечують задану довговічність, повинна передбачатися ще в процесі проектування та конструювання деталі, вузла та машини в цілому, але і може також коригуватися в процесі ремонту. Основним критерієм в оцінці норм взаємозамінності, що застосовуються, є експлуатаційні показники. Звичайно, що всі функціональні параметри повинні мати певні межі. У процесі конструювання чи модернізації необхідно домагатися, щоб усі функціональні параметри деталей, вузлів та агрегатів машин перебували у межах заданих допусків з урахуванням подальшого зносу.

Застосування розрахункових методик і моделювання заданих параметрів дозволяє створити на етапі проектування складальні одиниці та агрегати, з такими параметрами точності деталей, що входять до них, які будуть задовольняти вимоги технологічності та забезпечувати гарантовану надійність і довговічність. Такий підхід дозволяє значно скоротити витрати на випробування та доопрацювання конструкції.

Актуальність і масштабність цієї проблеми залежить від того, що взаємозамінність передбачає не лише забезпечення фізико-механічних властивостей матеріалів деталей та його поверхневого шару і розрахунків кінематики, динаміки і міцності деталей і складальних одиниць, а й норм точності за геометричними параметрами (точність розмірів, форми, взаємного розташування поверхонь).

Комплексний підхід полягає у застосуванні положень теорії точності, функціональної взаємозамінності, теоретико-імовірнісних методів розрахунку розмірних кіл. Комплексний підхід, позначений у даній роботі дозволить створити повномасштабну модель розрахунку замикаючих ланок у вигляді сумарного відхилення від співвісності та сумарного радіального биття поверхні валу відносно манжети, яка буде використана при конструюванні та модернізації редукторів та коробок передач різної автомобільної техніки.

Мета дослідження – забезпечення процесу складання з'єднань вузлів автомобілів при ремонті методами цифровізації та розмірного аналізу.

Завдання дослідження. Для забезпечення якості збирання з'єднань вузлів при ремонті машин методами цифровізації та розмірного аналізу необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз виробничої діяльності СТО «Немирів-Авто».
2. Визначити основні характеристики процесу комплектування та збирання при ремонті КПП. Розробити цифрові моделі процесу комплектування та складання;
3. Удосконалити методики розмірного аналізу для випадків складання та розрахунку: розмірного ланцюга для з'єднання «вал-ущільнення»; розмірів компенсаторів для приведення відхилення від співвісності з'єднаних за допомогою муфти редукторних валів;
4. Провести теоретичні дослідження щодо складання розмірного ланцюга для з'єднання вихідного валу КПП з манжетою та сформулювати рекомендації щодо можливих варіантів збільшення ресурсу даного з'єднання з позиції норм точності;
5. Розглянути можливості використання методу неповної взаємозамінно-

сті з метою забезпечення якості збирання з'єднань валів з манжетами під час ремонту КПП;

6. Оцінити економічну ефективність застосування цифрових засобів вимірювання для контролю розмірів фланця КПП після відновлення. Розрахувати економічний ефект від запровадження технологічного процесу відновлення валів установкою ремонтної втулки коробки передач силових агрегатів.

Об'єктом дослідження є розмірні параметри деталей КПП і редукторів з позицій забезпечення норм співвісності вихідних валів.

Предметом дослідження є методи функціональної взаємозамінності та інструменти цифровізації, стосовно процесу складання КПП та редукторів автомобільної техніки.

Наукова новизна:

1. Побудований розмірний ланцюг для замикаючої ланки у вигляді відхилення від співвісності манжети щодо валу КПП ЯМЗ-239;
2. Розроблено методику розрахунку розмірного ланцюга, в якій окремо виділено такі ланки як відхилення від співвісності та радіальні биття;
3. Розроблено методику розрахунку кількості та розмірів компенсаторів для приведення відхилення від співвісності до нормованої величини.

Теоретична та практична значущість роботи. Теоретична значимість полягає у розробці методик розрахунку розмірних ланцюгів, де вихідною замикаючою ланкою є відхилення від співвісності. Прикладна значимість полягає у можливості зменшення впливу величин, тобто підвищення точності ланок, що входять у розмірний ланцюг, який істотно впливає на ресурс з'єднання.

Розроблена цифрова модель складання дозволить автоматизувати створення стандартів та інструкцій, проводити моніторинг процесу та покращувати його параметри.

Результати дослідження можуть бути використані на ремонтних підприємствах, які здійснюють технічне обслуговування та ремонт автомобільної техніки.

Методологія та методи дослідження. У дослідженнях використано поло-

ження теорії точності, теорії ймовірності та математичної статистики. Використовувалася сучасна методика вибору засобів вимірювань лінійних розмірів. Для створення цифрової моделі процесу комплектування та складання використані методи: IDEF0, що належать до класу методів IDEF, що ґрунтуються на методології SADT; BPMN – нотація, яка моделює кроки запланованого процесу від початку до завершення.

Для оцінки похибки вимірювань відхилень форми та розташування поверхонь деталей при ремонті, а також для визначення критеріїв вибору засобів вимірювань використані елементи теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії точності та взаємозамінності. Результати непрямих вимірювань та похибка вимірювання (відхилення форми та розташування поверхонь деталей) розглядалася як випадкові величини, пов'язані з вимірюваними значеннями (діаметри деталі) функціональною залежністю.

Апробація результатів. Основні положення роботи були представлені на XVIII-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року у Вінницькому національному технічному університеті (м. Вінниця).

Структура та обсяг роботи. Дана дипломна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОМПЛЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ ВУЗЛІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ СТО «НЕМИРІВ-АВТО»

1.1 Загальні відомості про СТО «Немирів-Авто»

СТО «Немирів-Авто» розпочало свою роботу з 90-х років ХХ століття і на сьогодні є передовим підприємством де можна вирішити всі проблеми пов'язані з технічною експлуатацією автомобілів.

Із завданням, що стосується відновлення автотранспортного засобу до рівня, який він мав, зійшовши з конвеєра заводу-виробника, в змозі впоратися не кожне АТП чи СТО.

Такий рівень технічного обслуговування може запропонувати лише АТП чи СТО, що має висококваліфікований персонал, професійне обладнання з відповідними запасними частинами і власне виробництво.

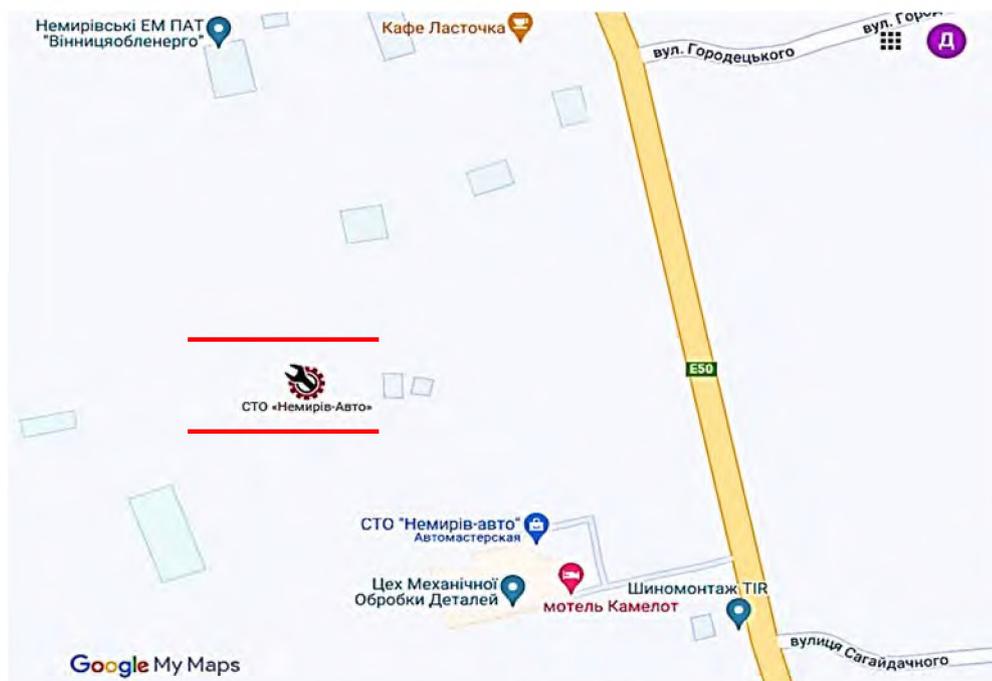


Рисунок 1.1 – Розташування виробничих підрозділів СТО «Немирів-Авто» в м. Немирів

Сервісний комплекс підприємства СТО «Немирів-Авто» об'єднує в собі ремонтні майстерні в м. Вінниця та м. Немирів, шинний центр, магазин автозапчастин та автомийку.

СТО «Немирів-Авто» розташована у м. Немирів (за 40 км від м. Вінниця) (див. рис. 1.1).

Юридична адреса СТО «Немирів-Авто»: Вінницька обл., м. Немирів, вул. Маковського, 16.

Фактична адреса СТО «Немирів-Авто»: Вінницька обл., м. Немирів, вул. Горького, 46.

1.2 Виробнича характеристика СТО «Немирів-Авто»

В автомайстерні СТО «Немирів-Авто» використовують все необхідне обладнання для роботи з багатьма марками автомобілів азіатського європейського і американського виробництва. Спеціальні сканери і тестери дозволяють виконати діагностування виконавчих механізмів і блоків управління, двигунів, ходової частини та різних систем автомобілів.

Ремонт двигунів в СТО «Немирів-Авто» посідає особливе місце, оскільки СТО починала свою роботу як майстерня по ремонту автотракторних двигунів (рис. 1.2). При ремонті головок блоку циліндрів ДВЗ фахівцям допомагає високоточне обладнання. Особливий вид сервісу, на якому спеціалізується СТО «Немирів-Авто» – це установка, діагностування та ремонт турбокомпресорів ДВЗ. Це високотехнологічні агрегати, робота з якими вимагає високої кваліфікації персоналу і наявності професійного обладнання. Відповідно, більшість автосервісів ігнорує їх обслуговування. СТО «Немирів-Авто» обслуговує турбодвигуни всіх виробників і є сертифікованим дилером компанії «Turbo car», офіційного дистриб'ютора концерну «BorgWarner Turbo Systems» (США) – одного з найбільших виробників турбін і трансмісій в світі. Завдяки співпраці з «Turbo car» СТО «Немирів-Авто» має діль-

ницю по ремонту і виробництву карданних валів транспортних засобів з використанням запчастин, технологій та обладнання німецької компанії «Welte-Wenu GmbH».



Рисунок 1.2 – Дільниця ремонту двигунів СТО «Немирів-Авто» в м. Немирів

Склад компанії «Немирів-Авто» має значний запас запасних частин до багатьох марок сучасних автомобілів. Якщо необхідна деталь відсутня, її можна замовити за каталогам виробників – запасні частини підбираються під конкретний автомобіль по VIN-коду.

За якість шиномонтажних робіт компанії «Немирів-Авто» відповідає обладнання італійської фірми «ТЕСО» і висококваліфікований персонал, значна частина якого пройшла навчання в Європі, а також в Україні на семінарах компанії «ТіДіСі». Тут ремонтують пошкодження шин всіх типів автомобілів, в тому числі сільсько-господарської техніки, кар'єрної техніки і спецтехніки. Для цього виду робіт, який здійснюють далеко не всі шиномонтажні центри, встановлений верстат, що дозволяє працювати з колесами діаметром до 2,5 м. Також в майстерні виконують балансування коліс будь-якого типу, роблять нарізку протектора і рихтування сталевих дисків коліс.

Компанія «Немирів-Авто» виробляє рукава високого тиску для власних потреб і на продаж. Виготовляють рукава високого тиску з німецького матеріалу за технологією компанії «Cohline» (Німеччина) на німецьких верстатах «Uniflex». Додатково СТО «Немирів-Авто» надає послуги з ремонту клієнтських рукавів високого тиску.

Основне завдання карданного цеху СТО «Немирів-Авто» – це високий рівень надання послуг з ремонту і виробництва карданних валів. На сьогодні вінницький карданний цех СТО «Немирів-Авто» може провести ремонт і виготовити новий карданний вал із застосуванням оригінальних запчастин провідних виробників, таких як «GWB», «DANA SPICER», «KLEIN», «ELBE», «GKN».

Вінницький відділ СТО «Немирів-Авто» надає послуги з виготовлення, ремонту і балансуванню карданних валів. Сфера діяльності станції технічного обслуговування «Немирів-авто» поширюється на автомобілі європейського і американського виробництва, будівельну, індустріальну і сільськогосподарську техніку світових лідерів: VW, AUDI, MERCEDES, BMW, MAN, VOLVO, SCANIA, DAF, RENAULT, LIEBHERR, JOHN DEERE, KOMATSU, VALMET, CATERPILLAR. Замовлення на виготовлення і ремонт карданних валів надходять від підприємств і приватних осіб усіх областей України.

Крім ремонту карданних валів до переліку послуг СТО «Немирів-Авто» входять:

- переробка та посилення конструкції карданного валу;
- ремонт карданних валів автомобілів Renault Duster, Acura, Toyota RAV4, Honda Pilot, Porsche Cayenne, Infiniti, Vw Touareg, Vw Tiguan;
- виготовлення подовжених карданних валів на лімузин, евакуатор і т.д.

Підприємство СТО «Немирів-Авто» виготовляє та виконує заміну гальмівних трубок для всіх автомобілів і мікроавтобусів будь-яких марок та моделей. Використання обладнання для вальцювання німецької фірми «COHLINE» і комплектуючих «WP» дає впевненість в тому, що якість виробів «Немирів-Авто» є високою.

Підприємство СТО «Немирів-Авто» має технічні можливості для оперативного виконання всіх видів токарних робіт. Фахівці СТО «Немирів-Авто» виготовлять на замовлення деталі будь-якої складності з чітким забезпеченням заданих параметрів.

Багатофункціональні токарні верстати дозволяють майстрам СТО «Немирів-Авто» якісно виконувати об'ємний перелік технологічних операцій, включаючи торцювання, відрізання заготовок, зняття фасок під різними кутами, прорізання пазів і канавок, обробку жолобників, нарізку різьблення.

Цех металообробки СТО «Немирів-Авто» пропонує послуги з металообробки, такі як: шліфування шийок колінчатих валів, полірування колінчастих валів, розточування та хонінгування БЦ ДВЗ (включаючи алюмінієві блоки), гільзовка блоків циліндрів ДВЗ (включаючи алюмінієві), відновлення постілі колінчастих і розподільних валів, комплексний ремонт головок блоку циліндрів ДВЗ (включаючи вантажні), ремонт верхньої і нижньої головок шатуна, перепресовка шатунів, обробка площин блоків циліндрів ДВЗ, обробка площини ГБЦ ДВЗ, миття і очищення деталей двигуна, балансування деталей ДВЗ та трансмісії.

Підприємство «Немирів-Авто» виконує такі види фрезерних операцій: торцеве фрезерування; кінцеве фрезерування; фасонне фрезерування (фрезерування профілів).

Підприємство «Немирів-авто» займається зварювальними роботами різної складності. СТО «Немирів-авто» виконує відновлення автомобільних агрегатів і вузлів, шляхом напівавтоматичного зварювання, аргонодугового зварювання, газової пайки ацетиленом. Технічне оснащення СТО «Немирів-Авто» поповнилося новим апаратом аргонодугового зварювання з сенсорним керуванням «KIND TIG 400DP AC/DC». Даний зварювальний апарат застосовується для аргонового зварювання всіх видів металів та їх сплавів.

Підприємство «Немирів-Авто» пропонує своїм клієнтам сервісне обслуговування та капітальний ремонт промислових вакуумних насосів пластинчато-роторного типу. Фахівці «Немирів-авто» здійснюють ремонт вакуумних насосів на спеціально обладнаній ділянці цеху механічної обробки деталей (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Дільниця механічної обробки деталей СТО «Немирів-Авто»
в м. Немирів

З 2006 року СТО «Немирів-Авто» здійснює продаж турбокомпресорів. З 2018 року склад турбокомпресорів СТО «Немирів-Авто» розташовано в м. Вінниця.

Працівники відділу продажів та складу запасних частин СТО «Немирів-Авто» надають консультації по підборі і постачанню запчастин. Це дозволяє значно скоротити час доставки запчастин необхідних для ремонту автомобілів, але якщо потрібна заміна деталі, яка відсутня на складі, тоді менеджери можуть організувати доставку потрібної запчастини в максимально стислі терміни з країн Європи і Америки.

1.3 Загальна методика дослідження способів забезпечення якості складання з'єднань при ремонті машин методами цифровізації та розмірного аналізу

Методика проведення наукового дослідження необхідна для забезпечення надійності, валідності та відтворюваності результатів досліджень. Формування мето-

дики дослідження спрямовано на визначення прийомів, способів дослідження, порядку їх застосування та інтерпретації отриманих результатів. Загальна методика дослідження по забезпеченню якості складання з'єднань при ремонті машин методами цифровізації та розмірного аналізу передбачає вивчення сучасного стану проблеми, постановку мети та завдань дослідження, розробку теоретичної моделі та експериментальні дослідження, оцінку економічного ефекту від проєктних пропозицій.

Для вивчення сучасного стану питань, пов'язаних з забезпеченням якості складання з'єднань при ремонті машин методами цифровізації та розмірного аналізу необхідно провести такі дослідницькі заходи:

1. проаналізувати існуючі інструменти цифрового моделювання процесів ремонтного виробництва, виявити їх переваги та недоліки, визначити, які нотації є найбільш підходящими для моделювання технологічних процесів ремонтного виробництва;
2. провести аналіз процесів комплектування та складання, визначити роль та місце розмірного аналізу у забезпеченні процесу складання з'єднань;
3. оцінити вплив похибки вимірювань на якість комплектування та складання при ремонті машин, визначити напрямок для вдосконалення метрологічного забезпечення комплектування та складання;
4. оцінити застосування з'єднань типу «вал-ущільнення». Провести аналіз параметрів та факторів, що впливають на надійність даного типу з'єднань. Визначити необхідність застосування розмірного аналізу з метою підвищення якості складання з'єднань типу «вал-ущільнення».

Теоретичне дослідження спрямоване на вдосконалення та розробку засобів та методів забезпечення якості складання при ремонті машин методами цифровізації та розмірного аналізу, а саме:

- розробку цифрової моделі процесу комплектування та складання КПП у нотаціях IDEF0 та BPMN;
- удосконалення методики складання розмірного ланцюга для виявлення сумарного відхилення від співвісності і радіального биття у з'єднанні валу з манжетною;

– удосконалення методики розрахунку та вибору розмірів компенсаторів за допомогою розмірного аналізу.

Для проведення досліджень необхідно:

– розробити методику нормування допустимої похибки та вибір засобів вимірювань при контролі відхилення форми та розташування поверхонь на етапі комплектування деталей;

– вибрати засоби вимірювань для контролю розмірів деталей з'єднання «вал-ущільнення»;

– скласти методику для оцінки закону розподілу розсіювання розмірів деталей з'єднання «вал-ущільнення».

Апробація теоретичних досліджень щодо забезпечення якості складання при ремонті машин включає в себе:

– обґрунтування доцільності застосування розмірного аналізу для підвищення якості з'єднань вихідного кінця валу (фланця) КПП ЯМЗ з манжетою, для цього необхідно провести дослідження параметрів розсіювання натягів у даному з'єднанні;

– проведення нормування шорсткості поверхонь валів у з'єднаннях з гумовими армованими манжетами з метою забезпечення якості з'єднання;

– апробацію методу групової взаємозамінності для підвищення якості збирання валів з манжетами в ремонтному виробництві.

Оцінка економічного ефекту здійснюється згідно з стандартними методиками, а також за допомогою методів, розроблених у даній роботі.

Завершальним етапом роботи є розробка обґрунтованих рекомендацій щодо забезпечення надійності посадки на циліндричних поверхнях приводів зі шпонками.

1.4 Аналіз інструментів цифрового моделювання процесів ремонтного виробництва

В даний час, в умовах цифровізації та автоматизації виробництва, в рамках концепції «Індустрії 4.0» традиційне уявлення технологічного процесу у вигляді comple-

кту технологічних документів, як правило, у паперовому вигляді, є застарілим. У зв'язку з цим актуальним напрямом у проектуванні технологічних процесів є створення цифрових двійників.

Цифрове моделювання діяльності підприємств чи організацій найчастіше ґрунтується на управлінні бізнес-процесами. Бізнес-процесом називають сукупність дій, реалізованих у межах діяльності організації, вкладених для досягнення попередньої заданої мети [4]. Працюючи з бізнес-процесами, їх найчастіше розбивають на такі елементи: вхід – деякий ресурс чи їх сукупність необхідні для початку процесу, вихід – результат діяльності проведеної у межах бізнес-процесу, процес – сукупність дій, вкладених у перетворення входів у вихід і, учасники процесу – співробітники, служби чи інші системні одиниці, які реалізують процес. Залежно від середовища та умов моделювання елементи можуть змінюватись та доповнюватись. При моделюванні бізнес-процесів створюється модель, в якій текстовим або графічним, відображаються елементи бізнес-процесу і взаємодія між ними. Подібне візуальне уявлення діяльності підприємства чи організації дозволяє систематизувати необхідну інформацію для її кращого розуміння і допомагає визначити частини та складові процесу, яким потрібні зміни.

Існують різні методології для представлення, опису та моделювання бізнес-процесів, однією з перших і при цьому широко використовуваних в даний час є IDEF0. IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling) – нотація графічного моделювання, що широко застосовується для опису бізнес-процесів у всіх країнах світу. Дана нотація створена в 1981 р. спільно зі спеціально для неї розробленою системою BPwin в США, і там була прийнята в якості федерального стандарту для обробки інформації в 1993 р.

Незважаючи на те, що для моделювання в даній нотації передбачалася система BPWin, сьогодні існує широкий спектр програмного забезпечення, що підтримує методологію IDEF0, при цьому доповнюючи деякі її функції і надаючи можливість комбінувати її з іншими методологіями та нотаціями.

Нотація IDEF0 застосовується для побудови діаграм двох видів – контекстна діаграма і діаграма декомпозиції. Контекстна діаграма служить для відображення

процесу, що моделюється в цілому, а також його зв'язку із зовнішнім середовищем, вона являє собою найвищий рівень моделі. Контекстна діаграма складається з одного блоку, що відображає об'єкт моделювання, а також зі стрілок, що йдуть у нього та з нього. Оскільки контекстна діаграма є основою всієї моделі, в якості ідентифікуючого номеру блоку служить – 0.

Діаграма декомпозиції є наступним рівнем моделі, що розділяє функції на підфункції, відбиваючи їх зв'язки та послідовність реалізації. Даний вид діаграми складається з декількох блоків (відповідно від 3 до 6) і стрілок, блоки розташовуються, починаючи з верхнього лівого кута по діагоналі в правий нижній з послідовним присвоєнням номерів. Блоки пов'язані між собою стрілками для наочного зображення етапів перетворення об'єктів «входу» в об'єкти «виходу». На основі будь-якого з блоків може бути побудована своя діаграма декомпозиції до досягнення необхідного рівня деталізації процесу [6].

Графічний опис процесу, у вигляді моделі побудованої в нотації IDEF0, здатний значно полегшити сприйняття всього процесу в цілому, показуючи взаємодію всіх елементів процесів, що беруть участь, з гнучко налаштованим рівнем деталізації [3]. Однак ця нотація була створена наприкінці 20-го століття і її можливостей не завжди достатньо для умов сучасних організацій [1], тому передові підприємства часто використовують цифрові моделі своєї діяльності, побудовані із застосуванням різних нотацій. Однією з них є нотація BPMN.

BPMN (Business Process Model and Notation) – нотація моделювання бізнес-процесів, що призначена для побудови графічної схеми алгоритму виконання процесу. Найчастіше застосовуються описи процесів нижнього рівня [7].

У нотації BPMN, як правило, використовується більша кількість графічних елементів, ніж IDEF0. Вони поділені на п'ять категорій: елементи потоку, дані, що з'єднують елементи, зони відповідальності та артефакти.

Ще одна нотація моделювання EPC (Event-driven Process Chain), також широко застосовується. EPC призначена для опису порядку виконання процесу у вигляді послідовності дій, керованих подіями та виконуваними виконавцями. Нотація розроблена у 1990-х роках як нотація для роботи із системою SAPR. Як правило, нотація

орієнтована на опис високорівневих процесів. Одним з головних правил побудови моделі процесу в нотації EPC є чергування будь-якої дії та події. Це збільшує кількість елементів схеми та робить її більш громіздкою порівняно з BPMN. З іншого боку, нотація EPC зрозуміліша, оскільки в ній мало елементів і навіть людина не знайома з нотацією зможе легко прочитати і розібратися в EPC-діаграмі.

В цілому для опису процесів у загальному вигляді однаково підходять обидві нотації, але нотація BPMN має велику кількість елементів, пов'язаних з автоматизацією процесів (тригери, повідомлення, потоки даних тощо). Крім того, у нотації є можливість відображення учасників процесу у вигляді окремих доріжок, що дає змогу наочно показати поділ відповідальності між ними. Таким чином, використання BPMN нотацій дозволяє вирішувати завдання з моделювання процесів та автоматизації діяльності підприємства.

1.5 Роль та місце розмірного аналізу у забезпеченні якості складання з'єднань вузлів автомобілів

Складання є невід'ємною операцією технологічного процесу виготовлення та ремонту машин та обладнання. У процесі складання здійснюється послідовне з'єднання та фіксація деталей, що становлять складальну одиницю.

Складання може здійснюватися простим з'єднанням деталей, їх запресуванням, загвинчуванням, зварюванням, паянням, клепаанням і т.д. За своїм обсягом складання поділяється на:

- загальне складання, об'єктом якого є виріб загалом;
- вузлове складання, об'єктом якого є складова частина виробу, тобто складальна одиниця чи вузол (рис. 1.4).

На першому етапі складання здійснюють перевірку комплектності деталей і складальних одиниць, що надійшли на складання. При комплектації можуть бути використані різні методи:

- метод групової взаємозамінності – метод, у якому необхідна точність складання досягається шляхом з'єднання деталей, які стосуються однієї з розмірних груп,

куди вони вже розсортовані. Цей метод використовують при селективному складанні, коли необхідно забезпечити високу точність. Недоліком даного методу є те, що деталі при сортуванні за розмірними групами розподіляються нерівномірно внаслідок чого виникає «незавершене виробництво», коли частину деталей неможливо використовувати, оскільки для них немає відповідної парної деталі.

- метод регулювання – при даному методі необхідна точність складання виходить шляхом модифікації розміру однієї з деталей (або групи деталей) з'єднання, яка називається компенсатором, без зняття шару матеріалу;

- метод підгонки – метод, у якому необхідна точність складання досягається шляхом зміни розміру компенсатора зі зняттям шару матеріалу.



Рисунок 1.4 – Класифікація видів складання

Найважливішою характеристикою якості складання є точність. Точність складання характеризує ступінь близькості дійсних значень параметрів виробу, що збирається, значенням, які задані у технічній документації. Точність складання залежить від багатьох факторів. Розглянемо основні з них:

- параметри мікрогеометрії деталей, що надходять на складання після комплектування, такі як точність розмірів та форми;
- параметри мікрогеометрії з'єднаних деталей, такі як шорсткість;
- взаємного положення деталей під час складання;
- технічного стану засобів технологічного оснащення;
- деформації системи «устаткування – пристосування – інструмент – виріб» в момент виконання складання тощо.

Контроль складання виконується з використанням засобів вимірювань, які вибирають з урахуванням метрологічних (діапазон вимірювань, діапазон показань, точність, похибка, ціна поділки тощо) та економічних (вартість, витрати на перевірку, втрати від похибки вимірювань тощо) характеристик [6].

Основний ризик зниження точності складальної операції – одержання неякісної посадки в з'єднанні, в якій будуть порушені функціональні зазори та натяги, а також вимоги до точності взаємного розташування деталей. Незважаючи на те, що посадка – це з'єднання двох деталей, на якість посадки впливатимуть точність розмірів та форми не лише цих деталей, а й параметри розмірів та форми інших взаємопов'язаних деталей, що забезпечують у комплексі нормальну роботу вузла, механізму чи машини загалом. Виходячи з цього, допуски на виготовлення та зношування деталей повинні визначатися з урахуванням їх взаємозв'язку. Розрахункове обґрунтування цих допусків проводять на базі теорії розмірних ланцюгів, що розглядає відносне положення різних об'єктів, складальних одиниць, деталей та поверхонь деталей з позицій отримання точності певних параметрів вузла, механізму чи машини загалом [8]. Застосування розмірного аналізу дозволяє оцінити вплив та визначити точність збирання вузлів аналітично етапу проектування.

Розмірний ланцюг є замкнутим контуром взаємопов'язаних розмірів, що визна-

чають їх чисельні значення і допуски. Будь-який розмір, що входить у розмірний ланцюг, називають ланкою розмірного ланцюга. Як правило, кожен розмірний ланцюг складається з декількох складових ланок і однієї вихідної (замикаючої) ланки. Крім цього, в окремих випадках, у розмірний ланцюг можуть бути включені інші види ланок, наприклад, компенсуюча ланка.

Залежно від розташування розмірів розмірні ланцюги поділяються на:

- лінійні, що складаються із взаємно паралельних лінійних розмірів, що позначаються великими літерами алфавіту;
- кутові, ланками яких є кутові розміри, що позначаються малими літерами грецького алфавіту (крім α , δ , ξ , λ і ω);
- плоскі, ланки яких розташовані в одній або кількох паралельних площинах;
- просторові, ланки яких розташовані у непаралельних площинах.

В теорії розмірних ланцюгів існують дві задачі:

– пряма задача (проектна), полягає у визначенні допуску та граничних значень відхилень всіх складових ланок розмірного ланцюга при заданому допуску та заданих значеннях граничних відхилень замикаючої (вихідної) ланки;

– обернена задача (перевірна) – знаходження інтервалу можливих значень замикаючої ланки за встановленими в кресленнях граничними відхиленнями складових ланок.

Нормування точності окремих складальних одиниць та з'єднань є досить складним завданням і потребує індивідуального підходу у кожному випадку [2]. Багато функціональних параметрів можна визначити тільки після складання за допомогою методів розрахунку розмірних ланцюгів [4, 7]. У ряді випадків розмірний аналіз застосовується для визначення експлуатаційних характеристик виробів [6]. Характеристики норм точності ланок розмірного ланцюга призначаються за вимогами єдиної системи допусків та посадок, при цьому під час виробництва використовують технології допускового контролю з метою забезпечення якості складання.

Залежно від того, враховується чи не враховується при розрахунку розподіл розмірів ланок ланцюга у межі поля допуску, розрізняють два методи розрахунку: максимум-мінімум та теоретико-імовірнісний.

При методі розрахунку на «максимум-мінімум» передбачається, що навіть, якщо всі ланки ланцюга, які збільшуються, будуть найбільшого розміру, а ланки, що зменшуються – найменшого, або навпаки, то і в найгіршому поєднанні ланок розмір замикаючої ланки не вийде за встановлені межі. При ймовірнісному методі розрахунку розмірних ланцюгів враховується характер розсіювання дійсних розмірів ланок випадкових поєднань цих розмірів деталей під час складання.

Завдання розрахунку «розмірних ланцюгів» вирішено у багатьох САД-системах. Використовуючи цю бібліотеку, можна розрахувати розмірний ланцюг, але проблема полягає в тому, що розмірний ланцюг необхідно попередньо скласти.

Складання розмірного ланцюга не менш важливе, ніж його правильний розрахунок, але воно набагато складніше, оскільки вимоги до точності, що визначають працездатність конкретної складальної одиниці, як правило, індивідуальні.

1.6 Аналіз впливу похибки вимірювань на якість комплектування та складання вузлів автомобілів при ремонті машин

Одним із важливих факторів, що впливають на якість процесу комплектування деталей та збирання вузлів автомобілів, є рівень метрологічного забезпечення [1]. У сучасних умовах, на ремонтних підприємствах регулярно виникають ситуації, коли на комплектування та складання надходять запчастини та комплектуючі з різних та незалежних один від одного джерел. Така ситуація значно впливає на якість комплектування та складання і, як наслідок, в цілому на якість ремонтного процесу. Тому важливим є створення на ремонтному підприємстві ефективної системи верифікації запасних частин і комплектуючих [2]. Крім цього, відмінною особливістю ремонтного процесу є наявність на складальній операції зношених та відновлених деталей. З цього боку необхідно особливу увагу приділяти як якості процесу комплектування, так і якості і рівню метрологічного забезпечення процесу дефектації зношених деталей [3]. Сукупність заходів щодо підвищення якості дефектації та верифікації запасних частин, комплектування та складання надає позитивний вплив на рівень якості

ремонту в цілому, що в кінцевому підсумку знижує втрати від внутрішнього та зовнішнього браку на ремонтному підприємстві.

Головними цілями ремонту машин є відновлення міцності, довговічності та точності деталей. Методи розрахунку норм точності при ремонті машин постійно удосконалюються, також застосовуються методи неповної взаємозамінності [4, 5]. Підвищення точності вимірювань відхилень розмірів та форми збільшує термін служби ущільнень у редукторах та інших вузлах машин та агрегатів.

Відхилення форми та розташування елементів поверхонь деталей, які підлягають обов'язковому дефектуванню під час ремонту, значно впливають на експлуатаційні властивості з'єднань. У нерухомих з'єднаннях великі значення цих відхилень призводять до нерівномірності натягів у з'єднаннях, через що знижується міцність з'єднання, герметичність і точність центрування, у рухомих з'єднаннях – до збільшення зносу поверхонь, що з'єднуються, і зниження довговічності.

За даними [5-7], зменшення конусоподібності, сідлоподібності та овальності шийок колінчастого валу з 0,01 до 0,006 мм дозволяє в 2,5 ... 4 рази збільшити ресурс вкладишів, ці ж положення відносяться і до уніфікованих з'єднань у техніці. Отже, відхилення від співвісності корінних опор колінчастого валу значно впливає на експлуатаційні показники двигуна (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Вплив відхилення від співвісності корінних опор колінчастого валу на експлуатаційні показники двигуна ЗиЛ-130

Показник	Значення показників відхилення від співвісності корінних опор колінчастого валу, мм			
	0,02	0,05	0,1	0,2
Потужність двигуна, кВт	106,1	105,8	105,4	104,0
Питома витрата палива, мкг/дж	98,9	99	101,0	103,0
Коефіцієнт нерівномірності роботи	0,95	0,95	0,94	0,93

Недотримання норм відхилень форми та розташування поверхонь може призвести до зростання трудомісткості та зниження точності складання, збільшення обсягу операцій з підгонки та зниження показників довговічності роботи двигунів. З точки зору теорії машин і механізмів, через похибки кінематичних зав'язків, що викликаються цими відхиленнями, в окремих деталях і з'єднаннях можуть виникнути додаткові статичні та динамічні навантаження, що призведе до швидкого зношування та втомного руйнування деталей.

У технічних вимогах на капітальний ремонт і довідниках з ремонту двигунів для контролю відхилення форми і розташування поверхонь, зазвичай, рекомендують використовувати ті самі засоби вимірювань, що і для контролю лінійних розмірів (таблиця 1.2).

З даних таблиці 1.2 видно, що при виборі засобів вимірювань для контролю відхилень форми і розташування поверхонь не враховується похибка контрольованого параметра, що допускається, і вид вимірювання. Величини контрольованих параметрів, розглянутих у таблиці 1.2, визначають через формули розрахунку результатів непрямих вимірів. Тому при виборі засобів вимірювання необхідно враховувати формулу розрахунку контрольованого параметра.

Відсутність науково обґрунтованого, єдиного підходу до вибору засобів вимірювань для контролю відхилень форми та розташування поверхонь при ремонті двигунів робить актуальною роботу зі створення рекомендації щодо вдосконалення метрологічного забезпечення контролю таких важливих параметрів, як відхилення форми та розташування поверхонь відповідних деталей. Це особливо важливо при дефектації, так як в результаті аналізу зношеної поверхні робиться висновок про придатність її подальшого використання при з'єднанні з новою або зношеною деталлю.

Таким чином, для забезпечення якості складання необхідно розробити рекомендації щодо вдосконалення метрологічного забезпечення контролю відхилень форми та розташування поверхонь деталей під час ремонту машин.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити критерії вибору засобів вимірювань для контролю відхилень форми та розташування поверхонь деталей з урахуванням формули їх розрахунку як результату непрямого вимірювання.

Таблиця 1.2 – Рекомендовані контрольно-вимірювальні прилади для контролю відхилень форми та розташування поверхонь

Контрольований параметр	Контрольно-вимірювальні пристрої та прилади				Область застосування (марка двигуна)
	Найменування	Діапазон вимірювання, мм	Ціна поділки, мм	Похибка вимірювання, мкм	
Овальність та конусо-подібність шийок колінчастого валу	Мікрометри: МК-75-1;	50...70	0,01	±10	Усі марки
	МК-100-1;	75...100	0,01		
	МК-125-1;	100...125	0,01		
	МК-200-2.	175...200	0,01		
Овальність та конусо-подібність отвору гільз циліндрів	Нутромір індикаторний НІ-160	100...160	0,01	±25	Усі марки
Овальність посадкових поясків гільз циліндрів	Мікрометри: МК-150-1,	125...150	0,01	±10	Усі марки
	МК-175-1	150...175	0,01		
Биття відносно загальної осі: корінних шийок; поверхні під шестерню	Пристрій індикаторний для контролю в центрах	0...2	0,01	±10	ЯМЗ-238; ЯМЗ-240
Биття відносно осі крайніх корінних опор: середніх корінних шийок; поверхні під шків	Пристосування індикаторне для комплексного контролю на призмах	0...2	0,002	±6	СМД-60; СМД-14
	Пристосування індикаторне на призмах	0...2	0,01	±10	ЯМЗ-238; ЯМЗ-240
Овальність та конусо-подібність поршневого пальця	Скоба важільна СВ-50	25...50	0,002	±5	Усі марки
Овальність отвору нижньої головки шатуна	Нутромір індикаторний НІ-100	50...100	0,002	±5	Усі марки

1.7 Аналіз впливу параметрів та факторів, що впливають на надійність з'єднань «вал-ущільнення»

1.7.1 Класифікація з'єднань «вал-ущільнення», що застосовуються у галузі транспорту

Широке розмаїття ущільнювальних пристроїв робить їхню класифікацію ускладненою, тому єдиної ієрархічної системи або загального класифікатора ущільнювачів на даний момент в машинобудуванні не створено. Групувати існуючі ущільнювачі можна за двома принципами: за призначенням та за видом контакту. Схематично класифікація ущільнювачів представлена на рис. 1.5.

За призначенням ущільнювальні пристрої поділяються в залежності від ступеня рухливості з'єднання, що ущільнюється. Ущільнення, що входить в одну категорію може бути використане в іншій, прикладом є кільця ущільнювачів, які можна застосувати в практичних будь-яких роз'ємних з'єднаннях. Даний поділ більшою мірою призначений для споживача, дозволяючи йому вибрати ущільнення потрібних типів, залежно від того, до яких умов буде проходити експлуатацію кінематична пара.

Ущільнювальні пристрої, що класифікуються за видом контакту, є рухомими. У існуючих наукових дослідженнях їх поділяють на:

- контактні (ущільнювальний ефект досягається за рахунок притискання ущільнювача до рухомих частин);
- безконтактні (ущільнювальний ефект досягається за рахунок гідравлічних опорів у зазорах), комбіновані (ущільнювальний ефект може досягатися контактним або безконтактним способами).

У зв'язку зі специфікою роботи автотранспортних засобів, ущільнювальні пристрої що використовуються в них, схильні до швидкого зносу і вимагають частої заміни. Найбільш простими при експлуатації та ремонті, і при цьому дешевими є ущільнювальні пристрої контактного виду, через що саме вони використовуються у автомобілебудуванні, особливо поширені армовані манжети.

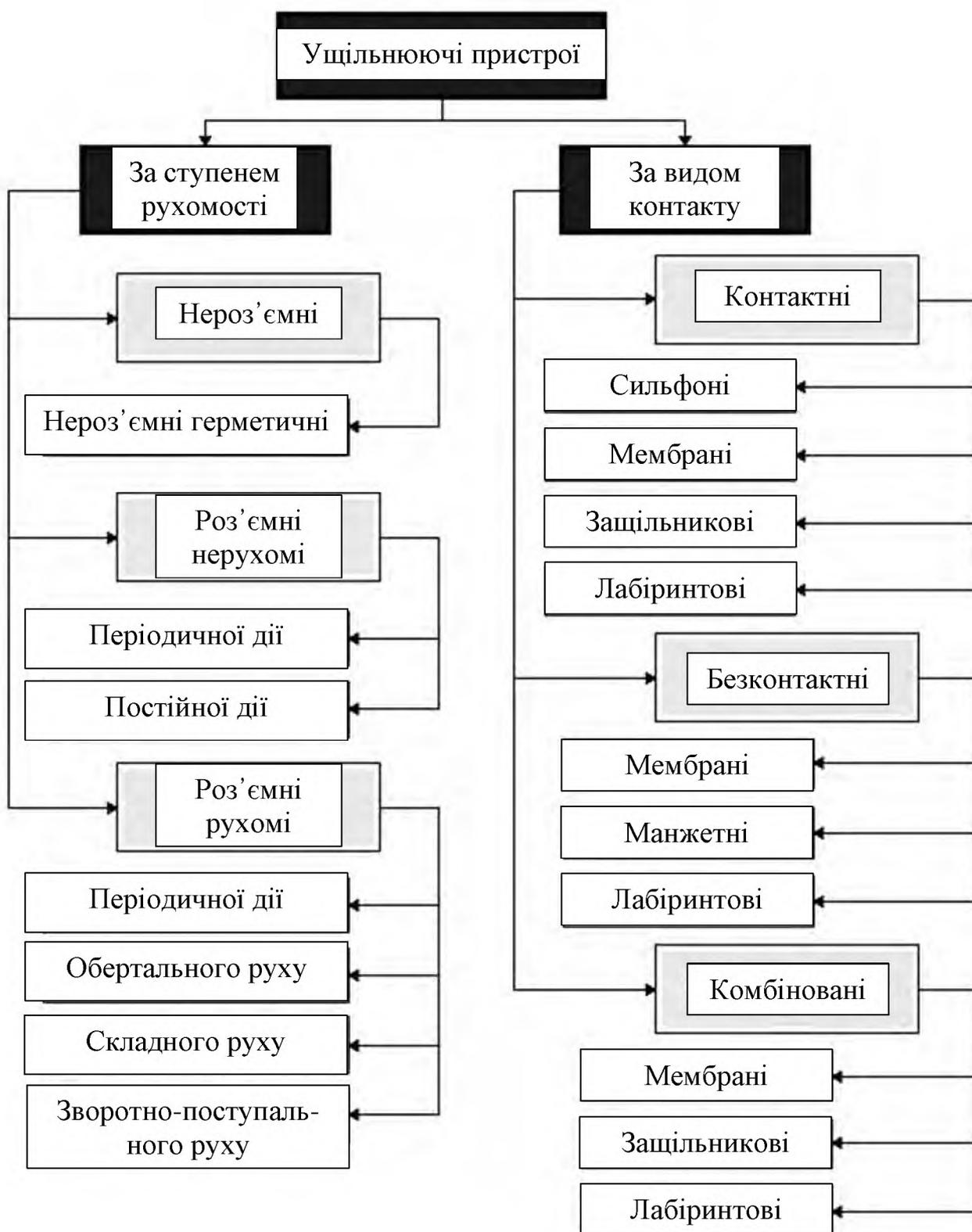


Рисунок 1.5 – Класифікація ущільнювальних пристроїв

Армована манжета є радіальним ущільнювачем, що має кільцеву форму, укріплену металевою пружиною або каркасом, що забезпечує додаткове притискання. Дані манжети можуть мати різну конструкцію, якщо необхідний захист від проникнення

пилу, то манжети виготовляються з пильовиком, для роботи в середовищі зі значним забрудненням застосовують манжети з двома гребінцями. Армовані манжети можуть мати канавки, хвилясті – для додаткового захисту від протікань в осьовому напрямку або гвинтові – для запобігання підтікання при великому радіальному битті та вібраціях. Класифікація армованих манжет представлена на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Класифікація гумових армованих манжет

Незважаючи на своє розмаїття, всі манжети розділять деякі недоліки. У зв'язку з контактом манжети з валом, що обертається, виникає тертя, що призводить до втрат енергії, а також зношування валу в контактній зоні.

Загальні переваги застосування армованих манжет будь-яких конструкцій полягають у швидкості їх встановлення та зняття при ремонті, низька ціна та щільний контакт із поверхнею за рахунок пружини або каркасу.

1.7.2 Показники якості гумової армованої манжети

Незважаючи на велику кількість факторів, що впливають на якість ущільнювального вузла, ключовим з них є якість гумової армованої манжети, це зумовлено необхідністю заміни встановленої на валу манжети під час ремонту, при тому, що вал піддається ремонту в 10 ... 80% випадках.

Незважаючи на те, що гума манжета армована є простим і легким у застосуванні ущільнювачем, якість її роботи залежить від безлічі факторів. Для систематизації показників якості армованої гумової манжети використано деревоподібну діаграму, представлену на рис. 1.7.

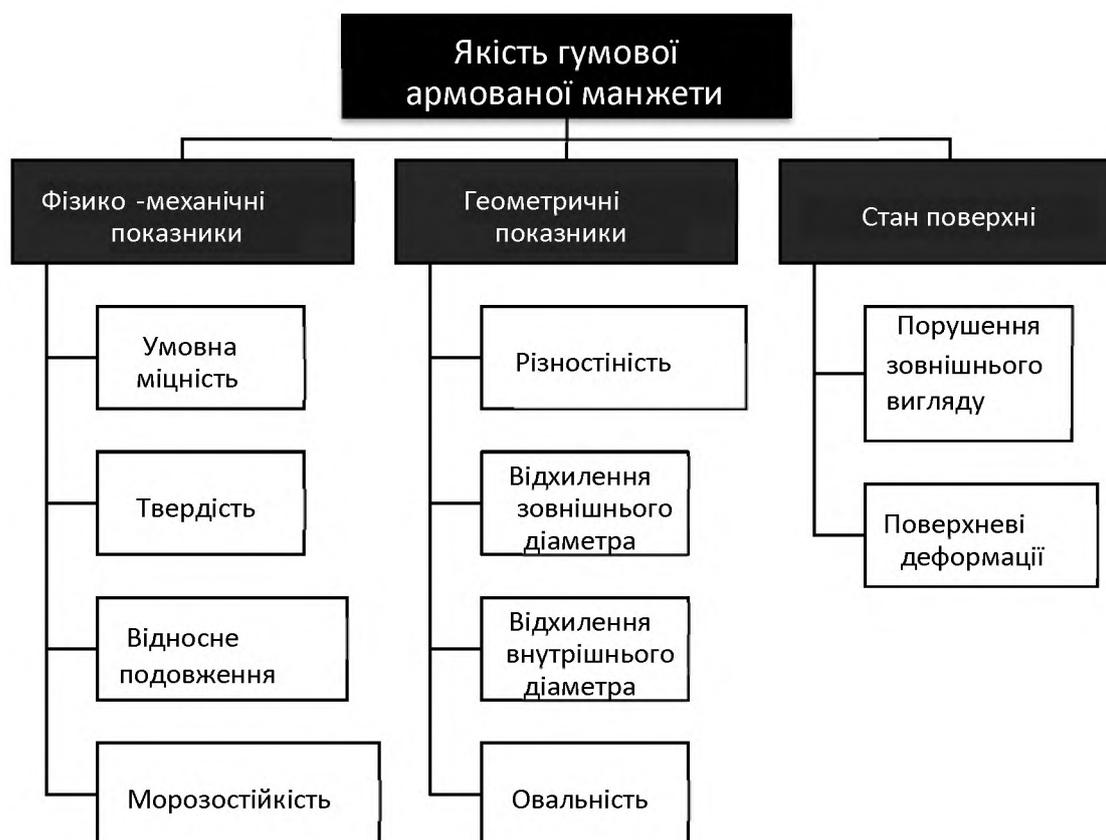


Рисунок 1.7 – Дерево властивостей «Якість гумової манжети ущільнювача»

На побудованій деревоподібній діаграмі представлені основні параметри, що впливають на якість манжети. Для подальшого розкриття ключових вимог проведено аналіз, у якому розглянемо характеристики кожного виділеного фактора та метод

його контролю. Результати аналізу представлені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Аналіз ключових факторів якості гумової ущільнювальної манжети

Чинник	Показник	Метод контролю	Значення
1	2	3	4
Фізико-механічні показники			Для груп гум:
Умовна міцність, МПа, не менше	Визначає здатність манжети чинити опір внутрішнім напругам, що виникають у процесі роботи.	Показник визначається розрахунково, на основі даних отриманих при руйнівному контролі зразка з того ж матеріалу. Залежить від сили необхідної для розриву зразка	1 гр.: 9,8 2 гр.: 9,8 3 гр.: 9,8 4 гр.: 19,6 5 гр.: 11,8 6 гр.: 6,4
Відносне подовження, %, щонайменше	Характеризує зміну довжини манжети під впливом робочих навантажень	Показник визначається розрахунково, на основі даних отриманих при руйнівному контролі зразка з того ж матеріалу. Залежить від відстані між напливами у зразку до і після випробувань	1 гр.: 200 2 гр.: 200 3 гр.: 120 4 гр.: 90 4 гр.: 65 5 гр.: 220
Твердість, у межах: - по Шору, А; - у міжнародних одиницях	Визначає механічну міцність та пластичність манжети.	Визначається за допомогою твердоміра, в залежності від глибини занурення приладу у випробуваний зразок, протягом певного часу.	1 гр.: 65 ... 85; 70 ... 85; 2 гр.: 75 ... 85; 70 ... 85; 3 гр.: 70 ... 85; 70 ... 85; 4 гр.: 76 ... 86; 75 ... 90; 5 гр.: 70...90 72 ... 86; 6 гр.: 66 ... 78;

1	2	3	4
Морозостійкість	Відображає здатність витримувати замерзання, зі збереженням форми, та відсутністю поверхневих деформацій	Манжета охолоджується у спеціальному пристосуванні, після чого проводиться обкатка, при виявленні тріщин манжета бракується	Неприпустима наявність тріщин та вививів гуми на поверхні
Геометричні показники			Для розмірів:
Різностінність, мм	Характеризує розбіжність товщини внутрішньої поверхні за довжиною внутрішньої поверхні манжети	Вимірюється за допомогою індикатора годинного типу, при обертанні манжети встановленої у спеціальному пристрої	10 ... 14 мм.: 0,2 14 ... 71 мм.: 0,3 71...125 мм.: 0,4 125...250 мм.: 0,6 250...500 мм.: 0,9
Відхилення зовнішнього діаметра, мм	Різниця виміряного значення зовнішнього діаметра манжети з номінальним значенням	Вимірюється засобами вимірювань для зовнішніх розмірів необхідної точності у трьох діаметральних перерізах розподілених по колу	0...30 мм.: +0,35 +0,15 30...80 мм.: +0,40 +0,20 80...150 мм.: +0,50 +0,30 150...240 мм.: +0,60 +0,30 240...290 мм.: +0,60 +0,30 290...440 мм.: +0,70 +0,40 440...550 мм.: +0,70 +0,40
Відхилення внутрішнього діаметра, мм	Різниця виміряного значення внутрішнього діаметра манжети з номінальним значенням	Вимірюється засобами вимірювань для внутрішніх розмірів відповідної точності, до комплектації пружинами	Зміна внутрішнього діаметра не більше 70%

1	2	3	4
Овальність, мм	Характеризує відмінність між мінімальним та максимальним діаметрами (внутрішнім та зовнішнім) в поперечному перерізі	Манжета встановлюється на спеціальний пристрій, між трьома роликками, після чого проводиться візуальний, оптичний чи контактний контроль	0...30 мм.: 0,25 30...80 мм.: 0,35 80...150 мм.: 0,50 150...240 мм.: 0,65 240...290 мм.: 0,80 290 ... 440 мм.: 1,00 440...550 мм.: 1,00
Стан поверхні			
Порушення зовнішнього вигляду	До порушень зовнішнього вигляду належать матовість, різнотонність, муаровий малюнок, потертість глянцю	Візуальний огляд, порівняння з контрольним зразком	Наявності незначних змін забарвлення допускається
Поверхневі деформації	До поверхневих деформацій відносяться: наявність піднесень та заглиблень на робочій поверхні; наявність сходинок на розвилках манжети; тріщини, пористості, розшарування, бульбашки	Візуальний огляд, порівняння з контрольним зразком	При виявленні деформацій поверхонь манжета бракується

Наведені в таблиці 1.3 показники якості дозволяють кількісно оцінити рівень якості армованої манжети. Фізико-механічні показники дають можливість оцінити здатність манжети зберігати працездатність за умов експлуатації [8]. Вибір манжети відбувається з урахуванням геометричних показників, характеризуючих точність її виготовлення. Якщо в з'єднанні, що ущільнюється, розміри валу і манжети не відповідають один одному, то в з'єднанні буде порушена герметичність [7]. За станом поверхні можна визначити значну частину дефектів та визначити необхідність їх заміни. До поверхневих деформацій відносять: наявність піднесень та заглиблень на робочій

поверхні; наявність сходинок на розвилках манжети; тріщини, пористість, розшарування, бульбашки. Манжети, що мають поверхневі дефекти, мають менший ресурс, що призводить до передчасних порушень герметичності і, як наслідок, підтікань [1]. Наявність поверхневих дефектів свідчить про необхідність термінової заміни манжети.

Аналіз частоти виникнення дефектів, що призводять до виходу з ладу підшипникового вузла, представленого в таблиці 1.4, показав, що найчастішою причиною порушення роботи підшипника є зазор, що перевищує граничні розміри, між валом і манжетою, яка його ущільнює.

Таблиця 1.4 – Розподіл вибрактованих підшипників кочення за видами ушкоджень

Вид ушкодження	Частота виникнення, %
Надмірний зазор між валом та манжетою	68
Недостатня щільність посадки	18
Мікродефекти робочих поверхонь підшипника	9
Поломка деталей підшипників	5

Порушення оптимального зазору, призводить до потрапляння абразиву та мастильних матеріалів в область підшипника і прискореного зносу складових деталей підшипника. Порушення режиму подачі свіжого мастила можуть призвести до вивертання манжети під тиском мастила, скидання пружинного кільця і втрати герметичності ущільнення [13].

1.7.3 Аналіз факторів, що впливають на надійність з'єднання "вал-ущільнення"

З'єднання «вал-ущільнення», в якості якого найчастіше використовуються гумові манжети різних конструкцій, знаходиться під постійним впливом безлічі факторів, що взаємодіють один з одним [6, 13].

Джерела даних впливів різноманітні, але найчастіше носять конструкторсько-технологічний або експлуатаційний характер [11], також на надійність ущільнювача

значно впливають ремонтні взаємодії [4].

Класифікація чинників, які впливають на надійність і працездатність з'єднання «вал-ущільнення», представлено на рис. 1.8.

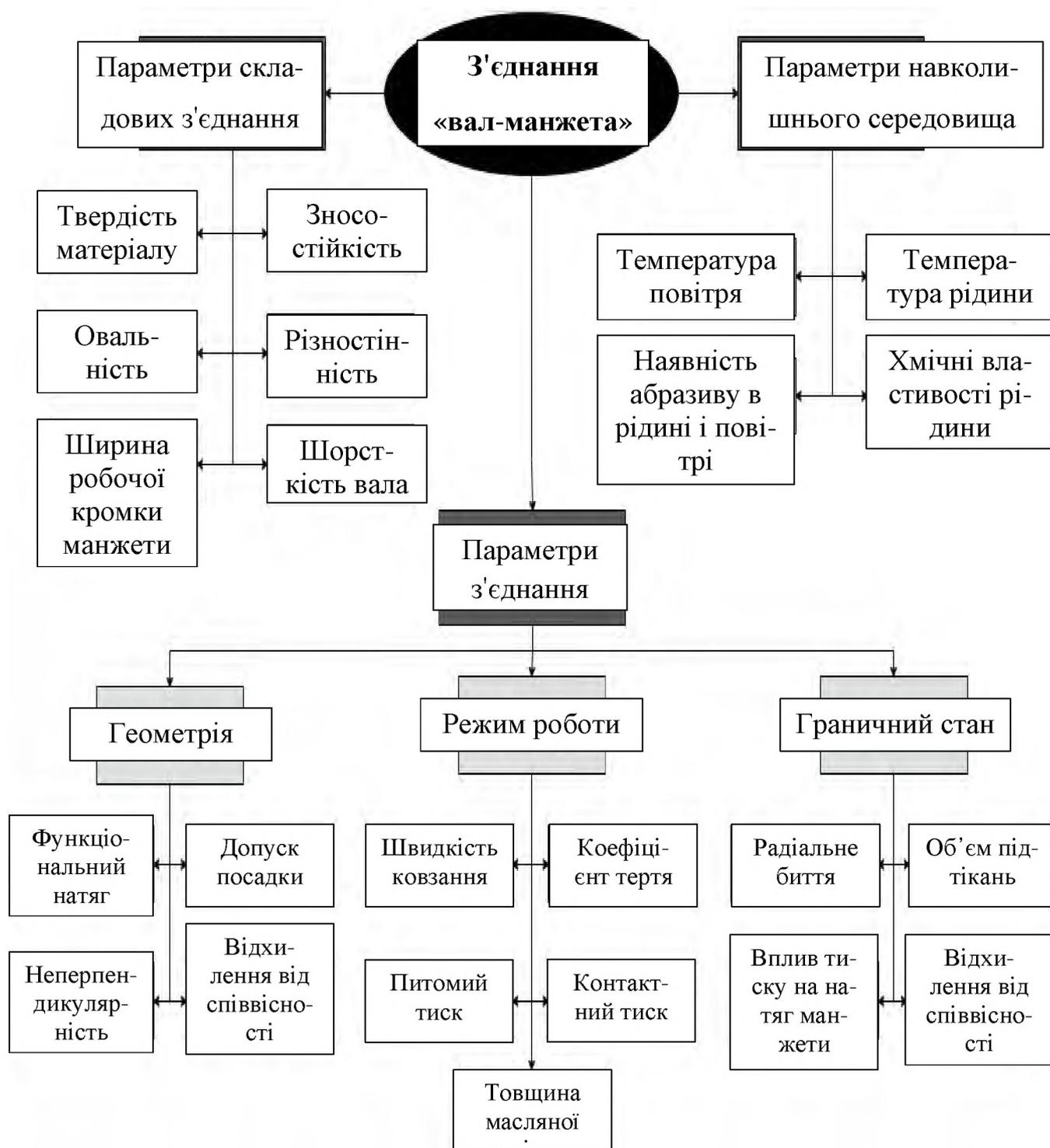


Рисунок 1.8 – Фактори, що впливають на надійність з'єднання «вал-манжета»

Надійність з'єднання «вал-ущільнення» залежить не тільки від характеристик

складових його ущільнювача і валу, а й від сукупних параметрів, що залежать від умов експлуатації, навантажень, які діють, і особливостей середовища в якому працює з'єднання. Внаслідок впливу всіх цих факторів відбувається знос валу та манжети (рис. 1.9 та 1.10).



Рисунок 1.9 – Фланець КПП: а – новий; б – зношений



Рисунок 1.10 – Армowana манжета: а – нова; б – зношена

Ключовою характеристикою, що дозволяє оцінити працездатність ущільнювальних пристроїв, є герметичність з'єднання ущільнювача і об'єм підтікань. Розраху-

нки, що дозволяють оцінити надійність ущільнення, будуються на наступних наукових теоріях: гідродинамічна та еластогідродинамічна теорія мастила, теорія граничного та сухого тертя.

Основні положення теорії герметичності контактних ущільнювальних пристроїв базуються на гідродинамічній та еластогідродинамічній теорії мастила, теорії сухого та граничного тертя.

Класичної теорії герметичності манжет ще немає, тому залежність підтікання Q від товщини масляної плівки δ виглядає так

$$Q \sim \delta^s, \quad (1.1)$$

де s – показник ступеня (зазвичай $s = 3$).

Оптимальним вважається режим тертя, коли відбувається зниження коефіцієнта тертя, величини витоку, зношення манжети, що відповідає певному значенню еквівалентного зазору. При сухому та граничному терті спостерігається підвищений знос манжети і як наслідок – витоку. При гідродинамічному мащенні підтікання зростає через збільшення еквівалентного зазору h і зменшення тиску P_k .

Встановлено, що зі збільшенням частоти обертання валу манжета не встигає «стежити» за валом: відбувається розкриття стику та зростають підтікання. Встановлено таке правило: швидкість відновлення форми кромкою манжети v_b має бути більшою за швидкість ковзання v :

$$v_b \geq v = \frac{d}{2} \cdot \omega, \quad (1.2)$$

де ω – частота коливань, s^{-1} .

У роботі [11] наведено залежність для визначення критичної частоти обертання з умови (1.2) для ідеально пружного контакту

$$n_{кр} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{1}{K_1 \cdot M} \left(\frac{P_{c \min}}{0,5 \cdot r} - K_2 \cdot E \right)}, \quad (1.3)$$

де M – маса деформованої ділянки манжети;

$P_{c \min}$ – мінімальний статистичний тиск;

E – динамічний модуль пружності матеріалу манжети;

K_1 та K_2 – коефіцієнти, що характеризують конструктивні параметри манжети.

У ряді робіт [8, 11] виявлено, що нормальна температура в зоні контакту 50 ... 70 °С і зношування манжет різко зростає при досягненні 70 ... 100 °С – починається теплове зношування, схоплювання другого роду. Підвищення температури призводить до збільшення твердості та крихкості, тріщин і набухання манжети, прискорення зношування валу. Встановлено, що найбільший вплив на контактну температуру з'єднання надають натяг, тиск, частота обертання і наявність масляної плівки між поверхнями, що контактуються.

На механічне зношування матеріалів манжети і валу впливає шорсткість поверхні валу та наявність абразиву в зоні тертя – головні причини схоплювання першого роду. Мала шорсткість поверхні в межах $Ra = 0,04 \dots 0,08$ мкм не сприяє утриманню масляної плівки в нерівностях і ускладнює створення мікрогідродинамічної плівки, а велика шорсткість поверхні у вигляді $Ra > 1,25$ мкм. Оптимальною є $Ra = 0,16 \dots 0,63$ мкм.

У роботах [10, 11] досліджено мікрорельєф поверхні після різних видів обробки для створення $Ra = 0,32$ мкм і зроблено висновок про те, що шліфування колом, пасетою, шкіркою, електрохімічне шліфування дають практично ідентичний профіль. А при обробці поверхнево-пластичним деформуванням (ППД) кулькою і роликком (при вихідній $Ra = 3,2 \dots 2,5$ мкм виходить $Ra = 0,2 \dots 0,4$ мкм) зменшується кількість вершин і западин, збільшується крок поверхні, поверхнева твердість, підвищується зносостійкість і формується оптимальна масляна плівка. Подальше дослідження шорсткості поверхні при відновленні валу різними способами отримало в роботі [13], де рекомендується ППД до $Ra = 0,1 \dots 0,3$ мкм для шийок валів під ущільнення в коробках передач трактора «Кіровоць» і колінчастого валу дизеля СМД-14.

Заслугує на увагу робота [18], де зазначено, що зносостійкість сирих валів в 1,5...2,0 рази вище загартованих (при однаковому значенні Ra), якщо немає абразиву в зоні тертя. Збільшення відсотка абразиву у маслі призводить до необхідності підвищення твердості валу. Твердість валу повинна бути в межах HRC 15...55.

На практиці до пошкодження або руйнування ущільнювача наводять випадки, коли безліч факторів, що негативно впливають на надійність з'єднання, тоді як вихід

за межі одного або двох факторів істотного порушення працездатності не викликають.

Оскільки в машинобудуванні використовується безліч різних видів з'єднань «вал-ущільнення», то і впливи того чи іншого фактора на ущільнювачі будуть різними, більш того, можливі ситуації, коли негативний вплив одних факторів може бути компенсований негативним впливом інших. Таким чином, для визначення оптимальних значень факторів, що впливають на надійність з'єднання ущільнювача необхідно проведення спеціальних досліджень.

Класифікації факторів, що викликають відмови у з'єднаннях «вал-ущільнення», представлена на деревоподібній діаграмі (рис. 1.11).



Рисунок 1.11 – Причини відмов ущільнювального вузла

Найчастіше до відмов ущільнювальних вузлів приводять поступові фактори, викликані механічним зношуванням деталей і внутрішнім зносом гуми. Поступові деформаційно-термічні відмови відбуваються через охрупчення або розм'якшення при перегріві вузла, скловання при переохолодженні та теплове розширення гуми. Оскільки всі поступові фактори діють на ущільнювальний вузол одночасно, для відмови достатньо, щоб значення одного з них вийшло за нормальні межі.

Відмови зношення призводять до появи залишкових деформацій, це відбувається через зменшення внутрішнього діаметра манжет, що призводить до зменшення натягу в з'єднанні, і, як наслідок, зниження контактного тиску.

Деформаційно-термічні відмови призводять до розтягування гумового матеріалу ущільнювача, його розм'якшення та налипання на вал, дані впливи призводять до виникнення тріщин глибиною 3...4 мм на кромках манжет. У міру старіння матеріалу відбувається розширення існуючих та поява нових тріщин.

До виникнення раптових відмов приводять дефекти, не виявлені у процесі входного контролю: порушення температурного режиму роботи, порушення технології виготовлення та ремонту [2]. До подібних дефектів відносяться: пори у матеріалі ущільнювача, підвороти та руйнування кромки, зриви браслетних пружин та ін.

Ключовими факторами, що впливають на зносостійкість гумових ущільнювачів, є фізико-механічні властивості їхнього еластомеру. Тому замість гуми все частіше використовується поліуретан, що має більшу твердість і еластичність, високу міцність, стійкість до агресивного впливу зовнішніх середовищ і роздирання.

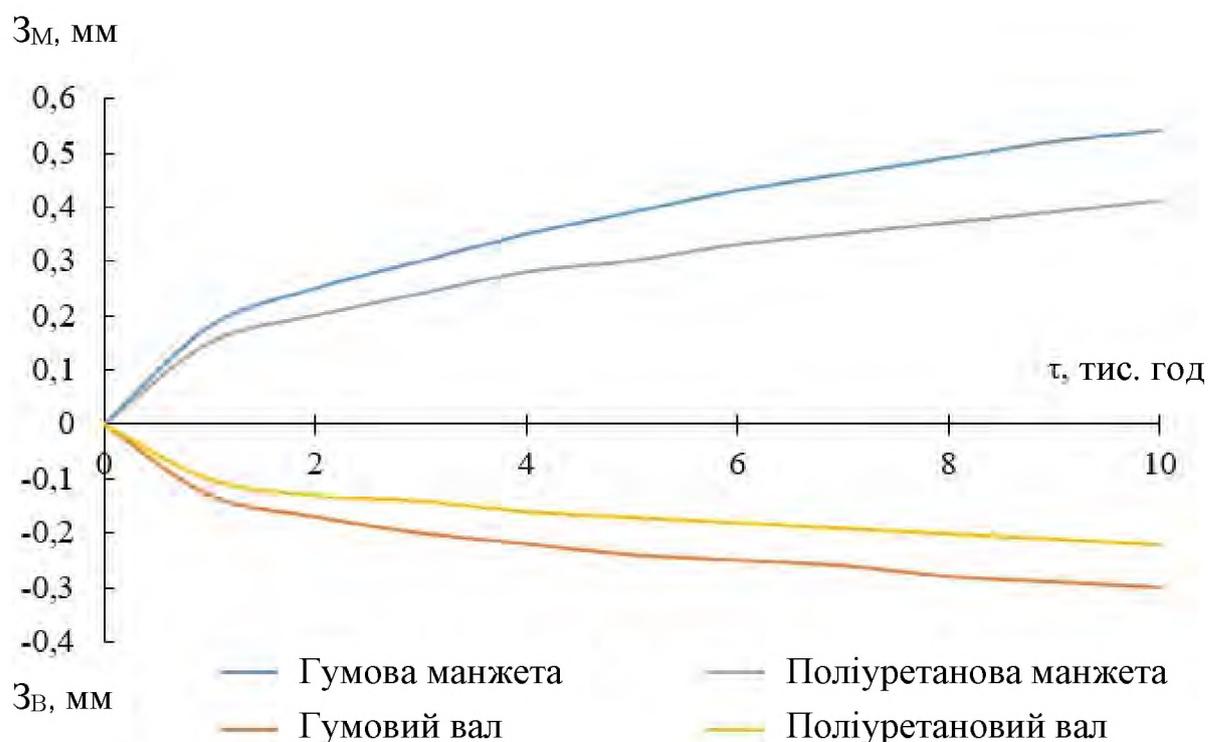


Рисунок 1.12 – Графік залежності зносу манжети Z_M та зносу валу Z_B , від тривалості випробувань

Згідно з дослідженнями, знос манжетного ущільнення і валу, що обертається, незважаючи на відмінності у властивостях, у манжет з гумовим і поліуретановим еластомерами має схожу динаміку, що показано на графіку (рис 1.12).

Як видно з графіка (рис. 1.12), інтенсивність зносу обох манжет знижується зі збільшенням часу роботи. Високий на ранніх стадіях роботи, але поступово зменшений знос складових ущільнювального вузла, в результаті якого на кромці утворюється канавка, викликаний гострою кромкою манжети при вузькій смужці контакту, оскільки в початковий період роботи відбувається пружна деформація еластомеру.

Оскільки відмова вузла ущільнювача веде до проникнення пилу в область ущільнюваного з'єднання і до підтікання мастильних матеріалів, що призводить до критичних наслідків для всього агрегату, необхідно гарантувати працездатність і ресурс ущільнювального пристрою.

Причиною появи вибракувальних ознак у складових вузла, що ущільнюється, в 90% випадках є виникнення абразивного зносу. Пошкодження, що виникають, і частота їх виникнення представлені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Розподіл дефектів ущільнювальних вузлів за видами ушкоджень

Види ушкоджень	Частота виникнення, %
Збільшення зазорів понад граничні значення порушення щільності посадки	65...76
Порушення щільності посадки	17...21
Мікроскопічні ушкодження робочих поверхонь	4...11
Поломка деталей	5...9

Для належного визначення граничних параметрів працездатності з'єднання "вал-ущільнення" необхідно забезпечити високу точність забезпечення та прогнозування ресурсу.

1.8 Висновки до першого розділу

Узагальнення досліджень стану питання у сфері забезпечення якості складання

з'єднань під час ремонту машин методами цифровізації та розмірного аналізу зробити такі висновки:

1. Для опису процесів ремонтного виробництва у загальному вигляді (на верхньому рівні цифрової моделі) доцільно використати нотацію IDEF0. При декомпозиції процесів ремонтного виробництва найкращим варіантом є нотація BPMN, яка має велику кількість елементів, пов'язаних з автоматизацією процесів (тригери, повідомлення, потоки даних тощо). Крім того, у нотації є можливість відображення учасників процесу у вигляді окремих доріжок, що дає змогу наочно показати поділ відповідальності між ними. Таким чином, використання BPMN нотацій дозволяє вирішувати завдання з моделювання процесів та автоматизації діяльності підприємства.

2. Застосування розмірного аналізу дозволяє оцінити вплив та визначити точність складання вузлів аналітично на етапі проектування. Складання розмірного ланцюга не менш важливо, ніж його правильний розрахунок, але воно набагато складніше, оскільки вимоги по точності, що визначають працездатність конкретної складальної одиниці, як правило, індивідуальні. Індивідуальна і конфігурація (склад вхідних у розмірний ланцюг ланок) конкретного розмірного ланцюга, тоді як формули для розрахунку розмірних ланцюгів однакові і залежать тільки від обраного методу досягнення точності та характеру складових ланок. При цьому неправильно складений розмірний ланцюг призведе до неправильного результату розрахунку і відповідно до неправильної оцінки працездатності вузла або механізму.

3. Підвищення точності вимірювань відхилень розмірів та форми, як впливаючих ланок розмірного ланцюга, збільшує термін служби ущільнень у редукторах та інших вузлах машин та агрегатів. Недотримання норм відхилень форми та розташування поверхонь може призвести до зростання трудомісткості та зниження точності складання, збільшення обсягу операцій з припасування та зниження показників довговічності роботи агрегатів та машин.

Необхідно розробити рекомендації щодо вдосконалення метрологічного забезпечення контролю відхилень форми та розташування поверхонь деталей при ремонті машин, для цього необхідно визначити критерії вибору засобів вимірювань для контролю відхилень форми та розташування поверхонь деталей з урахуванням формули

їх розрахунку, як результату непрямого виміру.

4. З'єднання «вал-ущільнення» є одним із найважливіших у машинах. Від довговічності роботи цього з'єднання залежить ресурс роботи агрегату. Довговічність з'єднання «вал-ущільнення» залежить від безлічі факторів, у тому числі від заданої величини натягів між валом і манжетою, одержуваних при складанні. Забезпечити задану величину натягу можна шляхом застосування розмірного аналізу. Для цього необхідно провести аналіз розмірів, що утворюють розмірний ланцюг, де вихідна замикаюча ланка виступатиме як відхилення від співвісності і радіальне биття валу по відношенню до діаметра манжети.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ СКЛАДАННЯ З'ЄДНАНЬ ПРИ РЕМОНТІ МАШИН МЕТОДАМИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ І РОЗМІРНОГО АНАЛІЗУ

2.1. Теоретичні основи цифровізації процесів під час ремонту автомобілів

2.1.1 Розробка цифрової моделі процесу комплектування та складання для ремонтного виробництва

Цифрове моделювання виробничих процесів – це ефективний інструмент, що дозволяє оптимізувати матеріальні витрати, трудовитрати та витрати часу. Існує безліч варіантів цифрового забезпечення, що дозволяють не лише будувати цифрові моделі процесів у різних нотаціях та форматах, а й проводити їх імітації [1]. У нашому випадку побудова моделей проводилася в програмі BusinessStudio.

Для створення моделі процесу комплектування та складання для ремонтного виробництва визначено: входи, виходи, ресурси та механізми процесу, а також взаємодію по входах та виходах з виробничою системою. Для зручності використання модель доцільно розбити на кілька рівнів. Для кожного рівня, залежно від інформації про процес, який необхідно зобразити, вибирають відповідний метод опису (нотацію). Верхній рівень моделі відображатиме місце та взаємозв'язок процесів комплектування та складання в процесі ремонту КПП. На цьому рівні немає потреби в описі окремих операцій, тому для верхнього рівня слід використовувати нотацію IDEF0. На рис. 2.1 зображено цифрову модель процесу ремонту КПП у нотації IDEF0.

З рис. 2.1 видно, входами процесу «Комплектування та складання» є виходи процесів «Закупівля та зберігання нових деталей та запчастин», «Розбірка та дефектація КПП», «Ремонтно-відновлювальні роботи». Нові деталі надходять у процес зі складу підприємства (процес «Закупівля та зберігання нових деталей та запчастин»). Деталі з допустимим зношенням, це ті деталі, які після розбирання КПП та проходження контролю визнані придатними, що означає можливість їх подальшого застосування, у аналізованій процес вони, відповідно, надходять з процесу «Розбірка та

дефектація КПП». Третя категорія деталей, що надходять на процес комплектації та складання – відновлені деталі, що пройшли ремонтно-відновлювальні роботи. Дані деталі спочатку, у процесі розбирання та дефектації КПП, визначають непридатними, але піддаються відновленню, тому їх відправляють у процес ремонтно-відновлювальних робіт, і ті деталі, характеристики яких успішно доведені до допустимих експлуатаційних значень переводять у процес комплектування та складання, щоб вони застосовувалися у відремонтованій КПП.

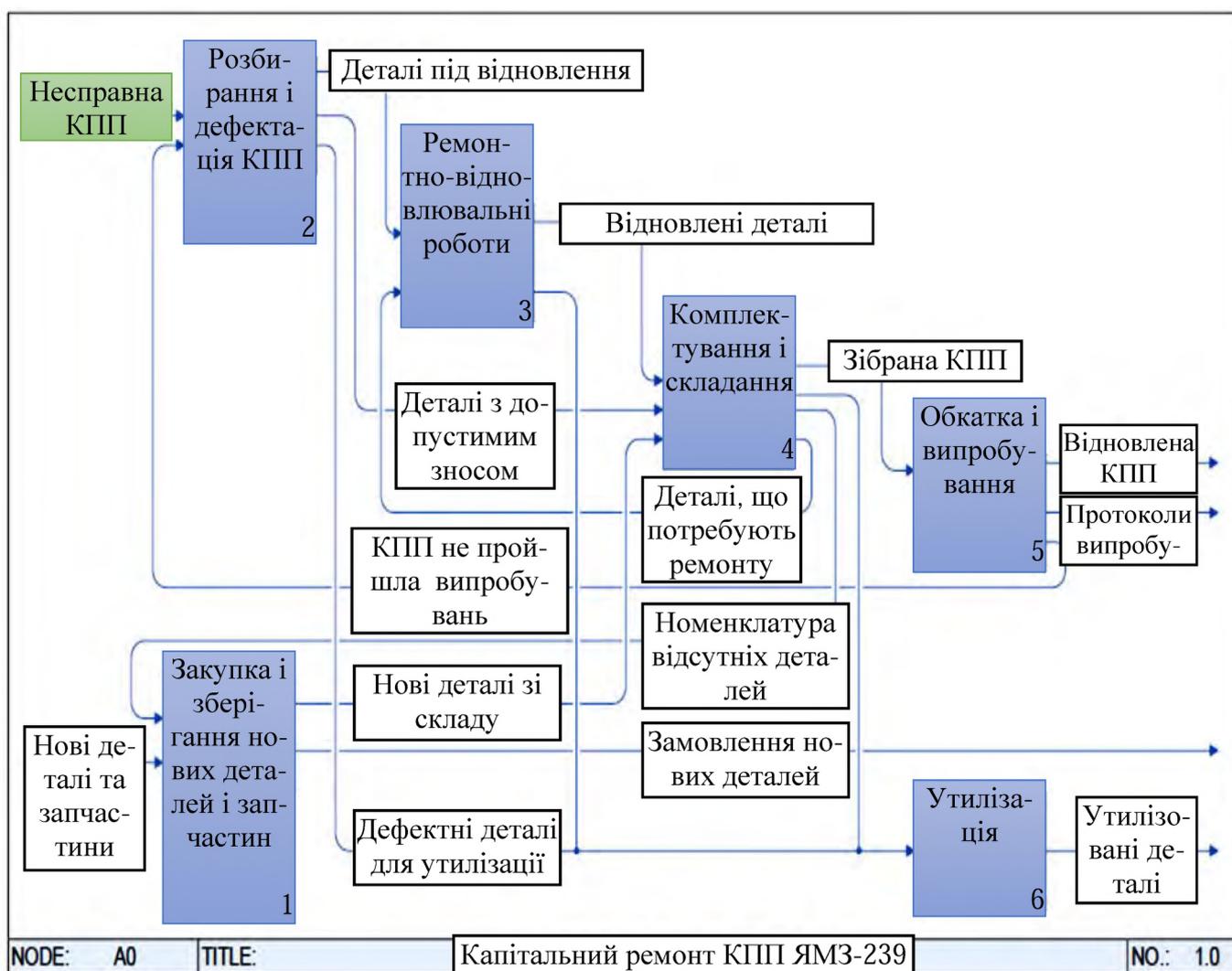


Рисунок 2.1 – Цифрова модель процесу ремонту КПП у нотатції IDEF0

На виході з процесу комплектування та складання виходять відбраковані деталі та зібрані коробки передач. Відбраковані деталі, що підлягають відновленню, відправляють у ремонт, невиправний брак відправляють на склад металобрухту для утилі-

зації. Зібрану КПП відправляють у процес обкатки та випробувань, який є заключним для капітального ремонту КПП.

Для цифрових моделей наступного рівня використана нотація BPMN, оскільки вона дозволяє як детально описати алгоритм виконання окремих операцій процесу, так і послужити основою створення імітаційної моделі та подальшої автоматизації управління процесу. На рис. 2.2 зображено цифрову модель процесу комплектування та складання агрегатів та вузлів двигуна в нотації BPMN.

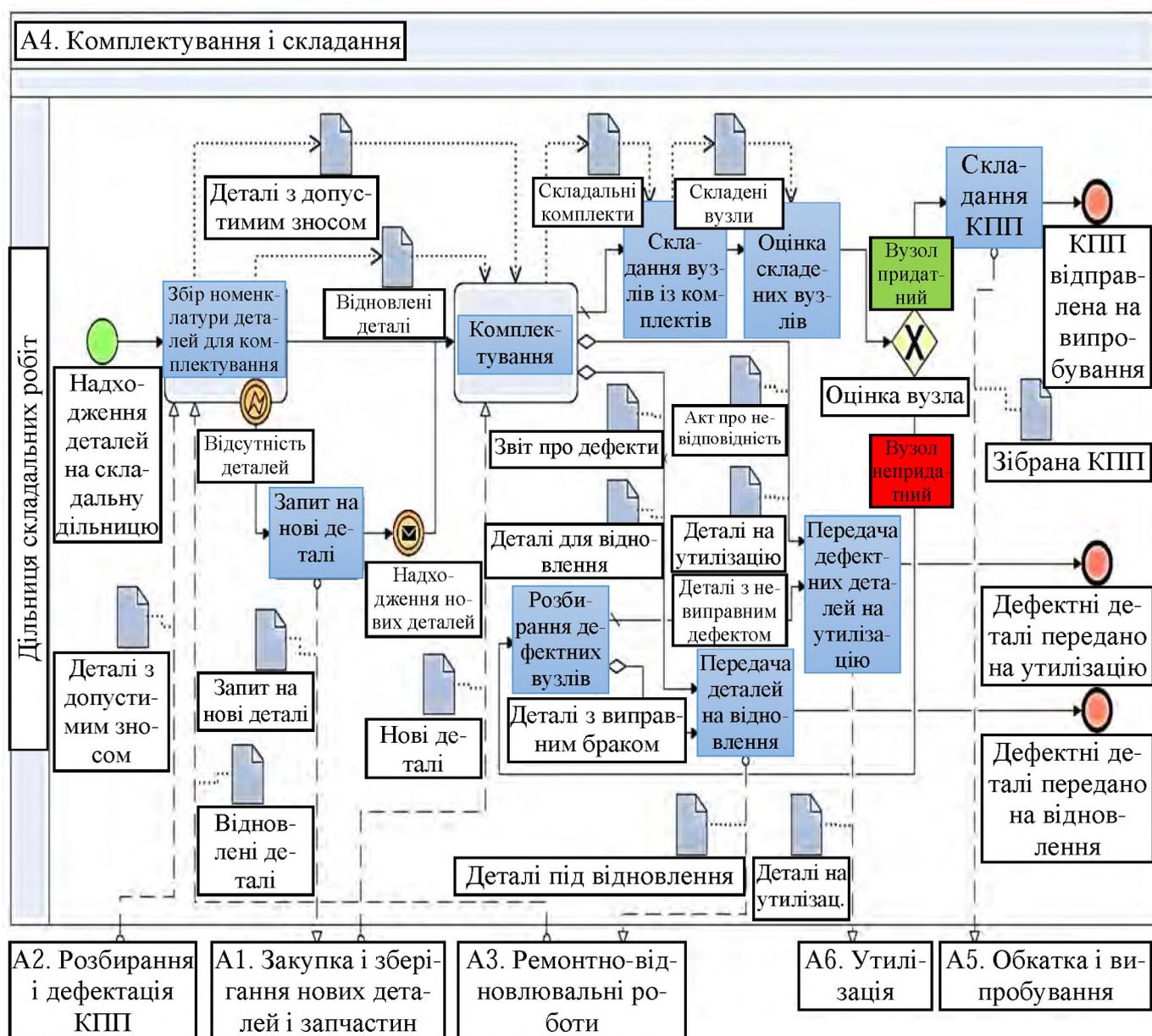


Рисунок 2.2 – Цифрова модель процесу комплектування та складання КПП у нотації

BPMN

На схемі (рис. 2.2) відображено стартові та кінцеві події даного процесу, його складові (окремі процеси та функції), а також показано рух матеріальних об'єктів, що використовуються та створюються у процесі.

Комплектація і складання починається, з надходження деталей із трьох процесів, проте спочатку використовують відновлені деталі та деталі з допустимим зносом, у разі, коли з них неможливо скласти повний комплект, складається заявка для отримання нових деталей зі складу запчастин. Нові деталі, що надійшли зі складу, направляються, разом з іншими деталями та складальними одиницями, безпосередньо, на операції комплектування, що проводяться певним методом, у цьому випадку – це метод повної взаємозамінності.

Необхідною умовою для реалізації методу повної взаємозамінності є виконання вимог до точності деталей, тому для високоточних з'єднань цей метод є економічно недоцільним. Однак, з'єднання високої точності використовуються відносно рідко. І в більшості випадків досягнення повної взаємозамінності забезпечує суттєве підвищення ефективності процесів складання, паралельно спрощуючи їх, що також знижує економічні витрати на складальні процеси, а також відкриває широкі можливості для застосування засобів механізації та автоматизації, що може суттєво поліпшити процеси складання та комплектування.

Схема процесу комплектування методом повної взаємозамінності також побудована в нотації BPMN і представлена на рис. 2.3.

Деталі, які відповідають технічним вимогам (типу «вал» і типу «отвір») за характеристиками, називають придатними, і їх, згодом, формують у комплекти.

Оскільки в даному випадку застосовується метод повної взаємозамінності, підібрані комплекти відразу направляються на складання, що забезпечується випробуваннями, проведеними на попередніх етапах для відсіювання деталей, з допусками недостатньої точності, через що необхідність додаткової обробки деталей відпадає.

У деталей з невідповідностями оцінюється ступінь браку, у разі, коли брак можна виправити, деталі відправляють у ремонт для відновлення, після якого вони можуть допускатися для складання в наступному циклі. Ті деталі, брак яких оцінено як непоправний, відправляють на металобрухт зі складанням акта про невідповідності.

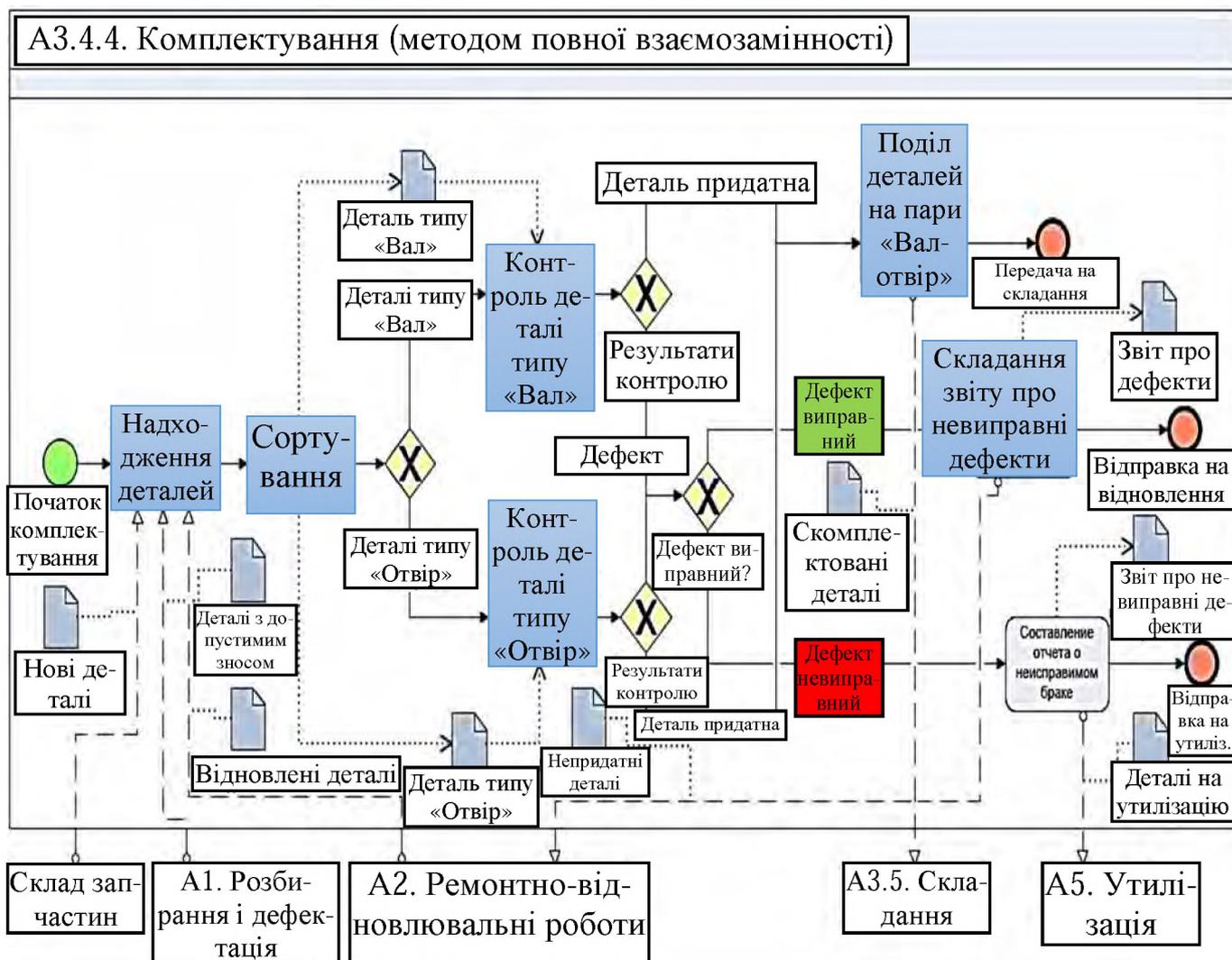


Рисунок 2.3 – Цифрова модель процесу комплектування (методом повної взаємозамінності) у нотації BPMN

Після завершення процесу укомплектовані пари передаються для збирання. При виявленні несправностей вузли розбираються, а деталі, що їх складають, залежно від ступеня зносу відправляють у ремонт або на склад металобрухту для утилізації.

Побудовані моделі можуть бути основою для:

- розробки регламентів процесів комплектування та складання;
- створення інструкцій та методичних рекомендацій для процесу комплектування та складання;
- розробки цифрових моделей комплектування та складання для конкретних складальних одиниць та вузлів;
- розробки імітаційної моделі та проведення функціонально-вартісного аналізу процесу.

Для проведення імітаційного моделювання і функціонально-вартісного аналізу процесу у програмі BusinessStudio необхідно зібрати та ввести дані, що стосуються ресурсів виробництва, наприклад, вартість деталей та комплектуючих, що використовуються при складанні, часові витрати на проведення операції процесу, кількість застосовуваних допоміжних матеріалів, заробітна плата робітників та інші кількісні характеристики, пов'язані з ресурсною базою.

Побудова імітаційної моделі потребує відомих статистичних характеристик процесу, пов'язаних із розподілом ймовірностей змінних процесу. Це оцінка розподілу випадкових подій, закони розподілу випадкових величин, довірчі ймовірності випадкових подій та ін.

Реалізація імітаційної моделі на ремонтному підприємстві відкриває можливість для управління порядком складальних циклів, ґрунтуючись на стані підприємства та потребах замовника. Адаптувати використання ресурсів на підприємствах під конкретні потреби, маніпулюючи їх числовими характеристиками, такими як вартість, кількість, час, а також точними параметрами.

Таким чином, визначено основні характеристики процесу комплектування та складання КПП, розроблено цифрові моделі процесу в нотаціях IDEF0 та BPMN. Оцінено застосування методу повної взаємозамінності при комплектуванні та визначено основні шляхи застосування імітаційного моделювання із застосуванням побудованих цифрових моделей.

2.1.2 Моніторинг процесу складання

Для здійснення контролю за якістю процесу комплектування та складання, з використанням цифрової моделі, необхідно встановити моніторингові показники та критерії (кількісні та якісні), а також визначити методику їх збору та аналізу. Також для регулювання моніторингових показників мають бути визначені фактори, що впливають на їх значення [7]. Систематизація основних факторів, що впливають на аналізований процес, дозволяє структурувати потенційні причини невідповідностей,

оскільки дефекти, що виникають, будуть пов'язані з представленими факторами, що може суттєво спростити їх контроль [8].

Запропоновані критерії, показники та індикатори для моніторингу процесу комплектування та складання представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Моніторингові показники якості комплектування деталей і складання вузлів

Критерій	Показники	Індикатор	Метод збирання інформації
Відповідність геометричних параметрів деталей вимогам технічної документації	Точність посадок та взаємного розташування з'єднань деталей та складальних одиниць	Відхилення від точності взаємного розташування деталей та вузлів	Вимірювання
		Радіальне та осьове биття	Вимірювання
	Площинність, паралельність та перпендикулярність поверхонь напрямних	Нещільність прилягання поверхонь, що сполучаються, та ін.	Вимірювання
		Правильність положення деталей, що сполучаються і вузлів	Огляд
Відповідність технології складальних операцій	Послідовність складання	Наявність необхідних деталей у зібраних з'єднаннях	Огляд
		Виконання допоміжних операцій	Огляд
	Виконання спеціальних вимог	Затягування різьбових з'єднань, щільність та якість постановки заклепок, щільність вальцювальних та інших з'єднань	Вимірювання
		Врівноваженість вузлів обертання, підгонка по масі та статичному моменту	Вимірювання

Так як більша кількість інформації для оцінки індикаторів та показників виходять вимірювальним методом, очевидно, що якість комплектування та складання залежить від рівня метрологічного забезпечення підприємства [2]. Таким чином, важливим кроком при цифровізації підприємства, поряд із створенням та впровадженням

цифрових моделей процесів, є перехід вимірювальних процесів на цифрові засоби вимірювань. Метрологічне забезпечення може бути розглянуто як окремий процес, для якого доцільно розробляти свою систему моніторингу [16].

Крім того, необхідно враховувати, що в багатьох випадках виконання критерію «Відповідність геометричних параметрів деталей вимогам технічної документації» для різних величин визначатиметься нормуванням похибки вимірювань, що допускається [11].

Для аналізу зібраних даних можна використовувати такі інструменти як: карти Шухарта (стабільність та керованість процесу), кореляційний аналіз (оцінка взаємозв'язку зміни контрольованих показників), діаграма Парето (вибір пріоритетних шляхів регулювання якості процесу) [19]. Значення, отримані в результаті моніторингу, можуть бути також використані як ключові показники ефективності.

Таким чином, розроблено систему моніторингу процесу комплектування і складання деталей та вузлів, що включає два критерії: відповідність геометричних параметрів деталей вимогам технічної документації та відповідність технології складальних операцій. Для кожного критерію визначено показники, індикатори та методи збирання інформації. Запропонована система моніторингу може бути доповнена іншими показниками та критеріями з урахуванням особливостей конкретної складальної операції.

2.2 Теоретичні основи розрахунку розмірних ланцюгів для визначення сумарного відхилення від співвісності та радіального биття

2.2.1 Математичний опис показників якості машин

При використанні елементів розрахунку розмірних ступенів для оцінки показників якості машини, обладнання або агрегату сукупність оцінюваних показників може бути представлена у вигляді функції, яка залежить від деяких аргументів:

$$Y_{\Sigma} = F(Y_1, Y_2 \dots Y_n) \quad (2.1)$$

де Y_{Σ} – показник машини, обладнання чи агрегату;

$Y_1, Y_2 \dots Y_n$ – аргументи функції.

В якості аргументів функції показника якості можуть виступати різні змінні, що характеризують його функціональні параметри, які впливають на нього фактори, причини, що призводять до його зміни та ін. При цьому самі аргументи також можуть являти собою окремі функції, тому вони можуть бути як випадковими, так і постійними, мати або не мати взаємну кореляцію, бути залежними або не залежними від інших функцій.

У розрахунках, пов'язаних з точними параметрами виробів, використовують лінійну функцію [7]:

$$Y_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n k_i Y_i, \quad (2.2)$$

де Y_{Σ} – показник точності виробу;

k_i – коефіцієнт приведення (постійна при випадковій величині Y_i);

Y_i – розмір (показник точності деталі виробу, що є аргументом функції);

n – кількість розмірів, що впливають на показник точності виробу.

В якості основних числових характеристик аналізованих величин використовують математичне очікування і дисперсію. При оцінці точнісних параметрів математичне очікування $M[Y_{\Sigma}]$ та дисперсія $D[Y_{\Sigma}]$ будуть розраховуватися відповідно до формул (2.3) та (2.4) відповідно [7]:

$$M[Y_{\Sigma}] = \sum_{i=1}^n k_i M[Y_i], \quad (2.3)$$

$$D[Y_{\Sigma}] = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Y_{\Sigma}}{\partial Y_i} \right)^2 D[Y_i]^2 + 2 \sum_{i,j=1}^n R_{ij} \left(\frac{\partial Y_{\Sigma}}{\partial Y_i} \right) \left(\frac{\partial Y_{\Sigma}}{\partial Y_j} \right) D[Y_i] D[Y_j], \quad (2.4)$$

де $\frac{\partial Y_{\Sigma}}{\partial Y_i}$ – похідна першої функції Y_{Σ} ;

R_{ij} – коефіцієнт кореляції.

Розрахунок дисперсії за формулою (2.4) може значно спростуватися залежно від характеру аргументів, випадкових величин та похідних. У разі коли випадкові величини не мають кореляції ($R_{ij} = 0$) дисперсія $D[Y_{\Sigma}]$ визначатиметься як:

$$D[Y_{\Sigma}] = \sum_{i=1}^n k_i^2 D[Y_i]. \quad (2.5)$$

У технічній документації для оцінки показників точності охоплюваних деталей використовують відхилення двох видів – верхнє (ES, es) і нижнє (EI, ei), які пов'язані між собою допуском (T). Відхилення охоплених деталей позначаються великими літерами, а охоплюваних маленькими, для подальшого спрощення відхилення деталей всіх видів будуть позначатися маленькими літерами.

Допуск t визначається як різниця верхнього та нижнього відхилень:

$$T = es - ei. \quad (2.6)$$

У деяких випадках для розрахунків використовується середнє відхилення es , що визначається за формулою:

$$es = \frac{es + ei}{2}. \quad (2.7)$$

Використання середнього відхилення та допуску дозволяє значно спростити розрахунки математичного очікування та дисперсії випадкових величин. Без урахування номінального розміру для випадкової величини x математичне очікування та дисперсія визначаються за формулами (2.8) та (2.9) відповідно:

$$Mx = es + \alpha T, \quad (2.8)$$

$$D_x = \frac{\lambda^2 T^2}{36}. \quad (2.9)$$

де α – коефіцієнт відносної асиметрії розсіювання розміру;

λ – коефіцієнт відносного розсіювання розміру, що показує ступінь відмінності закону розсіювання цього розміру від закону Гауса (нормального розподілу), якщо закон розсіювання розміру збігається з нормальним розподілом $\lambda=1$.

2.2.2 Різновиди аргументів узагальненої функції якості

Аргументи Y_i функції (2.1) можуть бути випадковими, незалежними, взаємно корельованими та функціонально залежними, скалярними та векторними. Аргументами цієї функції можуть бути характеристики з'єднань деталей з зазором, в межах якого з'єднані деталі мають можливість зміщення. Розрахункові схеми можуть включати як окремі види перерахованих величин, так і будь-які їх комбінації. У випадку

коли розрахункова схема може містити всі види аргументів, тобто з формули (2.90) отримаємо вираз, який характеризує дисперсію узагальненої функції якості:

$$\lambda_{\Sigma}^2 T_{\Sigma}^2 / 36 = \sum_{i=1}^n \lambda_{\Sigma i}^2 T_{\Sigma i}^2 / 36. \quad (2.10)$$

Звідси допуск на значення узагальненої функції якості:

$$T_{\Sigma} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \sqrt{\sum_i \lambda_{\Sigma i}^2 T_{\Sigma i}^2}. \quad (2.11)$$

У цих формулах $\lambda_{\Sigma i}^2 T_{\Sigma i}^2$ – характеристика розсіювання i -го виду узагальненої функції аргументу.

Якщо аргументи функції (2.1) скалярні величини, приймаємо для позначення індекс «s». Математичне очікування функції (2.1) при скалярних аргументах, відповідно до формули (2.8), матиме вигляд:

$$M_{\Sigma s} = \sum_{s=1}^m k_s (e m_s + \alpha_s T_s), \quad (2.12)$$

де m – кількість скалярних величин функції Y_{Σ} .

Дисперсія функції (2.1) при скалярних аргументах, відповідно до формули (2.10) та прийнятого позначення величин буде, мати вигляд:

$$\lambda_{\Sigma s}^2 T_{\Sigma s}^2 = \sum_{s=1}^m k_s^2 \lambda_s^2 T_s^2. \quad (2.13)$$

Аргументами функції (2.1) наряду з іншими можуть бути похибки, що мають випадкові значення та напрямок. Трапляються також випадки, коли всі аргументи функції (2.1) – векторні величини. Розглянемо спочатку випадок, коли у розрахунковій схемі крім векторних є похибки інших видів [7].

На рис. 2.4 показаний торець втулки, у якій осі отвору і зовнішньої поверхні зміщені. Якщо потрібно знати напрям $0y$ кінцевого розміру, у розрахунок приймають величину Y – проекцію похибки tx на $0y$. Рівняння функціональної залежності

$$Y = t_x \cos \theta,$$

де t_x та θ – абсолютне значення та аргумент вектора (випадкові величини).

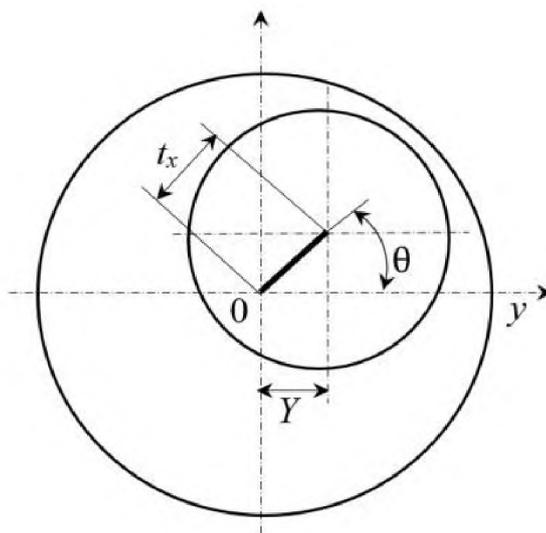


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема

Величини tx та θ незалежні, тому математичне очікування та дисперсія випадкової величини Y

$$M[Y] = M[tx]M(\cos\theta),$$

$$D[Y] = D[tx]D(\cos\theta) + D[tx][M(\cos\theta)]^2 + D(\cos\theta)[M[tx]]^2.$$

Формула визначення математичного очікування випадкової величини має вигляд

$$M_x = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx.$$

Для знаходження $M(\cos\theta)$ запишемо

$$M(\cos\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \cos\theta f(\cos\theta)d\theta.$$

При рівномірній зміні кута від 0 до 2π

$$f(\cos\theta) = \frac{1}{2\pi}; M(\cos\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \cos\theta d\theta = \frac{1}{2\pi} |\sin\theta|_0^{2\pi} = \frac{1}{2\pi} |0 - 0| = 0$$

При вимірі кута θ від 0 до π

$$f(\cos\theta) = \frac{1}{\pi}; M(\cos\theta) = \frac{1}{\pi} |\sin\theta|_0^{\pi} = \frac{1}{\pi} |0 - 0| = 0$$

Формула визначення дисперсії випадкової величини

$$D_x = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx - M_x^2.$$

Для цього випадку

$$D(\cos \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \cos^2 \theta f(\cos \theta) d\theta - M^2(\cos \theta)$$

При куті θ , що змінюється рівномірно від 0 до 2π

$$f(\cos \theta) = \frac{1}{2\pi};$$

$$D(\cos \theta) = \int_0^{2\pi} \cos^2 \theta d\theta - M^2(\cos \theta) = \frac{1}{2\pi} \left| \frac{\theta}{2} + \frac{\sin 2\theta}{4} \right|_0^{2\pi} - M^2(\cos \theta)$$

Після підстановки отримаємо

$$D(\cos \theta) = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{2\pi}{2} + 0 - 0 + 0 \right) - 0 = 0,5$$

При вимірі кута θ від 0 до π

$$f(\cos \theta) = \frac{1}{\pi};$$

$$D(\cos \theta) = \frac{1}{\pi} \left| \frac{\theta}{2} + \frac{\sin 2\theta}{4} \right|_0^{\pi} - M^2(\cos \theta) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} + 0 - 0 + 0 \right) - 0 = 0,5$$

З огляду на це $M[Y] = 0$; $D[Y] = 0,5 (D[tx] + [M[tx]]^2)$.

Але

$$D[tx] = \lambda_x^2 t_x^2 / 36; M[tx] = em_x + \alpha_x t_x.$$

Крім того, для векторних величин $em_x = 0,5 t_x$. Тоді після підстановки знайдемо

$$\lambda_y^2 T_y^2 = 0,5[\lambda_x^2 + 36(0,5 + \alpha_x)^2] t_x^2 = \lambda^2 t_x^2$$

де t_y – подвоєне усунення осей (биття); $t_x = 0,5 t_y$.

Прийmemo для векторних величин індекс "v". Для отримання $t_v = 2t_x$ у вигляді допуску співвідності у діаметральному вираженні зменшимо в 2 рази коефіцієнт λ .

Тоді

$$\lambda_y^2 t_y^2 = \lambda_v^2 t_v^2,$$

де $\lambda_v^2 = 0,125[\lambda_x^2 + 36(0,5 + \alpha_x)^2]$.

Для суми векторних величин з урахуванням коефіцієнта наведення знайдемо

$$\lambda_v^2 t_v^2 = \sum_{v=1}^m k_v^2 \lambda_v^2 t_v^2. \quad (2.14)$$

Оскільки векторні величини представлені у вигляді зміщення осей, то закони їх розподілу, наприклад, Гауса або Сімпсона, відносять не до всього поля розсіювання, а лише до половини. Наведені коефіцієнти відносного розсіювання при розподілі модуля вектора за цими законами відповідно $\lambda_v = 0,70$ та $\lambda_v = 0,90$. Для проектних розрахунків можна приймати $\lambda_v = 0,75$ [7].

Остаточно для випадку, коли в розрахунковій схемі крім векторних є похибки інших видів і сумарно розподіл наближається до нормального [7]:

$$\lambda_{\Sigma v}^2 t_{\Sigma v}^2 = 0,75^2 \sum_{v=1}^m k_v^2 t_v^2. \quad (2.15)$$

Якщо розрахункова схема містить лише векторні величини, при проектних розрахунках сумарний вектор визначають за формулою [7]:

$$t_{\Sigma v} = 0,85 \sqrt{\sum_{v=1}^m k_v^2 t_v^2}, \quad (2.16)$$

де коефіцієнт перед коренем отримано за дослідними даними [87].

Коефіцієнти 0,75 та 0,85 відповідають відсотку ризику $2\beta = 0,27\%$. Якщо $2\beta \neq 0,27\%$, то коефіцієнти 0,75 і 0,85 множать на коефіцієнт C_0 , який приймають за такими даними [7] (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнта C_0 при відсотку ризику 2β

$2\beta, \% \dots$	0,05	0,10	0,20	0,27	0,50	1,00	2,00	3,00	5,00
$C_0 \dots \dots$	1,13	1,07	1,02	1,00	0,95	0,89	0,81	0,77	0,71

У формулах (2.15), (2.16) t_v та $t_{\Sigma v}$ – допуски модуля впливу та вихідного (сумарного) векторів.

2.3 Методика складання розмірного ланцюга для виявлення сумарного відхилення від співвісності і радіального биття у з'єднанні валу з манжетою

До появи підтікань найчастіше призводить вихід за межі наступних параметрів

ущільнювального вузла: N – натяг; r – радіальне биття валу; Δ_c – відхилення від співвісності осей манжети і валу [9].

Радіальне биття та відхилення від співвісності призводять до дестабілізації малярної плівки, тиску та натягу, викликаючи, відповідно, «динамічне» і «статичне» розкриття стику між ущільнювачем і валом. Для запобігання витоку необхідно, щоб натяг компенсував дані параметри, і його значення не перевищувало значення найменшого функціонального натягу N_{Fmin} .

Найменший функціональний натяг N_{Fmin} залежить від динамічної та статичної складових, і обчислюється за формулою [2]:

$$N_{Fmin} = N_{rn} + \Delta_c, \quad (2.17)$$

де N_{rn} – натяг, що відповідає початку підтікання у з'єднанні.

Для оцінки динамічної і статичної характеристик складається розмірний ланцюг, що складається з ланок, що впливають на значення найменшого функціонального натягу в з'єднанні. Динамічна складова початку витоків N_{rn} обчислюється на основі експериментально отриманої залежності між натягом та частотою обертання. Для цього необхідно провести багатофакторний експеримент.

Сумарне радіальне биття як геометричну суму векторних ланок у вигляді динамічної складової можна розрахувати за формулою, аналогічною формулі (2.15):

$$r = T_{\Sigma rv} = \frac{0,75^2}{\lambda_{\Delta rv}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n k_{rvi}^2 T_{rvi}^2}, \quad (2.18)$$

де λ – коефіцієнт відносного розсіювання;

N – допуск ланки розмірного ланцюга;

k – коефіцієнт приведення;

n – число динамічних векторних ланок;

індекс v – векторна ланка.

Статична складова Δ_c , що виражається як сумарний допуск відхилення від співвісності, може розглядатися як скалярна величина, тоді з формули (2.13) отримаємо:

$$\Delta_c = T_{\Sigma c} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma c}} \sqrt{\lambda_{\Sigma cv}^2 T_{\Sigma cv}^2 + \lambda_{\Sigma cs}^2 T_{\Sigma cs}^2}, \quad (2.19)$$

де індекси: Σ – сумарне значення, s – ланка (як відхилення від співвісності, у тому числі це може бути v – векторна ланка та s – ланка у вигляді зазору).

Векторні ланки для з'єднання валу з манжетою можуть бути динамічними та статичними. Динамічні векторні ланки – це ланки, що проявляють себе у вигляді радіального биття при обертанні валу. Статичні векторні ланки – це ланки, що зміщують вісь валу відносно манжети у вигляді відхилення від співвісності без динамічного ефекту. Причому динамічні та статичні векторні ланки можуть при складанні як компенсувати один одного, так і доповнювати, а також змінюватися в процесі експлуатації в результаті зношування поверхонь і зміни їх положення. Наприклад, місцево навантажені кільця підшипників кочення, перехідну посадку або посадку із зазором, повинні поступово провертати під дією навантажень, що призводить до рівномірного зношування доріжки кочення цього кільця без овалізації. Але при цьому вектор рознесеності кільця буде поперемінно «обертатися» у квазістатичному положенні, збільшуючи та зменшуючи сумарний вектор відхилення від співвісності.

Ланки у вигляді зазорів утворюються посадками і мають власну методику розрахунку показників точності та свої коефіцієнти, тому вони повинні розраховуватися за окремою методикою.

Сумарний допуск ланок у вигляді зазору розраховується за формулою [87]:

$$T_{\Sigma cs} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma cs}} \sqrt{\sum_{i=1}^m k_{csi}^2 \cdot \lambda_{csi}^2 \cdot T_{csi}^2} \quad (2.20)$$

де m – число i -х ланок у вигляді зазору;

k – передатне відношення.

У більшості посадок із зазором відношення середнього зазору S до допуску посадки T_s має вигляд $S/T_s \leq 1$ [7] і розрахунок цих допусків може здійснюватися за такими залежностями [7]:

допуск посадки

$$T_s = \frac{0,5}{\lambda_s} \sqrt{\lambda_D^2 \cdot T_D^2 + \lambda_d^2 \cdot T_d^2} \quad (2.21)$$

середній зазор

$$S = 0,5[(EC - ec) + (\alpha_D \cdot T_D - \alpha_d \cdot T_d)] - \alpha_s \cdot T_s \quad (2.22)$$

допуск ланки розмірного ланцюга у вигляді зазору

$$T_{cs} = 2 \cdot S + T_s. \quad (2.23)$$

У формулах (2.21), (2.22), (2.23) T_D і T_d – допуски отвору та валу, що утворюють з'єднання із зазором; EC та ec – середні відхилення діаметрів отвору та валу, що утворюють з'єднання; α_D , α_d , α_s – коефіцієнти відносної асиметрії розсіювання розмірів отвору, валу та зазорів у посадці; λ_D , λ_d , λ_s – коефіцієнти відносного розсіювання розмірів отвору, валу та зазорів у посадці.

При розрахунках розмірних ланцюгів з елементами у вигляді зазорів використовуються такі значення коефіцієнтів відносного розсіювання: $\lambda_s = 1$, $\lambda_D = \lambda_d = 1,2$ [8].

Під час оцінки найменшого функціонального натягу, за відсутності необхідності в урахуванні частоти обертання валу та прийнятті ланок, у вигляді радіального биття, в якості векторних, достатньо розрахунків за формулою (2.19). Однак результат розрахунків з урахуванням динамічної складової враховує можливість прокручування валу в манжеті, і тому є більш точним, і дозволяє більш повно визначити об'єми підтікань.

2.4 Методика розрахунку та вибору розмірів компенсаторів за допомогою розмірного аналізу

Точність виготовлення деталей характеризує відповідність геометричним параметрам реально виготовленої деталі, параметрам, які задані для цієї деталі нормативною документацією. У міру розвитку технічного прогресу, точність машин має постійно зростати, забезпечуючи постійне поліпшення якості. Проте висока точність вимагає високих витрат на виробництво, тому встановлення оптимального рівня точності є раціональним методом вирішення завдання параметричної надійності.

У тих випадках, коли задана точність не може бути забезпечена, застосовуються методи неповної взаємозамінності: селективне складання, методи компенсації та методи підбору.

З позиції трудомісткості робіт найбільш раціонально застосовувати селективне складання, сутність якого полягає в розбитті допусків деталей, що сполучаються на групи [5]. Методи підбору, навпаки, найбільш трудомісткі, але можуть широко використовуватися в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва [9].

При розрахунку складальних розмірних ланцюгів з метою досягнення заданої точності замикаючої ланки також використовують перелічені вище методи, але вже зі своїми особливостями реалізації [6].

Одним із методів досягнення заданого рівня точності є метод компенсації. Даний метод використовується, тоді коли є значна різниця між необхідним і розрахованим допуском. Для компенсації можуть використовуватися прокладки, втулки, кільця, гвинтові пристрої, припуски на прогин, набір деталей різної товщини, ексцентрики. Застосування різних компенсаторів дозволяє значно зменшити сумарну похибку впливають розмірів, тим самим забезпечуючи задану точність [7].

Методика розрахунку і вибору розмірів компенсаторів для приведення відхилення від співвідношеності редукторів, що з'єднуються за допомогою муфти, в регламентовані технічною документацією межі полягає у виконанні наступної послідовності дій:

1. складають розмірний ланцюг, де в якості замикаючої ланки виступає відхилення від співвідношеності агрегатів, що з'єднуються;
2. виявляють складові ланки, розміри яких впливають на розмір замикаючої ланки;
3. призначають стандартні норми точності на всі складові ланки, крім ланки – компенсатора:
4. визначають коефіцієнт відносного розсіювання замикаючої ланки λ_{Σ} за формулою [8]:

$$\lambda_{\Sigma} = 1 + \frac{0,55 \left(\sqrt{\sum k_i^2 \lambda_i^2 T_i^2} - \sqrt{\sum k_i^2 T_i^2} \right)}{\sqrt{\sum |k_i| T_i}}. \quad (2.24)$$

5. розраховують середнє відхилення вихідного розміру замикаючої ланки et_{Σ} за формулою:

$$em_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n k_i(em_i + \alpha_i T_i) - \alpha_{\Sigma} T_{\Sigma}. \quad (2.25)$$

6. визначають допуск на замикаючу ланку T_{Σ} за формулою:

$$T_{\Sigma} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n k_i^2 \lambda_i^2 T_i^2}}{\lambda_{\Sigma}}. \quad (2.26)$$

7. розраховують середнє відхилення для компенсатора em_k за формулою:

$$em_k = \frac{em_{\Sigma} - em_{\Sigma}}{k_k}, \quad (2.27)$$

де k_k – коефіцієнт приведення компенсатора, em_{Σ} – середина поля допуску замикаючої ланки.

8. визначають найбільший розрахунковий розмір компенсатора Y_{kmax} за формулою:

$$Y_{kmax} = Y_k + em_k + \frac{0,5T_k}{|k_k|}, \quad (2.28)$$

де T_k – допуск компенсатора, Y_k – номінальний розмір компенсатора.

9. визначають розміри компенсаторів.

Для умов набору однакових компенсаторів – прокладок, товщина однієї прокладки – , визначають відповідно до нерівності (2.25), кількість прокладок - m , відповідно до нерівності (2.26):

$$h \leq \frac{T_{\Sigma}}{|k_k|}, \quad (2.29)$$

$$m \geq \frac{Y_{kmax}}{h}. \quad (2.30)$$

Для умов набору прокладок різної товщини спочатку розраховують товщину найтоншої прокладки h_1 . Товщина товстої прокладки – h_m , визначається за нерівністю (2.30). Товщина інших прокладок розраховується за прогресією (2.31), так щоб їх сума приблизно дорівнювала Y_{kmax}

$$h_m \geq 0,5Y_{kmax}, \quad (2.31)$$

$$h_n \approx 2h_{n-1}. \quad (2.32)$$

Таким чином, складено послідовність дій для розрахунку та вибору розмірів компенсаторів для приведення відхилення від співвісності редукторів, що з'єднуються за допомогою муфти.

2.5 Висновок до другого розділу

1. Визначено основні характеристики процесу комплектування та складання при ремонті КПП (входи, виходи, механізми та ресурси). Розроблено цифрові моделі процесу комплектування та складання КПП у нотаціях IDEF0 та BPMN. Визначено основні шляхи застосування імітаційного моделювання з використанням побудованих моделей.

2. Удосконалено методики розмірного аналізу для випадків складання та розрахунку:

- розмірного ланцюга для з'єднання «вал-ущільнення», де запропоновано підрозділяти ланки на дві категорії – статичні відхилення від співвісності та динамічні – у вигляді радіального биття;

- розмірів компенсаторів для приведення відхилення від співвісності у з'єднаних за допомогою муфти валів редукторів у межі, що регламентуються технічною документацією.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Вибір засобів вимірювання для контролю розмірів деталей з'єднання "вал-ущільнення"

Для дослідження розсіювання розмірів деталей, що утворюють з'єднання «вал-ущільнення», необхідно вибрати засоби вимірювань. В якості об'єкта дослідження обрано з'єднання вихідного валу (у вигляді фланця) з манжетою коробки передач ЯМЗ-239. Ескіз з'єднання фланця з манжетою коробки ЯМЗ-239 представлений на рис. 3.1.

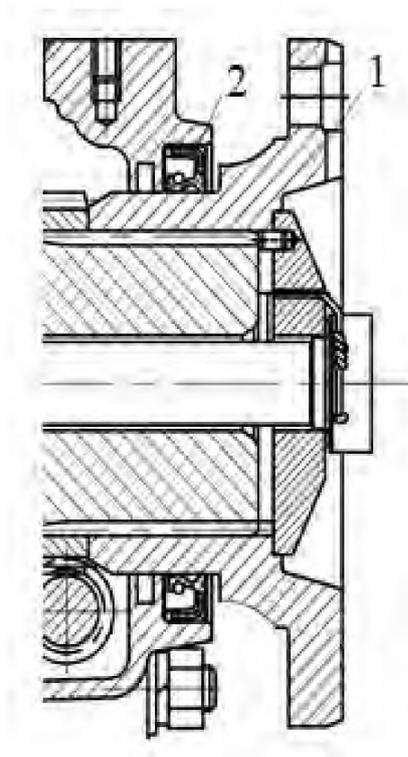


Рисунок 3.1 – Ескіз з'єднання фланця з манжетою коробки передач ЯМЗ-239:

1 – фланець; 2 – манжета

Параметри точності фланців та манжет 1.2–100×125–12 вихідного валу (фланця) коробки передач ЯМЗ-239 представлені у таблиці 3.1.

Засоби вимірювання внутрішнього діаметра манжети та посадкової поверхні під манжету на валу вибиралися відповідно до вимог стандартів. Вибір номенклатури

засобів вимірювання для отвору манжети та для валу з урахуванням метрологічних характеристик виконували з умови:

$$\pm\Delta_{\text{lim}} \leq \pm\delta, \quad (3.1)$$

де $\pm\Delta_{\text{lim}}$ – гранична похибка засобу вимірів;

$\pm\delta$ – допустима похибка вимірювання.

Таблиця 3.1 – Параметри точності фланців та манжет 1.2–100×125–12 вихідного валу коробки передач ЯМЗ-239

Назва вимірюваної деталі	Номинальний розмір з відхиленнями, мм	Допуск, мм	Розмір гранично допустимий без ремонту, мм
Зовнішній діаметр фланця	100h10 _(-0,14)	0,14	99,7
Отвір манжети	100 ^{-2,0} _{-3,0}	1,0	*

* при ремонті всі манжети замінюються на нові

Допустиму похибку вимірювання для лінійних величин визначають залежно від номінального розміру і квалітету. Для зовнішнього діаметра фланця (вихідний вал коробки зміни передач) $d_n = \text{Ø}100h10_{(-0,14)}$ маємо $T = 140$ мкм та $\delta = \pm 30$ мкм.

Для вимірювання діаметрів кінців валів вибрано засіб вимірювання максимально можливої точності. Метрологічні характеристики засобу вимірювань представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Метрологічні характеристики засобу вимірювання діаметрів кінців валів

Засіб вимірювань	Умовне позначення	Діапазон показань, мм	Діапазон вимірів, мм	Ціна поділів, мм	Похибка вимірів, мм
Скоба важільна	СРП 100-0,001	$\pm 0,07$	75-100	0,001	$\pm 0,0014$

Для вимірювання внутрішнього діаметра манжети в дослідженнях використовувався двокоординатний вимірювальний прилад ДПП-6 з оптикоелектронною вимірювальною системою НДІК-890 дискретність відліку 0,01 мм (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Контроль внутрішнього діаметра манжети

3.2 Методика визначення закону розподілу розсіювання розмірів деталей з'єднань «вал-ущільнення»

Для оцінки імовірнісних характеристик з'єднань «вал-ущільнення» необхідно встановити закони розподілу розсіювання розмірів валів та манжет, що утворюють це з'єднання. Крім цього, закон розподілу розсіювання розмірів та його характеристики (математичне очікування, середньоквадратичне відхилення) необхідні для обґрунтованого вибору засобів вимірювань. З метою оцінки закону розподілу розсіювання розмірів валів та манжет необхідно провести прямі виміри з багаторазовими спостереженнями.

При плануванні прямих вимірів із багаторазовими спостереженнями необхідно визначити кількість спостережень. Кількість спостережень залежить від двох факторів: необхідної достовірності отриманого результату та реальних часових можливостей щодо експерименту. У нашому випадку для підтвердження гіпотези про закон розподілу розмірів валів і манжет з достовірністю не менше 95% необхідно провести 100 кратні вимірювання.

Отримані результати прямих вимірювань з багаторазовими спостереженнями оброблялися в Excel в наступній послідовності:

1. Оцінка середнього арифметичного значення результатів багаторазових спостережень. Отримане середнє арифметичне значення приймають за оцінку справжнього результату вимірюваної величини (діаметр валу, манжети).

2. Розрахунок середнього квадратичного відхилення, середнього арифметичного значення результату вимірювань та середнього квадратичного відхилення одного результату спостереження.

3. Перевірка найбільшого та найменшого з отриманих результатів спостережень (варіаційного ряду) на наявність грубих похибок (промахів). У нашому випадку був використаний критерій Гібса, оскільки число вимірів $n = 100$.

4. Перевірка гіпотези про те, що результати спостережень належать до нормального розподілу. У нашому випадку число вимірів $n = 100$, було використано критерій згоди χ^2 (критерій Пірсона). Розбіжність між емпіричною та теоретичною кривою оцінюють за допомогою величини:

$$\chi_k^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(n_i - nP_i)^2}{nP_i}, \quad (3.2)$$

де n_i – i -ий результат вимірювань варіаційного ряду;

P_i – ймовірність i -ого результату вимірювань варіаційного ряду.

5. Оцінка меж невиключеної систематичної похибки результату виміру. У нашому випадку в якості межі невиключеної систематичної похибки результату вимірювання приймалися межі похибки використовуваних засобів вимірювань, зазначені в п.3.1.

6. Оцінка меж випадкової складової похибки результату вимірювань виходячи із співвідношення середнього квадратичного відхилення середнього арифметичного значення результату вимірювань та невиключеної систематичної похибки.

7. Оцінка довірчих меж похибки результату виміру.

3.3 Нормування допустимої похибки і вибір засобів вимірювань при контролі відхилення форми та розташування поверхонь

Згідно вимог стандартів овальність і конусоподібність циліндричних поверхонь деталей є в загальному вигляді відхиленням форми (Δ_{EF}). Розрахунок овальності та конусоподібності ведеться за формулою:

$$\Delta_{EF} = 0,5(d_{\max} - d_{\min}), \quad (3.3)$$

де d_{\max} – максимальний розмір деталі;

d_{\min} – найменший обсяг деталі.

Похибка непрямого результату вимірювань, формується залежно від впливу похідних аргументів, що входять в залежність непрямо вимірюваної величини, і від похибок застосовуваних засобів вимірювань.

Похибка засобу вимірювань аргументу, що входить до формули опосередковано вимірюваної величини, можна розглядати як невиключну систематичну похибку. Довірчі межі невиключеної систематичної похибки результату непрямого виміру ($\pm\theta_P$) за лінійної залежності (3.3) можна розрахувати за формулою:

$$\pm\theta_P = \frac{k\sqrt{2 \cdot \Delta^2}}{2}, \quad (3.4)$$

де Δ – похибка виміру розміру деталі;

k – поправочний коефіцієнт.

При довірчій ймовірності $P = 0,95$ поправочний коефіцієнт k приймається рівним 1,101. При довірчій ймовірності $P = 0,99$ поправочний коефіцієнт k приймається рівним 1,276, якщо число сумованих складових $m = 2$.

При виборі засобів вимірювань для контролю овальності і конусоподібності (непрямих вимірювань) необхідно, так само, як і при прямих вимірюваннях, щоб похибка вимірювання контрольованого параметра (3.3) була меншою або дорівнювала похибці вимірювання овальності і конусоподібності, тобто виконувалася умова (3.1).

Для даних контрольованих величин (овальність і конусоподібність) похибка вимірювання, що допускається, не визначена і для її розрахунку доцільно використовувати метрологічну відповідність

$$\pm\delta = 0,33T, \quad (3.5)$$

де T – допуск на контрольований параметр.

При аналізі відхилень форми та розташування поверхонь, за допуск на контрольований параметр можна прийняти величину відхилення овальності і конусоподібності, що нормується, відповідно до технічної документації.

Отже, умова вибору засобу вимірювань для контролю овальності та конусоподібності матиме вигляд:

$$\pm\Delta_{\text{lim}} \leq \frac{2\delta}{k\sqrt{2}} \quad (3.6)$$

Таким чином, розроблено методику розрахунку допустимої похибки та розроблено рекомендації щодо вибору засобів вимірювань для контролю таких важливих геометричних параметрів деталей, як відхилення форми та розташування поверхонь деталей відносно ремонтного виробництва.

Використання в реальній практиці розроблених критеріїв вибору засобів вимірювань підвищить точність та достовірність результатів вимірювання відхилення форми та розташування поверхонь деталей при ремонті, що значно знизить ризики прийняття бракованих деталей «як придатні» з перевищенням норм відхилення форми та розташування поверхонь, а також знизить ризик забракування придатних виробів.

3.4 Розробка комп'ютерної програми до розрахунку допуску ланки розмірного ланцюга у вигляді зазору

На підставі розробленої методики, поданої в п. 2.2 – 2.3 складено алгоритм розрахунку допуску ланки розмірного ланцюга у вигляді зазору (рис. 3.3).

На базі розробленої методики та представленого алгоритму (рис. 3.3) мовою програмування Python розроблено комп'ютерні програми розрахунку допуску ланки розмірного ланцюга у вигляді зазору.

Використання розробленої комп'ютерної програми дозволить значно скоротити час і підвищити точність розрахунків допуску ланки розмірного ланцюга у вигляді зазору при проєктуванні КПП ЯМЗ та при створенні ремонтної документації.

3.5 Висновки до третього розділу

1. Для дослідження розсіювання розмірів, деталей з'єднання вихідного валу (фланцю) з манжетою коробки передач двигуна ЯМЗ-239, вибрано засоби вимірювань та складено методику обробки даних прямих вимірювань з багаторазовими спостереженнями.

2. Розроблено методику розрахунку допустимої похибки та розроблено рекомендації щодо вибору засобів вимірювань для контролю відхилення форми та розташування поверхонь деталей.

3. На базі розробленої методики розрахунку допуску ланки розмірного ланцюга КПП ЯМЗ складено алгоритм та розроблено комп'ютерну програму.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1 Дослідження параметрів розсіювання натягів у з'єднанні вихідного кінця вала (фланця) КПП ЯМЗ з манжетою

З'єднання «вал-ущільнення» є одним із найважливіших у машинах та устаткуванні. Від довговічності роботи цього з'єднання залежить ресурс роботи агрегату, де воно встановлено [13]. Довговічність роботи з'єднання «вал-ущільнення» залежить від різних факторів, які можна розглянути по стадіях життєвого циклу агрегату.

При проєктуванні для забезпечення надійності з'єднання «вал-ущільнення» повинні бути враховані такі фактори, як: матеріал виготовлення валу та манжети, шорсткість та твердість поверхні валу, тип конструкції манжети [11], навантаження, параметри тиску [9], параметри розмірної взаємозамінності [12].

Параметри розмірної взаємозамінності включають: відхилення форми і розташування поверхонь у вигляді відхилення від співвісності і радіальне биття валу відносно манжети, а також параметри точності деталей і з'єднання в плані забезпечення необхідного конструктивного натягу.

На стадії виготовлення на довговічність з'єднання «вал-ущільнення» впливатимуть такі фактори, як точність обробки поверхні валу під манжету, а також точність процесу виготовлення манжет. На цьому етапі можливе формування заданої та підвищеної довговічності манжети шляхом внесення модифікаторів у її матеріал [14]. Довговічність валу можна підвищити шляхом нанесення спеціальних зносостійких покриттів [9].

На стадії експлуатації довговічність з'єднання «вал-ущільнення» залежить від якості та складу застосовуваних мастильних матеріалів, режимів експлуатації та запиленості зовнішнього та внутрішнього середовища.

Проведені дослідження виявили, що в процесі експлуатації силових агрегатів ЯМЗ (двигун у зборі з КПП) при напрацюванні понад 8000-10000 тис. годин на поверхні валу під робочою кромкою манжет з'являється знос на глибину до 0,2 мм, що призводить до підтікання. Заміна старої манжети на нову в такій ситуації підтікання

мастила не усуває [3]. Отримані результати свідчать, що необхідно досліджувати якість формування початкового діапазону натягів у з'єднанні «вал-ущільнення» та їх відповідність параметрам розмірної взаємозамінності, закладених у конструкторській документації на етапі проектування агрегату. Якщо дані вимоги будуть виконані, то на наступному етапі необхідне проведення аналізу відхилень від співвісності та радіального биття валу відносно манжети. Причому слід досліджувати як нові з'єднання, так і зношені. Це може бути можливо шляхом складання розмірних ланцюгів, що формують дані відхилення.

Довговічність з'єднання «вал-ущільнення» забезпечується заданими величинами натягів, одержуваних під час складання. При експлуатації відбувається зменшення натягів рухомого з'єднання через знос поверхні валу і манжети, що призводить до початку витоків і відмови з'єднання.

Дослідження проводилися з метою оцінки ймовірнісних характеристик розсіювання з'єднань внутрішнього діаметра манжети та зовнішнього діаметра фланця КПП ЯМЗ-239.

Для досліджень було відібрано 100 первинних валів коробки передач ЯМЗ та 100 нових манжет 1.2–100×125–12. Проведено вимірювання поверхні під манжету у нових фланців, та внутрішніх діаметрів отворів манжет. За результатами вимірювань було розраховано параметри розподілу розсіювання діаметрів посадкових поверхонь під манжету фланців та внутрішніх діаметрів отворів манжет (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Параметри розподілу розсіювання діаметрів посадкових поверхонь під манжету фланців та внутрішніх діаметрів отворів манжет

Параметри розподілу розсіювання	Ум. позначення	Манжети	Фланці
Середнє арифметичне, мм	\bar{x}	97,578	99,956
Середнє квадратичне відхилення, мм	σ	0,176	0,018
Зона розсіювання, мм	ω	1,056	0,108

За даними, представленими в таблиці 4.1, побудуємо гістограми та графіки розподілу розсіювання контрольованих параметрів, рис. 4.1 – 4.2.

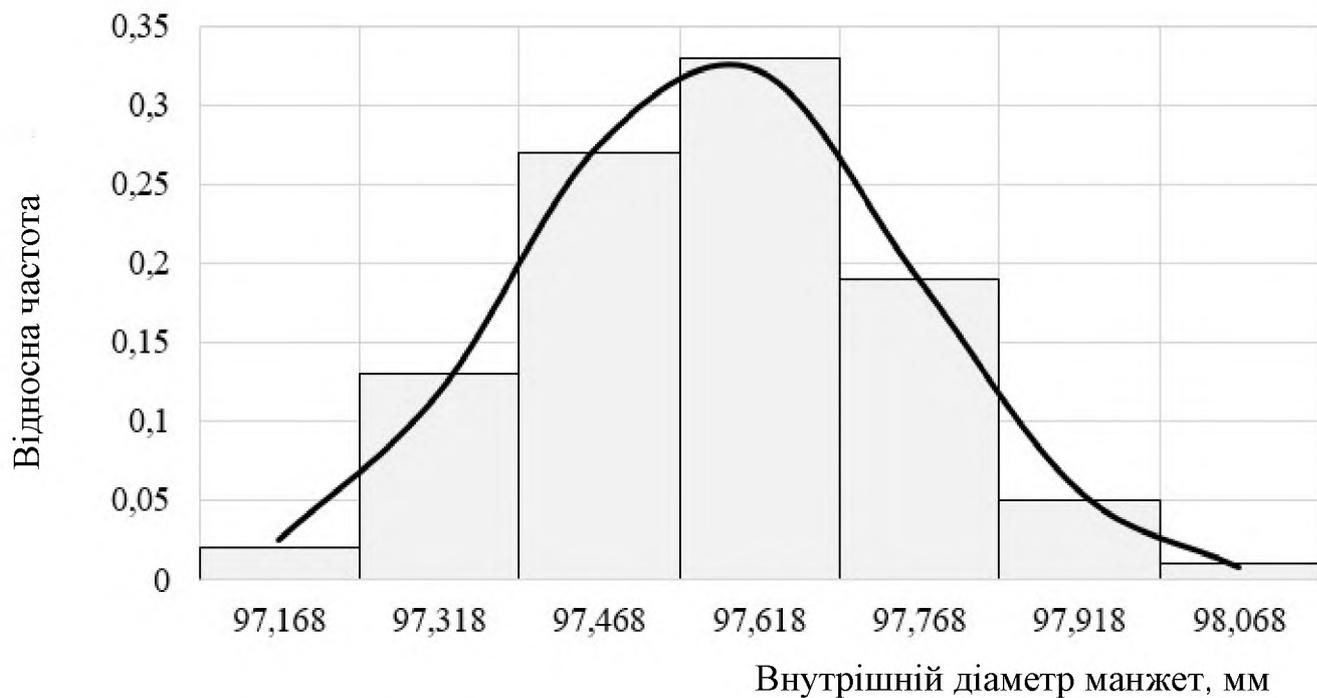


Рисунок 4.1 – Розподіл внутрішніх діаметрів манжет

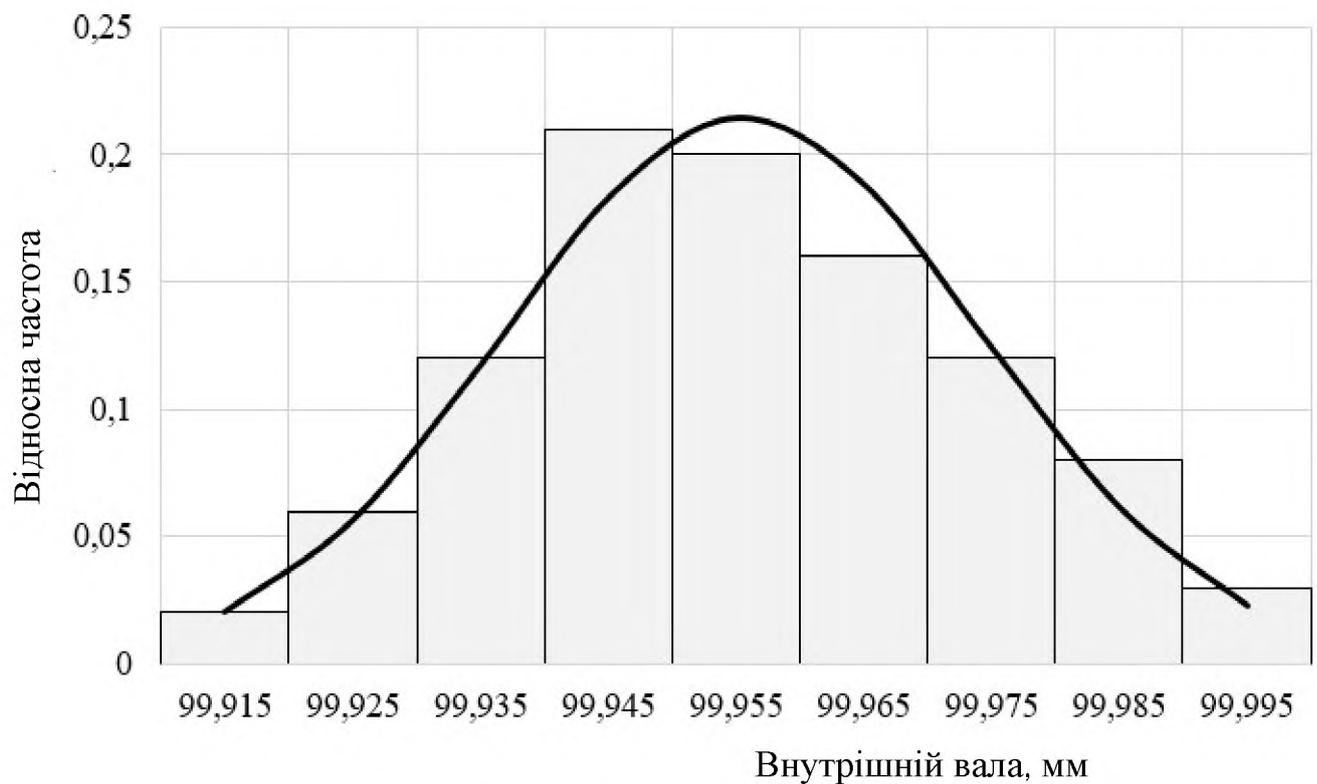


Рисунок 4.2 – Розподіл поверхні фланця під манжету

Для оцінки точності та налаштованості технологічного процесу обробки по-

верхні фланця під манжети та внутрішнього діаметра манжети, скористаємося формулами:

– коефіцієнт точності технологічного процесу:

$$K_T = \frac{T}{6 \cdot \sigma}, \quad (4.1)$$

– коефіцієнт налаштованості технологічного процесу:

$$K_C = \frac{X_{\text{сп}} - \bar{X}}{2 \cdot T}, \quad (4.2)$$

де $X_{\text{сп}}$ – середина поля допуску контрольованого параметра.

Результати розрахунків показників точності та налаштованості технологічного процесу обробки поверхні фланців під манжети та внутрішніх діаметрів манжет, розраховані за формулами (4.1) - (4.2), представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Параметри точності та налаштованості технологічного процесу обробки поверхні фланців під манжети та внутрішніх діаметрів манжет

Коефіцієнт	Манжети	Фланці
Точності технологічного процесу, K_T	0,95	1,27
Налаштованості технологічного процесу, K_C	0,06	-0,09

З даних, представлених у таблиці 4.1 і рис. 4.1 можна дійти висновку, що точність процесу формування внутрішнього діаметра манжет задовільна, налаштованість процесу задовільна, є невеликі зрушення у бік невивиправного браку.

Дані представлені в таблиці 4.2 і на рис 4.2 свідчать про те, що при виготовленні фланця забезпечується точність технологічного процесу вище необхідної із задовільною налаштованістю, є зсув у бік браку, що забезпечує ймовірність появи невивиправного браку рівну нулю.

Такі параметри розподілу пов'язані з необхідністю забезпечення шорсткості поверхні валу під манжети $Ra = 0,32$ мкм, що можна сформулювати:

- тонким шліфуванням – це буде 6-й чи 7-й квалітет точності;
- алмазним обточуванням поздовжньої подачі – це буде 6-й квалітет точності;
- звичайним поліруванням – це буде 6-й кваліфікація точності.

Використовуючи дані, подані у таблиці 4.1, проведемо оцінку розсіювання можливих натягів у з'єднанні «фланець-манжета», результати розрахунків представлені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Імовірнісні характеристики розсіювання натягів у з'єднанні «фланець-манжета»

Характеристика розсіювання натягів у з'єднанні «фланець-манжета»	Значення
Середнє квадратичне відхилення зазорів (натягів), мм	0,177
Середній дійсний натяг, мм	2,378
Коефіцієнт ризику по найбільшому натягу	2,92
Коефіцієнт ризику за найменшим натягом	3,51
Граничний найбільший натяг, мм	2,91
Граничний найменший натяг, мм	1,843
Ймовірний відсоток бракованих з'єднань за найбільшим натягом, %	0,17
Ймовірний відсоток бракованих з'єднань за найменшим натягом, %	0,01
Сумарний ймовірний відсоток браку, %	0,18

Використовуючи дані, наведені в таблиці 4.3, побудуємо схему розсіювання дійсних натягів у посадці «фланець-манжета» (рис. 4.3).

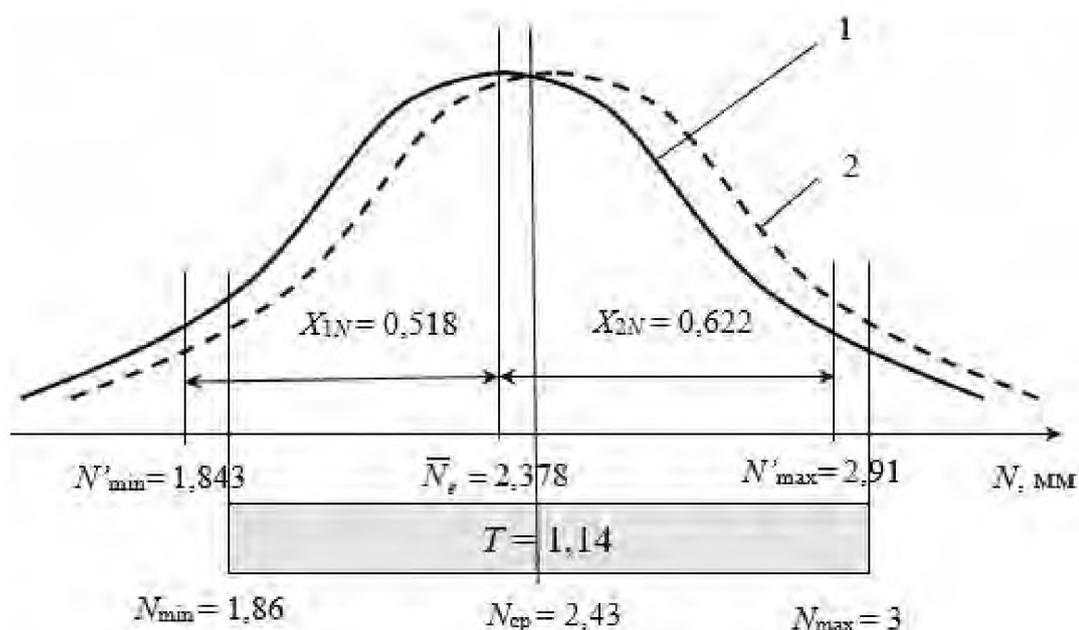


Рисунок 4.3 – Схема для розрахунку браку при складанні з'єднання «манжета-вал»:

1 – реальне розсіювання натягів у посадці; 2 – ідеальне розсіювання натягів у посадці

Аналіз розсіювання натягів дозволив зробити такі висновки: можливий відсоток бракованих з'єднань, в якості показника довговічності, становив 0,01%. Отримане значення свідчить про те, що якість виготовлення манжет і фланців знаходиться на високому рівні, якість обробки поверхні фланця під манжету забезпечує запас необхідної точності, а розсіювання розмірів отворів манжет показує практично повний збіг з необхідними характеристиками.

Таким чином, точність виготовлення деталей, що утворюють з'єднання «фланець-манжета», відповідає заданим вимогам, а проблеми з підтіканням мастильного матеріалу з ущільнень, слід шукати виходячи з параметрів зносостійкості зазначених деталей, а також виходячи з аналізу зносу впливаючих розмірів, що утворюють розмірний ланцюг, де в якості вихідної замикаючої ланки буде виступати відхилення від співвісності та радіальне биття валу по відношенню до діаметра манжети.

4.2 Розрахунок сумарного відхилення від співвісності вихідного валу КПП ЯМЗ відносно манжети

Нормування точності окремих складальних одиниць та з'єднань є досить складним завданням і потребує індивідуального підходу у кожному випадку [2]. Багато функціональних параметрів можна визначити тільки після складання за допомогою методів розрахунку розмірних ланцюгів. У ряді випадків розмірний аналіз застосовується для визначення експлуатаційних характеристик виробів [6]. Характеристики норм точності ланок розмірного ланцюга призначаються за вимогами єдиної системи допусків та посадок, при цьому під час виробництва використовують технології допускового контролю з метою забезпечення якості складання.

Найпоширенішими ущільненнями у складальних одиницях та агрегатах машин є гумові армовані манжети. Теорія герметичності манжет ще не розроблена, тому проводиться ціла низка досліджень щодо вдосконалення та забезпечення якості ущільнювальних пристроїв підшипникових вузлів техніки [13]. У теоретичному плані досліджено вплив: тиску манжети на поверхню валу [1], складу гуми манжет на їхню

працездатність, конструктивної форми робочої кромки манжетного ущільнення на забезпечення гарантованої герметизації [10]. У практичному плані вивчаються питання, пов'язані зі зниженням коефіцієнта тертя та підвищення зносостійкості поверхонь манжети та валу.

На початок підтікань у з'єднанні «вал – манжета» впливають такі геометричні параметри, як радіальне биття валу Δ_r та відхилення від співвісності осей валу та манжети Δ_c .

Відповідно до вимог діючих стандартів, граничне радіальне биття і допуск співвісності не повинні перевищувати заданих величин, зазначених у таблицях 4.4 і 4.5.

Таблиця 4.4 – Граничні радіальні биття поверхонь валу, що контактує з манжетою, залежно від частоти обертання

Параметр	Величини					
	до 1000	1000 ... 2000	2000 ... 3000	3000 ... 4000	4000 ... 5000	більше 5000
Частота обертання валу, об/хв						
Граничне радіальне биття поверхні валу, що контактує з манжетою, мм,	0,18	0,15	0,12	0,10	0,08	0,02

Таблиця 4.5 – Граничні допуски співвісності посадкового місця під манжету відносно осі обертання валу, залежно від діаметра валу

Параметр	Величини			
	до 55	55 ... 120	120... 320	320 ... 500
Діаметр валу, мм				
Допуск співвісності посадкового місця під манжету відносно осі обертання валу, мм	0,10	0,15	0,20	0,25

Головною проблемою визначення сумарного відхилення від співвісності та радіального биття є саме складання розмірного ланцюга, виявлення ланок у вигляді зазору, а також статичних векторних і динамічних ланок. Необхідно також визначити номінальні значення допусків розмірів, відхилень форми та розташування поверхонь.

Використовуючи методику, представлену в п. 2.3, складемо розмірний ланцюг і визначимо за яких значень відхилень від співвісності та радіального биття почнеться підтікання в з'єднанні «вал – манжета» КПП ЯМЗ-239.

Виходячи з фрагмента складального креслення КПП ЯМЗ-239, рис. 4.4, можна виділити елементи деталей, параметри точності яких впливають на замикаючу ланку у вигляді відхилення від співвісності та радіального биття діаметра манжети та діаметра фланця.

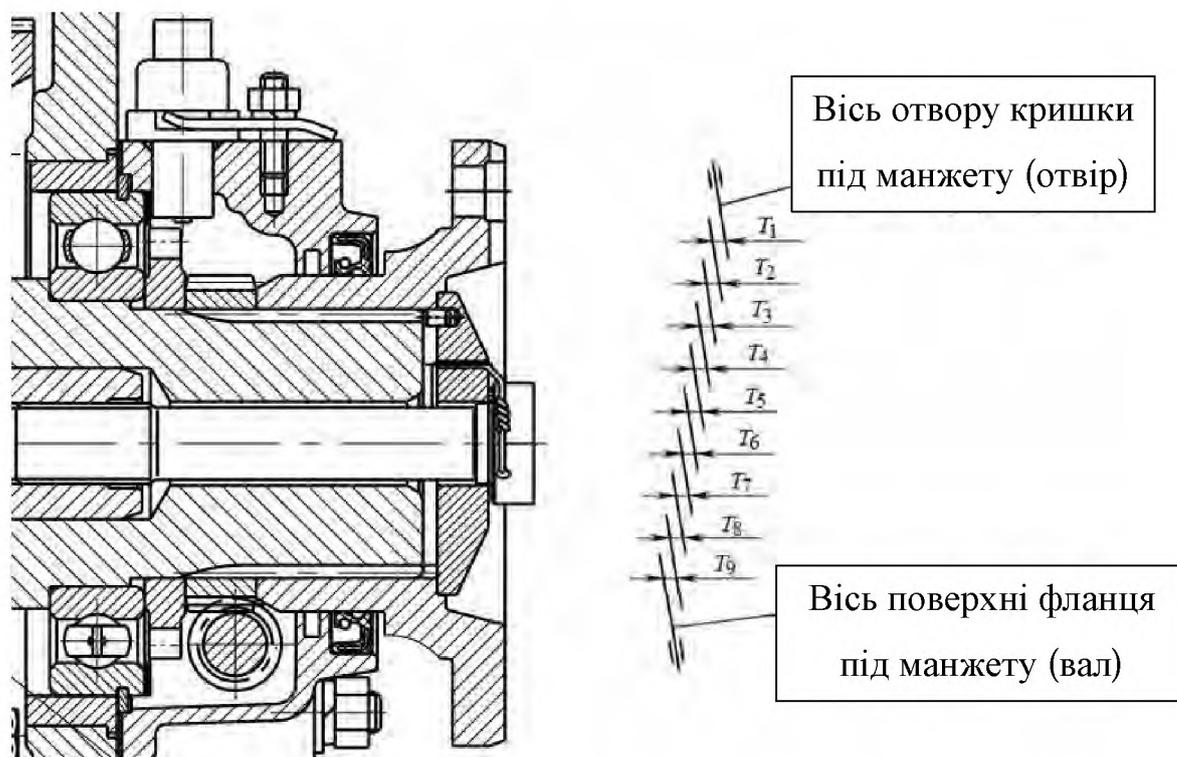


Рисунок 4.4 – Розмірний ланцюг для розрахунку сумарної величини відхилення від співвісності

Згідно рис. 4.4, це такі елементи:

T_1 – відхилення від співвісності отворів кришки демультіплікатора (202.1721205-40) під манжету та підшипник 50217K5;

T_2 – наявність зазору в посадці зовнішнього кільця підшипника 50217K5;

T_3 – допуск на різностінність (радіальне биття) зовнішнього кільця підшипника 50217K5;

T_4 – радіальний зазор у підшипнику 50217K5;

T_5 – допуск на різностінність (радіальне биття) внутрішнього кільця підшипника 50217K5;

T_6 – наявність зазору в посадці внутрішнього кільця підшипника 50217K5;

T_7 – відхилення від співвісності (радіальне биття) поверхні зовнішнього діаметра шліців валу відносно поверхні валу під підшипник;

T_8 – зазор у посадці між зовнішнім діаметром шліцевого валу та шліцевою втулкою (фланцем), з'єднання 80×H7/g6×4×9H/9h;

T_9 – відхилення від співвісності (радіальне биття) зовнішнього діаметра шліцевої поверхні фланця та зовнішньої поверхні фланця під манжету.

З опису ланок розмірного ланцюга вихідного кінця валу (фланцю) КПП ЯМЗ-239 видно, що певні ланки зміщують вісь валу по відношенню до манжети у вигляді зазору та відхилення від співвісності, інші – у вигляді радіального биття.

Розрахунок зміщення осей деталей у посадках через наявність зазору у ланках, що входять у розмірний ланцюг КПП ЯМЗ-239, представлений у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Розрахунок зміщення осей деталей у посадках через наявність зазору в ланках, що входять у розмірний ланцюг вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239

Позначення	Посадка	Допуски		Середні значення		Коефіцієнти		Допуск T_{cs} , мкм
		Позначення	Значення, мкм	Позначення	Значення, мкм	λ	α	
T_2	$\varnothing 150H6/15$	T_D	25	EC	+12,5	1,2	-0,1	37,9
		T_d	15	ec	-7,5	1,2	+0,1	
		T_S	15,9	S	11	1,0	-0,1	
T_6	$\varnothing 85L5/k5$	T_D	15	EC	-7,5	1,2	-0,1	0
		T_d	15	ec	+10,5	1,2	+0,1	
		T_S	9	S	-10,5	1,0	-0,1	
T_8	$\varnothing 80H7/g6$	T_D	30	EC	+15	1,2	-0,1	50,1
		T_d	19	ec	-14,5	1,2	+0,1	
		T_S	21,3	S	14,4	1,0	-0,1	

Характеристики ланок розмірного ланцюга вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239 представлені у таблиці 4.7.

Результати розрахунку параметрів розмірного ланцюга вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239 відносно манжети наведено в таблиці 4.8.

У таблиці 4.8 показано, що саме для з'єднання валу, що обертається, з гумовою

армованою манжетою при складанні і розрахунку розмірного ланцюга слід обов'язково розділяти ланки на статичні і динамічні. Такий поділ необхідний для виявлення ланок як радіального биття, яке поперемінно намагається розкрити стик манжети з валом, так і виявлення саме відхилення від співвісності, яке діє статично і призводить до розкриття стику, але у одному заданому напрямі. При певних частотах обертання, навіть за наявності натягу у з'єднанні, внаслідок дії радіального биття, манжета може не встигати закрити стик – і почнуться підтікання. Розрахунок за класичною методикою – лише у статистиці, як показано у таблиці 4.8, дає спотворений результат.

Таблиця 4.7 – Характеристики ланок розмірного ланцюга вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239 відносно манжети

Позначення	Тип ланки	Допуск, мм	Коефіцієнти		
			k	α	λ
T_1	<i>cv</i>	0,020	1,0	0	0,75
T_2	<i>cs</i>	0,0379	1,0	0	1,00
T_3	<i>cv</i>	0,011	1,0	0	0,75
T_4	<i>cv</i>	0,036/0,15*	1,0	0	0,75
T_5	<i>rv</i>	0,006	1,0	0	0,75
T_6	<i>cs</i>	0,000	1,0	0	1,00
T_7	<i>rv</i>	0,020	1,0	0	0,75
T_8	<i>rv</i>	0,0501	1,0	0	1,00
T_9	<i>rv</i>	0,020	1,0	0	0,75

Умовні позначення: *cs* – ланка у вигляді зазору; *cv* – векторна статична ланка; *rv* – векторна динамічна ланка. * – гранично допустимий радіальний зазор.

Таблиця 4.8 – Результати розрахунку параметрів розмірного ланцюга вихідного кінця валу КПП ЯМЗ 239 відносно манжети

Найменування параметра	Позначення	Значення
Розрахунок за запропонованою методикою		
Сумарний допуск ланок у вигляді зазору	$T_{\Sigma cs}$	0,0379 мм
Сумарний допуск векторних статичних ланок	$T_{\Sigma cv}$	0,0496 мм
Сумарний допуск векторних динамічних ланок	$\Delta_r = T_{\Sigma rv}$	0,0546 мм
Сумарне відхилення від співвісності	Δ_c	0,0624 мм
Розрахунок за класичною методикою		
Сумарний допуск ланок у вигляді зазору	$T_{\Sigma cs}$	0,0628 мм
Сумарний допуск векторних ланок	$T_{\Sigma cv}$	0,0276 мм
Сумарне відхилення від співвісності	Δ_c	0,0686 мм

З даних таблиці 4.8 видно, що сумарне радіальне биття становить 0,0546 мм, що не перевищує граничної величини, зазначеної в таблиці 4.4, і значення 0,15 мм. Це свідчить про те, що сформовано запас точності з радіального биття, що дорівнює 2,75. Ланки, що становлять розмірний ланцюг у вигляді радіальних биття, практично не зношуються. У процесі експлуатації вони не будуть істотно впливати на динаміку зростання сумарного радіального биття.

З іншого боку, даних таблиці 4.8 видно, що сумарне відхилення від співвісності становить 0,0624 мм, що не перевищує граничної величини, зазначеної в таблиці 4.5 і дорівнює 0,15 мм. Це свідчить про те, що сформований запас точності з відхилення від співвісності дорівнює 2,4. Більшість ланок у вигляді відхилень від співвісності практично не зношуються в процесі експлуатації, але радіальний зазор у підшипнику в міру роботи КПП буде збільшуватися через знос кульок і кілець, внаслідок чого досягне гранично допустимої величини 0,15 мм і початку підтікання. А в результаті дії радіального биття у вигляді 0,055 мм підтікання почнуться раніше. Виходячи з отриманих даних, можна припустити, що при такому радіальному битті і зношуванні підшипника кочення, незначні витіки почнуться при досягненні відхилення від співвісності $\Delta = 0,15 - 0,055 = 0,095$ мм і збільшуватимуться.

Таким чином, апробована методика складання розмірного ланцюга для з'єднання «вал-ущільнення» (п.2.3), де в якості замикаючої ланки виступають такі параметри, як відхилення від співвісності і радіальне биття валу відносно манжети. У методиці показано, що необхідно поділяти ланки розмірного ланцюга на дві категорії – статичні відхилення від співвісності та динамічне – у вигляді радіального биття. Проведений розрахунок на прикладі вихідного валу КПП ЯМЗ-239 показав, що розмірний ланцюг утворюється з дев'яти ланок, п'ять із яких є відхиленнями від співвісності, а чотири – радіальним биттям. У початковому новому стані формується запас точності як за параметром сумарної співвісності, так і за параметром сумарного радіального биття. У процесі експлуатації буде спостерігатися детермінуюче зношування радіального підшипника кочення у вигляді збільшення робочого радіального зазору, і при постійному радіальному битті в 0,055 мм, почнуться підтікання мастила при досягненні відхилення від співвісності 0,095 мм.

4.3 Дослідження параметрів розмірного ланцюга вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239 відносно манжети при використанні розмірів, допустимих без ремонту

У технічних умовах на ремонт КПП ЯМЗ-239 вказані не тільки номінальні розміри та відхилення деталей, що входять до досліджуваного розмірного ланцюга, а й допустимі без ремонту. Так для посадки зовнішнього кільця підшипника в корпус $\varnothing 150H6/15$ передбачено, що можливе збільшення розміру отвору у корпусі до $\varnothing 150,05$ мм. Для посадки внутрішнього кільця на вал $85L5/k5$ допускається зменшення розміру валу до $84,95$ мм.

Використовуючи методику, подану в п.2.2, розрахуємо параметри точності складових ланок розмірного ланцюга для використання допустимих без ремонту розмірів у посадках, таблиці 4.9-4.11.

З даних таблиці 4.11 видно, що сумарне відхилення від співвісності становить $0,124$ мм, що не перевищує граничну величину $0,15$ мм, але наближається до неї. Це свідчить про те, що сформований малий, проти розмірів нових деталей, запас точності по відхиленню від співвісності, рівний $1,2$. І при збільшенні радіального зазору в підшипнику кочення до $0,07$ мм почнеться підтікання.

Таблиця 4.9 – Розрахунок зміщення осей деталей у посадках через наявність зазору в ланках, що входять у розмірний ланцюг вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239 при використанні розмірів, допустимих без ремонту

Позначення	Посадка	Допуски		Середні значення		Коефіцієнти		Допуск T_{cs} , мкм
		Позначення	Значення, мкм	Позначення	Значення, мкм	λ	α	
T_2	$\varnothing 150^{+0,05}/_{-0,015}$	T_D	50	EC	+25	1,2	0	96,9
		T_d	15	ec	-7,5	1,2	+0,1	
		T_s	31,3	S	32,8	1,0	-0,05	
T_6	$\varnothing 85^{-0,015}/_{-0,05}$	T_D	15	EC	-7,5	1,2	-0,1	59,6
		T_d	50	ec	-25	1,2	0	
		T_s	31,3	S	14,1	1,0	-0,05	
T_8	$\varnothing 80H7/g6$	T_D	30	EC	+15	1,2	0,1	50,1
		T_d	19	ec	-14,5	1,2	+0,1	
		T_s	21,3	S	14,4	1,0	-0,1	

Таблиця 4.10 – Характеристики ланок розмірного ланцюга вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239 відносно манжети при використанні розмірів, допустимих без ремонту

Позначення	Тип ланки	Допуск, мм	Коефіцієнт		
			k	α	λ
T_1	<i>cv</i>	0,020	1,0	0	0,75
T_2	<i>cs</i>	0,0969	1,0	0	1,00
T_3	<i>cv</i>	0,011	1,0	0	0,75
T_4	<i>cv</i>	0,036/0,15*	1,0	0	0,75
T_5	<i>rv</i>	0,006	1,0	0	0,75
T_6	<i>cs</i>	0,0596	1,0	0	1,00
T_7	<i>rv</i>	0,020	1,0	0	0,75
T_8	<i>rv</i>	0,0501	1,0	0	1,00
T_9	<i>rv</i>	0,020	1,0	0	0,75

Умовні позначення: *cs* – ланка у вигляді зазору; *cv* – векторна статична ланка; *rv* – векторна динамічна ланка. * – гранично допустимий радіальний зазор.

Таблиця 4.11 – Результати розрахунку параметрів розмірного ланцюга вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239 відносно манжети при використанні розмірів, допустимих без ремонту

Найменування параметра	Позначення	Значення
Розрахунок за пропонованою методикою		
Сумарний допуск ланок у вигляді зазору	$T_{\Sigma cs}$	0,1135 мм
Сумарний допуск векторних статичних ланок	$T_{\Sigma cv}$	0,0496 мм
Сумарний допуск векторних динамічних ланок	$\Delta r = T_{\Sigma rv}$	0,0546 мм
Сумарне відхилення від співвісності	Δc	0,1243 мм
Розрахунок за класичною методикою		
Сумарний допуск ланок у вигляді зазору	$T_{\Sigma cs}$	0,1241 мм
Сумарний допуск векторних ланок	$T_{\Sigma cv}$	0,0276 мм
Сумарне відхилення від співвісності	Δc	0,1272 мм

Таким чином, використання допустимих без ремонту розмірів зношених поверхонь відповідних деталей – діаметра отвору під зовнішнє кільце підшипника кочення і шийки валу під внутрішнє кільце підшипника, призведуть до більш ранньої відмови відремонтованої КПП за параметром початку підтікання з ущільнення.

4.4 Використання методу групової взаємозамінності підвищення якості складання валів з манжетами у ремонтному виробництві

Ефективним інструментом підвищення якості складання є застосування селекції. У нашому випадку, з метою збільшення середнього натягу у з'єднанні валу з манжетою запропоновано використовувати метод селективного збирання по двох групах. У таблиці 4.12 представлені параметри точності фланців та манжет 1.2–100×125–12 вихідного валу коробки передач ЯМЗ-239, на якому було апробовано запропонований метод.

Таблиця 4.12 – Параметри точності фланців та манжет 1.2–100×125–12 вихідного валу коробки передач ЯМЗ-239

Назва вимірюваної деталі	Номинальний розмір з відхиленнями, мм	Допуск, мм	Розмір гранично допустимий без ремонту, мм
Фланець	$100h10_{(-0,14)}$	0,14	99,7
Отвір манжети	$100_{-3,0}^{-2,0}$	1,0	*

* при ремонті всі манжети замінюються на нові

Застосуємо розбиття діаметрів манжет на дві групи. Для цього визначимо межу розбиття манжет, яка відповідає середині поля допуску та визначається через середнє відхилення ES (2.7). В результаті розрахунку за формулою (2.7) отримаємо $ES = -2,5$ мм. Вали необхідно розбити на два види розмірів:

- перший буде відповідати номінальному розміру нового валу $\varnothing 100h10_{(-0,14)}$ і з'єднуються з манжетами другої групи, що мають менший діаметр для утворення з'єднання з більшими натягами;

- другий буде відповідати ремонтному розміру валу $\varnothing 100,5h10_{(-0,14)}$ і з'єднуються з манжетами першої групи, що дозволить комплектувати з'єднання з великими натягами.

З отриманих даних складемо комплектувальну таблицю для з'єднання валів з манжетами (таблиця 4.13).

Таблиця 4.13 – Комплектувальна таблиця для з'єднання валів з манжетами

Параметри	Номер групи комплектування	
	1	2
	Значення, мм	
Отвір манжети	$\varnothing 100_{-2,5}^{-2,0}$	$\varnothing 100_{-3,0}^{-2,5}$
Діаметр валу	$\varnothing 100,5h10_{(-0,14)}$	$\varnothing 100h10_{(-0,14)}$
Діапазон натягів у групі	2,36 ... 3,0	2,36 ... 3,0
Середній натяг у групі	2,68	2,68

Як видно з таблиці 4.13 діапазон натягів становитиме від 2,36 ... 3,0 мм в обох випадках, що дозволить підвищити ресурс з'єднання на 2400 мотогодин, тобто на 20%.

4.5 Висновки до четвертого розділу

1. Проведений аналіз розсіювання натягів дозволив встановити, що якість виготовлення манжет і фланців знаходиться на високому рівні, якість обробки поверхні фланця під манжету забезпечує запас необхідної точності, а розсіювання розмірів отворів манжет показує практично повний збіг з необхідними характеристиками. Отже, причини проблем, що виникають з підтіканням мастильного матеріалу з ущільнень, слід шукати виходячи з параметрів зносостійкості зазначених деталей, а також виходячи з аналізу зносу впливових розмірів, що утворюють розмірний ланцюг, де в якості вихідної замикаючої ланки буде виступати відхилення від співвісності і радіальне биття.

2. Апробовано методику складання розмірного ланцюга для з'єднання "вал-ущільнення" (п.2.3) на прикладі вихідного вала КПП ЯМЗ-239. Встановлено, що розмірний ланцюг утворюється з дев'яти ланок, п'ять із яких є відхиленнями від співвісності, а чотири – радіальним биттям. У початковому новому стані формується запас точності як за параметром сумарної співвісності, так і за параметром сумарного радіального биття. У процесі експлуатації буде спостерігатися детермінуюче зношування радіального підшипника кочення у вигляді збільшення робочого радіального зазору, і при постійному радіальному битті 0,055 мм почнеться підтікання мастила при досягненні

відхилення від співвісності 0,095 мм. Також доведено, що при використанні допустимих без ремонту розмірів зношених поверхонь відповідних деталей – діаметра отвору під зовнішнє кільце підшипника кочення і шийки валу під внутрішнє кільце підшипника, призведуть до більш ранньої відмови відремонтованої КПП за параметром початку підтікання із ущільнення вихідного вала.

3. Запропоновано удосконалене умовне позначення вимог до шорсткості поверхні валу, що включає в себе не тільки діапазон значень середнього арифметичного відхилення профілю в залежності від швидкості ковзання робочої кромки манжети відносно валу, але й вимоги до перпендикулярного розташування нерівностей, яка повинна бути відносною опорної довжини профілю, яка повинна становити не менше 60% на 50% - ому рівні, а також вимоги до виду обробки, що формує такий профіль.

4. З метою збільшення натягу та підвищення ресурсу з'єднання запропоновано розбиття діаметрів манжет на дві групи. Фланці КПП необхідно розбити на два види розмірів. Для з'єднання манжет першої групи, з великими діаметрами, запропоновано обробляти вал на $-0,5$ мм з метою виведення слідів зношування та встановленням тонкостінної ремонтної втулки для формування розміру $\text{Ø}100,5\text{h}10_{(-0,14)}$. Для з'єднання манжет другої групи з меншими діаметрами будуть використані нові фланці з номінальним розміром $\text{Ø}100\text{h}10_{(-0,14)}$. Діапазон натягів складатиме від 2,36...3,0 мм в обох випадках, що дозволить підвищити ресурс з'єднання на 2400 мотогодин, тобто на 20%.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Розрахунок економічного ефекту від застосування цифрових засобів вимірювань при контролі фланця КПП

Важливим аспектам цифровізації ремонтного підприємства, поряд зі створенням і впровадженням цифрових моделей процесів, є перехід вимірювальних процесів на цифрові засоби вимірювань. Перевагами застосування цифрових засобів вимірювань є (за інших рівних умов у порівнянні з аналоговими приладами):

- висока точність;
- продуктивність (вимірювальних процес займає менше часу);
- можливість передавати вимірювальну інформацію для зберігання та обробки в пам'ять ПК.

Порядок вибору та оцінки економічної ефективності застосування цифрових засобів вимірювань не відрізняється від аналогових приладів, і включає наступні етапи:

1. вибір номенклатури відповідних цифрових засобів вимірювань за метрологічними характеристиками (діапазон вимірювань повинен перевищувати значення вимірюваної величини, похибка засобу вимірювання повинна відповідати вимогам за умовою (3.1));
2. оцінка імовірнісних характеристик результатів вимірювань (ймовірності помилок 1-го та 2-го роду);
3. оцінка економічних втрат від помилок 1-го та 2-го роду;
4. оцінка економічних витрат на виміри (витрати на перевірку, заробітну плату контролера);
5. оцінка економічного ефекту від більш точного цифрового засобу вимірювання.

У разі, коли при виборі засобів вимірювань контролю розмірів фланця КПП після відновлення недостатньо виконання умови (3.1), оскільки необхідно контролювати не тільки діаметр фланця, а ще і відхилення форми, у вигляді відхилення від

циліндричності, а в окремому випадку, що виявляється в якості овальності або огранювання. Тому при виборі цифрового приладу в даному випадку необхідне виконання умови (3.1), пункт 3.2.

Допустима похибка засобу вимірювань для контролю відхилення форми визначається за формулою:

$$\pm \Delta_{\text{lim}} \leq \frac{2\varepsilon}{k\sqrt{2}}. \quad (5.1)$$

Використовуючи формулу (3.1) і (3.6) проведемо розрахунок похибки вимірювань цифрового приладу для контролю розмірів фланця Ø100,5h10 (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для вибору цифрового засобу вимірювання для контролю розмірів фланця Ø100,5h10

Параметр	Значення
Допуск на діаметр фланця, мм	0,140
Допуск на відхилення форми, мм	0,03
Допустима похибка вимірювань по допуску на діаметр фланця, мм	±0,046
Допустима похибка вимірювань по допуску на відхилення форми, мм	±0,012

Виходячи з умови (5.1), з урахуванням номінального розміру, для вимірювання параметрів відновленого фланця підходять такі цифрові засоби вимірювання:

- за умовою (3.1) – скоба важільна цифрова;
- за умовою (3.2) – штангенциркуль цифровий.

Метрологічні характеристики вибраних засобів вимірювань представлені у таблиці 5.2.

Проведемо порівняльний аналіз економічного ефекту від застосування цифрових засобів вимірювань, вибраних за умовою (3.1) та за умовою (3.5).

Річний економічний ефект від використання більш точного засобу вимірювання розраховують за формулою:

$$E_P = Z_{P\Sigma 1} - Z_{P\Sigma 2}, \quad (5.2)$$

де $Z_{P\Sigma 1}$, $Z_{P\Sigma 2}$ – сумарні річні витрати на вимірювання першим і другим засобом вимірювань, грн./рік.

Таблиця 5.2 – Метрологічні характеристики засобів вимірювання для контролю розмірів фланця Ø100,5h10

Найменування засобу вимірювань	Умовне позначення	Метрологічні характеристики		
		Діапазон вимірів, мм	Дискретність відлікового пристрою, мм	Межа допустимої похибки, мкм
Скоба важільна цифрова	СВЦ-1250,001	100-125	0,001	±4
Штангенциркуль цифровий	ШЦЦ-125-0,01	0-125	0,01	±30

Сумарні річні витрати на вимірювання включають витрати ($Z_{РВП}$) на експлуатацію і втрати від похибки вимірювань ($П_{РВ}$) [167, 166]:

$$Z_{РΣ1} = Z_{РВП} + П_{РВ}. \quad (5.3)$$

Визначення річних витрат для проведення вимірювань для кожного з вибраних засобів вимірювань проводять за формулою:

$$Z_{РВП} = Z_E + Ц/Т, \quad (5.4)$$

де Z_E – річні витрати на експлуатацію засобів вимірювань, грн./рік;

Ц – ціна засобу вимірювань, грн.;

Т – термін служби, років.

Річні витрати на експлуатацію вибраних засобів вимірювань розраховують за такою формулою:

$$Z_E = Z_{П} + Z_{ЗП} + Z_{ЕЛ}, \quad (5.5)$$

де $Z_{П}$ – річні витрати на перевірку (калібрування) засоби вимірювань, грн./рік;

$Z_{ЗП}$ – річні витрати на заробітну плату контролерів (операторів), що виконують контрольні операції, грн./рік;

$Z_{ЕЛ}$ – витрати на електроенергію (елемент живлення цифрового засобу вимірювань), грн.

Розрахуємо річну заробітну плату контролера за формулою:

$$Z_{ЗП} = Т \cdot В \cdot C_T \cdot k_d \cdot k_C, \quad (5.6)$$

де Т – сумарна трудомісткість контрольної операції, люд·год/дет.;

C_T – середня годинна тарифна ставка контролера, грн./год.;

k_d – коефіцієнт, що враховує додаткову оплату;

k_C – коефіцієнт, що враховує страхові внески;

B – річний обсяг вимірів, шт.

Вихідні дані та результати розрахунків річної заробітної плати контролера представлені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вихідні дані та результати розрахунків річної заробітної плати контролера

Параметр	Значення
Сумарна трудомісткість контрольної операції, людгод	0,15
Середня годинна тарифна ставка контролера, грн/год	500
Коефіцієнт, що враховує додаткову оплату	1,2
Коефіцієнт, що враховує страхові внески	1,3
Річний обсяг вимірів, шт.	1000
Річна заробітна плата контролера, грн	117000

Вихідні дані та результати розрахунків річних витрат на експлуатацію вибраних цифрових засобів вимірювань представлені у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Вихідні дані та результати річних витрат на експлуатацію вибраних цифрових засобів вимірювань

Параметр	Значення	
	СРЦ-125-0,001	ШЦЦ-125-0,01
Річні витрати на перевірку (калібрування) засобів вимірювань*, грн.	990	450
Річні витрати на електроенергію, грн.	450	450
Річна заробітна плата контролера, грн.	117000	
Річні витрати на експлуатацію засобу вимірювань, грн.	118440	117900

*міжпіврічний інтервал - 1 рік.

Для розрахунку річних витрат на проведення вимірювань складемо таблицю 5.5.

Втрати від похибки вимірювань визначають за такою формулою:

$$P_{PB} = B (n \cdot P_n + m \cdot P_m), \quad (5.7)$$

де n – частка помилок 1-го роду;

P_n – втрати від помилок 1-го роду, грн./од.;

m – частка помилок 2-го роду;

P_m – втрати від помилок 2-го роду, грн/од.

Таблиця 5.5 – Вихідні дані для розрахунку сумарних річних витрат на вимірювання розмірів фланця Ø100,5h10

Параметр	Значення	
	СВЦ-125-0,001	ШЦЦ-125-0,01
Ціна засобу вимірювань, грн.	62000	6700
Строк служби, рік.	5	5
Річні витрати на експлуатацію засобу вимірювань, грн.	118440	117900
Сумарні річні витрати на вимірювання	130840	119240

Помилки 1-го роду (бракується придатна деталь) та 2-го роду (бракована деталь приймається як придатна) залежать від розсіювання контрольованого параметра (таблиця 5.1) та похибки засобу вимірювання (таблиця 5.2). Для розрахунку помилок 1-го роду (бракується придатна деталь) та 2-го роду (бракована деталь приймається як придатна) використовувалася спеціальна комп'ютерна програма.

Втрати від помилки 1-го роду (бракується придатна деталь) приймаються рівними вартості деталі (фланця) за вирахуванням вартості брухту. Втрати від помилок 2-го роду (бракована деталь приймається як придатна) приймаємо рівними витратам на рекламацію.

Вихідні дані та результати розрахунків втрат від похибки вимірювань при контролі розмірів фланця Ø100,5h10 представлені у таблиці 5.6.

Зведемо отримані значення в таблицю 5.7 і розрахуємо річний економічний ефект від використання більш точного цифрового засобу вимірювання.

Таким чином, незважаючи на те, що важільна цифрова скоба (СВЦ-125-0,001) дорожча за цифровий штангенциркуль (ШЦЦ-125-0,01) більш ніж на 55000, її застосування буде більш ефективним, оскільки дозволить скоротити втрати від помилок 1-го роду та 2-го роду.

Таблиця 5.6 – Вихідні дані та результати розрахунків втрат від похибки вимірювань при контролі розмірів фланця Ø100,5h10

Параметр	Значення	
	СВЦ-125-0,001	ШЦЦ-125-0,01
Частка помилок 1-го роду	0,0005	0,007
Частка помилок 2-го роду	0,0004	0,002
Втрати від помилок 1-го роду, грн.	7600	
Втрати від помилок 2-го роду, грн.	6000	
Річний обсяг вимірів, шт.	1000	
Втрати від похибки вимірів, грн.	6200	65200

Таблиця 5.7 – Вихідні дані та результати розрахунків річного економічного ефекту від використання більш точного цифрового засобу вимірювань

Параметр	Значення	
	СВЦ-125-0,001	ШЦЦ-125-0,01
Річні витрати на вимірювання, грн.	130840	119240
Втрати від похибки вимірів, грн.	6200	65200
Сумарні річні витрати на виміри, грн.	137040	184440
Річний економічний ефект від використання точнішого засобу, грн.	47400	

5.2 Оцінка економічного ефекту від запровадження технологічного процесу відновлення валів установкою ремонтної втулки для коробки передач силового агрегату ЯМЗ

Оцінимо економічний ефект від запровадження технологічного процесу відновлення валів установкою ремонтної втулки для коробки передач силових агрегатів ЯМЗ.

Собівартість відновлення поверхні валу під манжету включає чотири складові:

– основна та додаткова заробітна плата робітників, які беруть участь у виконанні виробничого процесу відновлення поверхні валу під манжету, включаючи страхові внески до позабюджетних фондів;

– витрати на матеріали та запасні частини, необхідні для процесу відновлення поверхні валу під манжету;

– витрати на придбання ремонтного фонду, які визначаються як сума вартості зношеного валу за ціною металобрухту та транспортних витрат на його доставку на підприємство;

– витрати на електроенергію та воду, що витрачаються для відновлення поверхні валу під манжету.

Розрахуємо заробітну плату за формулою:

$$З_{ЗП} = T \cdot C_{Г} \cdot k_{д} \cdot k_{С}, \quad (5.8)$$

де T – сумарна трудомісткість виконання технологічного процесу відновлення валу під ремонтний розмір, люд·год/дет.;

$C_{Г}$ – середня годинна тарифна ставка виробничих робітників за виконання i -ї операції при певному розряді робіт, грн./год.;

$k_{д}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову оплату;

$k_{С}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески.

Для розрахунку зарплати необхідно визначити трудомісткість виконання технологічного процесу відновлення валів під ремонтний розмір. Для цього складемо таблицю 5.8.

Вихідні дані та результати розрахунку заробітної плати робітників, які беруть участь у виконанні виробничого процесу відновлення поверхні валу під манжету представлені в таблиці 5.9.

Таблиця 5.8 – Трудомісткість виконання технологічного процесу відновлення валу методом встановлення ремонтної втулки

Операція	Трудомісткість, людгод.
Очищення	0,35
Дефектація та контроль	0,15
Шліфування (механічна обробка)	0,06
Запресування (нагрів) ремонтної втулки	0,18
Шліфування запресованої втулки	0,06
Поверхнєве пластичне деформування поверхні запресованої втулки	0,1
Контроль діаметра вала під манжету	0,15
Разом:	1,05

Таблиця 5.9 – Вихідні дані та результати розрахунку заробітної плати робітників, які беруть участь у виконанні виробничого процесу відновлення поверхні вала під манжету

Параметр	Значення
Сумарна трудомісткість виконання технологічного процесу відновлення вала під ремонтний розмір, люд год	0,213
Середня годинна тарифна ставка виробничих робітників за виконання <i>i</i> -тої операції за певного розряду робіт, грн./год	500
Коефіцієнт, що враховує додаткову оплату	1,2
Коефіцієнт, що враховує страхові внески	1,3
Витрати на заробітну плату на відновлення вала під ремонтний розмір, грн./дет.	819

Витрати на матеріали включають витрати на миючий засіб, що витрачається на очищення валу. Для очищення валів використовується автоматична промивна установка АПУ-800У, резервуар установки 120 л. Концентрація технічного миючого засобу МС-37, що використовується для очищення поверхонь від олійно-жирових, смолистих забруднень, нагарів становить 25 г/дм³, ціна 1 кг МС-37 становить 108 грн. Таким чином, витрати на миючий засіб при завантаженні установки становитимуть 324 грн. В одному завантаженні в машину може бути завантажено до 10 валів, отже витрати миючого засобу на один вал складуть $Z_M = 32,4$ грн./вал.

Для відновлення поверхні валу буде використана покупна втулка, оброблена за внутрішнім діаметром під необхідний розмір з точністю по 6 або 7 квалітету. Зовнішній діаметр втулки буде оброблений після запресування на вал шляхом шліфування та пластичного деформування під розмір $\varnothing 100,5h10_{(-0,14)}$. Витрати для придбання ремонтної втулки зі сталі 40Х $Z_B = 380$ грн. Надалі, з метою підвищення довговічності та ресурсу з'єднання втулку можна замовляти не тільки зі сталі 40Х, але і з більш зносостійких сталей.

Витрати на придбання ремонтного фонду (зношеного валу) визначаються як сума вартості валу за ціною металобрухту та транспортних витрат на його доставку на підприємство, $Z_{RF} = 250$ грн.

Витрати на електроенергію за відомої трудомісткості виконання електрозабезпечених операцій визначають за формулою:

$$Z_E = C_E \cdot \sum_{i=1}^k T_i \cdot N_{Ei}, \quad (5.9)$$

де C_E – тариф на електроенергію, грн./кВт·год;

T_i – трудомісткість виконання i -ї операції, люд·год.;

N_{Ei} – потужність обладнання, на якому виконується i -а операція, кВт.

Вихідні дані та результати розрахунку витрат на електроенергію представлені у таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Вихідні дані та результати розрахунку витрат на електроенергію

Параметр	Значення
Тариф на електроенергію, грн./кВт·год	6,5
Потужність мийної машини, кВт	30
Потужність шліфувального верстата, кВт	4,5
Потужність токарного верстата, кВт	4,5
Витрати на електроенергію, грн.	74

Витрати на воду, що витрачається на автоматичну промивну установку АПУ-800У з резервуаром 120 л, при тарифі на технічну воду $C_{BT} = 12,3$ грн./м³ (не враховуючи плату за водовідведення) складуть $C_{BT} = 120 \cdot 0,001 \cdot 12,3 = 1,47$ грн.

Використовуючи отримані значення, розрахуємо собівартість відновлення валу. Вихідні дані та результати розрахунку представлені у таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Вихідні дані та результати розрахунку собівартості процесу відновлення поверхні валу під манжету

Параметр	Значення
Витрати на заробітну плату на відновлення валу під ремонтний розмір, грн./дет.	819
Витрати миючого засобу на один вал складуть, грн./дет.	32,4
Витрати на купівлю ремонтної втулки із сталі 40Х, грн.	380
Витрати на придбання ремонтного фонду, грн./дет.	250
Витрати на електроенергію, грн./дет.	74
Витрати води, грн./дет.	1,47
Собівартість відновлення валу, грн./дет.	1556,87

Як видно з таблиці 5.10 собівартість відновлення поверхні валу під манжету за запропонованою технологією становить 1556 грн., найбільшу питому вагу у собівартості мають витрати на зарплатню (53 %).

Таким чином, при ціні нового вала 7000 грн., та витратах на відновлення зношеного фланця 1556 грн., економічний ефект впровадження технологічного процесу відновлення валів установкою ремонтної втулки та купівлю нового валу для коробки передач силових агрегатів ЯМЗ становитиме 5444 грн.

5.3 Висновки до п'ятого розділу

1. Проведено оцінку порівняльної економічної ефективності застосування цифрових засобів вимірювань для контролю розмірів фланця КПП після відновлення. В результаті розрахунків встановлено, що сумарні річні витрати на вимірювання цифровою важільною скобою (СВЦ-125-0,001) становлять 184 тис. грн., цифровим штангенциркулем (ШЦЦ-125-0,01) 137 тис. грн. Доведено, що застосування більш точного засобу вимірювань (СВЦ-125-0,001) дозволить скоротити втрати від помилок 1-го роду та 2-го роду. Річний економічний ефект від використання точнішого засобу вимірювання (СВЦ-125-0,001) складе 47 тис. грн.

2. Проведено оцінку економічного ефекту від впровадження технологічного процесу відновлення валів установкою ремонтної втулки коробки передач силових агрегатів ЯМЗ. Собівартість відновлення поверхні валу під манжету за запропонованою технологією становила 1556 грн., економічний ефект становив 5444 грн.

ВИСНОВКИ

1. Визначено основні характеристики процесу комплектування деталей та складання при ремонті КПП (входи, виходи, механізми та ресурси). Розроблено цифрові моделі процесу комплектування деталей та складання КПП у нотаціях IDEF0 та BPMN. Визначено основні шляхи застосування імітаційного моделювання з використанням побудованих цифрових моделей.

2. Удосконалено методики розмірного аналізу для випадків складання та розрахунку розмірного ланцюга для з'єднання «вал-ущільнення», де запропоновано підрозділяти ланки на дві категорії – статичні відхилення від співвісності та динамічні у вигляді радіального биття.

3. Проведений розрахунок на прикладі вихідного валу КПП ЯМЗ-239 показав, що розмірний ланцюг утворюється з дев'яти ланок, п'ять із яких є відхиленнями від співвісності, а чотири – радіальним биттям. У початковому новому стані формується запас точності як за параметром сумарної співвісності, так і за параметром сумарного радіального биття. У процесі експлуатації буде спостерігатися детермінуюче зношування радіального підшипника кочення у вигляді збільшення робочого радіального зазору, і при постійному радіальному битті 0,055 мм почнеться підтікання мастила при досягненні відхилення від співвісності 0,095 мм.

3. З метою збільшення натягу та підвищення ресурсу з'єднання запропоновано розбиття діаметрів манжет на дві групи. Фланці КПП необхідно розбити на два види розмірів. Для з'єднання манжет першої групи, з великими діаметрами, запропоновано обробляти вал на $-0,5$ мм з метою виведення слідів зношування та встановленням тонкостінної ремонтної втулки для формування розміру $\text{Ø}100,5\text{h}10_{(-0,14)}$. Для з'єднання манжет другої групи з меншими діаметрами будуть використані нові фланці з номінальним розміром $\text{Ø}100\text{h}10_{(-0,14)}$. Діапазон натягів складатиме від 2,36...3,0 мм в обох випадках, що дозволить підвищити ресурс з'єднання на 2400 мотогодин або на 20%.

4. Проведено оцінку порівняльної економічної ефективності застосування цифрових засобів вимірювань для контролю розмірів фланця КПП після відновлення.

В результаті розрахунків встановлено, що сумарні річні витрати на вимірювання цифрою важельною скобою (СВЦ-125-0,001) становлять 184 тис. грн., цифровим штангенциркулем (ШЦЦ-125-0,01) 137 тис. грн. Доведено, що застосування більш точного засобу (СВЦ-125-0,001) дозволить скоротити втрати від помилок 1-го роду та 2-го роду. Річний економічний ефект від використання точнішого засобу (СВЦ-125-0,001) становив 47 тис. грн.

Проведено оцінку економічного ефекту від впровадження технологічного процесу відновлення валів установкою на них ремонтної втулки для коробки передач силових агрегатів ЯМЗ. Собівартість відновлення поверхні валу під манжету за запропонованою технологією становила 1556 грн., економічний ефект становив 5444 грн.

Рекомендації до виробництва

1. Для підвищення ресурсу з'єднання вал-манжета на етапі комплектування треба проводити розбиття діаметрів манжет на дві групи. Комплектувати манжет першої групи, з більшими діаметрами, з відновленими валами (більшого діаметра), а манжет другої групи, з меншими діаметрами – з новими фланцями.
2. Для контролю відхилень форми та розташування поверхонь деталей під час ремонту машин обирати цифрові засоби вимірювання за критерієм (5.1).
3. При реалізації технологічного процесу обробки поверхні валу під манжету треба враховувати вимоги щодо відносної опорної довжини профілю, яка повинна становити не менше 60% на 50%-му рівні, а також вимоги до виду обробки, що формує такий профіль.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Біліченко В. В. Виробничі системи на транспорті: стратегії розвитку : монографія. Вінниця: ВНТУ, 2016. 268 с.
2. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів. Київ : Либідь, 2018. 400 с.
3. Омелічев О. В. Підручник з будови автомобіля. Посібник для автомобілістів-початківців. Харків : Моноліт, 2023. 288 с.
4. Бучок В. С., Ясюк В. Ф., Ковальчук В. О. Трактори і автомобілі. Київ : Аграрна освіта, 2008. 330 с.
5. Білоконь Я. Ю., Окоча А. В. Трактори і автомобілі. Київ : Урожай, 2002. 318 с.
6. Панченко А. І. Будова автомобіля / А. І. Панченко, А. А. Волошина, О. В. Болтянський, І. І. Мілаєва, І. А. Панченко, А. А. Волошин. Мелітополь : ВПЦ «Люкс», 2021. 247 с.
7. James E. Duffy. Modern Automotive Technology. Tinley Park : Goodheart-Willcox Company, 2013. 1920 p.
8. Awari G. K., Kumbhar V. S., Tirpude R. B. Automotive Systems. Principles and Practice. Boca Raton : CRC Press, 2023. 302 p.
9. Gupta S. K. Textbook of Automobile Engineering. Noida : S Chand & Co Ltd, 2014. 833 p.
10. Строков О. П., Макаренко М. Г., Орлов В. Ф., Павленко В.О. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Частина 1. Основи будови та експлуатації автопоїздів. Київ : Грамота, 2005. 352 с.
11. Костів Б. І. Експлуатація автомобільного транспорту. Львів : Світ, 2004. 495 с.
12. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2011. 56 с. (Інформація та документація).
13. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.

14. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів. Львів : Львівська політехніка, 2017. 324 с.
15. Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів. Київ : Літера ЛТД, 2017. 224 с.
16. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 1. Теоретичні основи. Технологія / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигринець. Київ : Вища школа, 1994. 384 с.
17. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 2. Організація, планування і управління / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигринець. Київ : Вища школа, 1994. 383 с.
18. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 3. Ремонт автотранспортних засобів / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигринець. Київ : Вища школа, 1994. 495 с.
19. Кукурудзяк Ю. Ю., Біліченко В. В. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР. Вінниця : ВНТУ, 2010. 198 с.
20. Ремонт автомобілів / упор. В. Я. Чабанний. Кіровоград : Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.
21. Ремонт машин та обладнання: підручник / О. І. Сідашенко, О. А. Науменко, Т. С. Скобло, О. В. Тіхонов та ін. Харків: «Міськдрук», 2014. 742 с.
22. Щуріхін В. К., Щуріхін А. В., Білошицький О. В. Приклади конструктивних розрахунків з'єднань деталей та вузлів, що використовуються в автомобілях. Київ : МЦПТО АТ та БМ, 2004. 39 с.
23. Тригуб О. А. Технологічне обладнання для обслуговування та ремонту автомобілів: навчальний посібник. Черкаси: ЧДТУ. 2021. 256 с
24. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: підручник. Львів: Афіша, 2003. 560 с.
25. Захарчук Б. В., Кулинич В. П., Маліновський С. О. Організація ремонту та технічного обслуговування автомобілів: навч. посібник. Київ: Видавничий дім «Альтернативи», 2018. 346 с.

26. Курмаз Л. В. Основи конструювання деталей машин : навч. посібник. Харків : Підручник НТУ «ХП», 2010. 532 с.

27. Гевко І. Б., Рогатинський Р. М., Ляшук О. Л. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.

28. Гнатюк М. І. Основи діагностики і ремонту автомобілів. Київ: Центр учбової літератури, 2018. 254 с.

29. Кубіч В. І., Коробочка О. М., Чернета О. Г. Питання експлуатації машин в законодавчих та нормативних актах. Автомобілі і трактори : навчальний посібник. Кам'янське : ДДТУ, ЗНТУ, 2018. 230 с.

30. Борисюк Д.В., Вдовиченко О.В., Винокуров А.Є. Вплив похибки вимірювань на якість комплектування та збирання вузлів транспортних засобів під час ремонту. *Матеріали XVIII-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»*, 20-22 жовтня 2025 року (м. Вінниця).

Додаток А (обов'язковий).
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ

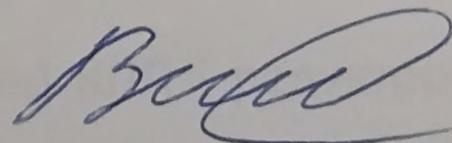
**Удосконалення процесу комплектування деталей та
складання вузлів автомобілів під час ремонту в умовах
станції технічного обслуговування автомобілів
«Немирів-Авто» місто Немирів Вінницької області**

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
магістерської кваліфікаційної роботи

Галузь знань 27 – «Транспорт»

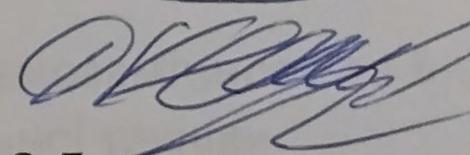
Спеціальність 274 – «Автомобільний транспорт»

Виконав студент гр. 1АТ-24м



Винокуров А.Є.

Керівник к.т.н., доцент кафедри АТМ



Борисюк Д.В.

Вінниця – 2025

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Удосконалення процесу комплектування деталей та складання вузлів автомобілів під час ремонту в умовах станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто» місто Немирів Вінницької області

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

магістерської кваліфікаційної роботи

Галузь знань 27 – «Транспорт»

Спеціальність 274 – «Автомобільний транспорт»

Виконав студент гр. 1АТ-24м

Винокуров А.Є.

Керівник к.т.н., доцент кафедри АТМ

Борисюк Д.В.

Вінниця – 2025

Удосконалення процесу комплектування деталей та складання вузлів автомобілів під час ремонту в умовах станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто» місто Немирів Вінницької області

Мета дослідження – забезпечення процесу складання з'єднань вузлів автомобілів при ремонті методами цифровізації та розмірного аналізу.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз виробничої діяльності СТО «Немирів-Авто».
2. Визначити основні характеристики процесу комплектування та збирання при ремонті КПП. Розробити цифрові моделі процесу комплектування та складання;
3. Удосконалити методику розмірного аналізу для випадків складання та розрахунку: розмірного ланцюга для з'єднання «вал-ущільнення»; розмірів компенсаторів для приведення відхилення від співвісності з'єднаних за допомогою муфти редукторних валів;
4. Провести теоретичні дослідження щодо складання розмірного ланцюга для з'єднання вихідного валу КПП з манжетою та сформулювати рекомендації щодо можливих варіантів збільшення ресурсу даного з'єднання з позиції норм точності;

5. Розглянути можливість використання методу неповної взаємозамінності з метою забезпечення якості збирання з'єднань валів з манжетами під час ремонту КПП;

6. Оцінити економічну ефективність застосування цифрових засобів вимірювання для контролю розмірів фланця КПП після відновлення. Розрахувати економічний ефект від запровадження технологічного процесу відновлення валів установкою ремонтної втулки коробки передач силових агрегатів.

Об'єктом дослідження є розмірні параметри деталей КПП і редукторів з позицій забезпечення норм співвісності вихідних валів.

Предметом дослідження є методи функціональної взаємозамінності та інструменти цифровізації, стосовно процесу складання КПП та редукторів автомобільної техніки.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СТО «НЕМИРІВ-АВТО»

2

СТО «Немирів-Авто» бере свій початок з 90-х років ХХ століття і сьогодні є авторитетним і найбільш відвідуваним місцем, де можна вирішити всі проблеми, що виникли у автовласників з їх автомобілями.

Сервісний комплекс підприємства «Немирів-Авто» об'єднує ремонтні майстерні м. Вінниця та м. Немирів, шинний центр, магазин автозапчастин та сучасну автомийку.

СТО «Немирів-Авто» розташована у м. Немирів (за 40 км від м. Вінниця).

Юридична адреса СТО «Немирів-Авто»: Вінницька обл., м. Немирів, вул. Маяковського, 16.

Фактична адреса СТО «Немирів-Авто»: Вінницька обл., м. Немирів, вул. Горького, 4б.



**Розташування виробничих
підрозділів СТО «Немирів-
Авто» в м. Немирів**



**Пости ТО-1 і ТО-2 СТО «Немирів-Авто»
в м. Немирів**

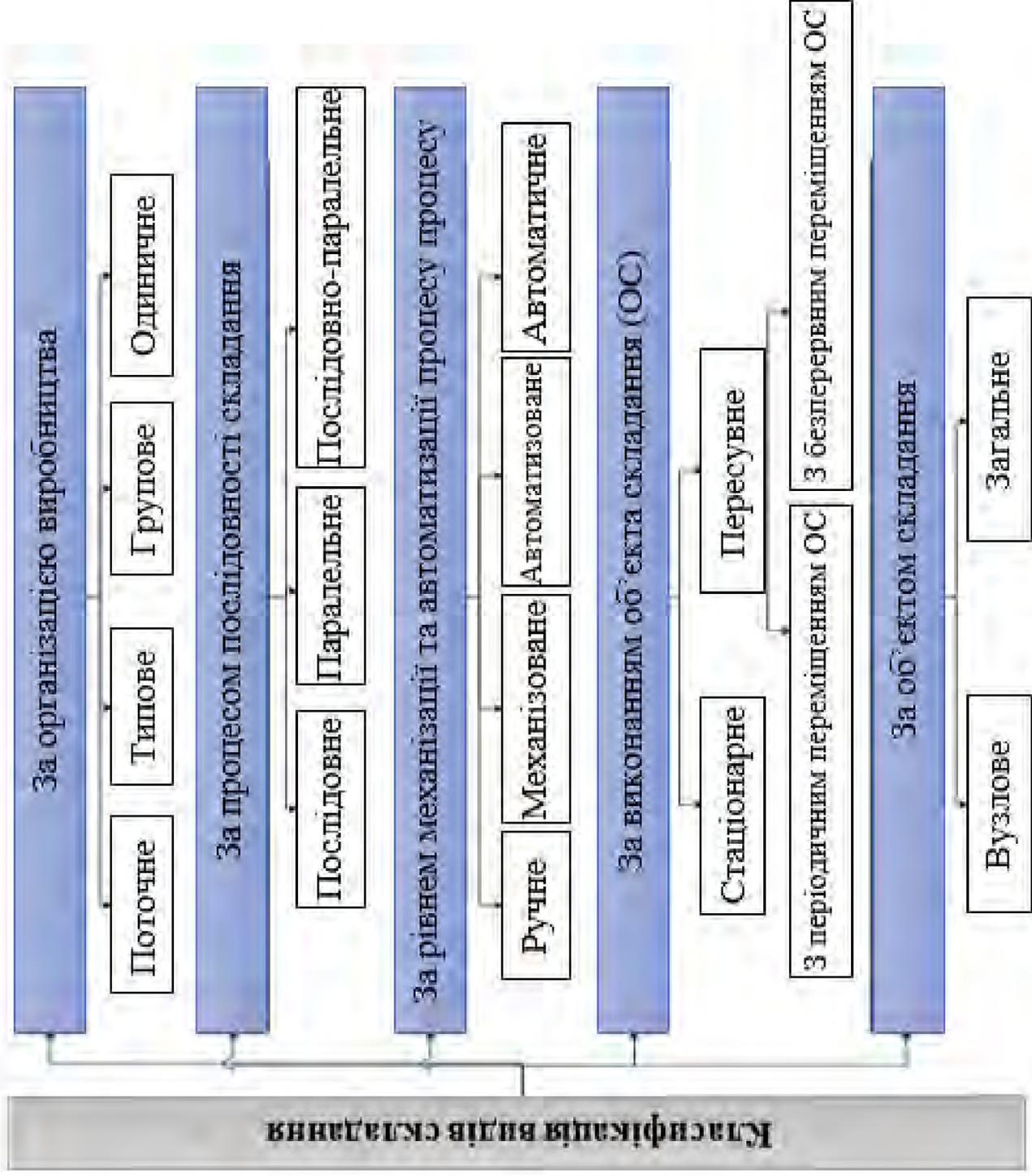


Дільниця ремонту двигунів СТО «Немирів-Авто» в м. Немирів

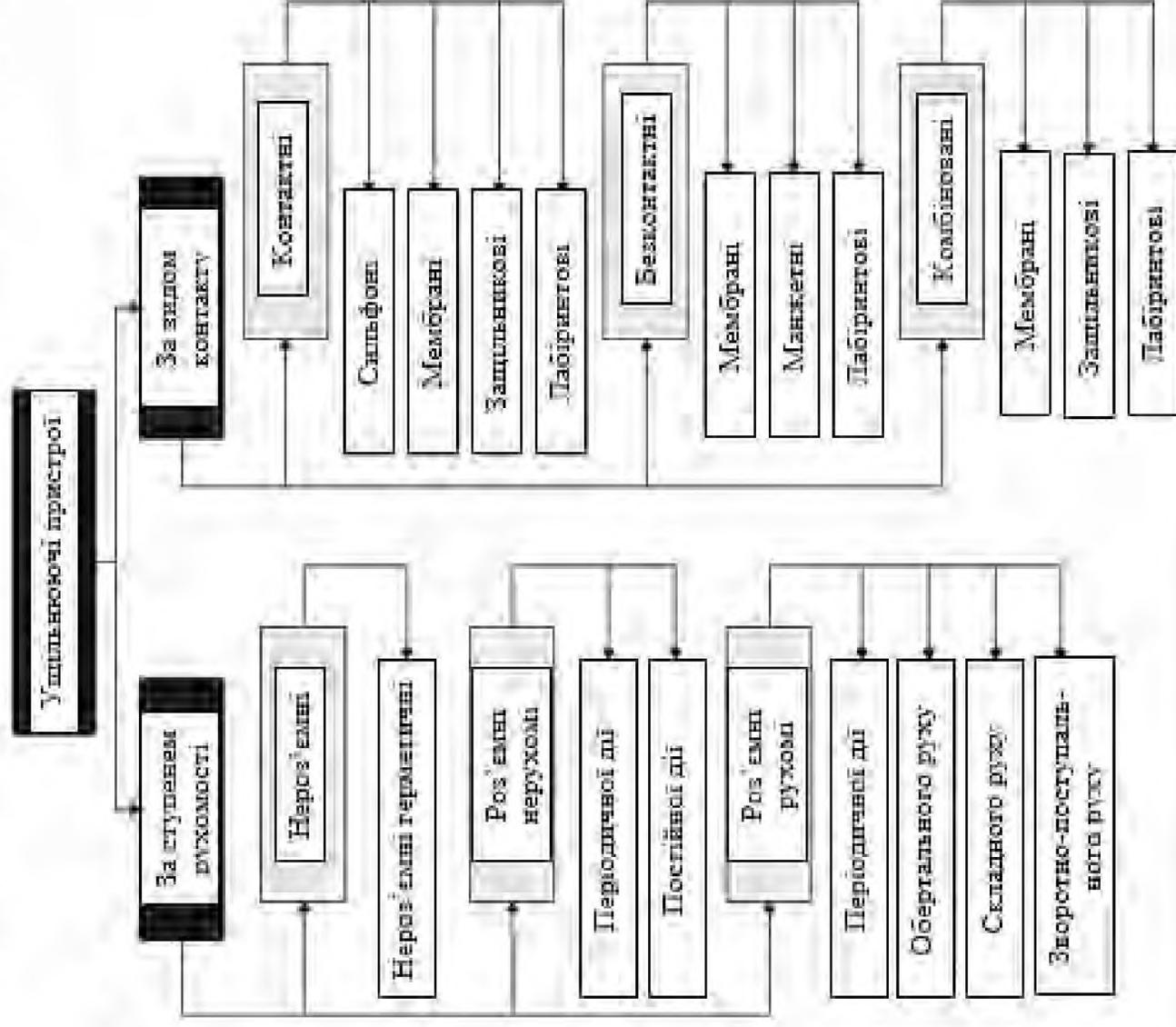


Відділ продажу запчастин СТО «Немирів-Авто» в м. Немирів

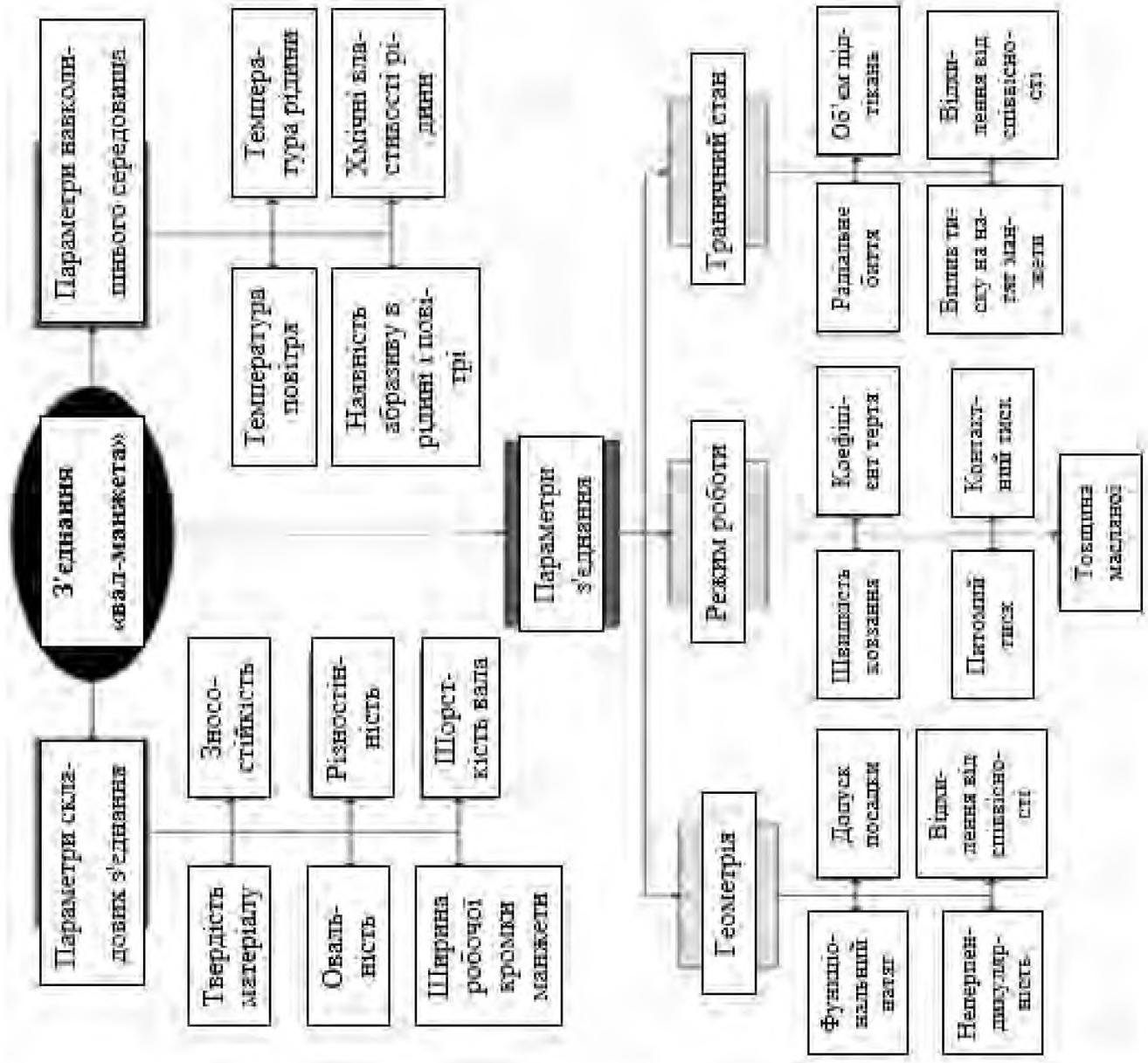
Класифікація видів складання



Класифікація ущільнювальних пристроїв



Фактори, що впливають на надійність з'єднання «вал-манжета»



Теорія герметичності контактних ущільнювальних пристроїв

Класичної теорії герметичності манжет ще немає, тому залежність підтікання Q від товщини масляної плівки δ виглядає так

$$Q \sim \delta^s, \quad (1)$$

де s – показник ступеня (зазвичай $s = 3$).

Встановлено, що зі збільшенням частоти обертання валу манжета не встигає «стежити» за валом: відбувається розкриття стику та зростають підтікання. Встановлено таке правило: швидкість відновлення форми кромкою манжети v_b має бути більшою за швидкість ковзання v :

$$v_b \geq v = \frac{d}{2} \cdot \omega, \quad (2)$$

де ω – частота коливань, с^{-1} .

Залежність для визначення критичної частоти обертання з умови (2) для ідеально пружного контакту

$$n_{\text{кр}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{1}{K_1 \cdot M} \left(\frac{P_{\text{с min}}}{0,5 \cdot r} - K_2 \cdot E \right)},$$

де M – маса деформованої ділянки манжети;

$P_{\text{с min}}$ – мінімальний статистичний тиск;

E – динамічний модуль пружності матеріалу манжети;

K_1 та K_2 – коефіцієнти, що характеризують конструктивні параметри манжети.

Критерій	Показники	Індикатор	Метод збирання інформації	
Відповідність геометричних параметрів деталей вимогам технічної документації	Точність посадок та взаємного розташування з'єднань деталей та складальних одиниць	Відхилення від точності взаємного розташування деталей та вузлів	Вимірювання	
	Площинність, паралельність та перпендикулярність поверхонь напрямних	Радіальне та осьове биття	Вимірювання	
Відповідність технології складальних операцій	Послідовність складання	Нещільність прилягання поверхонь, що сполучаються, та ін.	Вимірювання	
		Правильність положення деталей, що сполучаються і вузлів	Огляд	
	Виконання спеціальних вимог	Наявність необхідних деталей у зібраних з'єднаннях	Виконання допоміжних операцій	Огляд
		Затягування різьбових з'єднань, щільність та якість постановки заклепок, щільність вальцювальних та інших з'єднань	Вимірювання	Вимірювання
		Врівноваженість вузлів обертання, підгонка по масі та статичному моменту	Вимірювання	

Вибір засобів вимірювання для контролю розмірів деталей

9

з'єднання "вал-ущільнення"

Таблиця 1 – Параметри точності фланців та манжет вихідного валу коробки передач ЯМЗ-239

Назва вимірюваної деталі	Номінальний розмір з відхиленнями, мм	Допуск, мм	Розмір гранично допустимий без ремонту, мм
Зовнішній діаметр фланця	$100h_{10}(\begin{smallmatrix} 0,14 \\ 0,14 \end{smallmatrix})$	0,14	99,7
Отвір манжети	$100_{-0,0}^{+0,0}$ $100_{-3,0}^{+0,0}$	1,0	*

*при ремонті всі манжети замінюються на нові

Засоби вимірювання внутрішнього діаметра манжети та посадкової поверхні під манжету на валу вибиралися відповідно до вимог стандартів. Вибір номенклатури засобів вимірювання для отвору манжети та для валу з урахуванням метрологічних характеристик виконували з умови:

$$\pm \Delta_{\text{lim}} \leq \pm \delta,$$

де $\pm \Delta_{\text{lim}}$ – гранична похибка засобу вимірів;
 $\pm \delta$ – допустима похибка вимірювання.

Таблиця 2 – Метрологічні характеристики засобу вимірювання діаметрів кінців валів

Засіб вимірювань	Умовне позначення	Діапазон показань, мм	Діапазон вимірів, мм	Ціна поділів, мм	Похибка вимірів, мм
Скоба важільна	СРП 100-0,001	$\pm 0,07$	75-100	0,001	$\pm 0,0014$

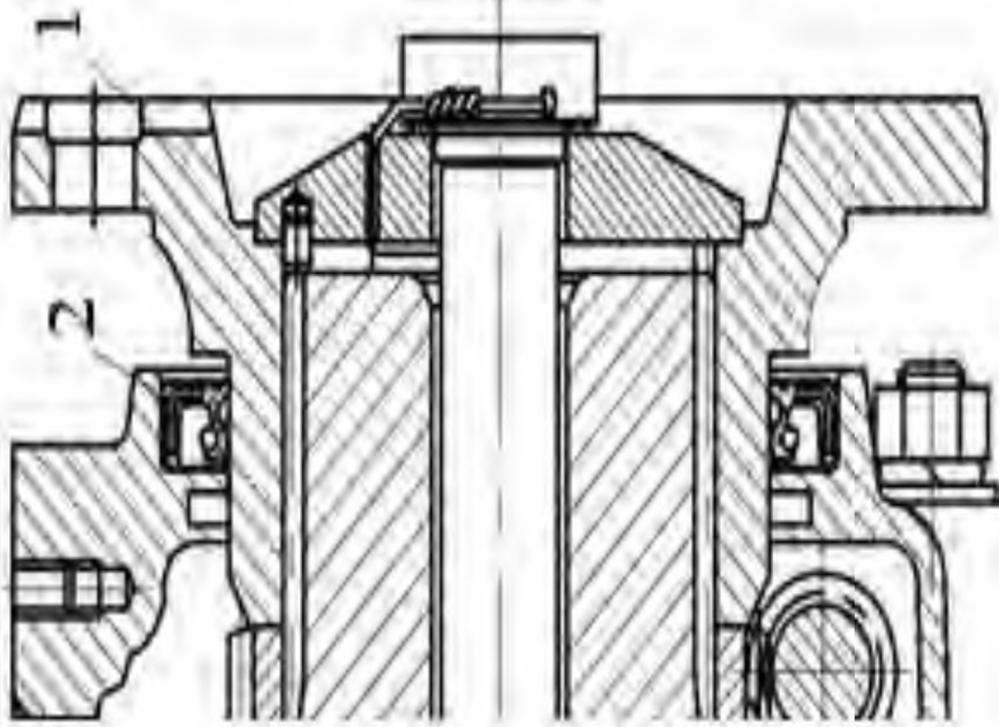
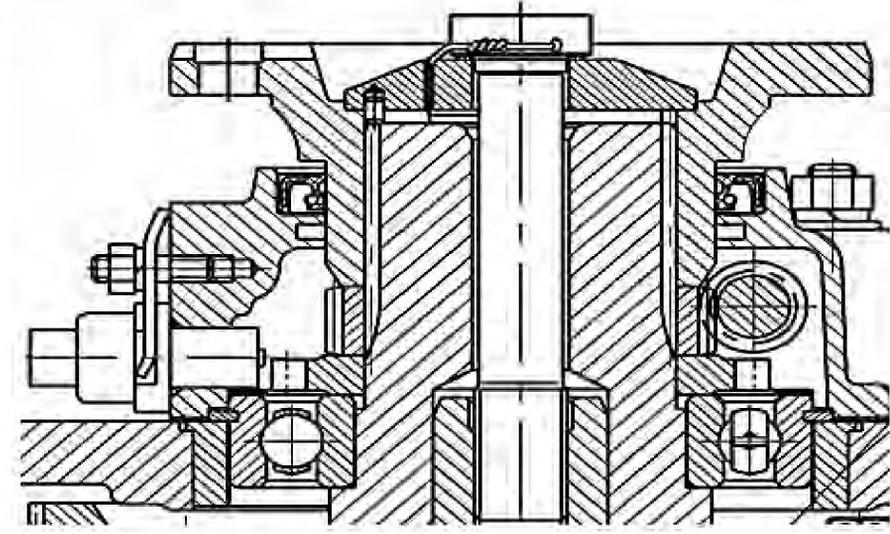


Рисунок 3.1 – Ескіз з'єднання фланця з манжетою коробки передач ЯМЗ-239:

1 – фланець; 2 – манжета

Відхилення від співвісності



T_1 – відхилення від співвісності отворів кришки демультиплікатора (202.1721205-40) під манжету та підшипник 50217K5;

T_2 – наявність зазору в посадці зовнішнього кільця підшипника 50217K5;

T_3 – допуск на різностінність (радіальне биття) зовнішнього кільця підшипника 50217K5;

T_4 – радіальний зазор у підшипнику 50217K5;

T_5 – допуск на різностінність (радіальне биття) внутрішнього кільця підшипника 50217K5;

T_6 – наявність зазору в посадці внутрішнього кільця підшипника 50217K5;

Вісь отвору кришки
під манжету (отвір)

Вісь поверхні фланця
під манжету (вал)

T_7 – відхилення від співвісності (радіальне биття) поверхні зовнішнього діаметра шліців валу відносно поверхні валу під підшипник;

T_8 – зазор у посадці між зовнішнім діаметром шліцевого валу та шліцевою втулкою (фланцем), з'єднання 80×H7/g6×4×9H/9h;

T_9 – відхилення від співвісності (радіальне биття) зовнішнього діаметра шліцевої поверхні фланця та зовнішньої поверхні фланця під манжету.

Характеристики ланок розмірного ланцюга вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239 відносно манжети при використанні розмірів, допустимих без ремонту

Позначення	Тип ланки	Допуск, мм	Коефіцієнт		
			k	a	λ
T ₁	CV	0,020	1,0	0	0,75
T ₂	CS	0,0969	1,0	0	1,00
T ₃	CV	0,011	1,0	0	0,75
T ₄	CV	0,036/0,15*	1,0	0	0,75
T ₅	RV	0,006	1,0	0	0,75
T ₆	CS	0,0596	1,0	0	1,00
T ₇	RV	0,020	1,0	0	0,75
T ₈	RV	0,0501	1,0	0	1,00
T ₉	RV	0,020	1,0	0	0,75

Умовні позначення: CS – ланка у вигляді зазору; CV – векторна статична ланка; RV – векторна динамічна ланка. * – гранично допустимий радіальний зазор.

розмірного ланцюга

Допуск на значення узагальненої функції якості:

$$T_{\Sigma} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \sqrt{\sum_i \lambda_{\Sigma i}^2 T_{\Sigma i}^2}$$

$\lambda_{\Sigma i}^2 T_{\Sigma i}^2$ – характеристика розсіювання i -го виду узагальненої функції аргументу.

Остаточно для випадку, коли в розрахунковій схемі крім векторних є похибки інших видів і сумарно розподіл наближається до нормального

$$\lambda_{\Sigma v}^2 t_{\Sigma v}^2 = 0,75^2 \sum_{v=1}^m k_v^2 t_v^2$$

Розрахункова схема

Якщо розрахункова схема містить лише векторні величини, при проектних розрахунках сумарний вектор визначають за формулою

$$t_{\Sigma v} = 0,85 \sqrt{\sum_{v=1}^m k_v^2 t_v^2}$$

Коефіцієнти 0,75 та 0,85 відповідають відсотку ризику $2\beta = 0,27\%$. Якщо $2\beta \neq 0,27\%$, то коефіцієнти 0,75 і 0,85 множать на коефіцієнт C_0 ,

Значення коефіцієнта C_0 при відсотку ризику 2β

$2\beta, \% \dots$	0,05	0,10	0,20	0,27	0,50	1,00	2,00	3,00	5,00
$C_0 \dots \dots$	1,13	1,07	1,02	1,00	0,95	0,89	0,81	0,77	0,71

Результати розрахунку параметрів розмірного ланцюга вихідного кінця валу КПП ЯМЗ-239 відносно манжети при використанні розмірів, допустимих без ремонту

Найменування параметра	Позначення	Значення
Розрахунок за запропонованою методикою		
Сумарний допуск ланок у вигляді зазору	$T_{\Sigma cs}$	0,1135 мм
Сумарний допуск векторних статичних ланок	$T_{\Sigma cv}$	0,0496 мм
Сумарний допуск векторних динамічних ланок	$\Delta r = T_{\Sigma cv}$	0,0546 мм
Сумарне відхилення від співвісності	Δc	0,1243 мм
Розрахунок за класичною методикою		
Сумарний допуск ланок у вигляді зазору	$T_{\Sigma cs}$	0,1241 мм
Сумарний допуск векторних ланок	$T_{\Sigma cv}$	0,0276 мм
Сумарне відхилення від співвісності	Δc	0,1272 мм

1. Вихідні дані для вибору цифрового засобу вимірювання для контролю розмірів фланця Ø100,5h10

Параметр	Значення
Допуск на діаметр фланця, мм	0,140
Допуск на відхилення форми, мм	0,03
Допустима похибка вимірювань по допуску на діаметр фланця, мм	±0,046
Допустима похибка вимірювань по допуску на відхилення форми, мм	±0,012

2. Метрологічні характеристики засобів вимірювання для контролю розмірів фланця Ø100,5h10

Найменування засобу вимірювань	Умовне позначення	Метрологічні характеристики	
		Діапазон вимірів, мм	Дискретність відлікового пристрою, мм
Скоба важільна цифрова	СВЦ-1250,001	100-125	0,001
Штангенциркуль цифровий	ШЦЦ-125-0,01	0-125	0,01
			Межа допустимої похибки, мкм
			±4
			±30

3. Вихідні дані для розрахунку сумарних річних витрат на вимірювання розмірів фланця Ø100,5h10

Параметр	Значення	
	СВЦ-125-0,001	ШЦЦ-125-0,01
Ціна засобу вимірювань, грн.	62000	6700
Строк служби, рік.	5	5
Річні витрати на експлуатацію засобу вимірювань, грн.	118440	117900
Сумарні річні витрати на вимірювання	130840	119240

4. Вихідні дані та результати розрахунків втрат від похибки вимірювань при контролі розмірів фланця Ø100,5h10

Параметр	Значення	
	СВЦ-125-0,001	ШЦЦ-125-0,01
Частка помилок 1-го роду	0,0005	0,007
Частка помилок 2-го роду	0,0004	0,002
Втрати від помилок 1-го роду, грн.	7600	
Втрати від помилок 2-го роду, грн.	6000	
Річний обсяг вимірів, шт.	1000	
Втрати від похибки вимірів, грн.	6200	65200



СВЦ-125-0,001

5. Вихідні дані та результати розрахунків річного економічного ефекту від використання більш точного цифрового засобу вимірювань

Параметр	Значення	
	СВЦ-125-0,001	ШЦЦ-125-0,01
Річні витрати на вимірювання, грн.	130840	119240
Втрати від похибки вимірів, грн.	6200	65200
Сумарні річні витрати на виміри, грн.	137040	184440
Річний економічний ефект від використання точнішого засобу, грн.	47400	



ШЦЦ-125-0,01

1. Визначено основні характеристики процесу комплектування деталей та складання при ремонті КПП (входи, виходи, механізми та ресурси). Розроблено цифрові моделі процесу комплектування деталей та складання КПП у нотаціях IDEF0 та BPMN. Визначено основні шляхи застосування імітаційного моделювання з використанням побудованих цифрових моделей.
2. Удосконалено методику розмірного аналізу для випадків складання та розрахунку розмірного ланцюга для з'єднання «вал-ущільнення», де запропоновано підрозділяти ланки на дві категорії – статичні відхилення від співвідносності та динамічні у вигляді радіального биття.
3. Проведений розрахунок на прикладі вихідного валу КПП ЯМЗ-239 показав, що розмірний ланцюг утворюється з дев'яти ланок, п'ять із яких є відхиленнями від співвідносності, а чотири – радіальним биттям. У початковому новому стані формується запас точності як за параметром сумарної співвідносності, так і за параметром сумарного радіального биття. У процесі експлуатації буде спостерігатися детермінуюче зношування радіального підшипника кочення у вигляді збільшення робочого радіального зазору, і при постійному радіальному битті $0,055$ мм почнеться підтікання мастила при досягненні відхилення від співвідносності $0,095$ мм.
- 3.3 метою збільшення натягу та підвищення ресурсу з'єднання запропоновано розбиття діаметрів манжет на дві групи. Фланці КПП необхідно розбити на два види розмірів. Для з'єднання манжет першої групи, з великими діаметрами, запропоновано обробляти вал на $-0,5$ мм з метою виведення слідів зношування та встановленням тонкостінної ремонтної втулки для формування розміру $\varnothing 100,5h10_{(-0,14)}$. Для з'єднання манжет другої групи з меншими діаметрами будуть використані нові фланці з номінальним розміром $\varnothing 100h10_{(-0,14)}$. Діапазон натягів складатиме від $2,36...3,0$ мм в обох випадках, що дозволить підвищити ресурс з'єднання на 2400 мотогодин або на 20% .
4. Проведено оцінку порівняльної економічності застосування цифрових засобів вимірювань для контролю розмірів фланця КПП після відновлення. В результаті розрахунків встановлено, що сумарні річні витрати на вимірювання цифровою важельною скобою (СВЦ-125-0,001) становлять 184 тис. грн., цифровим штангенциркулем (ШЦЦ-125-0,01) 137 тис. грн. Доведено, що застосування більш точного засобу (СВЦ-125-0,001) дозволить скоротити втрати від помилок 1-го роду та 2-го роду. Річний економічний ефект від використання точнішого засобу (СВЦ-125-0,001) становив 47 тис. грн.
- Проведено оцінку економічного ефекту від впровадження технологічного процесу відновлення валів установкою на них ремонтної втулки для коробки передач силових агрегатів ЯМЗ. Собівартість відновлення поверхні валу під манжету за запропонованою технологією становила 1556 грн., економічний ефект становив 5444 грн.

Додаток Б (обов'язковий).

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення процесу комплектування деталей та складання вузлів автомобілів під час ремонту в умовах станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто» місто Немирів Вінницької області

Тип роботи: _____ магістерська кваліфікаційна робота
Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 0,8 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Цимбал С.В., завідувач кафедри АТМ
(прізвище, ініціали, посада)

Кужель В.П., доцент кафедри АТМ
(прізвище, ініціали, посада)

Особа, відповідальна за перевірку _____

Цимбал О.В.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____

Борисюк Д.В., доцент кафедри АТМ
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____

Винокуров А.Є.
(прізвище, ініціали)