

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерно-технологічний  
Кафедра агроінжинірингу

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри

Шуляк М.Л.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження шляхів підвищення надійності трансмісії мобільного енергетичного засобу з шарнірною рамою»

Виконав:

\_\_\_\_\_  
(підпис)  
ініціали)

Журбенко В.А.  
(Прізвище,

Група:

СТЗ 2301-2 ВН

(Науковий) керівник:

\_\_\_\_\_  
(підпис)  
ініціали)

Хворост Т.В.  
(Прізвище,

Суми – 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерно-технологічний**

Кафедра агроінжинірингу

Рівень вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 208 Агроінженерія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

агроінжинірингу

\_\_\_\_\_ Шуляк М.Л.

“08” квітня 2024 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Журбенку Владиславу Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження шляхів підвищення надійності трансмісії мобільного енергетичного засобу з шарнірною рамою»,

керівник роботи: Хворост Тетяна В'ячеславівна, к.е.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ року № \_\_\_\_\_.

2. Строк подання здобувачем роботи: “19” липня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи: каталоги, статті, монографії в області підвищення тягово-зчіпних характеристик тракторів, науково-дослідна література.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз господарської діяльності; Розрахунок складу і планування використання МТП підрозділу і робочої сили; Планування та організація технічного обслуговування МТП підрозділу; Теоретичні методи дослідження надійності карданних передач; Удосконалення карданних передач енергонасиченої сільськогосподарської техніки; Методи експериментальної оцінки надійності карданних передач .

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: “08” квітня 2024 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Збір інформації про діяльність господарстві	до 12.04.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики та	до 16.04.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	до 19.04.2024 р.	
4.	Написання вступу	до 22.04.2024 р.	
5.	Підготовка розділу «Аналіз господарської діяльності»	до 26.04.2024 р.	
6.	Підготовка розділу «Розрахунок складу і планування використання МТП підрозділу і робочої сили»	до 17.05.2024 р.	
7.	Підготовка розділу «Планування та організація технічного обслуговування МТП підрозділу»	до 31.05.2024 р.	
8.	Підготовка розділу «Теоретичні методи дослідження надійності карданних передач»	до 03.06.2024 р.	
9.	Підготовка розділу «Удосконалення карданних передач енергонасиченої сільськогосподарської техніки»	до 14.06.2024 р.	
10.	Підготовка розділу «Методи експериментальної оцінки надійності карданних передач»	до 28.06.2024 р.	
11.	Написання висновків та пропозицій	до 05.07.2024 р.	
12.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 08.07.2024 р.	
13.	Подання роботи на рецензування	до 15.07.2024 р.	
14.	Подання до попереднього захисту	до 19.07.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Журбенко В.А.**

(прізвище та ініціали)

Керівник  
кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Хворост Т.В.**

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз господарської діяльності.....	9
1.1 Загальна характеристика господарства.....	9
1.2 Аналіз виробничої діяльності.....	10
1.3 Склад МТП та його технічний стан.....	12
1.4 Характеристика ремонтно-обслуговуючої бази.....	14
2 Розрахунок складу і планування використання МТП підрозділу і робочої сили.....	16
2.1 Визначення складу МТП і кількості робочої сили.....	18
2.2 Розрахунок технологічних карт.....	18
2.3 Визначення потреби в енергетичних засобах.....	22
2.4 Визначення потреби в сільськогосподарських машинах.....	23
2.5 Визначення потреби в робочій силі.....	23
2.6 Розробка структурної схеми механізованих робіт.....	24
3 Планування та організація технічного обслуговування МТП підрозділу.....	25
3.1 Види і періодичність ТО і ремонтів.....	25
3.2 Розрахунок ТО МТП.....	27
3.3 Розрахунок трудомісткості технічного обслуговування МТП.....	31
3.3.1 Розрахунок трудомісткості технічного обслуговування тракторів.....	31
3.4 Зберігання машин.....	32
4 Теоретичні методи дослідження надійності карданних передач.....	34
4.1 Формування надійності карданних передач.....	34
4.2 Контроль надійності карданних передач.....	36
4.3 Дослідження надійності карданних передач і обґрунтування заходів підвищення їх довговічності.....	41
4.4 Прогнозування надійності карданних передач в експлуатації.....	42

5 Удосконалення карданних передач енергонасиченої сільськогосподарської техніки.....	44
6 Методи експериментальної оцінки надійності карданних передач.....	50
Загальні висновки.....	61
Список використаних джерел.....	62
Додатки.....	65

## ВСТУП

Нова енергонасичена техніка пред'являє високі вимоги до надійності, підвищенню ступеня готовності до виконання робіт в оптимальні терміни. Поряд з цим постає завдання значного збільшення віддачі від вже створеного в агропромисловому комплексі виробничого потенціалу.

Експлуатація машин – це процес реалізації її споживчих властивостей, що включає в себе використання машини за своїм призначенням, підтримання її справності і працездатності (технічне обслуговування) і забезпечення її функціонування (підготовка до використання і технічного обслуговування, технологічне обслуговування, зберігання, транспортування тощо).

Технічна експлуатація машин як область практичної діяльності – комплекс технічних, економічних, організаційних та інших заходів, що забезпечує підтримку машин в працездатному, справному стані, попередження їх простоїв через технічні несправності.

На умови експлуатації сільськогосподарських машин впливає ряд зовнішніх і внутрішніх виробничих факторів. До зовнішніх факторів відносяться кліматичні, фізико-хімічні властивості ґрунту і рослин, а також рівень технічного обслуговування і ремонту машин. До внутрішніх відносяться конструктивно-технологічні чинники деталей, складових частин і складальних одиниць машин.

Для того щоб підняти рівень механізації сільськогосподарських робіт, забезпечити виконання їх в оптимальні терміни і з високою якістю, висуваються такі основні завдання щодо прискорення темпів розвитку механізації, автоматизації виробничих процесів і поліпшення ефективності використання сільськогосподарської техніки:

- завершення комплексної механізації виробничих процесів;
- впровадження більш досконалої системи машин для вирощування і збирання сільськогосподарських культур у всіх зонах країни;

- вдосконалення конструкцій сільськогосподарської техніки для створення оптимальних умов розвитку культурних рослин при виконанні технологічних операцій і ліквідації всіляких видів втрат;
- значне підвищення надійності сільськогосподарських машин, що дозволяє на заданих інтервалах часу виконання технологічних операцій не мати простоїв з технічних причин і зберігати встановлені показники якості;
- підвищення експлуатаційної та ремонтної технологічності МТП, пристосованості до технічного і технологічного обслуговування, діагностування, транспортуванню і зберіганню;
- збільшення довговічності сільськогосподарської техніки, збереження експлуатаційних властивостей машин на весь період експлуатації;
- зниження витрат на відновлення техніки;
- впровадження автоматичних пристроїв, що дозволяють підтримувати технологічні та технічні режими роботи і регулювання агрегатів в оптимальних межах;
- розробка та створення автоматизованих систем управління МТП в господарствах, районних агропромислових об'єднаннях та інших підрозділах АПВ.
- розробка та удосконалення таких пристроїв, які забезпечують водієві-механізаторові умови для роботи, що відповідають вимогам охорони праці.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності використання МТП в умовах господарства.

У роботі необхідно:

- провести аналіз господарської діяльності господарства;
- провести розрахунок складу і планування використання МТП підрозділу і робочої сили;
- побудувати графіки завантаження тракторів і визначити їх фактичну потребу шляхом коригування графіків;
- обґрунтувати потреби в сільськогосподарських машинах і побудувати план-графік їх використання;

- провести планування та організацію технічного обслуговування МТП підрозділу;

- провести дослідження шляхів підвищення надійності трансмісії мобільних енергетичних засобів з шарнірною рамою.

# 1 АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

## 1.1 Загальна характеристика господарства

ФГ «Опал» знаходиться в Драбівському районі Черкаської області в селі Новомиколаївка. Місцезнаходження господарства зручне: воно знаходиться недалеко від районного центру.

З районним і обласним центрами господарство пов'язано асфальтовою автодорогою. Велика частина доріг, що знаходяться на території господарства мають ґрунтове покриття. Зв'язок з іншими районами і областями здійснюється переважно автотранспортом.

ФГ «Опал» спеціалізується на вирощуванні картоплі, столових коренеплідних і бульбоплідних культур, а також вирощування зернових і зернобобових культур.

Головними напрямками діяльності господарства є:

- виробництво, переробка, зберігання і реалізація сільськогосподарської продукції;
- торгівля, закупівельна та збутова діяльність.

Земельні угіддя господарства розташовані на пологовий-хвилястою рівнині і пересіченій балками і ярами.

Основними породами деревної рослинності є: дуб, береза, осика, липа, ясен, клен. Луга на території господарства представлені сіножатями і пасовищами, які поділяються на два типи – суходільні та низинні.

Територія господарства знаходиться в зоні з помірно-континентальним кліматом. Сезони року виражені явно: тривала помірно холодна зима, коротка весна з нестійкими температурами, тепле літо і тривала сира осінь. Щодо забезпечення рослин теплом господарство відноситься до підприємств, що знаходяться в смузі ранніх і середньоранніх культур помірного поясу.

Середня температура за рік + 12°C. Середня температура найхолоднішого місяця, січня, -17°C, а самого теплого, липня, + 27°C.

Тривалість періоду з позитивними температурами становить 220...225 днів. Річна кількість опадів змінюється від 575 мм на північному заході до 470 мм на південному сході. У безморозний період випадає 70% опадів (максимум в вересні).

Вітри в районі непостійні у напрямку і швидкості. Середньомісячна швидкість вітру складає 3...4 м/с. Вітер, як фактор ерозії ґрунтів, на території господарства значення не має.

У своїй діяльності господарство застосовує систему землеробства, яка включає в себе:

- використання ресурсозберігаючих технологій обробітку ґрунту.
- комплексне агрохімічне окультурення полів (ріллі).
- застосування найбільш продуктивних для даних ґрунтово-кліматичних умов видів і сортів сільськогосподарської техніки.

- використання мінеральних і органічних добрив в необхідних кількостях, в оптимальні терміни.

- підготовка та використання насінневого матеріалу, попередньо обробленого пестицидами для захисту від хвороб і шкідників.

- проведення посівних робіт в оптимальні терміни з виконанням всіх агротехнічних вимог.

- своєчасна організація догляду за посівами.

- збирання врожаю в оптимальні терміни без втрат.

## 1.2 Аналіз виробничої діяльності

У таблиці 1.1 наведені природно-виробничі умови використання МТП

Таблиця 1.1 – Природно-виробничі умови використання МТП

Показники	Розмірність	Значення показника
Типи ґрунтів		Чорнозем
Середня площа одного поля	га	140
Середня довжина гону	м	1600
Середній кут нахилу полів	град.	3

Середній питомий опір ґрунту	кН/м <sup>2</sup>	58
Середня відстань між полями	м	300

Особливістю природно-виробничих умов господарства є структура полів: суходольна і низинна. Структура земельних угідь відображена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Структура земельних угідь

Види угідь	2023 рік	
	га	%
Загальна земельна площа	2042	100
Всього с.-г. угідь	2000	98
з них: рілля	1880	94
Сінокоси	80	4
Пасовища	40	2
Площа лісу	14	0,7
Озера і водойми	16	0,8
Інші землі	12	0,5

Склад і структура посівних площ представлена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Склад і структура посівних площ

Назва культури	2023 рік	
	га	у % до площі
Озима пшениця	900	48
Горох	740	39
Картопля	240	13

До складу посівних площ входять культури, необхідні для виробництва кормів, споживаних усередині господарства. Велика частина ріллі використовується для обробітку зернових культур. Найбільшу частину продукції рослинництва господарство реалізує в межах області.

Про врожайності даних культур можна судити по таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Урожайність сільськогосподарських культур, ц/га

Назва культури	2021		2022		2023	
	прогноз.	факт.	прогноз.	факт.	прогноз.	факт.
Озима пшениця	50,0	55,0	55,0	40,0	52,0	60,0
Горох	12,0	13,8	14,0	8,0	14,0	15,0
Картопля	60,0	72,0	78,0	50,0	82,0	100,0

У 2023 році врожайність сільськогосподарських культур зросла за рахунок більш продуманого внесення добрив, заходів щодо підвищення родючості ґрунту. В даний час господарство все більшу увагу звертає на внесення добрив. Органічні добрива взимку відразу вивозять на поля, а влітку складають на гноєсховище.

### 1.3 Склад МТП та його технічний стан

Велика частина наявної в підрозділі сільськогосподарської техніки застаріла, а це веде до збільшення витрат і підвищення собівартості продукції.

Поточного ремонту підлягає 70% техніки, який проводиться в ремонтній майстерні, а 30% підлягає капітальному ремонту, який виконується на спеціалізованих ремонтних підприємствах. У таблиці 1.5 наведено склад МТП господарства.

Таблиця 1.5 – Наявність сільськогосподарських машин і агрегатів

Назва	Марка	Кількість
1	2	4
Трактор	Беларус 3022	1
Трактор	Беларус 2522	1
Трактор	Беларус 1523	1
Трактор	Беларус 1522	1
Трактор	Беларус 1221	1
Трактор	МТЗ-920	1
Трактор	МТЗ-820	1
Трактор	К-744 P2	19
Трактор	Buhler-Versatile 2375	12
Комбайн	Acros-550	2
Комбайн	Acros-530	2
Кормозбиральний комбайн	КСД-2,0 "Sterh";	2
Картопелезбиральний комбайн	КПК-201	1
Причіпний картопелезбиральний комбайн	AVR 220B	1
Картопелесаджалка	KCM-6	2
Картопелесаджалка	CRAMER	2
Картопелекопалка	КП-1,5	1
Гребенестворювач	BASELIER 4FK-310	2

Ботвовидаляч	BASELIER 4LK-310	2
Культиватор	АКШ-3,6	2
Культиватор	КПК-4-01	2
Культиватор	КОН-2,8	3
Культиватор	КОР-4,2	3
Культиватор	КРН-4,2	3
Культиватор	Компактор S400	2
Фреза	KUHN HRB-302	2
Борона	БЗСС-1,0	20
Борона	БДТ-10	3
Обприскувач	ОП-2000	2
Обприскувач	SIEGER-HD TSMR 3000	1
Сівалка	СЗУ-3,6	4
Сівалка	SOLITAIR 9	1
Сівалка	СЗП-3,6	4
Плуг	KVERNELAND LM/EM	1
Плуг	ПЛП-6-35	4
Плуг	KUHN CHALLENGER T-11	1
Плуг	ПНЯ-8-40	4
Автомобіль	ЗИЛ-130	4
Автомобіль	ГАЗ-3307	1
Автомобіль	МАЗ-полуприцеп 93801	1
Автомобіль	МАЗ-тягач 5432	1
Автомобіль	Газель-33029	1
Навантажувач	ПКУ-0,8	1
Навантажувач	ПФ-0,5Б	1
Розкидач	РУМ-8	1
Луцильник	ЛДГ-10А	2
Луцильник	ЛДГ-15А	2
Сортувально-очисні машини	КПС-15Б	2
Причіп	2ПТС-4М	3
Зчіпка	С-11У	3
Зчіпка	СГ-21	1
Зчіпка	СП-16	2
Зчіпка	СВУ-2,6	1

Впродовж року господарство для залучення додаткового прибутку здає техніку (в основному – трактори) в найм в сусідні господарства.

Господарство має свою, досить оснащену матеріально-технічну базу для ремонту і обслуговування техніки, яка сприяє проведенню капітального і

поточного ремонту сільськогосподарських машин та агрегатів, зберігання машин і устаткування, знімних вузлів, нової техніки, техніки для списання, зберігання і видачі нафтопродуктів для відділень і бригад, заправки машин.

#### 1.4 Характеристика ремонтно-обслуговуючої бази

РОБ призначена для діагностування і ремонту тракторів і автомобілів, а також для поточного ремонту техніки, комбайнів, сільськогосподарських знарядь, машин, виготовлення запасних частин, ремонту та виготовлення інструменту і виконання різних замовлень.

Річна програма ремонтної майстерні і її розміщення впливає на розміри капітальних вкладень, собівартість ремонтної продукції і на транспортні витрати з перевезення ремонтного фонду та готової продукції.

Ремонт сільськогосподарських машин проводиться в ремонтній майстерні. Ремонт двигунів проводять у другому і третьому кварталах, так як в цей час майстерня менш завантажена.

Періодичні та сезонні технічні обслуговування проводять в бригадах за участю майстра-наладчика.

Робочий день в майстерні починається о 8<sup>00</sup> годині і закінчується о 17<sup>00</sup> годині. Обідня перерва з 12<sup>00</sup> до 13<sup>00</sup>. У період весняно-польових і збиральних робіт робочий день може бути збільшений за наказом директора і робота ведеться в дві зміни.

Перелік обладнання майстерні та її кадровий склад наведені в таблицях 1.6 і 1.7.

Таблиця 1.6 – Перелік обладнання в майстерні

Назва обладнання	Кількість, шт.
1	2
Кран-балка	2
Ел. таль	2
Універсальний станок 278	1
Токарно-гвинторізний станок 1К62	1
Ел. піч муфельна	1

Продовження таблиці 1.6

1	2
Станок СВЧ-1	1
Станок свердлильний 2М55	2
Пневмомолот	1
Плита магнітна	1
Ковадлю	2
Ножиці по залізу	1
Заточний станок ЭТ-62	2

Штат майстерні показаний в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Кадри майстерні

Спеціальність	Чисельність, люд.	Розряд
Зав. майстернею	1	-
Токар	1	4
Зварювальник	1	4
Електрик	1	5
Слюсар-універсал	1	5
Моторист	1	5
Слюсар механічного відділення	2	3

За результатами таблиці 1.7 видно, що основний обсяг поточного ремонту виконується фахівцями, які мають високу кваліфікацію, але в напружений період до роботи в ремонтній майстерні залучаються механізатори, для ремонту закріпленої за ними техніки.

## **2 РОЗРАХУНОК СКЛАДУ І ПЛАНУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МТП ПІДРОЗДІЛУ І РОБОЧОЇ СИЛИ**

Машинно-тракторний парк сільськогосподарського господарства являє собою сукупність мобільних енергетичних засобів (тракторів, самохідних шасі і машин) і робочих машин і зчіпок, що з ними агрегатуються. Автомобільний парк господарства в залежності від розв'язуваних задач можна розглядати в складі МТП або окремо.

Під структурою МТП мають на увазі його якісний склад з урахуванням типів і типорозмірів, а також конкретних марок мобільних енергетичних засобів і робочих машин. Складом МТП визначаються чисельні співвідношення між різними мобільними енергетичними засобами і робочими машинами.

Оптимальна (найкраща) структура і склад МТП забезпечують своєчасне виконання всіх робіт в господарстві з високою якістю при найменшій витраті ресурсів (трудових, матеріальних, фінансових тощо) на одиницю врожаю з дотриманням екологічних вимог.

Обґрунтування оптимальної структури і складу МТП з урахуванням природно-кліматичних і виробничих умов кожного господарства – одна з найактуальніших і складних завдань в області механізації сільського господарства. Від правильності її рішення залежать практично всі основні показники сільськогосподарського виробництва як в окремих господарствах, так і в масштабі всієї країни, включаючи врожайність сільськогосподарських культур, собівартість продукції, прибуток тощо.

При недостатньому чисельному складі МТП порушуються агротехнічні строки виконання польових робіт і відповідно зменшується врожайність сільськогосподарських культур при одночасному зниженні якості продукції.

Зайві машини в складі МТП також вимагають додаткових витрат і збільшують вартість сільськогосподарської продукції при одночасному зниженні її конкурентоспроможності в ринкових умовах.

Важливо також, щоб типорозміри машин і конкретні їх марки повною мірою відповідали б умовам роботи, включаючи розміри полів, довжину гону, врожайність тощо.

Природно, що чим більше типорозмірів і марок тракторів і робочих машин, тим більше можливостей для складання найбільш пристосованих до конкретних умов роботи агрегатів. Однак велика кількість марок тракторів і робочих машин ускладнює і збільшує вартість робіт, пов'язаних з їх технічним обслуговуванням, постачанням запасних частин і інших експлуатаційних матеріалів.

Типи енергетичних засобів і робочих машин вибирають з урахуванням наступних основних вимог:

- висока якість виконання робіт відповідно до агротехнічними вимогами;
- висока продуктивність при найменшій витраті ресурсів (трудових, паливно-енергетичних, матеріальних, фінансових);
- забезпечення безпечних умов роботи механізаторів (ергономічні вимоги);
- найменший негативний вплив на навколишнє середовище (грунт, повітря, воду, культурні рослини тощо);
- екологічні вимоги.

Повний облік всіх цих вимог також складний, і для його виконання необхідний комплекс конструктивних і експлуатаційних заходів.

Однак для виконання кожної операції з урахуванням класу довжини гону неможливо утримувати окремих трактор з відповідними робочими машинами, так як це веде до багато-марочного МТП і загального збільшення вартості робіт. Тому енергетичні засоби і робочі машини повинні бути по можливості універсальними щоб виконувати різні роботи протягом усього року. При цьому скорочується число марок МТП і збільшується річне завантаження енергетичних засобів і робочих машин.

Основний економічний показник правильності вибору типів і числа

енергетичних засобів і робочих машин – мінімум суми приведених витрат на виконання всіх робіт в господарстві за рік. Ця найважливіше завдання і вирішується при обґрунтуванні оптимальної структури і складу МТП.

## 2.1 Визначення складу МТП і кількості робочої сили

Для визначення необхідної кількості техніки, механізаторів, підсобних робітників, паливно-мастильних матеріалів, планування їх використання в рослинництві протягом року, а також для економічних розрахунків і прогнозів використовуються технологічні карти на обробіток і збирання сільськогосподарських культур, будуються графіки завантаження тракторів, сільськогосподарських машин і графіки використання робочої сили. Ці планові матеріали дозволяють встановлювати основні напрямки розвитку галузі, об'єктивно судити про витрати коштів і праці, планованого прибутку. Для оперативного і чіткого керівництва роботою МТП, особливо в напружені періоди виконання робіт в рослинництві, складаються робочі плани використання технічних засобів, трудових ресурсів. У цих планах більш детально, ніж в технологічних картах, встановлюється потреба в техніці і людей для якісного і своєчасного виконання необхідного обсягу робіт в найбільш напружені періоди часу.

## 2.2 Розрахунок технологічних карт

Визначення складу МТП і потреби в робочій силі починають з розрахунку технологічних карт по культурам.

У дипломній роботі дані по культурах і площах під ними беремо із річних звітів господарства. Потім в таблиці, названої фрагментом технологічної карти заповнюють графи 1...11 в суворій календарній послідовності виконання операції на період, зазначений у завданні. Номер

операції, її найменування береться з переліку механізованих робіт. Кожна операція шифрується буквами і цифрами.

Зазвичай для шифру використовується дві початкові літери назви культури з цифровим індексом, який відповідає порядковому номеру операції в технологічній карті (фрагменті технологічної карти). При складанні технологічних карт для конкретного господарства вибір складу агрегату проводиться виходячи з конкретних умов господарства: наявності агрегатів в господарстві, розмірів робочих ділянок, їх рельєфу, наявності перешкод на них, стану доріг і під'їзних шляхів для переїзду агрегатів від місць нічної стоянки на робочу ділянку з однієї робочої ділянки на іншу. При цьому швидкісні широкозахватні агрегати планується використовувати на полях, що мають більші розміри, агрегати з малою шириною захвату, але з більшою маневреністю, на малих робочих ділянках. Так само приймаються конкретні, встановлені багаторічними спостереженнями, календарні терміни і робочі дні виконання робіт і операцій.

Обсяг роботи визначається по кожній технологічній операції і кожному агрегату окремо, виходячи з площі обробітку культури, планованих норм висіву насіння, добрив, збору основної та побічної продукції по залежності:

$$\Omega = S \cdot U, \text{ т (м}^3\text{)} \quad (2.1)$$

де  $S$  – площа під культуру, га;  $U$  – норма висіву насіння, добрив, збору основної та побічної продукції, ц/га.

Якщо роботу планується виконувати різними агрегатами, тоді загальний обсяг робіт розписується для кожного виду агрегатів окремо.

Змінна продуктивність розраховувалася за формулою:

$$W_{cv} = W_q \cdot T_{cm}, \text{ га/см} \quad (2.2)$$

де  $W_{\text{ч}}$  – годинна продуктивність агрегату, га/год.; т/ год.; м<sup>3</sup>/ год.; ткм/ год.;

$T_{\text{см}}$  – тривалість зміни, год.

Число нормо-змін на виконання заданої роботи визначається:

$$N_{\text{см}} = \frac{\Omega}{W_{\text{см}}}, \text{ н/см} \quad (2.3)$$

Потрібну кількість агрегатів визначаємо за такою залежністю:

$$n_a = \frac{\Omega}{D_p \cdot W_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}}, \text{ шт.} \quad (2.4)$$

де  $D_p$  – кількість робочих днів по агрострокам, днів;  $K_{\text{см}}$  – коефіцієнт змінності.

Коефіцієнт змінності визначається за формулою:

$$K_{\text{см}} = \frac{T_{\text{сут}}}{T_{\text{см}}} = \frac{T_{\text{сут}}}{7}, \quad (2.5)$$

де  $T_{\text{сут}}$  – тривалість робочого дня, днів.

Отримане значення округляємо до найближчого великого цілого числа і коригуємо число робочих днів за залежністю:

$$D_p^{\phi} = \frac{\Omega}{n_a^{\phi} \cdot W_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}}, \text{ днів} \quad (2.6)$$

Фактична кількість календарних днів знаходимо за формулою:

$$D_k^{\phi} = \frac{D_p^{\phi}}{\alpha}, \text{ днів} \quad (2.7)$$

де  $\alpha = 0,7 \dots 0,9$  – коефіцієнт використання календарного часу, що враховує непогожі, святкові та вихідні дні.

Отримане значення округляємо до найближчого більшого цілого числа.  
Витрата палива на весь обсяг роботи округляємо по залежності:

$$Q = \theta \cdot \Omega, \text{ кг} \quad (2.8)$$

де  $\theta$  – витрата палива на одиницю роботи, кг/га (т, ткм).

Витрати праці визначаємо за кожною операцією окремо:

- для механізаторів:

$$Z_m = 7 \cdot N_{cm} \cdot n, \text{ ЛЮД.-ГОД.} \quad (2.9)$$

- для допоміжних робітників:

$$Z_e = 7 \cdot N_{cm} \cdot m, \text{ ЛЮД.-ГОД.} \quad (2.10)$$

де  $n, m$  – число людей обслуговують один агрегат.

Потрібне число людей по роботах розраховуємо за формулами:

$$\sum n = n_a^\phi \cdot K_{cm} \cdot n, \text{ ЛЮД.} \quad (2.11)$$

$$\sum m = n_a^\phi \cdot K_{cm} \cdot m, \text{ ЛЮД.} \quad (2.12)$$

Витрати на оплату праці визначаємо за формулою:

$$S_{з/пл} = \Omega \cdot C_{ед}, \text{ грн.} \quad (2.13)$$

де  $C_{ед}$  - тарифна ставка обслуговуючого персоналу за виконання одиниці роботи, тис. грн.

Обсяг виконаної роботи в ум.ет.га знаходимо за формулою:

$$U_{ет.га} = 7 \cdot N_{см} \cdot \lambda_i, \text{ ум.ет.га.} \quad (2.14)$$

де  $\lambda_i$  – годинний еталонний виробіток  $i$ -го трактора, ум.ет.га/год.

### 2.3 Визначення потреби в енергетичних засобах

Визначення потреби в енергетичних засобах ведемо на підставі даних, розрахованих у технологічній карті.

Користуючись даними розрахунків, послідовно за номерами сільськогосподарських робіт будуюмо прямокутники зі сторонами: по осі абсцис – календарні дні виконання робіт для тракторів даної марки; по осі ординат – число тракторів даної марки. Кожен прямокутник представляє собою в певному масштабі кількість тракторо-днів, необхідних для виконання даної роботи (тобто кількість тракторів даної марки). Прямокутники окремих робіт, які збігаються за термінами виконання, будуюмо один над іншим: загальна висота прямокутника визначає кількість тракторів, необхідних в кожен період роботи.

Максимальний пік  $i$  є потрібна кількість тракторів даної марки в підрозділі господарства.

Потреба в тракторах кожної марки визначається по максимальному завантаженні тракторів в напружені періоди робіт. Для зниження навантаження на кожну з марок тракторів потрібне коригування графіків, яка проводиться одним з наступних способів:

- збільшенням коефіцієнта змінності тракторів;
- збільшенням тривалості зміни;
- зміною агротехнічних термінів виконання робіт;
- перенесенням операцій на іншу марку трактора.

#### 2.4 Визначення потреби в сільськогосподарських машинах

Для визначення потреби в сільськогосподарських машинах по маркам використовуємо графоаналітичний метод. План-графік використання сільськогосподарських машин виконується у вигляді таблиці. З таблиці технологічної карти виписуються в таблицю найменування першої сільськогосподарської машини, її марка. Прямокутником відзначається календарний термін її використання. Якщо на операції використовується кілька машин однієї марки, то в прямокутнику вказується їх кількість арабською цифрою. Потім в технологічній карті відшукується вибрана сільськогосподарська машина і на план-графік використання сільськогосподарських машин зазначаються строки її використання і кількість. При накладенні термінів використання машини на різних операціях її загальна кількість підраховується підсумовуванням.

В останньому стовпці вказується потрібна кількість машин даної марки, яка дорівнювала б максимальній кількості машин з відповідного рядка.

#### 2.5 Визначення потреби в робочій силі

Графік потреби в робочій силі будується прямокутною системою координат. По осі координат відкладається потрібна кількість робочої сили, а

по осі абсцис – календарні терміни потреби в ній по кожній операції з технологічної карти. На координатній площині вичерчуємо прямокутники, висота яких відповідає необхідній кількості робітників для виконання тієї чи іншої операції, а підстава – календарному терміну їх виконання.

Спочатку графік потреби в робочій силі будується в чорновому варіанті. Прямокутники викреслюються на координатній площині накладення термінів виконання операцій з пустотами і провалами. Після завершення побудови чорнового варіанту графіка потреби в робочій силі він піддається упорядкуванню. Тобто, прямокутники, нанесені з пустотами і провалами, опускаються вниз до осі абсцис, для того, щоб усунути порожнечі і отримати злитий графік.

Графіки потреби в робочій силі будується спочатку для механізаторів, а потім для допоміжних робітників.

## 2.6 Розробка структурної схеми механізованих робіт

Для розробки структурної схеми механізованих робіт необхідно проводити комплектування виробничих ланок, які об'єднуються однотипними або різнотипними агрегатами, призначеними для виконання як окремих, так і взаємопов'язаних операцій. Ланка може об'єднувати не тільки технологічні, але і обслуговуючі агрегати, в залежності від виду виконуваних сільськогосподарських робіт. Сумарна добова продуктивність технологічних агрегатів не повинна перевищувати середньозважені площі контуру поля сівозміни (при розосередженому розташуванні контурів) або поля сівозміни (при близькому розташуванні контурів, видалення не більше 0,5 км), щоб до мінімуму скоротити переїзди техніки з поля на поле протягом робочого дня.

У мехзагоні об'єднуються виробничі ланки, які виконують технологічно пов'язані між собою сільськогосподарські роботи і операції. На планований період виконання робіт в рослинництві можуть комплектуватися один або кілька мехзагонів в залежності від зазначених вище умов.

## **3 ПЛАНУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МТП ПІДРОЗДІЛУ**

### 3.1 Види і періодичність ТО і ремонтів

Технічне обслуговування рухомого складу за періодичністю, переліком і трудомісткістю виконуваних робіт підрозділяється на:

- щоденне технічне обслуговування (ЩО);
- перше технічне обслуговування (ТО-1);
- друге технічне обслуговування (ТО-2);
- сезонне технічне обслуговування (СО).

Щоденне обслуговування (ЩО) включає в себе: перевірку прибуваючих з лінії і виїжджаючих на лінію агрегатів, зовнішній догляд за ним і заправні операції. Для перевірки рухомого складу в автотранспортному підприємстві створюється контрольно-технічний пункт (КТП) з оглядової канавою і комплектом необхідних, інструментів, пристосувань і устаткування. Перевірка рухомого складу входить в обов'язки водія і працівників відділу технічного контролю (ВТК).

Заправні операції ЕО – заправку паливом, доливку масла в картер двигуна і охолоджувальної рідини в радіатор проводять водії за рахунок свого робочого часу, передбаченого режимом їх роботи. Заправка паливом проводиться, як правило, на автозаправних станціях, доливання масла і води в автотранспортному підприємстві.

Терміни проведення ЕО обумовлюються пробігом рухомого складу за робочий день.

Перше технічне обслуговування (ТО-1) включає контрольні, кріпильні, регулювальні і мастильні операції, що виконуються, як правило, без зняття з рухомого складу або часткового розбирання (розкриття) приладів, що обслуговуються, вузлів і механізмів.

ТО-1 виконується протягом проміжку часу між робочими змінами рухомого складу (в міжзмінний час).

Друге технічне обслуговування (ТО-2) включає в себе всі операції ТО-1, які проводяться в розширеному обсязі, причому в разі потреби прилади, вузли і механізми, що обслуговуються, розкривають або знімають з рухомого складу.

Для проведення ТО-2 рухомий склад може зніматися з експлуатації.

Технічне обслуговування ТО-1 і ТО-2 виконується через певний пробіг, який встановлюється залежно від умов експлуатації рухомого складу.

Сезонне технічне обслуговування (СО) проводиться 2 рази на рік. Воно є підготовкою рухомого складу до експлуатації в холодну і теплу пору року, переважно поєднується з ТО-2 з відповідним збільшенням трудомісткості робіт.

Поточний ремонт призначений для усунення виниклих відмов і несправностей агрегатів і повинен сприяти виконанню встановлених норм пробігу до капітального ремонту при мінімальних простоях. Поточний ремонт виконується шляхом проведення розбірно-складальних, слюсарно-підгінних та інших необхідних робіт з заміною: у агрегаті окремих зношених або пошкоджених деталей крім базових (корпусних); у автомобіля (причепи, напівпричепи) окремих вузлів і агрегатів, що вимагають поточного або капітального ремонту.

Потреба в поточному ремонті виявляється під час роботи рухомого складу на лінії та при проведенні чергового технічного обслуговування.

Капітальний ремонт призначений для відновлення працездатності агрегатів і забезпечення пробігу до подальшого капітального ремонту або списання не менше 80% від норми для нових агрегатів. При капітальному ремонті обов'язкове повне розбирання агрегатів на деталі і ремонт базових деталей.

### 3.2 Розрахунок ТО МТП

Таблиця 3.1 – Періодичність технічного обслуговування тракторів

Марка трактора	Періодичність технічного обслуговування					
	ТО-1 (125 м-год.)		ТО-2 (500 м-год.)		ТО-3 (1000 м-год.)	
	л	ет.га	л	ет.га	л	ет.га
Беларус 3022 Беларус 2522	5060	340	20240	1280	40480	2560
Беларус 1523 Беларус 1522	2760	260	11040	1040	22080	2080
Беларус 1221	2000	190	8000	760	16000	1520
МТЗ-920	1150	125	6200	500	12400	1000
МТЗ-820	1275	110	5100	440	10200	880
К-744 Р2	5060	340	20240	1280	40480	2560
Buhler-Versatile 2375	5060	340	20240	1280	40480	2560

Таблиця 3.2 – Нормативи трудомісткості технічного обслуговування тракторів

Марка трактора	Трудомісткість технічного обслуговування тракторів, год.				
	ЩТО	ТО-1	ТО-2	ТО-3	СТО
Беларус 3022 Беларус 2522	1,0	2,5	10,6	43,2	29,3
Беларус 1523 Беларус 1522	0,5	<u>2,1</u> 2,5	<u>7,5 (6,3)</u> 8,9 (7,5)	46,5 (25,0)	5,8 (5,1)
Беларус 1221	0,2	<u>1,9</u> 2,3	<u>6,8 (5,7)</u> 8,1 (6,8)	42,3 (23,0)	5,3 (4,6)
МТЗ-920 МТЗ-820	0,4	<u>2,7</u> 3,2	<u>6,9 (4,3)</u> 8,3 (5,2)	19,8 (11,2)	3,5 (3,1)
К-744 Р2	1,0	2,5	10,6	43,2	29,3
Buhler-Versatile 2375	1,0	2,5	10,6	43,2	29,3

Примітки:

1. Значення, зазначені в знаменнику, відповідають трудомісткості обслуговування зі збільшеною періодичністю (ТО-1-125; ТО-2-500; ТО-3-1000 мото-годин).

2. Значення, зазначені в дужках, відповідають трудомісткості обслуговування на типових СТОТ з використанням механізованих засобів ТО.

3. Трудомісткість СТО включає СТО-ВЛ і СТО-ОЗ.

Таблиця 3.3 – Трудомісткість технічного обслуговування і поточного ремонту комбайнів і інших складних збиральних машин

Марка комбайну	Сумарна трудомісткість технічного обслуговування			Сумарна річна трудомісткість поточного ремонту, год.	
	ЕТО	ТО-1	ТО-2	для РРОП	для господарств
Зернозбиральні комбайни	0,7...0,8	5,1...5,2	6,0...6,6	106...125	150...165
Кормозбиральні комбайни	0,5	2,7	7,2	32...162	40...200
Картоплезбиральні комбайни	0,5	3,6	-	55	69
Бурякозбиральні комбайни	0,5...0,6	3,6	7,2	67...90	112...200
Льонозбиральні комбайни	0,5	2,7	-	37	46
Самохідні косарки	0,3	3,6	7,2	99...139	124...173

Таблиця 3.4 – Види і періодичність технічного обслуговування комбайнів і сільськогосподарських машин

Види технічного обслуговування	Періодичність або умови проведення технічного обслуговування
1	2
при обкатці (ТО-О)	Перед початком, в ході і після закінчення обкатки
Щозмінне (ЩТО)	8-10 ч
Перше (ТО-1)	60 мотогодин
Друге (ТО-2)*	240 мотогодин**
Технічне обслуговування при підготовці до тривалого зберігання (ТО-х <sub>1</sub> )	Не пізніше 10 днів з моменту закінчення періоду використання
Технічне обслуговування процесі тривалого зберігання (ТО-х <sub>2</sub> )	Один раз на місяць при зберіганні на відкритих майданчиках і під навісом; один раз

	на місяць при зберіганні в закритих приміщеннях
Технічне обслуговування при зняття з тривалого зберігання (ТО-Х <sub>3</sub> )	За 15 днів до початку використання
Технічне обслуговування перед початком сезону робіт (ТО-Э)	До початку сезону робіт після зберігання

\* Для комбайнів, складних самохідних і причіпних машин, складних стаціонарних машин з обробки сільськогосподарських культур.

\*\* ТО-2 для комбайнів, самохідних, причіпних і стаціонарних машин необхідно виконати, якщо очікуване напрацювання за сезон більше 300 мото-годин. При напрацюванні менше 300 мото-годин ТО-2 слід поєднувати з підготовкою машин до тривалого зберігання.

Таблиця 3.5 – Технічний стан тракторного парку на початок планованого року (періоду)

Інвентарний номер трактора	Вид останнього ТО або ремонту	Порядковий номер ТО	Інвентарний номер трактора	Вид останнього ТО або ремонту	Порядковий номер ТО
1	2	3	4	5	6
01	ТО-1	1	25	ТО-1	19
02	ТО-1	2	26	ТО-1	20
03	ТО-1	3	27	ТО-1	21
04	ТО-2	1	28	ТО-2	4
05	ТО-1	4	29	ТО-1	22
06	ТО-1	5	30	ТО-1	23
07	ТО-1	6	31	ТО-1	24
08	ТО-3	1	32	ТО-3	4
09	ТО-1	7	33	ТО-1	25
10	ТО-1	8	34	ТО-1	26
11	ТО-1	9	35	ТО-1	27
12	ТО-2	2	36	ТО-2	5
13	ТО-1	10	37	ТО-1	28
14	ТО-1	11	38	ТО-1	29
15	ТО-1	12	39	ТО-1	30
16	ТО-3	2	40	ТО-3	5
17	ТО-1	13	41	ТО-1	31

18	ТО-1	14	42	ТО-1	32
19	ТО-1	15	43	ТО-1	33
20	ТО-2	3	44	ТО-2	6
21	ТО-1	16	45	ТО-1	34
22	ТО-1	17	46	ТО-1	35
23	ТО-1	18	47	ТО-1	36
24	ТО-3	3	48	КР	
			49	ТО-1	1
			50	ТО-1	2
			51	ТО-1	3
			52	ТО-2	1

Таблиця 3.6 – Трудомісткість технічного обслуговування і поточного ремонту сільськогосподарських машин

Найменування сільськогосподарської машини	Сумарна трудомісткість щозмінного технічного обслуговування, год.	Сумарна річна трудомісткість, год.	
		Номерного технічного обслуговування	Поточного ремонту
1	2	3	4
Плуги	0,12-0,25	-	17-50
Глибокорихлювачі	0,18-0,25	-	10-45
Дискові луцильники	0,10-0,25	-	17-81
Борони дискові	0,10-0,25	-	12-67
Борони зубові	-	-	4
Ковзанки	0,10	-	20
культиватори	0,10-0,50	-	7-64
Сівалки:			
зернові	0,15		43-83
зерно-льняні	0,30		45
бурякові	0,25	-	56-69
кукурудзяні	0,25-0,40		26-57
овочеві	0,15-0,20		13-37
Розсадосадильні машини	0,40	-	58
Картоплесаджалки	0,30	-	98
Обприскувачі	0,30	4,2	26-38
Протравлювачі	0,18	1,8	50-56
Косарки	0,10	-	10-22
Косарки-подрібнювачі	0,14	-	38

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4
Косарки-плющилки	0,20	1,5	35
Граблі тракторні	0,13	-	30
Волокуши	0,06	-	15
Навантажувачі-стогометателі	0,14	1,0	23
Прес-підбирачі	0,65	2,0	45-60
Жатки	0,20	0,55	60
Копновози	0,10	-	32
Стоговози	0,15	0,4	55
Льномолотілки	0,30	-	58
Сушарки	2,4	7,5	58-62
Зернонавантажувачі пересувні	0,14	-	2,7
Молотарки для обмолоту кукурудзяних качанів	0,30	-	24
Буртоукривателі	0,10	-	8
Зерноочисні машини	0,23	-	62
Картоплекопачі	0,20-0,30	-	12-70
Картофелесортіровальні пункти	0,56	-	60
Транспортери-завантажувачі	0,30	-	64

### 3.3 Розрахунок трудомісткості технічного обслуговування МТП

#### 3.3.1 Розрахунок трудомісткості технічного обслуговування тракторів

Сумарні витрати на виконання ТО визначають за всіма тракторами кожної марки як по місяцях, так і в цілому за рік. Ці дані необхідні в подальшому для планування робіт спеціалізованого ланки майстрів-наладчиків. Їх визначають на підставі річного плану технічних обслуговувань і зразковою трудомісткістю їхнього проведення.

Витрати праці на ТО тракторів кожної марки за рік по кожній марці і інвентарними номерами трактора складають:

$$H_{TO} = h_{\text{ЩТО}} \cdot n_{\text{ЩТО}} + h_{\text{ТО-1}} \cdot n_{\text{ТО-1}} + h_{\text{ТО-2}} \cdot n_{\text{ТО-2}} + h_{\text{ТО-3}} \cdot n_{\text{ТО-3}} + h_{\text{СО}} \cdot n_{\text{СО}}, \quad (3.1)$$

де  $h_{\text{ЩТО}}, h_{\text{ТО-1}}, h_{\text{ТО-2}}, h_{\text{ТО-3}}, h_{\text{СО}}$  - трудомісткість одного обслуговування відповідно ЕТО, ТО-1, ТО-2, ТО-3 і сезонного обслуговування, год.;  $n_{\text{ЩТО}}, n_{\text{ТО-1}}, n_{\text{ТО-2}}, n_{\text{ТО-3}}, n_{\text{СО}}$  - кількість відповідно ЩТО, ТО-1, ТО-2, ТО-3 і сезонних обслуговувань за рік.

Результати розрахунку трудомісткості технічного обслуговування МТП зводимо в план-графік технічного обслуговування і ремонту тракторів.

Загальну трудомісткість технічних обслуговувань сільськогосподарських машин для наближених розрахунків при плануванні приймають орієнтовно дорівнюючу 30...35% від трудомісткості обслуговування тракторів.

Результати розрахунків зводимо в план-графік технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарських машин і комбайнів аналогічно плану-графіку технічного обслуговування і ремонту тракторів.

У зв'язку з тим, що роботи з технічного обслуговування машинно-тракторного парку виконують спільно механізатори і працівники спеціалізованого ланки, з загальних витрат праці виділяють ту частину, яка планується на виконання робіт спеціалізованим ланкою. Зазвичай воно займає близько 60% всіх запланованих робіт з технічного обслуговування машинно-тракторного парку.

### 3.4 Зберігання машин

У господарстві є кілька гаражів для тракторів, ангар для сільгоспмашин і майданчики для сільгоспмашин відкриті. На відкритих майданчиках зберігаються сільськогосподарський реманент, на закритих – складна сільськогосподарська техніка (зернозбиральні і кормозбиральні комбайни).

Всі приміщення і майданчики для зберігання техніки знаходяться на території центральної ремонтної майстерні і майстерень бригадах і охороняються.

Машини до зберігання готуються після закінчення сезону посівних або збиральних робіт. Машини спочатку миють, потім відганяють на майданчик для зберігання. З машин знімають і здають на склад акумулятори, генератори, стартера і деякі інші вузли. Машини, що мають ресори, вивішуються, знижується тиск в шинах. Шини покривають світлозахисним складом. Також знімаються ремені і деякі ланцюги. Ремені вибраковують, придатні для подальшого використання здають на склад. Ланцюги зберігають у відпрацьованому маслі. Також покривають антикорозійним складом і деякі інші деталі і вузли, які в результаті своєї роботи більш схильні до корозії.

Роботи з підготовки машин до зберігання виконують механізатори після сезону сільськогосподарських робіт, участь в підготовці до зберігання приймають всі ремонтні служби. Контроль за роботою виконують механіки і головний інженер.

## 4 ТЕОРЕТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ КАРДАННИХ ПЕРЕДАЧ

З метою вирішення поставлених завдань дослідження запропонований комплекс заходів формування і контролю, дослідження і прогнозування, які забезпечуються підвищення надійності карданних передач (рис. 2.1). Заходи 1 рівня закладають надійність технічної системи і дозволяють оцінити її конструкцію в якості проведення обслуговуючих і ремонтних робіт, а заходи 2 рівня дозволяють досліджувати і реалізовувати в експлуатації потенційний ресурс агрегату, який закладений при проектуванні.

### 4.1 Формування надійності карданних передач

Структурно-морфологічний опис системи «Карданний шарнір» (КШ) виконано на основі багатоваріантного системного структурування і оцінки пристосованості системи до заходів технічного обслуговування і ремонту. З урахуванням цього класичний варіант КШ уявляємо, яка послідовне з'єднання чотирьох підшипникових вузлів (ПВ). При 90% рівні надійності ПВ ( $P_t = 0,90$ ) для імовірності безвідмовної роботи (ІБВ) шарніру маємо:

$$P_{кш} = \prod_{i=1}^{\pi} P_t = P_t^4 = 0,90^4 = 0,656 \quad , \quad (4.1)$$

тобто з партії 100 КШ близько 65 будуть роботоздатні впродовж строку служби.

В подальшому розглянемо варіант структурування системи шляхом послідовного з'єднання елементів підсистеми 1 рівня «Матеріал», яка включає шипи хрестовини (1), голчаті ролики (2), стакани підшипників (3), ущільнення радіальні (4), ущільнення осьові (5) і матеріал змащення (6). Данні елементи є більш простими виробами в порівнянні з ПВ, тому їх ІБВ можна забезпечити

на більш високому рівні. Приймаючи значення ІБВ кожного елемента на рівні 0,99, отримаємо в результаті:

$$P_{кш} = \prod_{i=1}^{\pi} P_i = P_i^6 = 0,90^6 = 0,941, \quad (4.2)$$

що свідчить про роботоздатність 94% виробів впродовж строку служби.



Рисунок 4.1 – Зміст комплексу заходів

З урахуванням відношення пошкоджень елементів карданних ПВ при ІБР КШ, які дорівнюють  $P_{кш} = 0,656$  слідує, що величини ІБР елементів дорівнюють  $P_1 = 0,949$ ,  $P_2 = 0,932$ ,  $P_3 = 0,964$  і  $P_4 = P_5 = P_6 = 0,949$ .

В результаті відмови КШ до зношення схильна обмежена частина робочих поверхонь ПВ, тому при їх заміні шляхом повороту цих елементів та/або проведенні профілактичних заходів, наприклад, промивки деталей і заправки мастилом, отримуємо однократне полегшене резервування, а з урахуванням радіального зазору – двократне резервування. Для заходів, які пов'язані з заміною робочих поверхонь і елементів ПВ, отримуємо  $P_{ки}$  у відповідності з видом резервування і схеми технічного обслуговування – 0,867, 0,898, 0,926 і 0,894, 0,937, 0,980. Це вище класичного результату на 32, 27, 41 % і 36, 43, 49%. При проведенні заходів технічного обслуговування серійний КШ реалізує ресурс карданних ПУ в 1,3...1,5 разів вище.

Наявність в трансмісіях сільськогосподарської техніки, наприклад, шести КШ з 24 ПВ, призводить до того, що ІБР варіанта без резервування зменшується від 0,656 до 0,080, а для варіантів з однократним і двократним резервуванням зменшується, відповідно, від 0,898 до 0,524 і від 0,937 до 0,677, що свідчить про підвищення різниці між ІБР трансмісії з резервуванням і без до 6,6 і 8,5 разів.

#### 4.2 Контроль надійності карданних передач

На виробництві для рухомих з'єднань типу «Підшипниковий вузол» замикаючими розмірами є радіальний, осьовий і окружний (міжроликовий) зазори.

Для оцінки діапазону величин радіального, осьового і окружного зазорів в ПВ серійних КШ сільськогосподарської техніки виконаємо оцінку точності розмірних ланцюгів складальної одиниці по методу максимуму-мінімуму і методом ймовірностей.

На рис. 4.2 представлено ескіз хрестовини і ПВ в зборі, які дозволяють виявити складові ланки розмірного ланцюга, де замикаючими ланками є радіальний  $G_r$  (а), осьовий  $G_a$  (б) і окружний  $G_t$  (в) зазори.

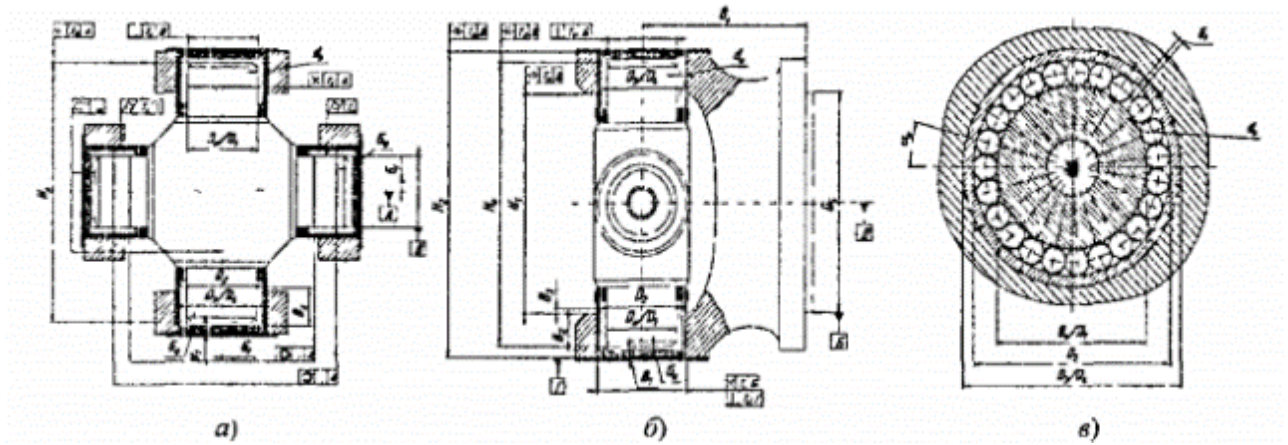


Рисунок 4.2 – Ескізи хрестовини КШ і ПВ в зборі

За даними рис. 2.2 складені пласкі і лінійні розмірні ланцюги (рис. 4.3), на яких вказані складові ланки розмірних ланцюгів зазорів.

Для радіального зазору отримуємо наступний вираз:

$$G_r = G_{r_n} \pm \Delta_D \pm T_2 \pm T_3 \pm T_4 \pm T_6, \quad (4.3)$$

де:  $G_{r_n} = D_1 D_0$  - початковий радіальний зазор в ПВ;  $\Delta_D = D_4 - D_3$  - початковий зазор в з'єднанні «провушина – підшипник»;  $D_0, D_1, D_3, D_4$  – геометричні параметри елементів КШ;  $T_2, T_3$  – допуск співвісності осей протилежних шипів хрестовини і осей отворів у вилках;  $T_4$  – допуск перехрестя осей отворів у вилках з віссю центруючої поверхні;  $l_6$  – допуск перпендикулярності осі двох протилежних шипів хрестовини і осі двох інших шипів

З врахуванням особливостей осьової фіксації ПВ для осьового зазору отримуємо:

$$G_0 = G_{a_n} \pm T_6 \pm T_7 \pm T_8 \pm T_{9H_0} \pm T_{9H_{12}} \pm T_{10}, \quad (4.4)$$

де:  $G_{a_n}^I = H_2 - (H_0 + 2B_1 + 2B_3)$  - початковий осьовий зазор в ПВ для типорозміру I;  $G_{a_n}^{II,III} = (H_1 + 2B_2) - (H_0 + 2B_3)$  - початковий осьовий зазор в ПВ для типорозміру II, III

типорозмірів II, III;  $G_{a_n}^{VI,VIII} = H_2 - (H_0 + 2B_1)$  - початковий осьовий зазор в ПВ для типорозмірів IV-VIII,  $H_0, H_1, H_2, B_1, B_2, B_3$  - геометричні параметри елементів КШ;  $T_6, T_7, T_8$  - допуск перпендикулярності осі двох протилежних шипів хрестовини і осі двох інших шипів, осей отворів у вилках і осі центруючої поверхні приєднувального фланця і торців вух вилок і загальної осі отворів вух;  $T_{9H0}, T_{9H1}, T_{9H2}$  - допуск відхилення осі симетрії розмірів між торцями хрестовини і опорних поверхонь вилок,  $T_{10}$  - допуск площини торців шипів хрестовини і їх загальної осі

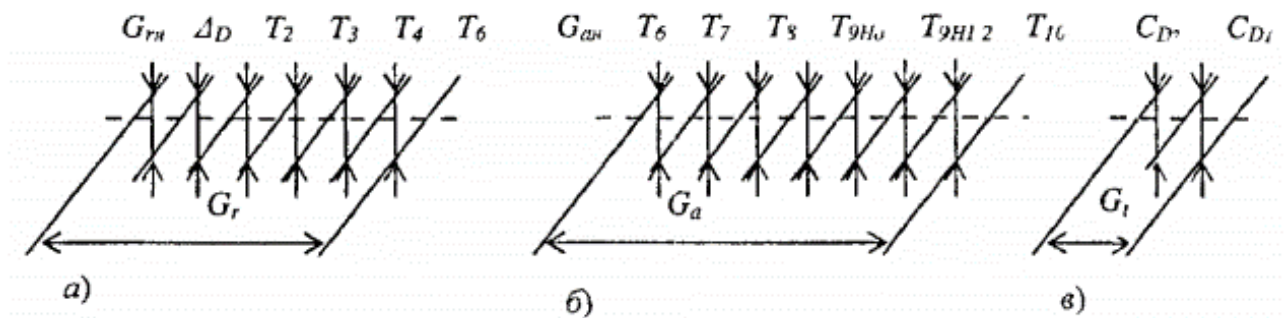


Рисунок 4.3 – Лінійні розміри ланцюга зазорів  $G_r$  (а),  $G_a$  (б),  $G_t$  (в)

Для окружного (міжроликового) зазору отримуємо наступну формулу:

$$G_t = \pi D_2 - \pi d_0 K' = C_{d_2} - C_{d_1}, \quad (4.5)$$

де:  $d_0, D_2, Z$  - геометричні параметри елементів ПВ,  $K' = (1 + 1/\sin 180^\circ/Z)$  - поправочний коефіцієнт,  $C_{d_2}, C_{d_1}$  - довжина окружності по центрам роликів ПВ, які розташовані на внутрішньому діаметрі стакана підшипника і при беззазорному розташуванні по окружності центрів

Розрахункові величини зазорів необхідно співставити з нормальним значенням  $[G_r]$  і допустимими значеннями  $[G_a]$  і  $[G_t]$  зазорів.

$$G_r \leq [G_r], G_a \leq [G_a], G_t \leq [G_t], \quad (4.6)$$

Оцінка точності розмірних ланцюгів зазорів (рис. 4.4, 4.5, 4.6) виконана для малосерійного виробництва, при некаліброваному процесі обробки, зношеному обладнанні та нежорстких пристосуваннях.

Для радіального зазору (рис. 4.4), який вирахований по імовірному методу і методу max-min, для типорозмірів КШ, окрім IV і V, умова (4.6) виконується, при цьому більша частина поля допуску  $G_r$  розташована в зоні великих зазорів і натягу.

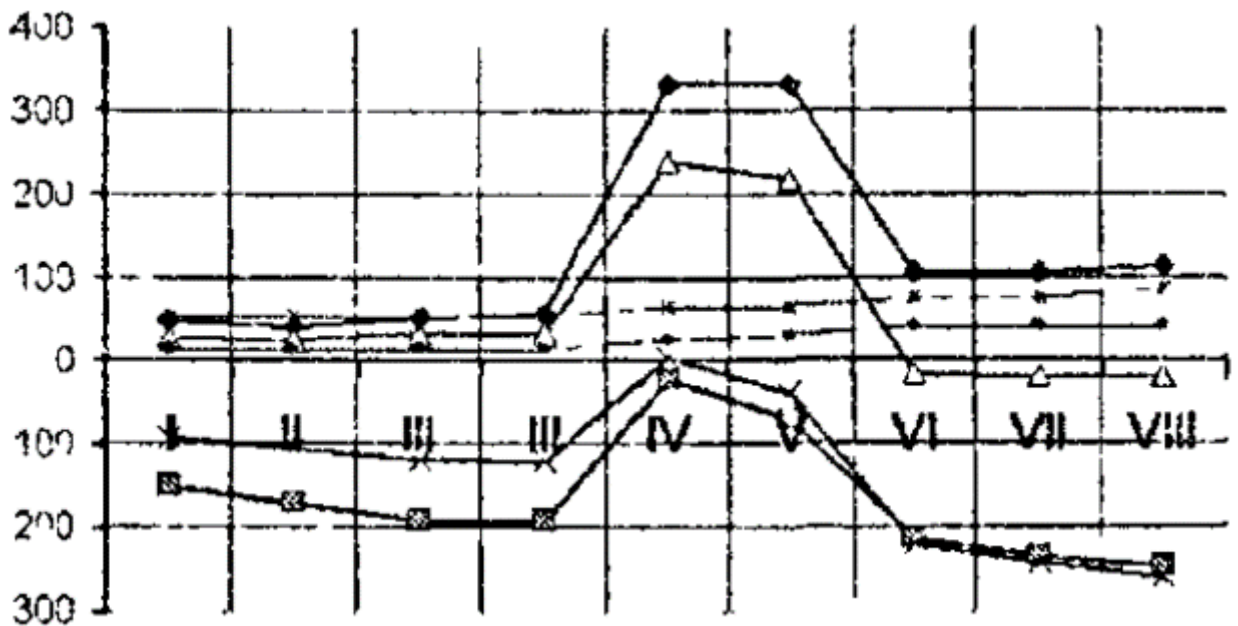


Рисунок 4.4 – Значення радіального зазору

Для осьового зазору по двом методам розрахунку (рис. 4.5) видно повне виконання умови (6) для II типорозміру, а для інших – частково, з розташуванням допуску  $G_a$  в зоні вагомому натягу. Для окружного зазору (рис. 4.6) виконання вимоги (6) відмічено в I, III і VIII типорозмірах, і часткове виконання для інших типорозмірів. Найбільший вплив на величини зазорів мають геометричні розміри ПВ, а також допуски на перехресті осей вилок і перпендикулярність осей шипів, відхиленням осей симетрії хрестовини і вилок, отже необхідно підвищувати контроль при виготовленні деталей КШ, так як наявність збільшеного зазору і вагомому натягу в ПВ призводить до нерівномірності розподілу навантаження і початковому пошкодженню поверхні при складанні.

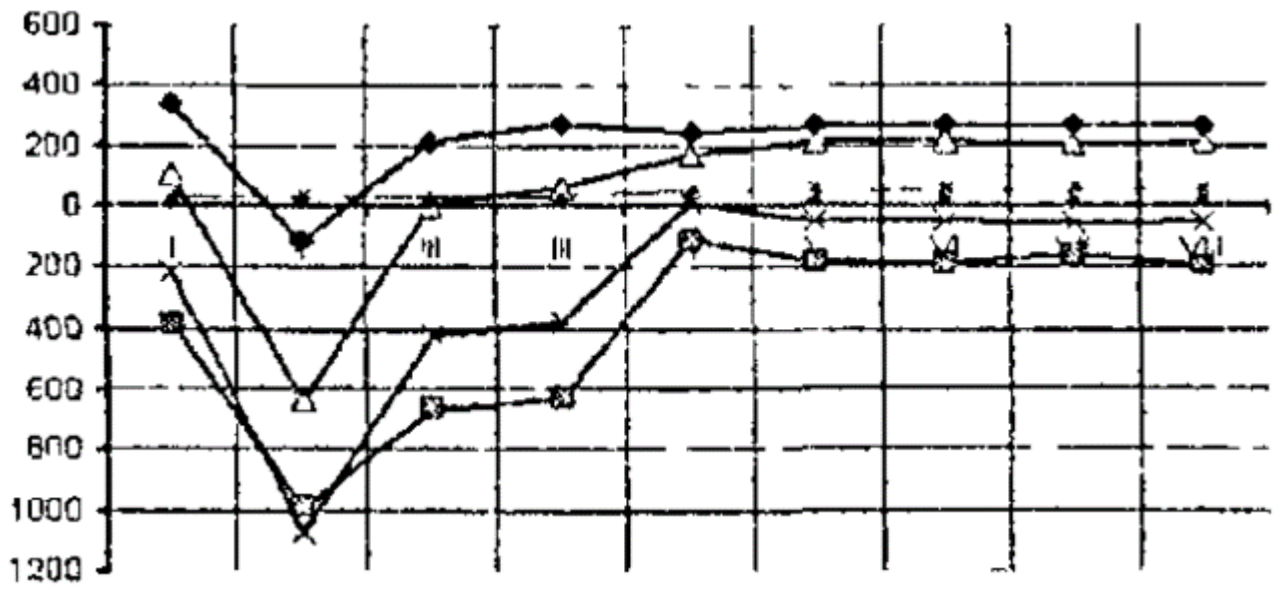


Рисунок 4.5 – Значення осьового зазору

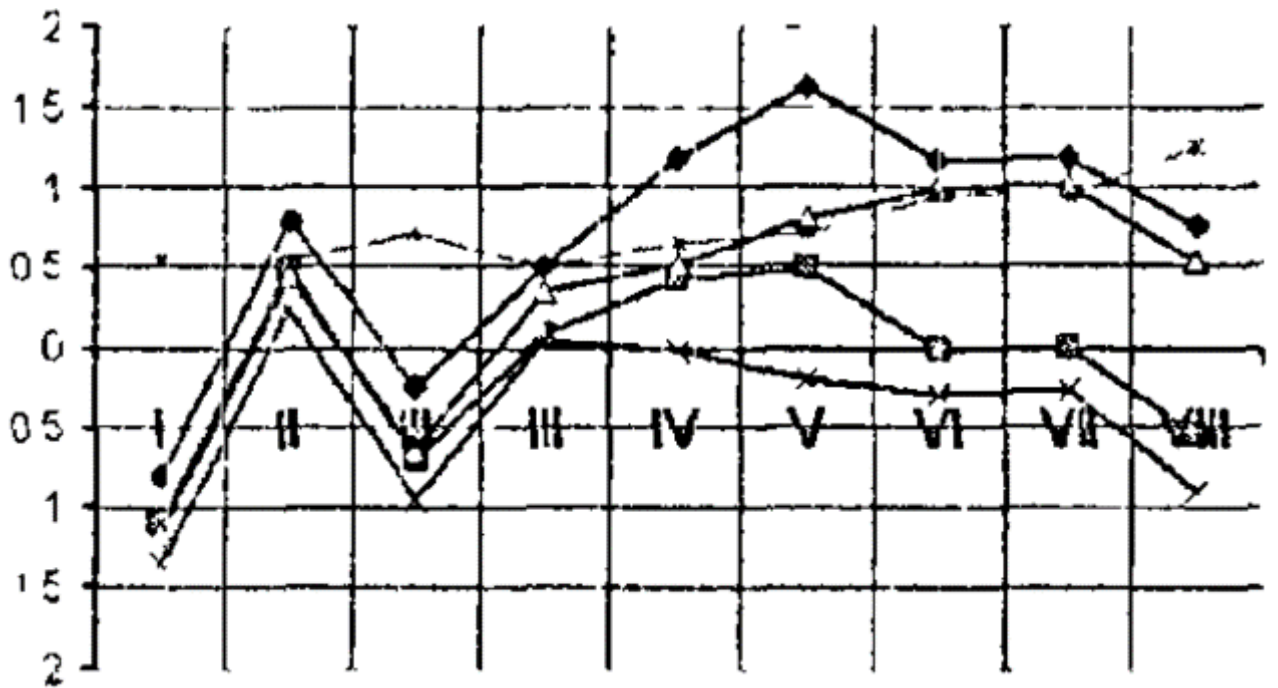


Рисунок 4.6 – Значення окружного зазору

#### 4.3 Дослідження надійності карданних передач і обґрунтування заходів підвищення їх довговічності

Довговічність  $L_{ha}$  шарнірів КВ за критерієм контактної втоми має вигляд:

$$L_{h_a} = \frac{A}{n\beta\sqrt{\Delta_u}} \left[ \frac{C(H-L_w)}{T_{KШ}K_d} \right]^m a_1 a_2 a_3, \quad (4.7)$$

де:  $n$  – частота обертання,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $\beta$  – кут залому КШ, град.;  $\Delta_H$  – вимірний радіальний зазор в ПВ, мкм;  $C$  – динамічна вантажопідйомність ПВ, Н,  $(H-L_w)$  – геометричний фактор шарніру, м,  $T_{KШ}$  – крутний момент, Нм;  $K_d$  – коефіцієнт динамічності;  $m$  – показник степені;  $a_1, a_2, a_3$  – коефіцієнти надійності, матеріалу і умов експлуатації

З іншої сторони, довговічність  $L_{ha}$  шарнірів КВ залежить від впливу конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів:

$$L_{h_a} = L_{h_a}^K L_{h_a}^T L_{h_a}^E, \quad (4.8)$$

Аналіз формул дозволяє виділити наступні напрямки підвищення довговічності КВ. Враховуючи вплив динамічного кута залому КШ в експлуатації, підвищення пристосованості карданних ПУ до завантаженості в експлуатації і підвищення безвідмовності і ремонтоздатності КШ з використанням заходів технічного обслуговування і ремонту (ТОР).

Так як динамічна вантажопідйомність ПВ не залежить від режимів випробувань, а характеризує якість виготовлення, то в експлуатації величина  $C_{on}$ , отримана по результатам стендових випробувань, залишається незмінною.

Збільшення значення динамічної вантажопідйомності ПВ до граничного можливо лише при мінімізації навчального радіального зазору.

Зношування органічної частини елементів ПВ обумовлює підвищення довговічності КШ шляхом більш повного використання робочої поверхні їх ПВ. В результаті експлуатаційних і стендових випробувань встановлено, що в серійних ПВ КШ реалізується лише 30...60% їх потенціального ресурсу.

Сумарний ресурс КШ в результаті використання способу підвищення довговічності дорівнює  $L_{h2}$ , тоді розглянемо сумарний ресурс для трьох окремих випадків 1) серійний КШ без ТО, 2) серійний КШ з виконанням способу ТО шляхом повороту хрестовини і підшипників, 3) дослідний КШ, пристосований до черговості виконання заходів ТОР.

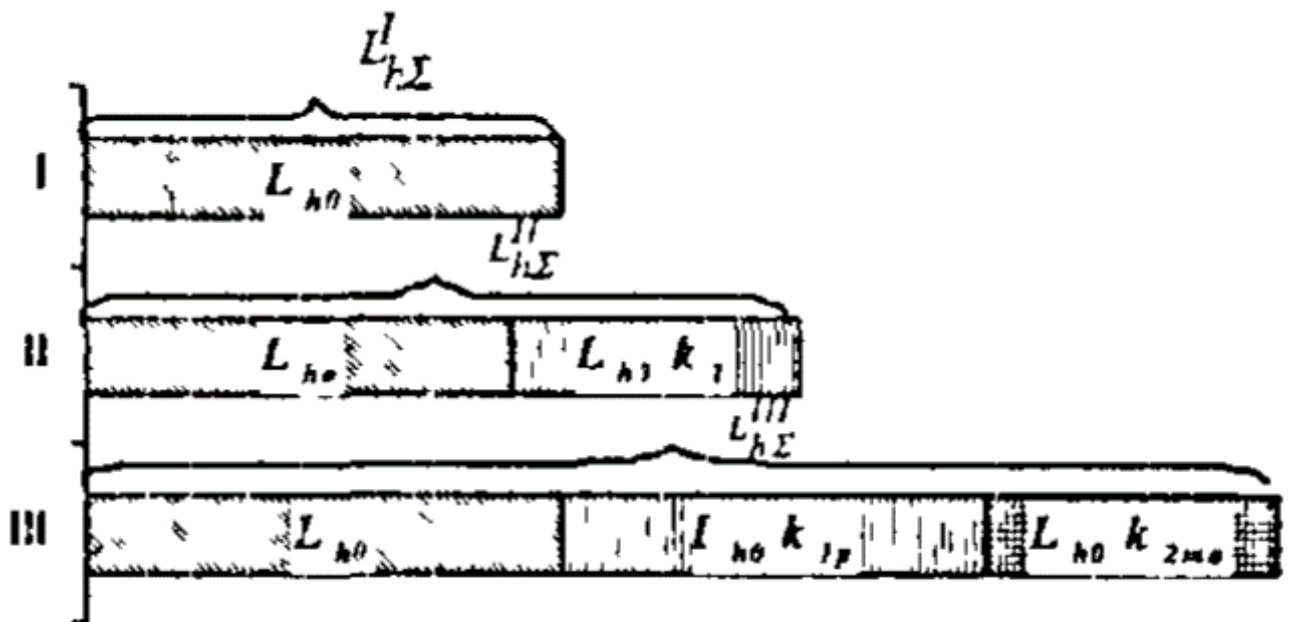


Рисунок 4.7 – Ресурс КШ

Аналіз (рис. 4.7) показує, що сумісним використанням заходів ремонту і ТО можливо найбільш вагомо підвищити довговічність КШ

#### 4.4 Прогнозування надійності карданних передач в експлуатації

Методика прогнозування надійності КП сільськогосподарської техніки розроблена на основі метода Монте-Карло. Співставлення довговічності опитного і серійного КШ дозволяє встановити коефіцієнт підвищення довговічності.

Для оцінки конкурентоспроможності заходів підвищення надійності КП на основі способів TOP, в умовах багатокритеріальної оцінки, використовуємо інтегральний критерій – коефіцієнт  $K_K$  конкурентоспроможності.

При оцінці конкурентоспроможності і відремонтованого виробу показниками якості і ціні надають різну вагу, тому конкурентоспроможність виробу кількісно можна розрахувати з врахуванням фактору вподобання.

## 5 УДОСКОНАЛЕННЯ КАРДАННИХ ПЕРЕДАЧ ЕНЕРГОНАСИЧЕНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Основні тенденції удосконалення КП направлені на зниження нерівномірності розподілу навантаження ПВ, більш повне використання ресурсу ПУ і підвищення пристосованості КШ до заходів ТОР.

Результатом нерівномірності розподілу навантаження в ПУ є виникнення явища перекосу їх елементів, що вагомо знижує ресурс КШ.

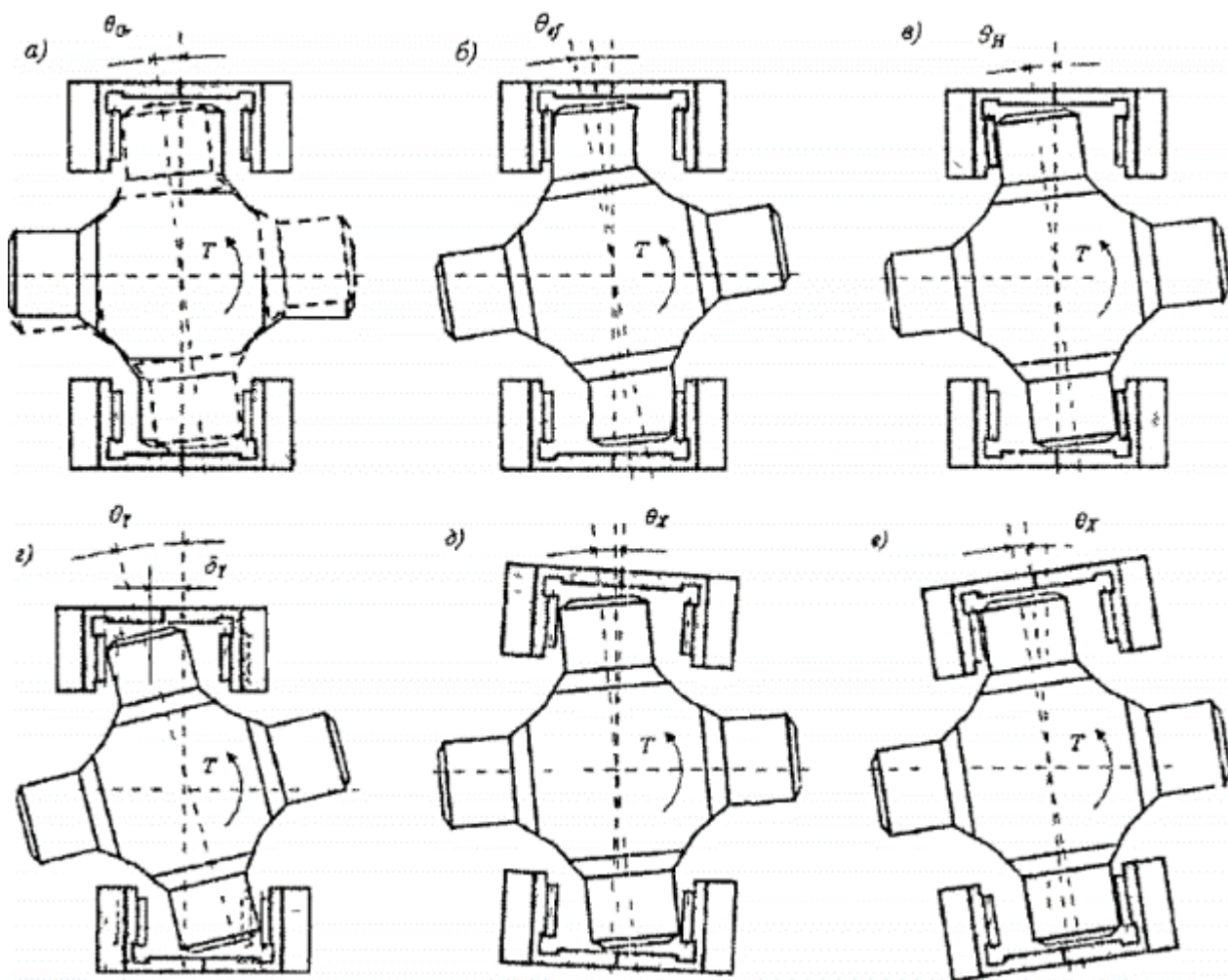


Рисунок 5.1 – Графічна ілюстрація перекосу елементів ПВ КШ

Для визначення прогибу проушини карданної вилки, який визначає кут перекосу осі стакана приймаємо розрахункову схему бруса змінної жорсткості, навантаженого радіальною силою.

Розрахунок виконуємо на прикладі КШ VII типорозміру з підшипниками

№804707K4C10 для стендового і експлуатаційного режимів навантаження ПВ, які розташовані в двох вилках – серійній і опитній.

Найбільший вплив на загальний кут перекосу елементів ПВ завдають деформація кручення проушин вилок і радіальний зазор в ПВ. Кут перекосу осей ПВ опитної вилки в порівнянні з серійною зменшується в 5,0... 7,4 рази.

За прийнятими вихідними даними отримуємо 1) для серійної вилки при експлуатаційному режимі 1,39 мм, при стендовому – 1,81 мм, 2) для опитної вилки при експлуатаційному режимі навантаження – 10,3 мм, при стендовому – 9,04 мм. Отже, динамічна вантажопідйомність ПУ з радіальним зазором залежить від параметра довжини. В цьому випадку динамічна вантажопідйомність опитних ПУ в 2,3...17 разів більше серійних ПУ. Доведення величини динамічної вантажопідйомності ПУ до потенціальної можливо при реалізації повного контакту.

Для знешкодження перекосу в ПУ шляхом реалізації контакту їх елементів, запропонований КШ (перший варіант, рис. 5.2), який має вилки 1, 2 і хрестовину 3, вилки 1 і 2 мають фланці 4 і 5, до яких через гайки 6 закріплюються проушини 7 і 8, кожен шип 9 хрестовини 3 встановлений в проушинах 7 і 8 шляхом підшипника з роликами 10 в стакані 11. Наявність осі повороту проушини вилки забезпечує більш рівномірний розподіл навантаження в ПУ.

З метою підвищення ремонтоздатності запропонований КШ (другий варіант, рис. 5.3), який має вилки 1 і 2, хрестовину 6 і голчаті підшипники 5, проушини 3 і 4 вилок 1 і 2 виконані розбірними, а їх пустоти в зрізі площиною, перпендикулярній осі отворів, мають форму випуклого правильного багатокутника з парним числом сторін, зовнішня поверхня стакану з'єднана з полостями проушин. Наявність розбірних проушин дозволяє підвищити довговічність КШ за рахунок повороту підшипника відносно осі шипа на кут, який виражається формою пустоти проушин, без порушення ПВ. Це дозволяє при наробітку провести повну заміну робочих поверхностей ПУ шляхом повороту хрестовини в зборі відносно її центру на  $90^\circ$  без розбирання.

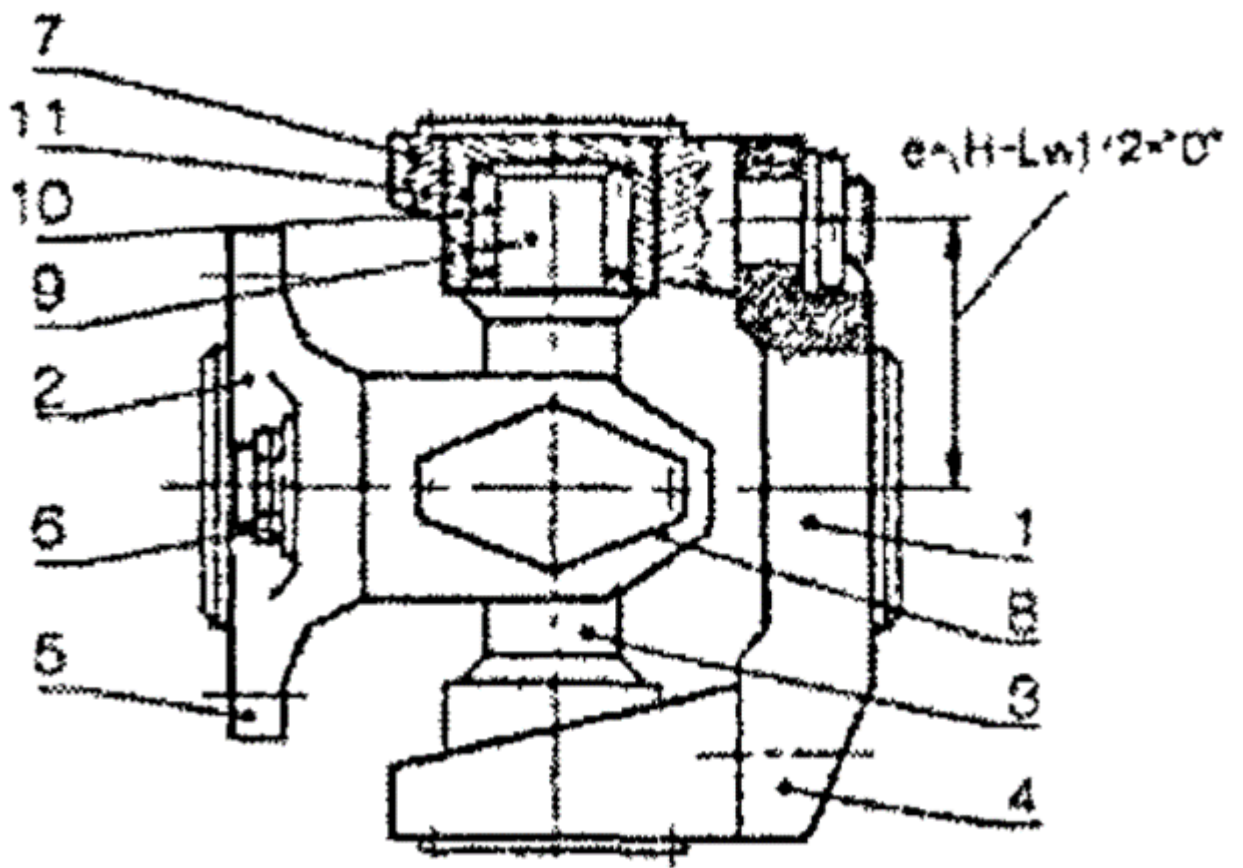


Рисунок 5.2 – Схема КШ (перший варіант)

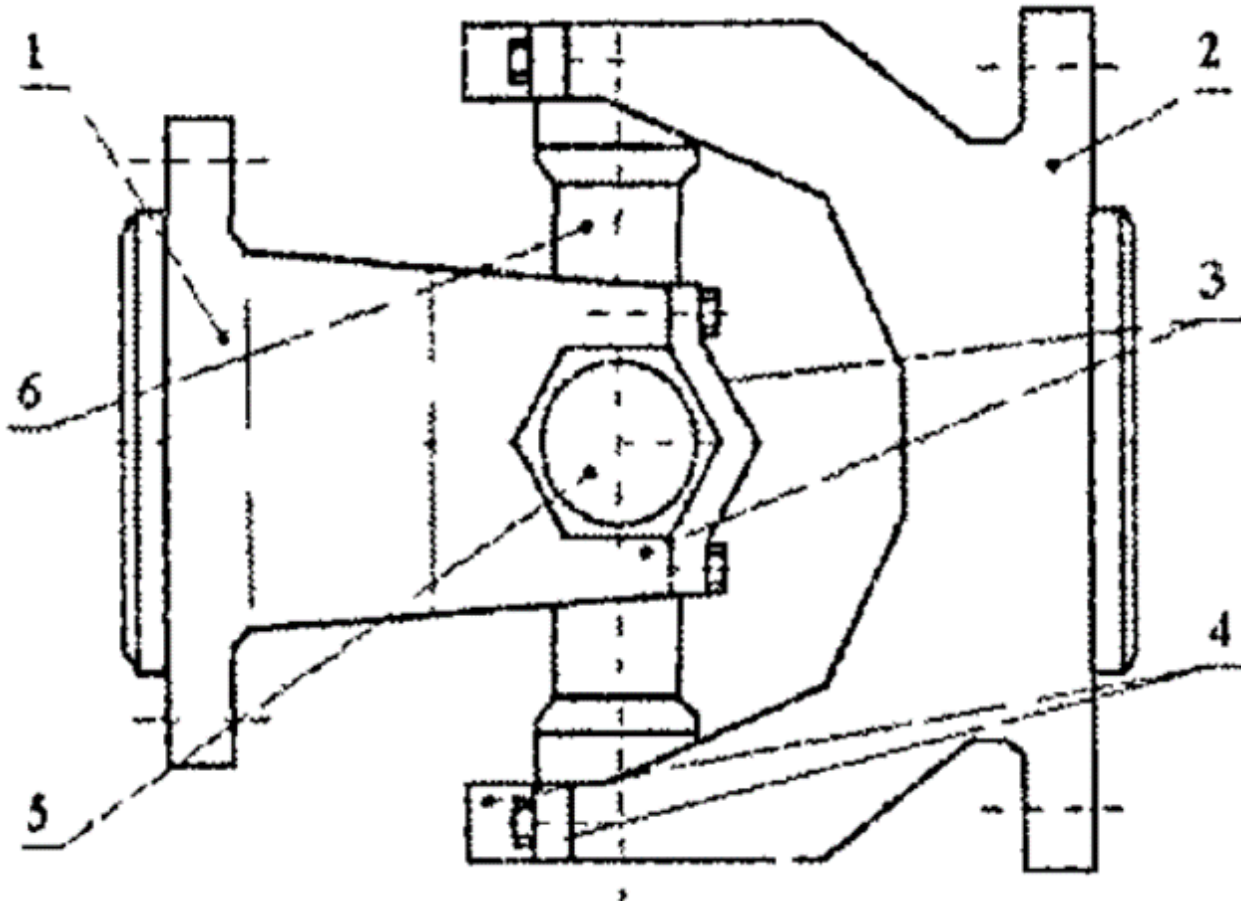


Рисунок 5.3 – Схема КШ (другий варіант)

З метою підвищення надійності КП заходами ТОР запропонований спосіб заміни робочих поверхонь з'єднань «шип хрестовини – голчатий підшипник». Спосіб включає розбірку, очищення, миття і заправку мастилом ПУ, встановлення хрестовини з поворотом  $90^\circ$  по осі її обертання відносно вилок, а також поворот кожного голчатого підшипника на  $180^\circ$  відносно шипа хрестовини. Поворот вищезгаданих елементів ПУ виконують при наробітку  $0,8 \dots 0,9$  від розрахункової, перед цим для встановлення радіального зазору в з'єднаннях КШ виконують установку зношеної частини робочих поверхонь ПУ до номінального розміру (рис. 5.4), будь яким способом нанесення шару металу. Відновлення тільки зношеної частини робочої поверхні елементів призводить до зниження затрат праці і матеріальних ресурсів.

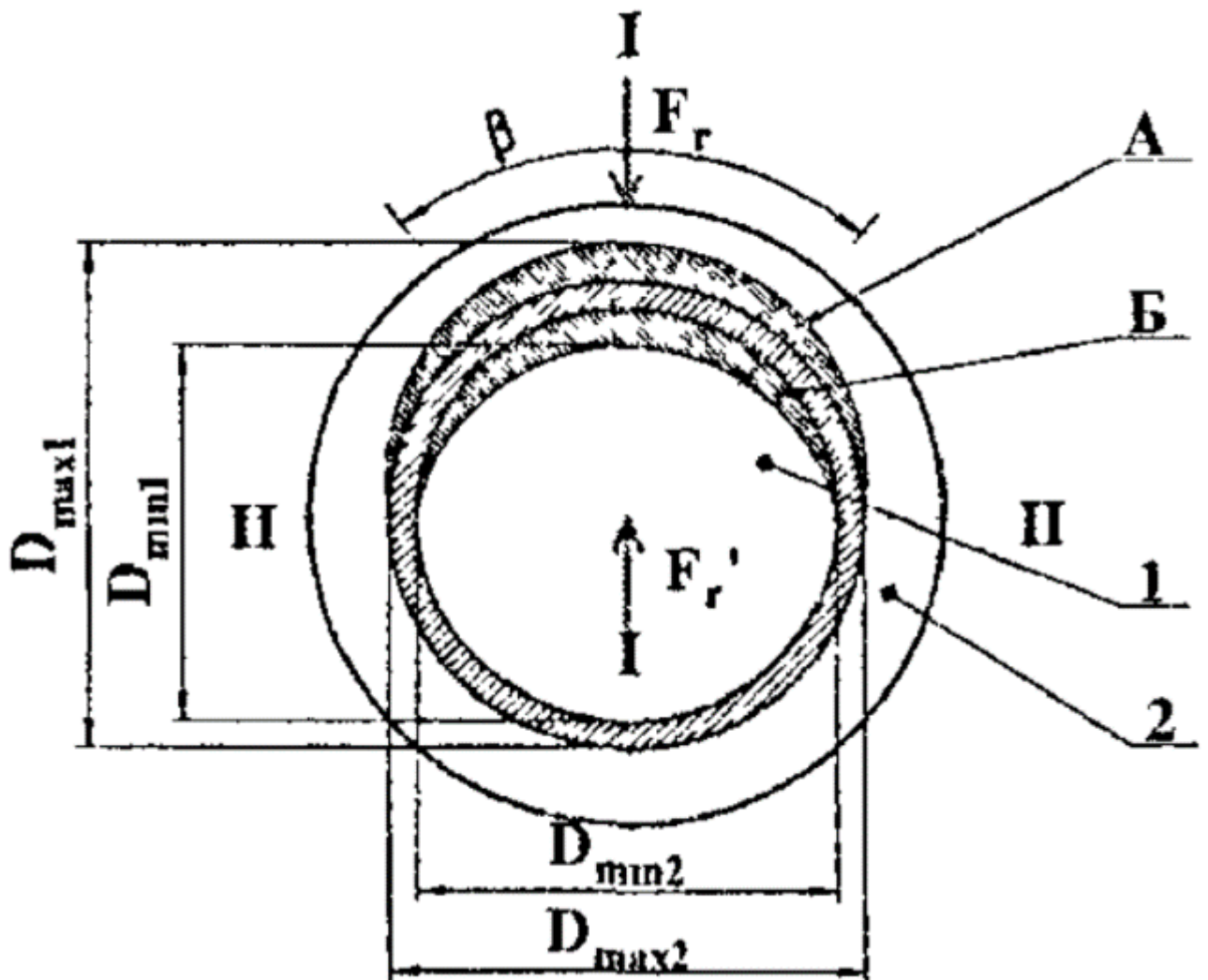


Рисунок 5.4 – Схема зношування ПУ

З метою підвищення ефективності заходів ТОР запропонований КШ (рис. 5.5) і спосіб його ТО. Втулка шипа хрестовини КШ виконана у вигляді стакана і встановлена основою вгору, при цьому в основі корпусу підшипника і втулки виконані центральні співвісні отвори у вигляді правильного випуклого багатокутника.

Спосіб ТО КШ включає часткову розбірку КШ, заміну зношених поверхонь на не зношені, які проводять диференційовано для ПУ шляхом повороту підшипника і втулки шляхом співвісних отворів в їх основах.

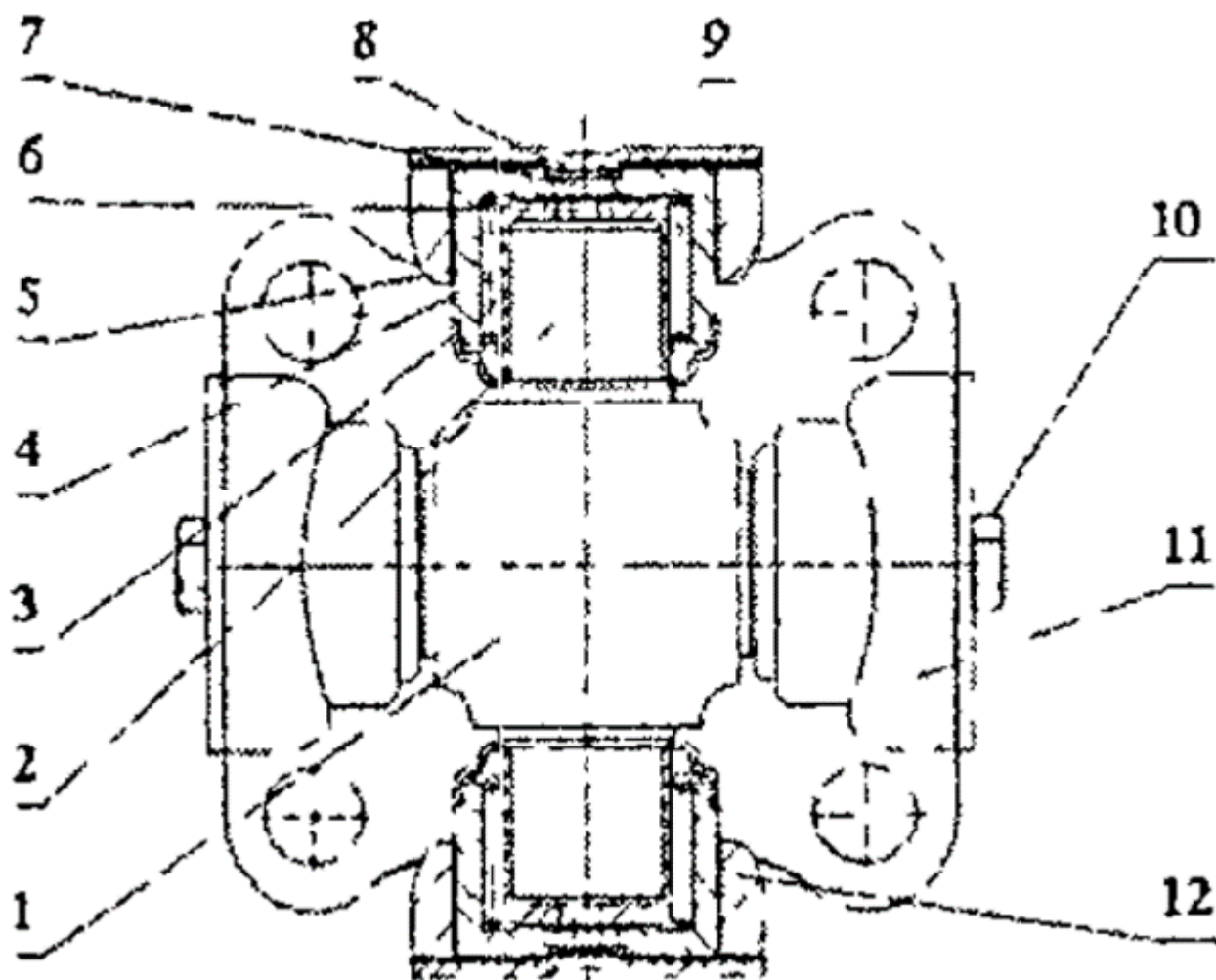


Рисунок 5.5 – Схема КШ

При підборі посадок максимальний момент повороту втулки приймаємо не більше 50 Нм, тоді для діаметра з'єднання 18,5...20,0 мм максимальний натяг повинен бути не більше 26 мкм.

В результаті розрахунків на прикладі КШ з підшипниками встановлено, що для діаметра з'єднання 18,05...20,00 мм при товщині втулки 1,00...1,75 мм і натягу 0...26 мкм зусилля напресування складає 900...1200 Н, момент повороту втулки – 45...50 Нм, а збільшення її діаметру після напресування – 0,84...12 мкм. Перевірка стабільності деталей показує, що при даних відношеннях розмірів деталей з'єднання «шип хрестовини – втулка», максимальний натяг, отриманий із вимоги надійності втулки, приймаємо в якості кінцевого.

## **6 МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ КАРДАННИХ ПЕРЕДАЧ**

Оцінку технічного стану КШ проводили за параметрами зношення робочих поверхонь шипів хрестовини, підшипників і роликів. Для контролю розмірів шипів хрестовини використовували мікрометри МК 0-25 і МК 75-100, підшипників – застосування з індикатором годинникового типу ІЧ МН 10 для виміру радіального зазору на еталонному шипі, комплекту роликів використовували лабораторні ваги ВЛКТ-500.

Оптико-поляризаційні дослідження проводили на прозорих моделях з'єднання «шип хрестовини – підшипник», при різних варіантах навантаження, в зоні контакту шипа і найбільш навантаженого ролика, на оптичній установці VEB-300. В установці розміщували навантажувальний застосунок з моделями, проводили навантаження для отримання чіткого зображення інтерференційної картини (ліній ізохром) і фіксували інтерференційну картину.

Об'єктом статичних досліджень з інформаційним елементом був КШ VII типорозміру з підшипниками № 804707K4C10 з серійною і опитною вилками. Методика статичних випробувань полягала в наступному: у промиті підшипники вкладали металічні смужки у вигляді циліндру, підшипники встановлювали на прошліфований шипи хрестовини і міряли радіальний зазор ПУ, зібраний шарнір встановлювали в силовий контур стенда і навантажували обертовим моментом з часовим триманням, після розвантаження шарнір демонтували і діставали із ПУ металічні смужки з «інформацією» - відбитками. Із застосуванням мікроскопа МПБ-2 з'ясовували середнє значення максимальної довжини відбитків голчатих роликів в зоні найбільш навантаженого ролика і сумарної довжини відбитків роликів в кожному ПУ.

Об'єктом статичних досліджень роботоздатності з'єднання «шип хрестовини – втулка» є КШ IV типорозміру з підшипниками № 804704 і хрестовиною з втулками. Експериментальне визначення зусилля напрусування

втулки на шип хрестовини при збірці з'єднання проводили на машині Р-5, а моменту повороту втулки на шипі використовували машину КМ-50-1. В процесі дослідження фіксували зусилля напресування і переміщення втулки, крутний момент і кут закручування, а також діаграми процесів.

На основі розрахункового і експериментально-статистичного методів встановлені значення режимів навантаження КШ VII типорозміру, які застосовуються в МТ КСК-100А, К700А+ПРТ-16М, Т-150К, КамАЗ-53212, Buhler-Versatile 2375, К-744 Р2 тощо, і IV типорозміру, які застосовуються в МТ ГАЗ-53А, МТЗ-82+РОУ-6 тощо. Аналіз рівнів навантаження КШ дозволив прийняти наступні значення режимів стендових досліджень: 1) для VII типорозміру –  $T_{КШ} = 2,0$  кНм,  $n = 1000$  хв<sup>-1</sup>,  $\beta_z = 10,5 \pm 1,5^\circ$ ,  $\beta_e = \pm 1,5^\circ$ ,  $\nu = 1$  Гц; 2) для IV типорозміру –  $T_{КШ} = 600$  кНм,  $n = 1000$  хв<sup>-1</sup>,  $\beta = 9^\circ$ . Прийняті режими найбільш близькі до режимів граничних досліджень.

Для проведення стендових ресурсних досліджень шарнірів КП використовуємо стенд (рис. 6.1).

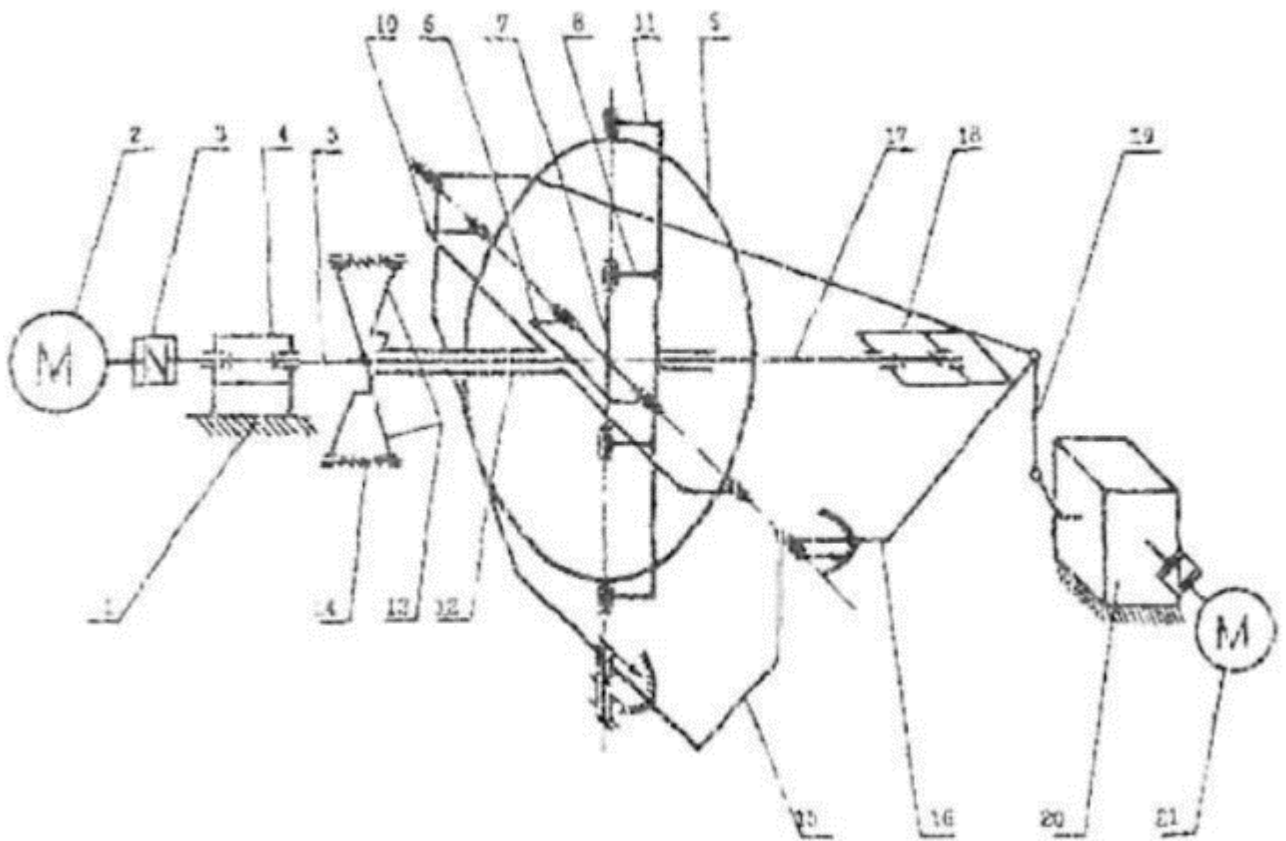


Рисунок 6.1 – Схема стенда

Стенд має станину 1, електродвигун 2, муфту 3, нерухому опору 4 і вал 5, провідну вилку-фланець 6, хрестовину 7 з голчатими підшипниками і ведену вилку-фланець 8, кільцеву хрестовину 9 з голчатими підшипниками, провідну 10 і ведену 11 вилки, полий торсіонний вал 12, важелі 13 і різьбові стяжки 14 з пружними елементами, вертикальну 15 і горизонтальну 16 рамки з показниками кута залому, шліцевий вал 17 і опору 18, кривошипно-шатунний механізм 19, редуктор 20 і мотор-редуктор 21. Загальний вигляд стенда представлено на рис. 6.2.

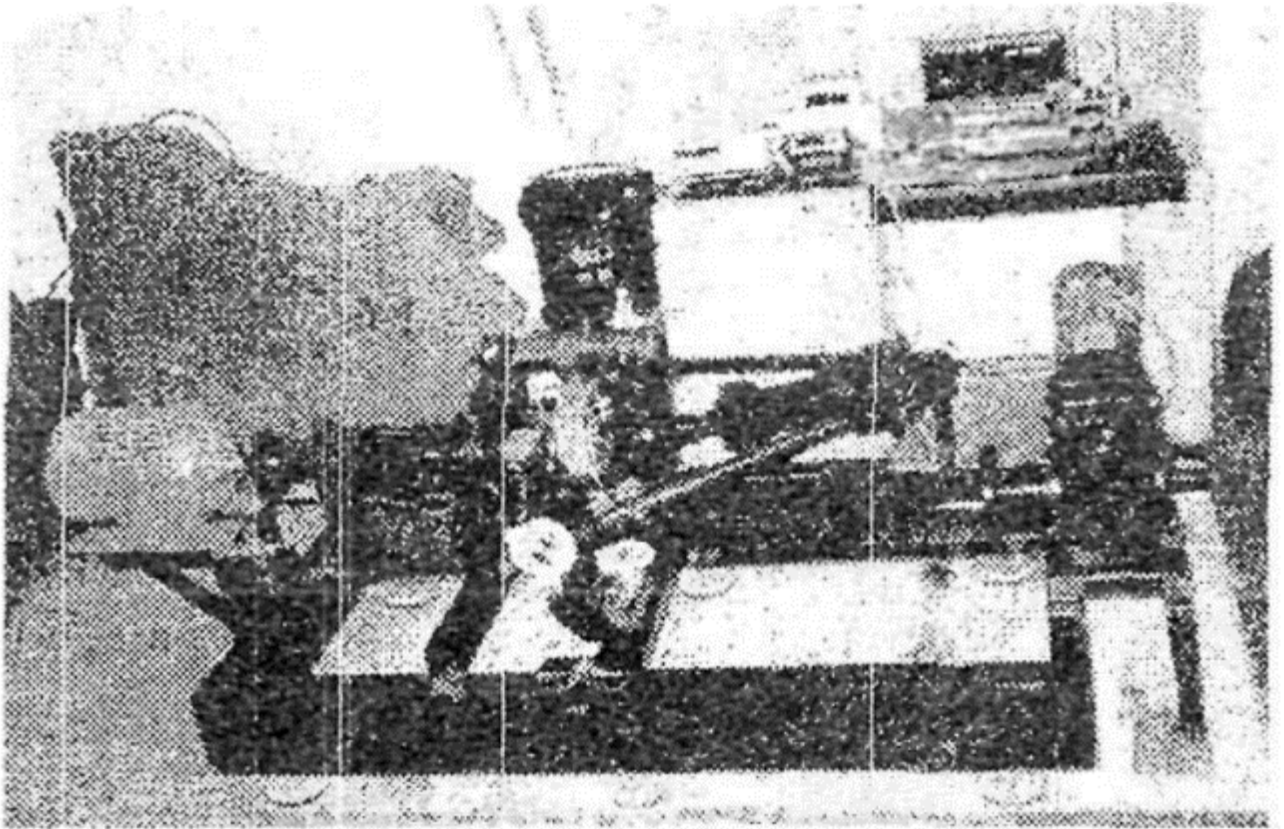


Рисунок 6.2 – Загальний вигляд стенда

Для досліджень КП розроблений стенд (рис. 6.3) з технологічної передачею у вигляді зубчатого редуктора. Стенд має електродвигун 1, пружну муфту 2, вал 3 в опорі 4, конічне колесо 5, жорстко закріплене на валу 3, яке входить в зачеплення з конічним колесом 6, навантажувальну муфту 7, яка з'єднана з конічним колесом 6 і валом 8, досліджувану КП 9, з'єднану з зубчатим колесом 5 і валом 8 (рис. 6.4).

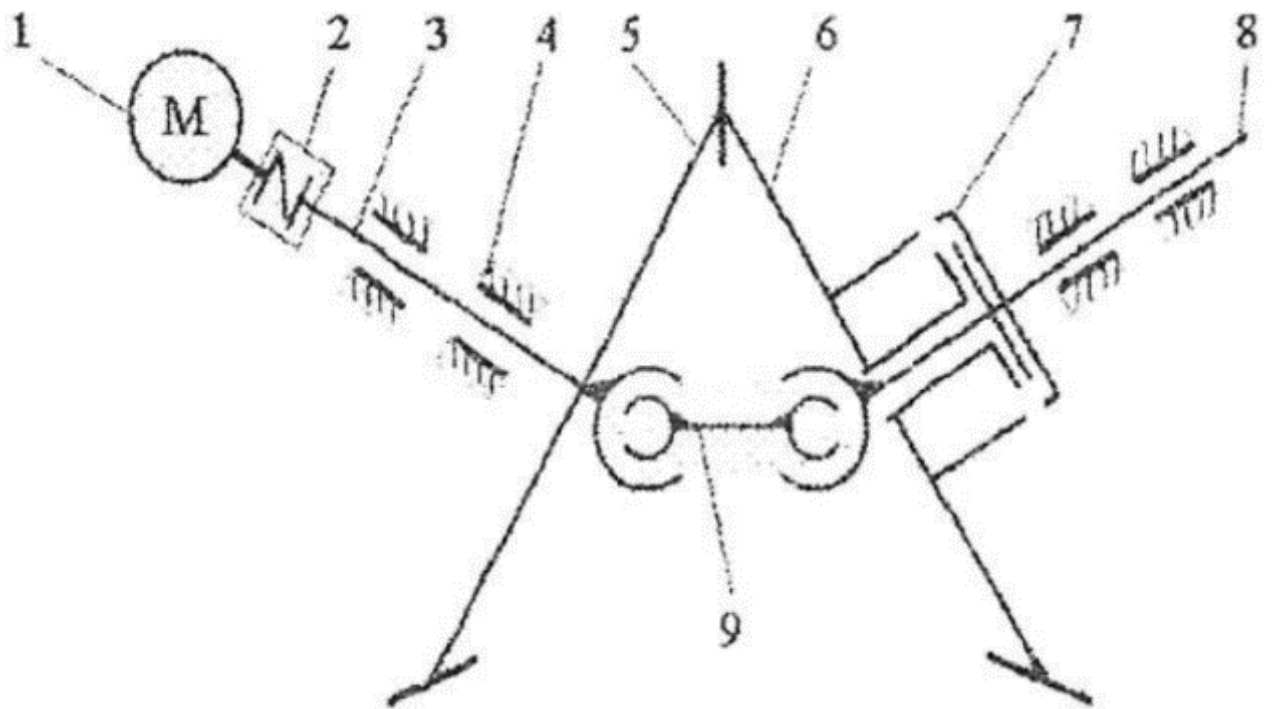


Рисунок 6.3 – Схема стенда для досліджень КП

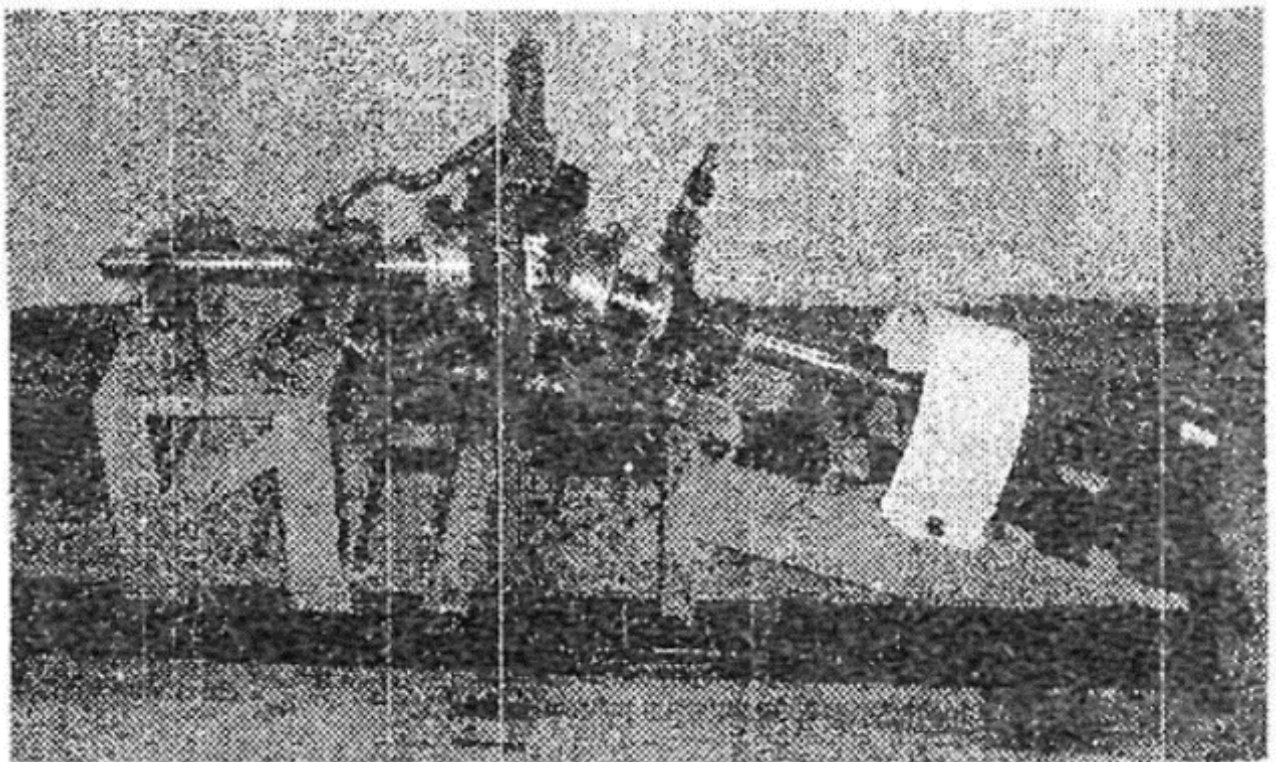


Рисунок 6.4 – Загальний вигляд стенда

Момент завершення досліджень фіксуємо по підвищенню температури в ПУ на  $\Delta T = 3 \dots 6^\circ\text{C}$  ( $\Delta T = 5 \dots 10^\circ\text{C}$ ) і параметрів вібрації на  $\Delta V_\Sigma = \Delta A_\Sigma =$

3...6 дБ. В процесі досліджень КШ фіксують: крутний момент, параметри вібрації, частоту обертання, кут залому, температуру в ПУ, тривалість досліджень, зношення ПУ шляхом виміру радіального зазору в шарнірі.

Для оцінки ресурсу при 80% імовірності з 20% відносною похибкою на стенді необхідно дослідити не менше восьми ПУ.

### 6.1 Експериментальні дослідження заходів підвищення надійності карданних передач

Прояв відмови КШ вивчали по виробітку хрестовини V типорозміру в зборі з підшипниками № 804805K5. Відмови елементів КШ представлені пошкодженнями циліндричної (втомлене вифарбовування і фретінг-зношення – 53,4%) і торцевої (задири – 41,7%) поверхонь шипів і донної поверхні (задири – 26,7%) підшипників. Оцінка зношення елементів КШ IV типорозміру з підшипниками № 804704K5 показала, що у випадку розподілу величини зношення шипів, хрестовин по торцям, підшипників і роликів підкорюється теоретичному закону розподілу Вейбулла. Кількість деталей, придатних до експлуатації, складає: по зношенню поверхні шипа – 72%, по зношенню торців шипів – 55%, по зношенню голчатих підшипників – 61%. Імовірність дефектів хрестовини і ПУ складає 0,60 і 0,76.

Напружений стан моделі ПУ в повздовжній площині  $e = 0$  (серійний варіант), характеризується нерівномірністю розподілу напруги в моделі шипа під моделлю ролика з наявністю чітко вираженого крайового ефекту в контактні біля торця шипа і голчатого ролика. Надійним є варіант навантаження  $e = +1$  (дослідний) з зміщенням радіального навантаження в напрямі основи шипа хрестовини приблизно на 0,1...0,2 довжини контакту.

При статичних дослідженнях КШ досліджували вплив закодованих факторів стану осі повороту  $e$ , мм, проушини досліджуваної вилки ( $X_1$ ), крутного моменту  $T$ , кНм, ( $X_2$ ) і радіального зазору в ПУ хрестовини  $\Delta_t$  і шарнірі  $\Delta_{ш}$ , мкм, ( $X_3$ ), на параметри оптимізації функції відповіді, а саме

сумарну довжину  $\Sigma L_i$ , мм, відбитків роликів в ПУ ( $Y_1$ ), довжину  $L_{Qmax}$ , мм, відбитка під найбільш навантаженим роликом ( $Y_2$ ), при умовах оптимізації  $\Sigma L_i \rightarrow \max$  і  $\Sigma L_{Qmax} \rightarrow \max$ . Після обробки результатів при фіксованих величинах радіального зазору (фактор  $X_3$ ), отримали наступні регресивні рівняння:

- при  $X_3(\Delta_t) = 53...77$  мкм:

$$Y_1 = 2,02 - 13,5 X_1 + 86,9 X_2 - 1,38 X_1^2 + 12,1 X_1 X_2 - 42,3 X_2^2 \quad (6.1)$$

$$Y_2 = -5,95 + 1,43 X_1 + 18,9 X_2 - 0,152 X_1^2 + 0,203 X_1 X_2 - 7,83 X_2^2 \quad (6.2)$$

- при  $X_3(\Delta_u) = -26...262$  мкм:

$$Y_1 = 4,60 - 11,1 X_1 + 73,8 X_2 - 1,02 X_1^2 + 11,1 X_1 X_2 - 37,6 X_2^2 \quad (6.3)$$

$$Y_2 = -6,63 + 0,773 X_1 + 19,4 X_2 - 0,13 X_1^2 + 0,203 X_1 X_2 - 7,97 X_2^2 \quad (6.4)$$

Графічна інтерпретація рівнянь (рис 6.5, 6.6) дозволяє, наприклад, для КШ трактора К-744 Р2, при навантаженні  $T_{КШ} = 1410$  Н і зазорах  $\Delta_u = -23...262$  і  $\Delta_i = 55...77$  мкм по залежності  $\Sigma L_i = f(e, T)$  визначити параметр  $e$  графічним методом, як показано на (рис. 4.5). Аналогічно виконується визначення параметра  $e$  по (рис. 4.6) по залежності  $L_{Qmax} = f(e, T)$  при  $\Delta_u = -23...262$  і  $\Delta_i = 55...77$  мкм. Таким чином, що для діапазону завантаженості шарнірів КП по моменту  $T_{КШ} = 1120...1410$  Нм середнє значення параметра складає  $e \approx 3,75$  мм.

При статичних дослідженнях опитного з'єднання «шип хрестовини – втулка» досліджували вплив закодованих факторів номінального діаметру  $d_{НС}$ , мм, з'єднання ( $X_1$ ) і натягу  $N$ , мкм, в з'єднанні ( $X_2$ ) на параметри оптимізації функції відгуку, а саме найбільше зусилля  $R_{Пмо}$ , Н, напрусування ( $Y_1$ ) і

мінімальний момент  $T_{IImin}$ , Нм, повороту ( $Y_2$ ), при умовах оптимізації  $R_{IImax} \rightarrow \min$  і  $T_{IImin} \rightarrow \max$ .

В результаті регресивного аналізу отримані моделі:

$$Y_1 = 344798 - 32843 X_1 - 2621 X_2 + 781 X_1^2 + 134 X_1 X_2 \quad (6.5)$$

$$Y_2 = 2408 - 231 X_1 - 23,18 X_2 + 5,63 X_1^2 + 1,174 X_1 X_2 \quad (6.6)$$

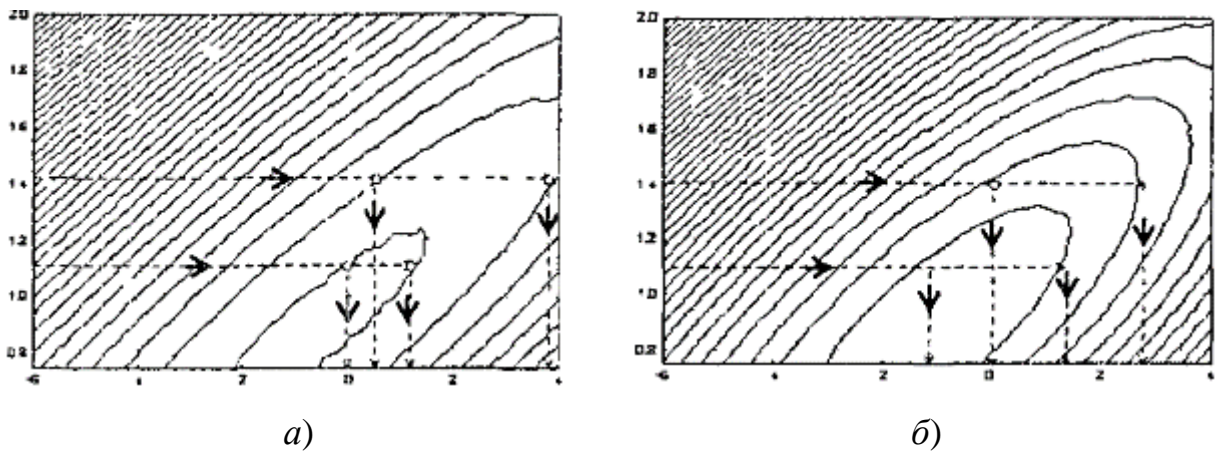


Рисунок 6.5 – Залежність  $\Sigma_{Li} = f(e, T)$  для радіального зазору в КШ  $\Delta_u = -23 \dots 262$  мкм (а) і в ПУ  $\Delta_i = 55 \dots 77$  мкм (б)

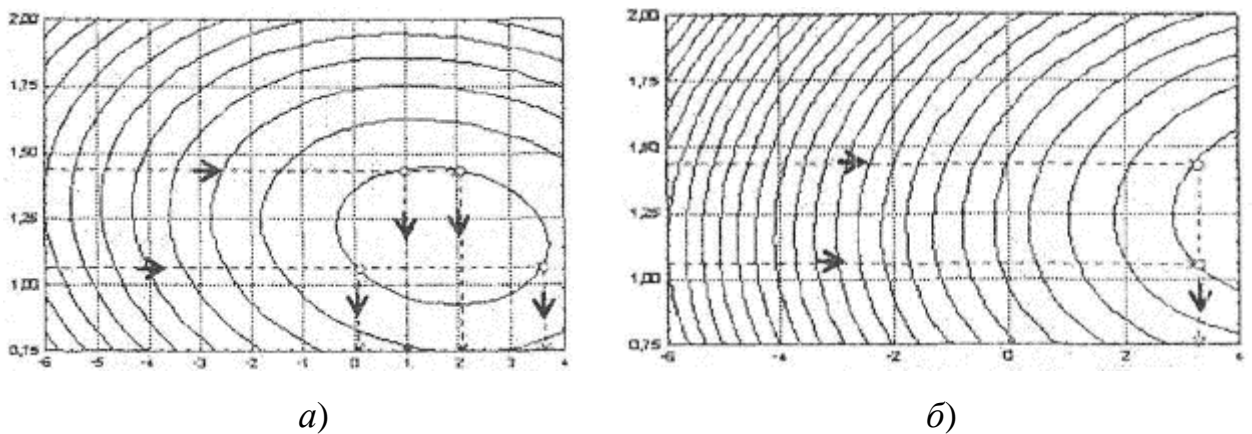


Рисунок 6.6 – Залежність  $L_{Qmax} = f(e, T)$  для радіального зазору в КШ  $\Delta_u = -23 \dots 262$  мкм (а) і в ПУ  $\Delta_i = 55 \dots 77$  мкм (б)

Для вивчення отриманих моделей побудовані тривимірні залежності в розкодованих позначеннях  $R_{II} = f(d_{НС}, N)$  і  $T_{II} = f(d_{НС}, N)$  (рис. 6.7, 6.8). Отримані

поверхні відносяться до поверхонь другого порядку типу мінімакса. Таким чином, для визначення оптимальних значень факторів необхідно із максимальних значень зусиль напрусування прийняти мінімальне, а із мінімальних значень моменту повороту – максимальне.

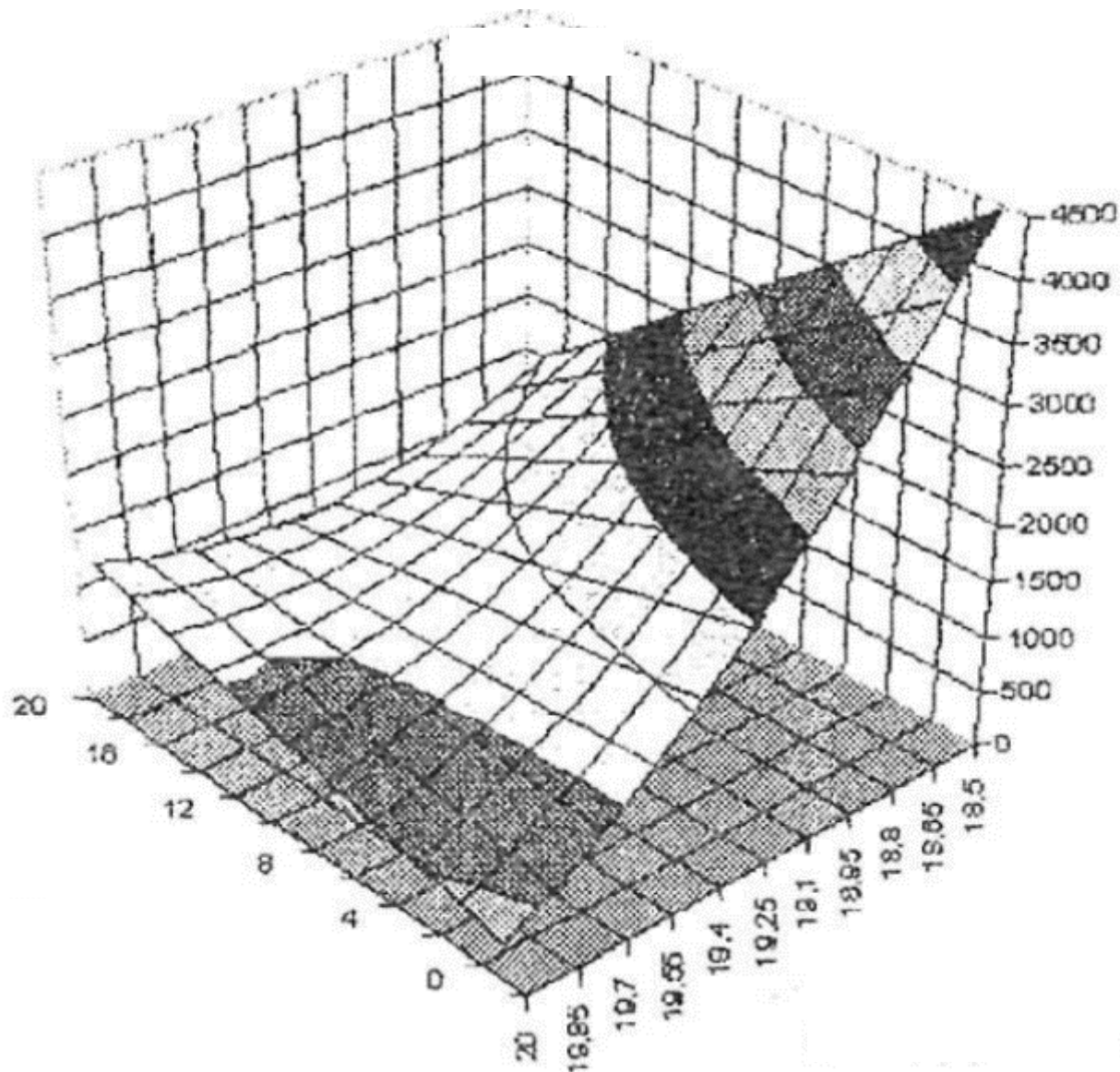


Рисунок 6.7 – Залежність  $R_{II} = f(d_{HC}, N)$

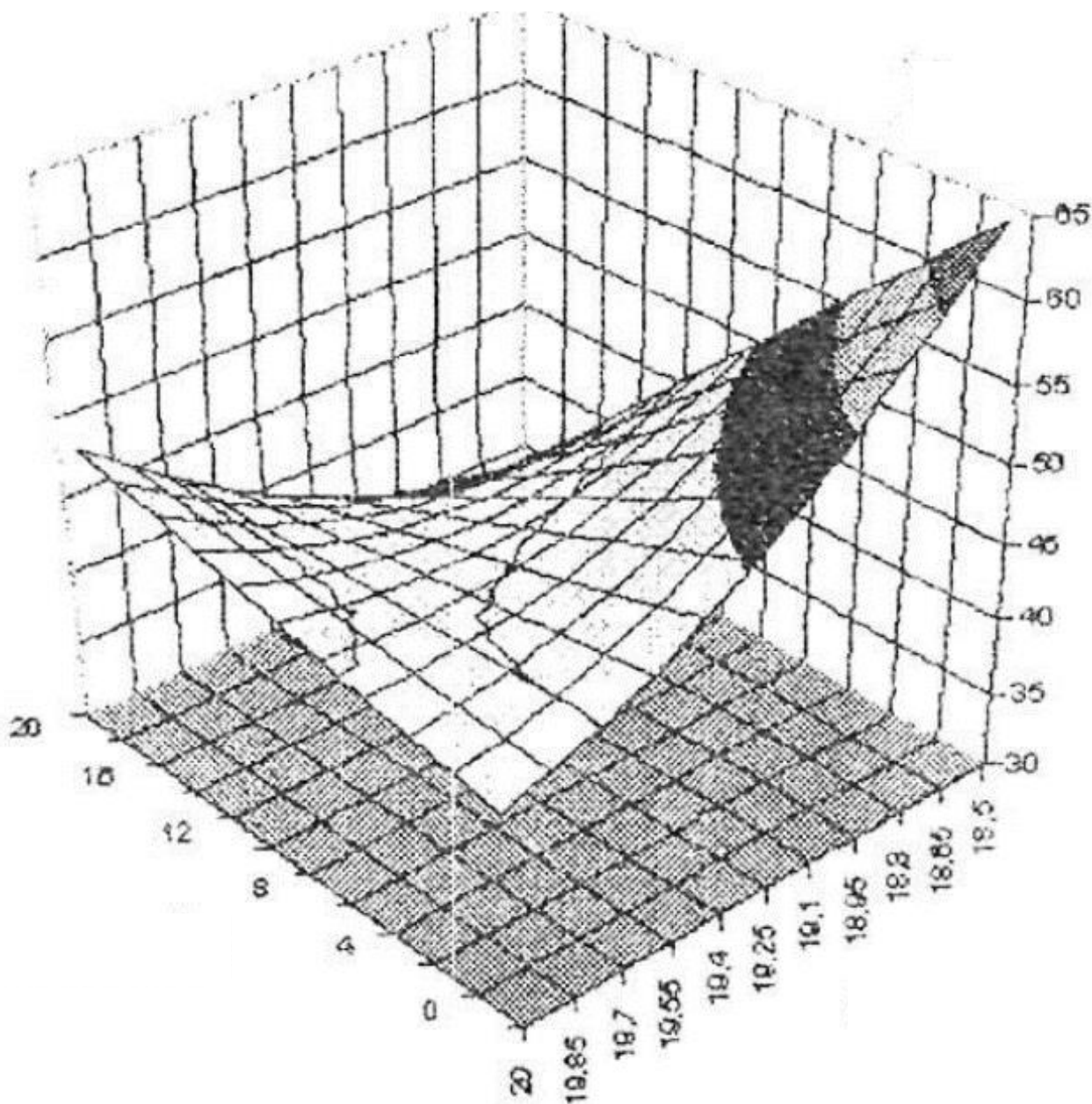


Рисунок 6.8 – Залежність  $T_{II} = f(d_{НС}, N)$

Дослідження рівнянь (6.5) і (6.6) на екстремум і аналіз пласких розділів тривимірних залежностей по (рис. 6.7) і (рис. 6.8) дозволяють прийняти наступні оптимальні значення натягу  $N = 6,8...17,1$  мкм і діаметру  $d_{НС} = 19,6... 19,8$ , при яких засилля напрусування і момент повороту не перевищують  $R_{II} = 1100$  Н і  $T_{II} = 46$  Нм.

Оцінку впливу динамічної зміни кута залому шарніра на ресурс КШ проводили розрахунково-експериментальним методом по порівняльним варіантам навантаження: 1) розрахунок при куті залому  $\beta_{st} = 10,5^\circ \pm 1,5^\circ$ ; 2)

розрахунок при  $\beta_{st} = 12^\circ$ ; 3) результати дослідження серійних ПУ при куті залому  $\beta_d = 10,5^\circ \pm 1,5^\circ$ .

Відношення середнього граничного наробітку при  $\beta_{st} = 12^\circ$  до аналогічного показника при  $\beta_d = 10,5^\circ \pm 1,5^\circ$  дорівнює 1,065, а відношення середнього граничного наробітку при  $\beta_{st} = 10,5^\circ$  до аналогічного показника при  $\beta_d = 10,5^\circ \pm 1,5^\circ$  - 1,22. Таким чином, при динамічного куті залому довговічність шарніру знижується на 6,5 і 21,8% у відповідності до режимів. Заміри параметрів вібронавантаження КШ показало, що амплітуда зміни значень віброшвидкості на опорі 4 (рис. 4.2) – на  $\Delta A_\Sigma = 10,1$  дБ (14,3%) і  $\Delta V_\Sigma = 5,5$  дБ (3,7%), на опорі 18 – на  $\Delta A_\Sigma = 10,4$  дБ (11,9%) і  $\Delta V_\Sigma = 8,0$  дБ (5%).

Для експериментальної оцінки підвищення довговічності КШ шляхом покращення їх пристосованості до експлуатаційного навантаження були проведені ресурсні стендові дослідження конструкції КШ VII типорозміру з поворотними проушинами при  $e \approx 3,75$  мм. Дослідження КШ, який має в складі хрестовину в зборі, ПУ № 1 і № 3, які знаходились в проушинах серійної вилки, а № 2 і № 4 – дослідної вилки. Коефіцієнт підвищення довговічності складає  $K_{Lh} = 1,28$  для значень початкового радіального зазору  $\Delta_n = 44 \dots 121$  мкм. За середнього наробітку на відмову серійних ПУ визначаємо динамічну вантажопідйомність ПУ при  $K_\beta = 1,065$  і отримуємо  $C_{сер} = 40,0$  кН. При відомих значеннях радіального зазору в серійних і опитних досліджуваних ПУ  $\Delta_{Hсер}$  і  $\Delta_{Hon}$  отримуємо для порівняльних пар ПУ  $C_{on} = 43,4 \dots 44,1$  кН, що на 7,8...9,3% більше вантажопідйомності серійного ПУ.

На основі результатів досліджень побудовані залежності між відносним часом повороту і відношенням сумарного виробітку КШ до середнього по шарніру, а також сумарного наробітку КШ до розрахункового для ПУ (рис. 6.9).

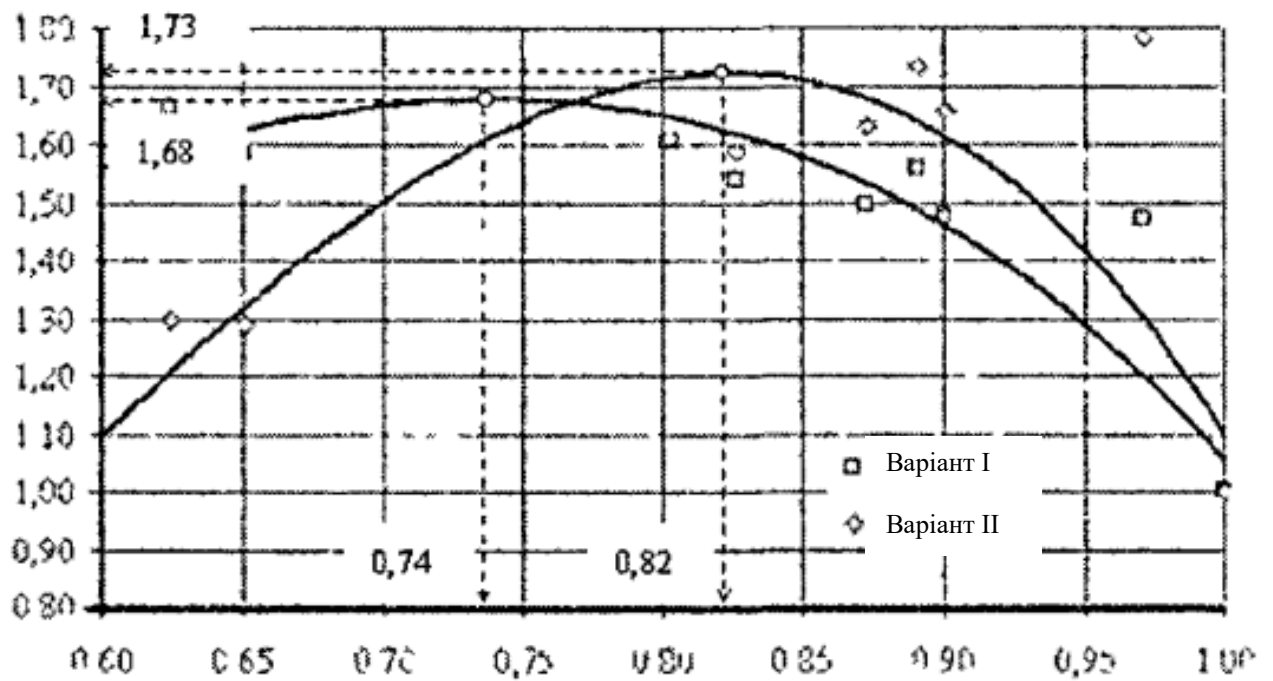


Рисунок 6.9 – Визначення оптимальної періодичності заміни робочих поверхонь

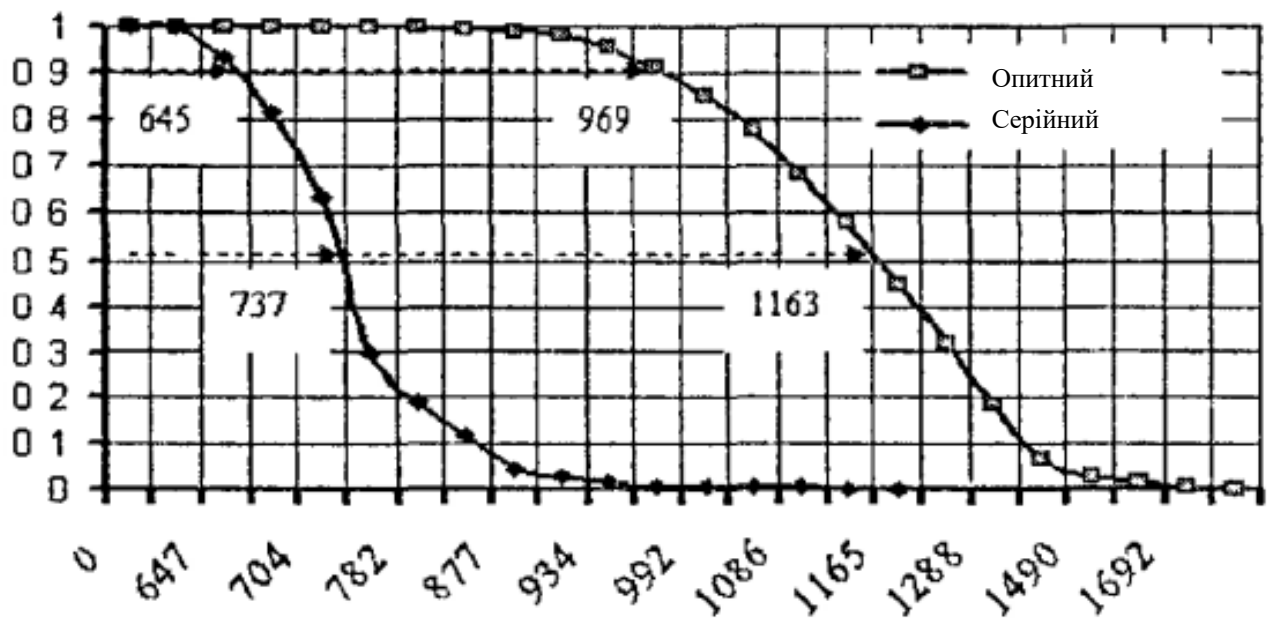


Рисунок 6.10 – ІБР серійного і опитного КШ

Оцінка довговічності ремонтпридатного КШ методом статистичних досліджень при експлуатаційних режимах показала, що 50% ресурс опитних КШ складає 1163 год., серійних – 737 год., а 90% ресурс опитних КШ складає 949 год., серійних – 645 год. Таким чином, 50% ресурс опитних перевищує ресурс серійних в 1,58 разів, а 90% ресурс – в 1,5 разів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз господарської діяльності господарства, розрахунок складу і планування використання МТП підрозділу і робочої сили, побудовано графіки завантаження тракторів і визначено їх фактичну потребу, обґрунтовано потребу в сільськогосподарських машинах і побудовано план-графік їх використання, проведено планування та організацію технічного обслуговування МТП.

2. За аналізом даних зроблено висновок, що МТП господарства потребує підвищення коефіцієнту готовності техніки, а саме тракторів з шарнірно-зчленованою рамою, які задіяні при виробництві продукції рослинництва.

3. Довговічність карданних передач механічних трансмісій тракторів в 1,5...2,0 разів менше довговічності основних агрегатів, при цьому 67...95% всіх відмов карданних передач припадає на хрестовину в зборі з підшипниками.

4. В результаті теоретичних досліджень виявлено резерв підвищення надійності карданних шарнірів, виконана оцінка точності розмірних ланцюгів радіального, осевого і окружного зазорів в карданних підшипникових вузлах, обґрунтовані напрями і запропоновані способи підвищення надійності карданних передач при технічному обслуговуванні і ремонті.

5. Запропоновані конструкції карданних шарнірів, які дозволяють підвищити динамічну вантажопідйомність підшипникових вузлів на 7,4...9,3%, імовірність безвідмовної роботи карданних шарнірів в 1,3...1,5 разів на їх ремонтпридатність на 30% при підвищенні довговічності в 1,28...1,88 разів за рахунок їх пристосованості до експлуатаційному навантаженню, технічному обслуговуванню і ремонту.

6. Удосконалені і розроблені методи оптико-поляризаційних і статичних досліджень, методики і технічні вузли стендових ресурсних і статистичних досліджень, які дозволяють оптимізації конструктивних параметрів, оцінку і прогнозування довговічності шарнірів карданних передач в експлуатації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Artiomov N., Antoshchenkov R., Antoshchenkov V., Ayubov A. Innovative approach to agricultural machinery testing. *Engineering for Rural Development*, 2021, 20. pp. 692-698.
2. Artiomov, N., Anikeev, A., Kaluzhniy, A., Sirovitskiy, K., & Kolodiaznyi, I. (2022). Investigation of agricultural unit loads in non-established mode of motion when performing technological operations.
3. Blundell M., Harty D. *The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics*. ButterworthHeinemann, 288, 2004. DOI: 10.1016/b978-0-7506-5112-7.x5000-3. (In German).
4. Bulgakov V., Antoshchenkov R., Adamchuk V., Halych I., Ihnatiev Y., Beloiev I., Ivanovs S. Investigation of the tractor performance when ballasting its rear half-frame. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2022. Vol. 68. No. 3. pp. 533-542.
5. Galych I., Antoshchenkov R., Antoshchenkov V., Lukjanov I., Diundik S., Kis O. Estimating the dynamics of a machine-tractor assembly considering the effect of the supporting surface profile. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(7) (109). 2021, pp. 51-62. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225117.
6. Podrigalo, M., Artiomov, N., Garmash, V., Horielyshev, S., Boikov, I., Baulin, D., Nakonechnyi, A., Sukonko, S., Gleizer, N., & Yurieva, N. (2023). Improving the maneuverability of vehicles by using front swivel axles with separate electric wheels. *EUREKA: Physics and Engineering*, (3), 29-39. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002838>
7. Анікєєв О.І., Сировицький К.Г., Агапов М.О., Бойко А.О. / Методика обґрунтування раціонального складу і швидкісного режиму роботи машинних агрегатів // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. № 18 (2019), С. 62-69.

8. Динаміка та енергетика руху багатоелементарних машинно-тракторних агрегатів [Текст] : монографія / Р. В. Антощенко ; Харків. нац. техн. ун-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка. - Харків : Міськдрук, 2017. - 242 с.

9. Експлуатація машин і обладнання. Навчальний посібник : Каталог сільськогосподарської техніки / О. В. Нанка [та ін.] ; за ред. В. І. Мельника. – Х.: ТОВ «Планета-Прінт», 2021. - 594 с.

10. Експлуатація машин і обладнання. Навчальний посібник : Каталог сільськогосподарської техніки / О. В. Нанка [та ін.] ; за ред. В. І. Мельника. – Х.: ТОВ «Планета-Прінт», 2021. - 594 с.

11. Експлуатація та сервіс техніки. Частина I. Трактори. Навчальний посібник. / С.О. Харченко, О.В. Адамчук, О.І. Анікеєв, К.Г. Сировицький, Є.А. Гаєк, І.С. Тіщенко, Д.О. Харченко. За ред. С.О. Харченка. – Х.: ТОВ «Планета-Прінт», 2020. - 140 с.

12. Збірник методик з використання машин в землеробстві /За ред. Мельника В. І. – Харків: “Промпроект” – 2020, 257 с.

13. Збірник наукових праць. Випуск 28 (42). Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського господарства України. Дослідницьке 2021.

14. Зінько, Р., Шуляк, М., Скварок, Ю. і Глобчак, М. (2021) «Аналіз методик проектування сільськогосподарських машин», Науковий журнал «Інженерія природокористування», (1(19), с. 75-85. doi: 10.5281/zenodo.6902711.

15. Ковтун Ю. І. Технологічна блочно-варіантна система машиновикористання в землеробстві України: монографія. Частина 1/ Ю. І. Ковтун [та ін.] – Х.: ТОВ «Планета-Прінт», 2020. - 204 с.

16. Машини, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник для здобувачів ступеня вищої освіти закладів вищої освіти / Р. В. Склар, О. Г. Скляр, Н. І. Болтянська, Д. О. Мілько, Б. В. Болтянський. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2019. – 608 с., іл.

17. Практикум з теорії та розрахунку сільськогосподарських машин : навчальне видання / Д. Г. Войтюк [та ін.]. - К. : Видавничий центр НУБіП України, 2022. - 185 с.

18. Практикум з теорії та розрахунку сільськогосподарських машин : навчальне видання / Д. Г. Войтюк [та ін.]. - К. : Видавничий центр НУБіП України, 2022. - 185 с.

19. Протокол випробувань Південно-Української філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого № 2392/1004-03- 2019.

20. Системи точного землеробства [Текст] : підручник / Л. В. Аніскевич [та ін.] ; ред. Л. В. Аніскевич. - Київ : НУБіП України, 2018. - 568 с.

21. Сучасні трактори сільськогосподарського призначення. Закордонні трактори [Текст] : посібник / А. І. Панченко, А. А. Волошина ; Тавр. держ. агротехнол. ун-т. - Мелітополь : Люкс, 2019. - 599 с.

22. Технічний сервіс обладнання лісового комплексу : навчальний посібник / Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський, О. В. Надточій. - К. : НУБіП України, 2020. - 405 с.

23. Трактори та автомобілі [Текст] : навч. посіб. Ч. 3. Шасі / А. Т. Лебедев [та ін.] ; за ред. А. Т. Лебедева, 2004. - 336 с.

24. Трактори та автомобілі [Текст] : навч. посіб. Ч. 4. Робоче, додаткове і допоміжне обладнання / В. М. Антощенков [та ін.] ; за ред. А. Т. Лебедева, 2006. - 164 с.

25. Шкарівський, Григорій Васильович. Трансмісії мобільних машин : навчальний посібник / Г. В. Шкарівський. - К. : ФОП Ямчинський О.В., 2021. - 439 с.

## **ДОДАТКИ**