

РЕФЕРАТ

Магістерська робота за темою: «Розробка методики контролю геометричних розмірів шарикопідшипників на координатно-вимірювальних машинах з метою удосконалення процесу виробництва підшипників»: 106 с., 26 табл., 63 рис., 24 джерела.

ШАРИКОПІДШИПНИКИ, РОЛИКОПІДШИПНИКИ, КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ МАШИНИ, РЕГУЛЯРИЗАЦІЯ ТИХОНОВА, ТОЧНІСТЬ, РАДІАЛЬНЕ БИТТЯ, ОСЬОВЕ БИТТЯ.

Об'єкт дослідження – контроль геометричних розмірів шарикопідшипників на координатно-вимірювальних машинах з метою удосконалення процесу виробництва підшипників.

Метою даної магістерської роботи є підвищення техніко-економічних показників технологічних процесів удосконалення процесу виробництва підшипників.

Методи дослідження – аналітично-чисельний метод при розв'язанні систем алгебраїчних рівнянь у неявному вигляді, методи математичної статистики, регресійний аналіз, експериментальні методи оптимізації з використанням багатофакторних експериментів

У першому розділі доведено, що найбільш ефективним способом контролю геометричних розмірів підшипників є вимірювання на координатно-вимірювальних машинах.

У другому розділі розглянуто основні принципи застосування методів регуляризації для вирішення погано зумовлених завдань.

У третьому розділі розроблено математичну модель вимірювання геометричних розмірів підшипників кочення на координатно - вимірювальних машинах.

У четвертому розділі виконано зіставлення результатів теоретичних розрахунків і експериментальних досліджень.

ЗМІСТ

	С.
СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	5
ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ КООРДИНАТО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН І КОМПЛЕКСІВ	7
1.1 Загальне призначення координато-вимірювальних систем.....	7
1.2 Типи координато-вимірювальних машин	9
1.3 Основний принцип роботи координато-вимірювальних машин...	11
1.4 Розробка моделі для контролю розмірів деталей за допомогою координатно-вимірювальної машини.....	17
2 МЕТОД РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПОГАНО ЗУМОВЛЕНИХ ЗАВДАНЬ	23
2.1 Необумовлені задачі	23
2.2 Погана зумовленість в задачах геометричних вимірів на малих областях	23
2.3 Погана зумовленість завдань вимірювання бігових доріжок підшипників кочення	25
2.4 Використання апріорної інформації при вирішенні задачі визначення параметрів поверхні.....	30
2.5 Використання регуляризації для визначення параметрів кіл.....	31
2.6 Дослідження впливу поганої обумовленості завдання на визначення параметрів тора.....	33
2.7 Дослідження впливу поганої обумовленості на результати вимірювання підшипників різних класів точності.....	38
2.8 Дослідження виникнення помилок у визначенні параметрів поверхонь при використанні методу регуляризації.....	40
2.9 Визначення коефіцієнта регуляризації.....	42

2.10 Особливості вимірювання кілець наполегливих кулькових підшипників.....	52
3 ЗАСТОСУВАННЯ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН ДЛЯ КОНТРОЛЮ КІЛЕЦЬ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ.....	57
3.1 Координатно-вимірювальні машини.....	57
3.2 Контроль параметрів кілець підшипників кочення на координатно-вимірювальних машинах.....	57
3.3 Модуль виміру тороїдальних поверхонь для програми ГеоАрм....	60
3.4 Визначення оптимальної кількості точок на поверхнях для визначення їх параметрів.....	64
3.5 Методика вимірювання кілець підшипників кочення на координатно-вимірювальних машинах.....	71
4 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ РЕГУЛЯРИЗАЦІЯ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КІЛЕЦЬ ПІДШИПНИКІВ.....	78
4.1 Вимірювання кілець підшипників кочення на КВМ.....	78
4.2 Вимірювання кілець підшипника 307А.....	79
4.3 Вимірювання кілець підшипника 206А.....	86
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	95
5.1 Засоби та заходи щодо забезпечення підвищення стійкості об'єкту в надзвичайних ситуація.....	95
5.2 Індивідуальні і колективні засоби захисту. Засоби індивідуального захисту.....	96
5.3 Засоби колективного захисту.....	98
5.4 Заходи з електробезпеки.....	99
5.5 Пожежобезпека.....	99
ВИСНОВКИ.....	104
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	105

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

H – мікротвердість, МПа.

HВ – твердість за Бринелем.

HV – твердість за Вікерсом.

HRC – твердість за Роквелом.

δ – відносне подовження, %.

σ_m – межа текучості, МПа.

σ_σ – межа міцності, МПа.

$\sigma_{0,2}$ – умовна межа текучості, МПа.

σ_{-1} – границя втоми, МПа.

ψ – відносне звуження, %.

μ – коефіцієнт Пуасона.

ВСТУП

В даний час в машинобудуванні і приладобудуванні до числа найбільш важливих і актуальних завдань віднесено докорінне підвищення якості продукції, що випускається.

Надійність правильно сконструйованої машини, функціонування її вузлів в розрахунковому режимі, а значить, і ресурс у визначальній мірі залежать від геометричної точності виготовлення деталей по сполучаються поверхонь. Підвищення вимог до якості машин тягне за собою посилення допусків. Кожне десятиліття допуски посилюються приблизно в 1,5 рази. Одночасно підвищується і частка трудомісткості операцій контролю в технологічному процесі виготовлення деталей і виробів, удосконалюються вимірювальні засоби. У машинобудуванні контроль займає близько 15% загальної трудомісткості продукції, а в капітальних вкладеннях частка засобів вимірювальної техніки та контрольного обладнання сягає 20% обсягу коштів, що витрачаються на технологічне обладнання.

Для повного контролю деталей промисловість отримала широко універсальний, автоматичне, досить гнучкий засіб контролю - координатні вимірювальні машини (КВМ) укомплектовані міні-або мікроЕВМ для управління КВМ і обробки результатів вимірювання. КВМ придатні для контролю деталей з різноманітними поверхнями. З їх застосуванням підвищується точність і достовірність результатів вимірювання. Використання принципів оперативного і діалогового програмування дало можливість спростити застосування КВМ як універсального засобу контролю в одиничному і дрібносерійного виробництва.

1 АНАЛІЗ КООРДИНАТО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН І КОМПЛЕКСІВ

1.1 Загальне призначення координато-вимірювальних систем

В даний час в машинобудуванні і приладобудуванні до числа найбільш важливих і актуальних завдань віднесено докорінне підвищення якості продукції, що випускається.

Надійність правильно сконструйованої машини, функціонування її вузлів в розрахунковому режимі, а значить, і ресурс у визначальній мірі залежать від геометричної точності виготовлення деталей по сполучаються поверхонь. Підвищення вимог до якості машин тягне за собою посилення допусків. Кожне десятиліття допуски посилюються приблизно в 1,5 рази. Одночасно підвищується і частка трудомісткості операцій контролю в технологічному процесі виготовлення деталей і виробів, удосконалюються вимірювальні засоби. У машинобудуванні контроль займає близько 15% загальної трудомісткості продукції, а в капітальних вкладеннях частка засобів вимірювальної техніки та контрольного обладнання сягає 20% обсягу коштів, що витрачаються на технологічне обладнання.

Для повного контролю деталей промисловість отримала широко універсальний, автоматичне, досить гнучкий засіб контролю - координатні вимірювальні машини (КВМ) укомплектовані міні-або мікроЕВМ для управління КВМ і обробки результатів вимірювання. КВМ придатні для контролю деталей з різноманітними поверхнями. З їх застосуванням підвищується точність і достовірність результатів вимірювання. Використання принципів оперативного і діалогового програмування дало можливість спростити застосування КВМ як універсального засобу контролю в одиничному і дрібносерійного виробництва.

КВМ значно спрощує метрологічну підготовку виробництва нового виробу, так як відпадає необхідність створення значної кількості коштів

спеціального вимірювального оснащення. Протокол з результатами контролю, що видається КВМ, підвищує відповідальність виробників за якість обробки.

1.2 Типи координато-вимірювальних машин

Контактні прилади для вимірювання, які називаються координато-вимірювальними машинами (КВМ), вимірюють одночасно в трьох декартових координатах. Традиційна конструкція являє собою три взаємно ортогональні напрямні, X , Y і Z . Конструкція забезпечує переміщення по осях вимірювальної головки з сенсорним управлінням, що працює за принципом торкання (контактний спосіб) або по оптичному принципом (безконтактний спосіб). Шкала по кожній осі дає цифрове високоточне вимірювання відповідних позицій (наприклад, 0,1 мкм). Поряд з цими, зустрічаються координатно-вимірювальні машини, що реалізують інші принципи переміщення робочої частини для вимірювання (вертикальна, горизонтальна, портална). Кожна з цих КВМ призначена для вимірювання і контролю різних за розмірами і зовнішнім обводам деталей і має сукупність достоїнств і недоліків, деякі з яких наведені в таблиці 3. Крім цього координатно-вимірювальні машини підрозділяються на: - машини з ручним керуванням; - машини з автоматичним переміщенням по осях і джойстиком ручного управління, - машини з автоматичним переміщенням по осях і числовим програмним управлінням (CNC). Крім того, існують різні комбіновані схеми, які застосовуються для машин, які об'єднують всі вищевказані принципи. Висока точність вимірювання на КВМ забезпечується:

- прецизійними напрямними, виконаними з твердокам'яних порід, наприклад, з граніту (підстава, балка порталу, повзун);
- конструкцією порталу, виконаного у вигляді жорсткої замкнутої рами; - предметним столом, що виключає деформації підстави і напрямних порталу, що виникають під дією маси вимірюваних важких деталей;

- жорсткими, вібростійкі, прецизійними аеростатичного опорами з малим повітряним зазором і мінімальною витратою повітря;
- віброізолюючий опорами, автоматично підтримують горизонтальне положення підстави КВМ;
- прецизійними фотоелектричними системами вимірювання переміщень вузлів КВМ по всіх координатах.

Високу продуктивність забезпечують сучасні електроприводи на базі високомоментних двигунів з плавним регулюванням швидкостей переміщення вузлів КВМ в широкому діапазоні; автоматичне керування процесом вимірювання проводять за допомогою персонального комп'ютера, що забезпечує обробку результатів вимірювань і їх видачу в зручній для споживача формі.

Таблиця 1.1 - Типові схеми координатно-вимірювальних машин

Тип	Схема	Характеристика типов машин		Примечание
		достоинства	недостатки	
Горизонтальная		Повышенная точность за счет достаточной жесткости системы. Возможность доступа к внутренним точкам объекта	Ограниченная возможность вертикальных перемещений Контроль изделий небольших габаритных размеров	Контроль отливок кубической формы, коробок передач и т.п.
Вертикальная		Наиболее точная из всех типов координатно-измерительных машин	Необходимость термостатированного помещения. Контроль изделий малых габаритных размеров. Высокая стоимость	Тонкие метрологические исследования
Мостовая		Повышенная жесткость элементов, поддерживающих измерительную головку. Возможность загрузки больших деталей.	Наличие четырех стоек по углам машины, затрудняющих загрузку крупногабаритных деталей	Для ошупывания объекта используются электронные средства
Портальная		Повышенная жесткость. Загрузка крупногабаритных объектов. Высокая чувствительность. Наличие массивной плиты стола, позволяющей улучшить условия измерений.	Высокая стоимость	Применение аэроэлектрических подшипников по всем трем осям

Універсальність КВМ досягається розвиненим програмно-математичним забезпеченням з великим набором модульних програм для вимірювання деталей з різними простими і складними поверхнями; системою вимірювальних головок дотику з великим набором щупів різної конфігурації. Вимірювальні головки оснащуються наборами вимірювальних наконечників, які забезпечують можливість контролю максимально великого числа

геометричних параметрів при одному установе деталі, а також контролю діаметрів отворів, концентричності, міжосьових відстаней і т.і.

1.3 Основний принцип роботи координато-вимірювальних машин

Загальний принцип дії координато-вимірювальних машин полягає в тому, що об'єкт вимірювання сканується по точкам щупом зі сферичним наконечником на кінці. Під час кожного контакту зміщення на осях X , Y і Z зчитується за шкалою. Координати точок, визначених вимірювальним наконечником потім передаються в комп'ютер для аналізу. Щоб приступити до роботи, необхідно оцінити якість щупа; іншими словами, визначити діаметр щупа і відстань по X , Y , Z від базової точки.

З цією метою високоточна схема вимірюється щупом не менше ніж в п'яти точках. Всі отримані вимірювання потім зчитуються комп'ютерною програмою з тим, щоб перевірити величину компенсації. У роботі з високоточними вимірами обов'язково потрібно враховувати те, що перевірка виконується із зусиллям від 0,01 Н до 0,2 Н, щоб уникнути вигину консольної частини і щупа. Перед вимірюванням виробу, встановленого на столі КВМ, необхідно визначити систему координат виробу, в якій будуть проводитися всі обчислення.

Система координат зазвичай обчислюється на технічному кресленні і будується на основі даних, наприклад, площин, циліндрів, конусів або контрольних точок на поверхні вільної форми. Вона являє собою систему з шістьма ступенями свободи (рис. 1.1), позначеними трьома нульовими точками на осі і трьома кутами. При визначенні системи координат обчислюються параметри шести ступенів свободи і зберігаються в комп'ютерній програмі для необхідних перетворень координат. Ця процедура, яка називається «математичне вирівнювання», дозволяє не використовувати механічне вирівнювання.

За стандартами координатної метрології існує спеціальний термін для датчика, який пов'язує поверхню вимірюваного об'єкта і систему вимірювання довжини координатно-вимірювальної машини. Цей термін - «щуп». Контактні щупи мають загальне схожість. Загальна риса цих щупів - це опорна поверхня з трьох точок, на якій закріплений вимірювальний наконечник. У простіших механізмах опорна поверхня представлена електричними контактами (рис. 1.2). Як тільки наконечник стосується поверхні, спрацьовує електричний контакт. Недолік цього механізму полягає в тому, що сила торкання щупа неоднакова. Якщо при вимірюванні окружності щуп нахилиється вліво, вимірювана окружність придбає кілька трикутну форму. П'єзоелектричні датчики використовуються на додаток до механіко-електричним контактам.

Це забезпечує постійну точність у всіх вимірювальних напрямках за допомогою низьких вимірювальних сил, які значно зменшують похибку (рис. 1.3). Головним компонентом дотичних 2-східчастих вимірювань є система заміни наконечників за допомогою пластини-тримача. У цьому пристрої може використовуватися навіть довгий (до 200 мм) і відносно важкий (до 200 г) наконечник. П'єзоелектричні датчики дозволяють проводити вимірювання з більш високим рівнем точності. Розпізнавання даних відбувається не тільки від зіткнення з поверхнею, але і від сили взаємодії. При зіткненні з поверхнею враховується сила тиску. На підставі вимірів будуються криві залежності сили від зсуву щупа.

На підставі кривих обчислюється залежність сила-відстань (рис. 1.4). Таким чином, усуваються всі похибки, викликані відхиленнями щупа при різних силах торкання при різних типах поверхні. Щуп, оснащений пьезодатчиком, може бути поміщений на шарнірний пристрій і разом з подовженим щупом може виміряти навіть «важкодоступні» місця поверхні. Щупи, що використовуються у вимірювальних системах, є невеликими координатно-вимірювальними пристроями. Вони складаються з 3 картезіанських систем вимірювання довжини, які встановлені на пружинних

паралелограмах і рухаються паралельно осях вимірювальної машини. Індукційні датчики вимірювання довжини визначають відхилення голки по 3 осях. Їх перетворюють в цифрові дані і додають до координуючим значенням головних осей. На відміну від дотичній, ці системи можуть також визначити всі проміжні напрямки. Це такий метод, який дозволяє робити тривалі вимірювання при будь-якій поверхні і навіть проводити сканування. Щупи нового покоління спроектовані для досягнення підвищеної точності, яка досягається шляхом усунення різних помилок за допомогою електронної системи контролю.

Сила вимірювання і рівень відхилення прямо пов'язані з доступною точністю. Різниця в силі вимірювання залежить від того, пасивна або активна це система. Пасивні системи співвідносять пружини з вимірювальною силою і, відповідно до їх головним принципом роботи, з невеликим рівнем відхилення. Величину сили вимірювання і відхилення голки важко визначити. Щупи з пасивною системою відносно невеликі, і вони тільки можуть тримати маленьку голку без допомоги системи заміни голок. В активних системах величина і напрямок вимірювальної сили контролюються електронними пружинами, що складаються з соленоїдів в кільцевих магнітів. Сила вимірювання майже не змінюється і завжди спрямована перпендикулярно до вимірюваної поверхні. Спеціально спроектований щуп застосовується для високошвидкісного сканування в технології зміни точності і швидкості вимірювання. Він включає в себе характеристики описаного раніше щупа і є найважливішим приладом сканування в індустрії. Все щупи, описані вище, оснащені системою заміни наконечників.

При заміні, новий щуп фіксується в тому ж положенні, тобто для подальших вимірювань не потрібно ніяких поправок. Система заміни наконечників має істотну перевагу перед шарнірної системою вимірювання, яке полягає в набагато більшому діапазоні вимірювання. Дія датчика, відомого як «автосканер», засноване на принципі тріангуляції. Лазерний промінь

спрямовують на робочу поверхню під кутом приблизно 20 градусів через оптичну систему. Інша оптична система відображає відображену променем точку на фоточутливому діоді. Залежно від відстані між датчиком і вимірюваної поверхнею, яка відображається точка відбивається на діодах, даючи можливим визначити відстань. Датчик одночасно утворює 10 паралельних ліній на скануючої доріжці на відстані 1 мм. За 1 секунду датчик ловить близько 400 точок. Так як датчик автоматично пристосовується до відображає властивостями різних поверхонь, він здатний досліджувати різні матеріали, тобто і матеріали з поверхнею, що розсіює світло: пластилін, деревина, піна, шкіра, тканини і оббивні матеріали. Додаткова вісь обертання дозволяє лазеру перебувати паралельно вимірюваної контурної лінії. Разом з шарнірним тримачем координатно-вимірювальна машина має 6 осей, в тому числі осі X, Y, Z і вісь обертання датчика, яка контролюється автоматично сигналом датчика на базі вирівнювання контурних ліній, мірних ліній та інформації про відстані. Щуп завжди розташований в правильній вимірювальній позиції під час автоматичного сканування. Ця техніка в основному застосовується в області проектування.

Вимірювання форми за допомогою координатно-вимірювальної машини дає істотні переваги користувачеві: а) не потрібно механічне вирівнювання виробу; б) не потрібно окремо визначати вимірювальну систему; в) оскільки вимірювальні об'єкти можуть залишатися нерухомими, можна вимірювати дуже великі вироби. Щупи для вимірювання форми відрізняються: - малої вимірювальної похибкою; - як правило, дуже маленьким діаметром наконечника щупа. Допуск потрібно робити відповідно до діаметру щупа. Розмір діаметра слід встановлювати так, щоб можна було фіксувати найбільшу висоту вершин. Координатно-вимірювальні машини підходять не тільки для вимірювання окружності і координат циліндра, а й для вимірювання прямолінійності і площинності.

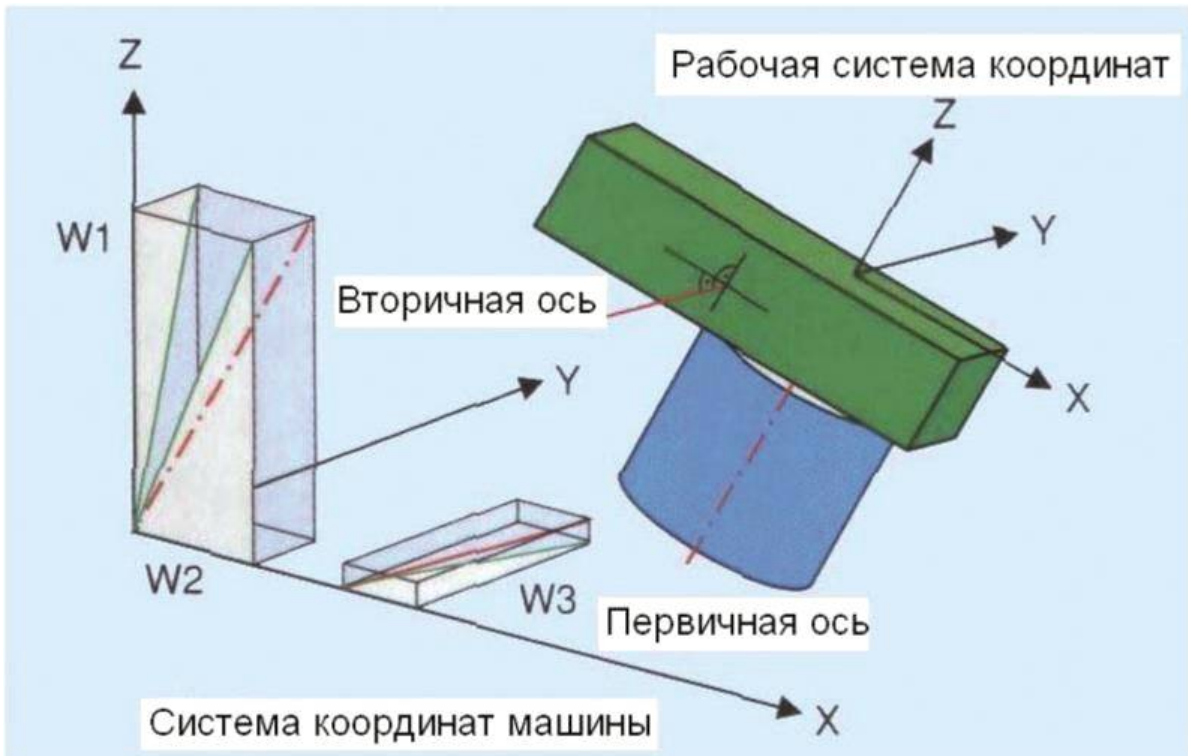


Рисунок 1.1 - Система координат виробу, побудована з осей W1 і W2 і нормалі W3 на передній поверхні, спроектованої на площину XY. Нульові точки X і Y лежать на осьовому циліндрі, Z - на вершині поверхні

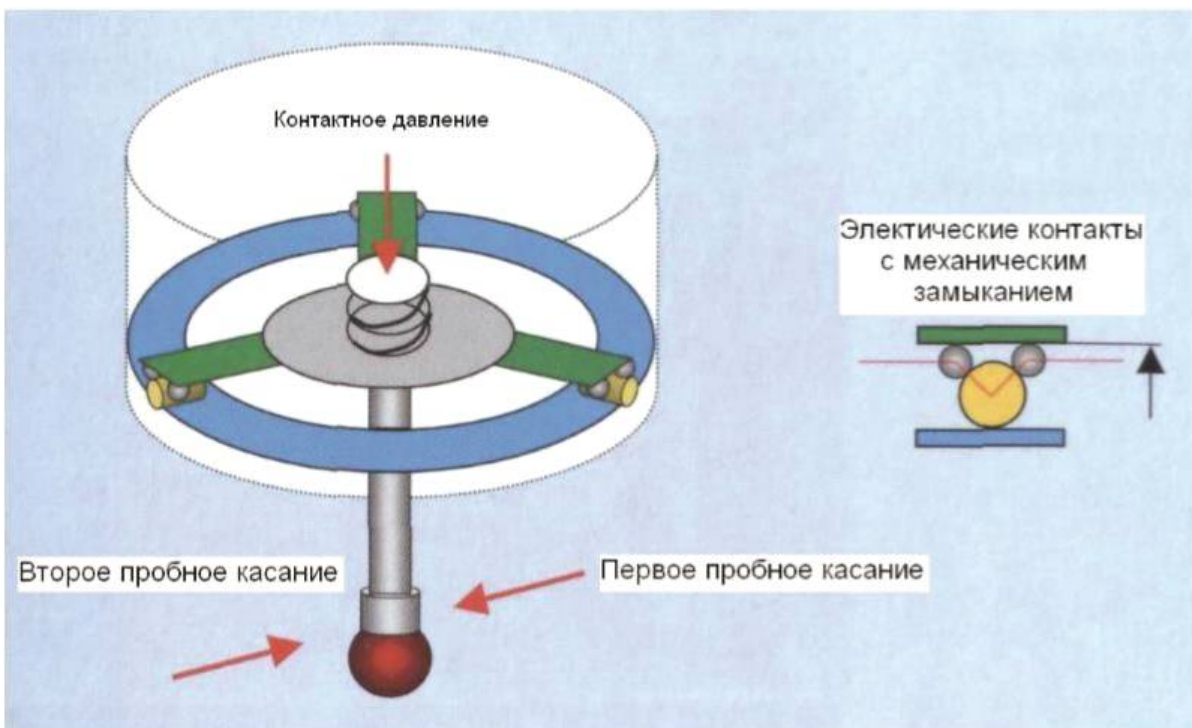


Рисунок 1.2 - Принцип роботи дотичного щупа з електричними контактами, що утворюють механічне замикання



Рисунок 1.3 – Щуп з п'єзоелектричним датчиком і системою заміни наконечників

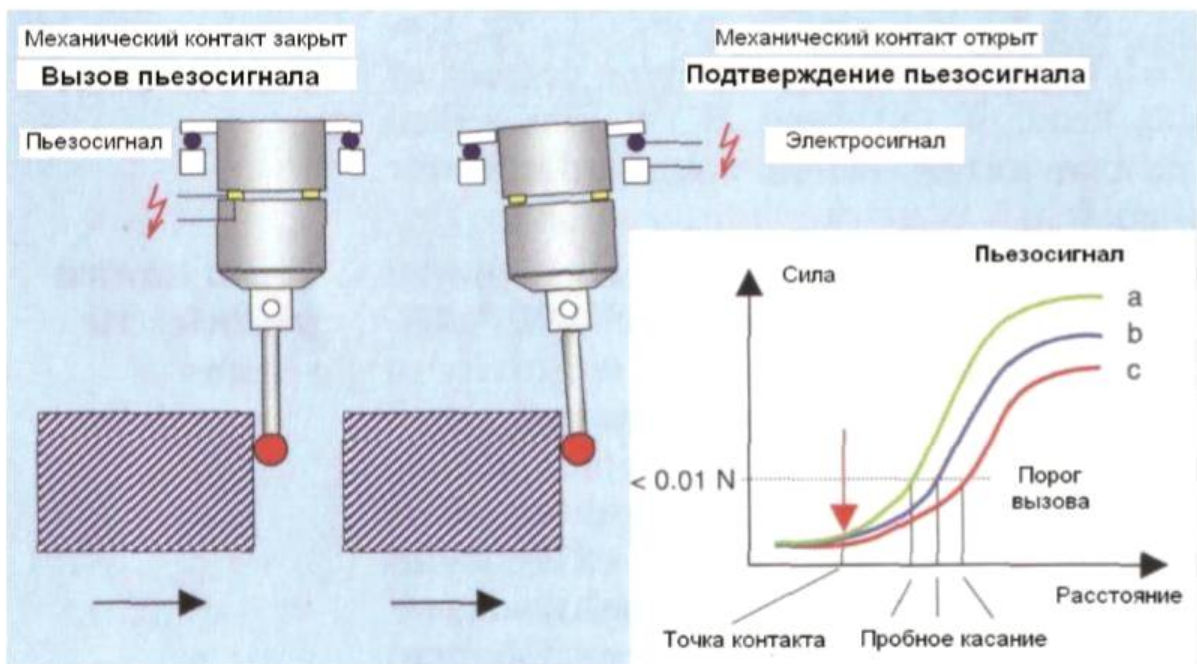


Рисунок 1.4 - Використання п'єзодатчика на стандартних поверхнях, на масляних поверхнях, на дуже м'якій поверхні

1.4 Розробка моделі для контролю розмірів деталей за допомогою координатно-вимірювальної машини

З розвитком і впровадженням в процес виробництва систем автоматизованого проектування стають актуальними питання їх застосування при вимірюванні і контролі різних об'єктів виробничої діяльності. Особливо це важливо для відділів метрології, сертифікації та ліцензування підприємств. На підприємствах метрологічна служба може бути оснащена високоточною координатно-вимірювальною машиною (КВМ). На сьогоднішній день існують координатно-вимірювальні машини різних типів, які реалізують методи вимірювань, в залежності від використовуваного програмного забезпечення. Тому вибір координатних вимірювальних систем є невід'ємною частиною технології виробництва і повинен опрацьовуватися на етапах проектування і розробки технологічних процесів із залученням фахівців з координатним виміром. В сучасних координатно-вимірювальних машинах є можливість повністю автоматизувати як процес вимірювання координат окремих точок, так і процес обробки результатів цих вимірювань. КІМ цілком можна віднести до засобів автоматизації контролю розмірів. Основне призначення КВМ - вимір відхилень розташування поверхонь, хоча на них можна вимірювати практично всі нормовані в машинобудуванні геометричні параметри (крім шорсткості).

Конструктивна схема КВМ складається з механічної частини, що здійснює вимірювальні переміщення, і електронно-обчислювальної частини з програмно-математичним забезпеченням. Суть вимірювань за допомогою координатно-вимірювальної машини полягає в знятті точок при контакті щупа з поверхнею деталі. При торканні (контакті) наконечника датчика контакту з точкою на вимірюваній поверхні датчик видає команду для зчитування значень координат X , Y , Z . При цьому можливі два способи вимірювання: метод прямих безпосередніх вимірювань (вручну); метод з використанням САД-моделі. В умовах дрібносерійного і досвідченого виробництва при експлуатації координатно-вимірювальної машини застосовується, як правило,

метод прямих безпосередніх вимірювань. Однак, при впровадженні деталі в серійне виробництво, де потрібна висока швидкість роботи і відсутня можливість виробляти постійні вимірювання, актуальною стає проблема використання систем автоматизованого проектування і розробки математичної моделі по CAD-моделі.

Розглянемо обидва методи вимірювань з використанням координатно-вимірювальної машини INFINITE. Портативний координатно-вимірювальний маніпулятор серії INFINITE представлений на малюнку 1. Маніпулятор, виробництва компанії CimCore сертифікований Федеральним агентством з технічного регулювання і метрології, зареєстрований в Державному реєстрі засобів вимірювальної техніки і допущений до застосування в РФ. Має наступну структуру:

- Підставка для системи кріплення;
- Вбудована LI-ION акумуляторна батарея забезпечує автономну роботу маніпулятора;
- Бездротовий зв'язок з комп'ютером за допомогою Wi - Fi забезпечує високу мобільність;
- Електроніка нового покоління з вбудованими функціями діагностики (ЧПП комп'ютера);
- Вимірювальні датчики, виготовлені за специфіки CimCore;
- Новий незнімний противагу, який полегшує роботу з маніпулятором;
- Необмежена обертання основних осей (шарнір);
- Плече маніпулятора;
- Швидкозамінні, автоматичні розпізнаються щупи.

При використанні методу прямих безпосередніх вимірювань в програмі PowerINSPECT (поставляється разом з КВМ) задаються окремі елементи деталі для визначення їх параметрів або розмірів. Потім за допомогою координатно-вимірювальної машини знімаються точки заданих елементів на

деталі, і після цього в програмі PowerINSPECT створюється математична модель вимірюного елемента.

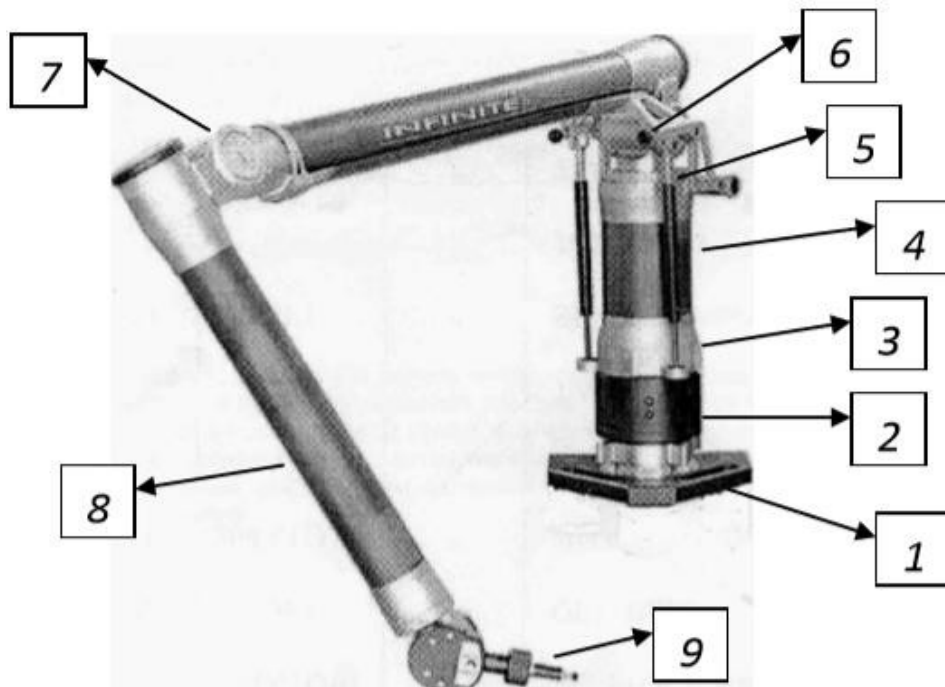


Рисунок 1.5 - Портативний координатно-вимірювальний маніпулятор

Отримавши математичні моделі декількох елементів, можна за допомогою спеціальних функцій програми визначати відстані між вимірюваними об'єктами, а так само такі характеристики як співвісність, перпендикулярність, паралельність. Ці характеристики часто необхідні при визначенні точних розмірів деталі. Процес вимірювань розглянутим вище методом займає багато часу через необхідність проведення всіх цих операцій при вимірюванні кожної деталі, що робить неможливим контроль крупносерійного виробництва деталей. Процес створення CAD-моделі деталі полягав в її побудові за допомогою двовірних геометричних примітивів AutoCAD, таких як точка, лінія, дуга окружності або прямокутника, перетворення отриманої двовірної моделі в тривірну 3D- модель за допомогою функції видавлювання. Для розробки CAD-моделі використовують необхідну технічну документацію на деталь. PowerINSPECT, після завантаження в нього.

CAD-моделі, перетворює її в математичну модель програми (рис. 1.6.), використовуючи інформацію тільки про точках і їх координатах по всіх осях.

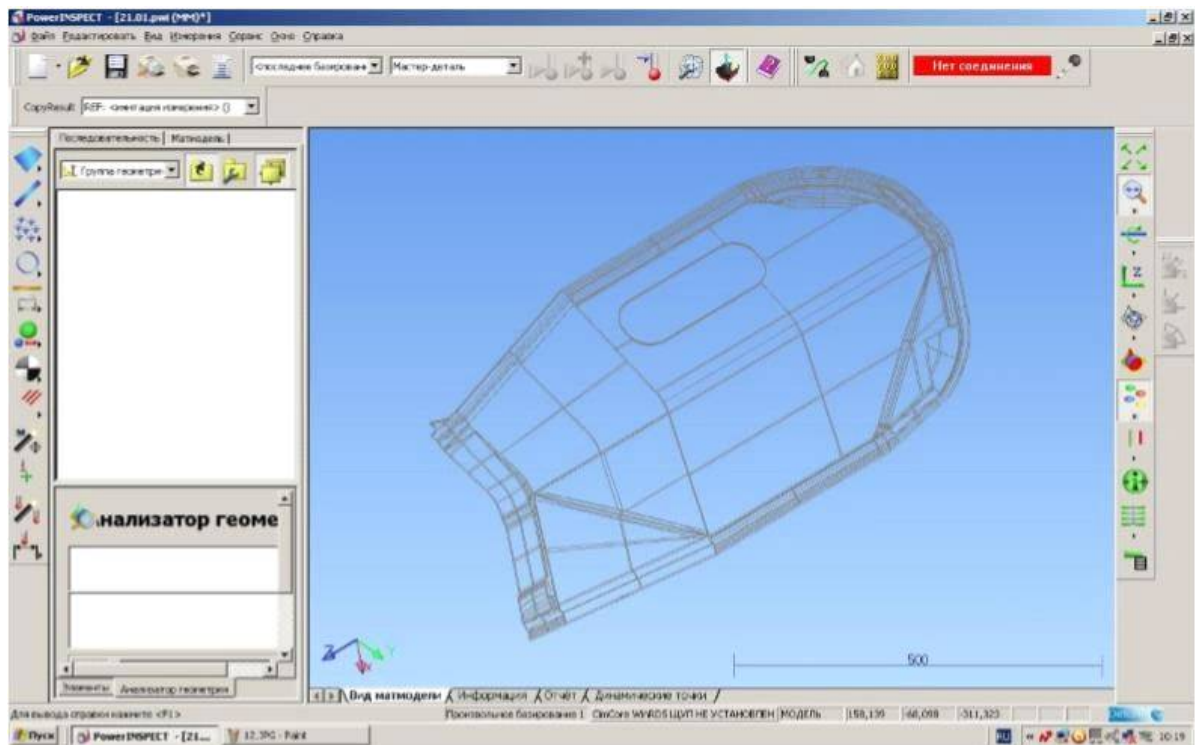


Рисунок 1.6 - Математична модель деталі в PowerINSPECT, побудована по CADмоделі

Потім PowerINSPECT виконує поєднання систем координат реальної деталі і її математичної моделі. Для цього використовується довільне базування в 6 точках математичної моделі. За допомогою координатно-виміральної машини задані точки знімаються з поверхні деталі і порівнюються з відповідними координатами цих точок на матмоделі. В кінці вимірювань формується звіт, який крім табличній частині, що дозволяє оперувати точними значеннями в конкретних точках (вказано конкретне значення координат X, Y і Z і відхилення точки для кожної координати), відображає більш наочну графічну інформацію. Звіт про результати вимірювань генерується автоматично в різних форматах і може бути налаштований у відповідності до діючих на підприємстві правил. Результати вимірювань передаються замовнику для прийняття ним рішення про

придатність або непридатність деталі. Приклад екранної форми математичної моделі деталі, побудованої по CAD-моделі з точками, що виходять за поля допуску в позитивну або негативну сторону, представлений на Рис 1.7. У разі не збіги точок вони зображені на матмоделі червоним при відхиленні в позитивну сторону, і синім - при відхиленні в негативну сторону. Відповідно вони відображаються в меню зліва.

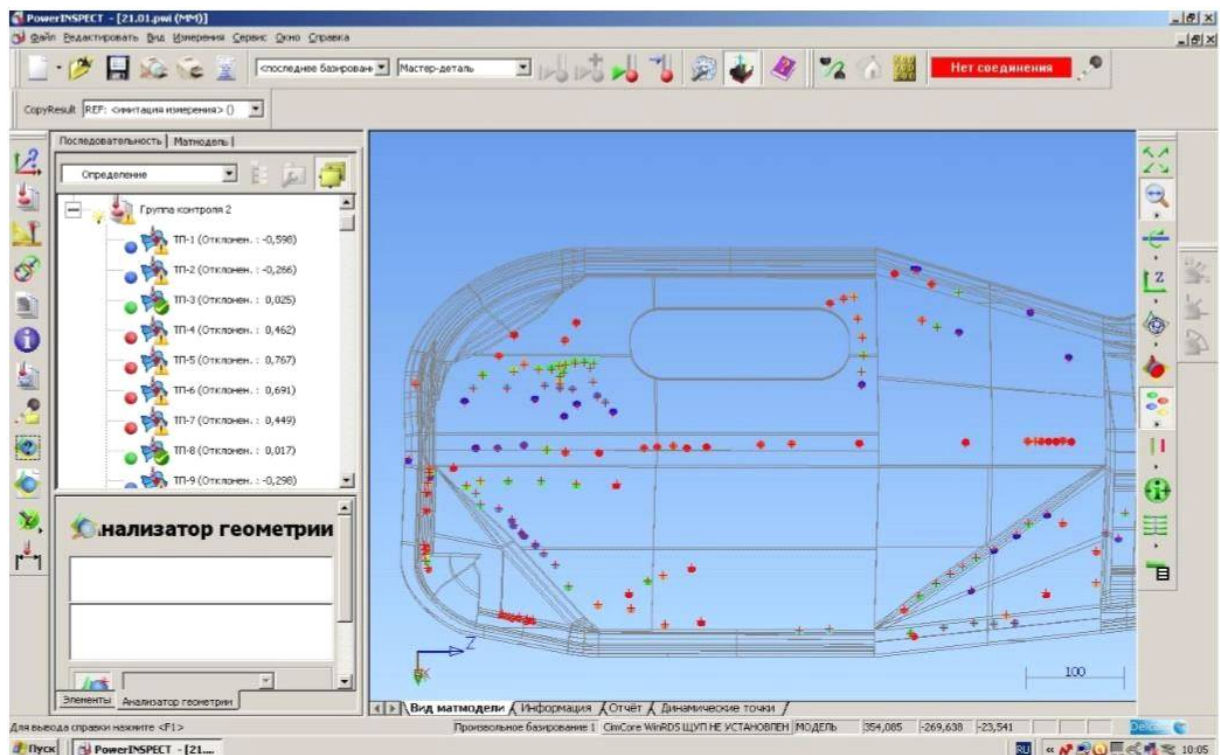


Рисунок 1.7 - Математична модель деталі з незбіжними знятими точками

Таким чином, метод вимірювань по CAD-моделі дозволяє прискорити процес контролю за рахунок того, що CAD-модель створюється один раз для контрольованої деталі, і при крупносерійному виробництві залишається лише зняти задані точки, порівняти і вивести результати вимірювань в звіт. В результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи була розроблена методика побудови математичної моделі заданої деталі з застосуванням системи автоматизованого проектування AutoCAD і координатно-вимірювальної машини INFINITE в відділі метрології сертифікації та ліцензування ВАТ «Уралтрансмаш». Методика була апробована, проведені

коригуючі заходи. На даний момент методика визнана ефективною і за результатами узгодження знаходиться на етапі впровадження.

2 МЕТОД РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПОГАНО ЗУМОВЛЕНИХ ЗАВДАНЬ

2.1 Необумовлені задачі

Серед математичних задач виділяється клас завдань, вирішення яких нестійкі до малих змін вихідних даних, що актуально для вимірювальних завдань, де дані отримують з деякою погрішністю. Вони характеризуються тим, що малі зміни вихідних даних можуть призводити до великих змін рішень. Завдання такого типу, по суті, є погано поставленими. Вони належать до класу некоректно поставлених задач [17].

Було відмічено, що вимірювальні прилади, що служать для вимірювання радіусів дуг криволінійних поверхонь і їх відхилень від правильної геометричної форми, наприклад, профілю доріжок кочення кілець кулькових підшипників дають великі похибки вимірювань від 3 до 50 мкм і більше при високій роздільній здатності [18]. Це пов'язано з недосконалістю програмного забезпечення вимірювальних машин, а чи не зі своїми апаратними особливостями.

2.2 Погана зумовленість в задачах геометричних вимірів на малих областях

При вимірюванні деталей на координатно-вимірювальних машинах, коли вимірювані об'єкти представлені вигляді невеликих сегментів, звичайні методи визначення параметрів об'єктів дають великі помилки.

У програмному забезпеченні КВМ для визначення параметрів об'єктів зазвичай використовується метод найменших квадратів. При цьому вирішується завдання визначення параметра об'єкта (радіуса, кута нахилу і т.п.) так, щоб сума квадратів відстаней від вимірюваних точок до математичного об'єкта була мінімальною.

$$F(a) = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

де $a = a_0, a_1, \dots, a_i, \dots, a_k$ – шукані параметри об'єкта;

$\delta_i = |P_i| - |P'_i|$ – відхилення вимірних точок від математичного об'єкта

P_i – виміряна точка;

$|P'_i|$ – точка на математичній поверхні, відповідна їй.

Завдання визначення параметрів об'єкта зводиться до мінімізації функції (2.1) або до вирішення систем рівнянь в окремих випадках, коли це можливо. В обох випадках у вирішенні задіяні матриці, які обчислюють за координатами вимірних на об'єкті точок. Якщо вимірюється мала область об'єкта, то обумовленість матриці стає гірше, тобто точка мінімуму функції (2.1) стає чітко вираженою, вона знаходиться на деякому

«Плато» з дуже маленьким градієнтом. Програма мінімізації в такому випадку перестає відчувати зміна значення функції і вибирає в якості рішення випадкову точку, що веде до більших помилок у визначенні параметрів об'єктів. Що стосується виконання завдання пошуку параметрів шляхом вирішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь відбувається схожа ситуація (рис. 2.1).

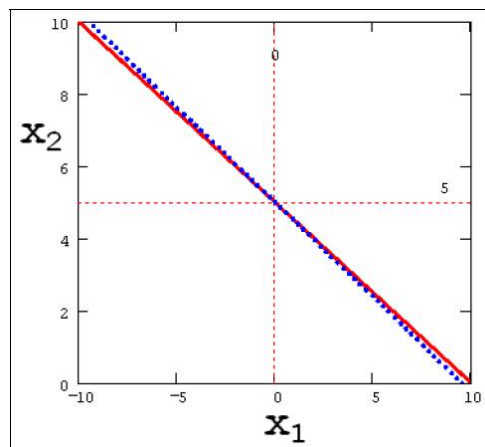


Рисунок 2.1 –Графік погано обумовленої СЛАУ

На графіку видно, що прямі розташовуються в безпосередній близькості один від одного і майже паралельні. Таким чином малі помилки в їх позиціонуванні приведуть до великих помилок в рішенні [41].

2.3 Погана зумовленість завдань вимірювання бігових доріжок підшипників кочення

З метою довести, що основною причиною великих помилок при контролі бігових доріжок підшипників є наявність поганої обумовленості даного завдання було проведено дослідження на КІМ DKM 1 300DP по геометричному контролю тороїдальної поверхні бігової доріжки внутрішнього кільця підшипника № 6-50306. Координатно-вимірювальна машина DKM 1-300DP виробництва Carl Zeiss Jena володіє наступними характеристиками:

- переміщення по осі X 320 мм,
- переміщення по осі Y 220 мм,
- переміщення по осі Z 150 мм,
- похибка вимірювань $\pm(3 + L/200)$ мкм.

Були проведені вимірювання за допомогою модуля вимірювання тороїдальних поверхонь для програми ГеоАрм. Поверхня бігової доріжки вимірювалася в 4-х перетинах, кожне з яких містило 5 точок.

У табл. 2.1 представлені результати вимірювання бігової доріжки кільця кулькового підшипника. Була виміряна бігова доріжка кільця кулькового підшипника 7 разів і визначені параметри тора, який вона з себе представляє. D - діаметр тора, R - радіус його утворює окружності, Eform - відхилення форми. Так само була розрахована різниця Δ між найбільшим і найменшим з отримує значення параметрів.

$$\Delta D = D_{\text{макс}} - D_{\text{мін}}, \quad (2.2)$$

$$\Delta R = R_{\text{макс}} - R_{\text{мін}}$$

Аналіз значень відхилення форми і параметрів тора, в таблиці 2.1 показує, що при невеликому розкиді значень відхилення форми тора (ΔE_{form}), розкид в значеннях радіусів становить величину на порядок більшу. Це спостереження дає привід задуматися про погану обумовленість завдання вимірювання бігових доріжок кулькових підшипників.

Таблиця 2.1 - Результати вимірювань бігової дорожки кільця підшипника

D, мм	R, мм	Eform (відхилення форми) мм
26,193	5,197	0,004
26,199	5,202	0,003
26,198	5,201	0,003
26,200	5,203	0,003
26,203	5,206	0,003
26,202	5,205	0,003
26,198	5,201	0,004
$\Delta D = 0,010$	$\Delta R = 0,010$	$\Delta E_{\text{form}} = 0,001$

Щоб підтвердити припущення про погану обумовленість завдання вимірювання бігових доріжок підшипників кочення, висунуте вище, був проведений обчислювальний експеримент, суть якого аналогічна попередньому, але завдяки тому, що всі дані розрахункові виключаються можливість виникнення помилок, пов'язаних з роботою вимірювальної техніки.

Для проведення експерименту була згенерована поверхня тора, що імітує жолоб бігової доріжки кільця підшипника. На поверхні цього тора, були нараховані точки, а потім їх координати були «зіпсовані» випадковими нормально розподіленими величинами ξ_i зі стандартним відхиленням $s =$

0,003 мм. Тим самим були змодельовані випадкові похибки при вимірах. Таким способом було згенеровано 7 різних наборів даних. За цими даними за допомогою модуля вимірювання тороїдальних поверхонь для програми ГеоАрм були побудовані тори. Їх параметри зведені в табл. 2.2.

Відзначимо, що розкид значень відхилення форми і радіусів тора порівнянні зі значеннями, отриманими раніше при реальних вимірах (табл. 2.1). Ця обставина служить ще одним підтвердженням поганої обумовленості даної вимірювальної завдання.

Таблиця 2.2 - Результати вимірювання математичної моделі тора з сектором утворює окружності 90 градусів

D, мм	R, мм	Eform (відхилення форми), мм
26,199	5,203	0,003
26,200	5,202	0,004
26,201	5,201	0,004
26,203	5,200	0,003
26,199	5,203	0,004
26,194	5,206	0,004
26,203	5,200	0,004
$\Delta D=0,009$	$\Delta R=0,007$	$\Delta E_{form}=0,001$

Помилки у визначенні параметрів поверхонь, на порядок більші, ніж помилки у вхідних даних (координатах виміряних точок) повинні теоретично виникати тільки в разі, якщо вимірюється малий сегмент поверхні. Логічно припустити, що зі збільшенням сектора утворює окружності тора помилки у визначенні його параметрів повинні стати величинами, які можна порівняти з відхиленням форми тора. Для перевірки цього припущення було проведено ряд обчислювальних експериментів.

Для їх підготовки були згенеровані тороїдальні поверхні з секторами утворюють їх кінці 70, 100, 110 і 180 градусів. На поверхні цих торів, були нараховані точки, а потім їх координати були «Зіпсовані» випадковими нормально розподіленими величинами ξ_i зі стандартним відхиленням $s = 0,003$ мм. Таким чином, було отримано 4 комплекти точок, кожен з яких налічував 7 різних варіантів. З використанням одержані даних були розраховані параметри торів, результати розрахунків для тора з сектором утворює окружності, рівним 180 градусів наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Результати вимірювання тора з сектором окружності 180°

D, мм	R, мм	Eform (відхилення форми), мм
26,202	5,201	0,003
26,201	5,202	0,004
26,201	5,202	0,004
26,201	5,202	0,003
26,201	5,202	0,005
26,200	5,203	0,004
26,201	5,202	0,005
$\Delta D = 0,002$	$\Delta R = 0,002$	$\Delta E_{form} = 0,002$

Проаналізувавши дані, представлені в таблиці 2.3 можна переконатися в справедливості припущення того, що зі збільшенням сектора утворює окружності тора будуть зменшуватися помилки у визначенні його параметрів, так як значення ΔE_{form} порівняно з величинами ΔD і ΔR .

Дані отримані за всіма розділами точок були оброблені і представлені вигляді графіка на рис. 2.2.

По осі абсцис відкладені кутові розміри утворює окружності тора в градусах, по осі ординат відкладені помилки у визначенні радіуса утворює

окружності в мм. Подивившись на графік можна зробити висновок про те, що зі збільшенням сектора утворює окружності помилки у визначенні параметрів тора стають порівнянними з помилками у вхідних даних, про які свідчить величина відхилення форми, а значить погана обумовленість задачі зникає.

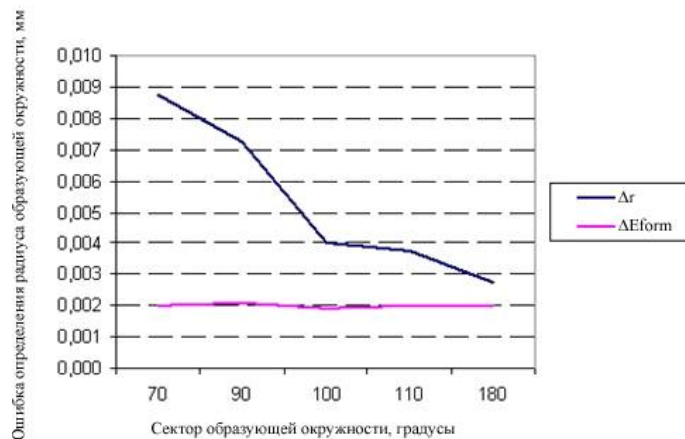


Рисунок 2.2 - Графік залежності розкиду значень параметрів тора від величини сектора окружності

При розрахунку параметрів тора в програмі ГеоАрм вирішується завдання мінімізації, тобто значення параметрів поверхні підбираються таким чином, щоб сума квадратів відхилень вимірних точок від поверхні була мінімальною. У разі завдання погано обумовленої поверхні вирішення такої задачі повинне представляти функцію з явно вираженою точкою мінімуму. Для перевірки цього припущення була побудована поверхня, утворена сукупністю всіх можливих варіантів вирішення завдання. У параметри тора підставлялися всі значення з розумного проміжку з малим інтервалом, і розраховувалася сума квадратів відхилень.

Графік, зображений на рис. 2.3 описує поверхню вирішення задачі знаходження параметрів тора з сектором утворює в 90 градусів, що відповідає біговій доріжці кілець кулькових підшипників. За горизонтальним

осях відкладені значення діаметра тора D і радіусу його утворює окружності r , на вертикальній осі відкладені значення суми $\sum_{i=1}^n \delta_i^2$.

Ця поверхня наочно ілюструє природу погано обумовленої завдання. При використанні методу найменших квадратів поверхню рішення являє собою «провал» з майже горизонтальним дном, тобто в залежності від початкового наближення при мінімізації рішення може виявитися в будь-якій точці на дні отриманого «яру» з огляду на те, що немає чітко визначеної точки, в якій би відхилення форми була мінімальною.

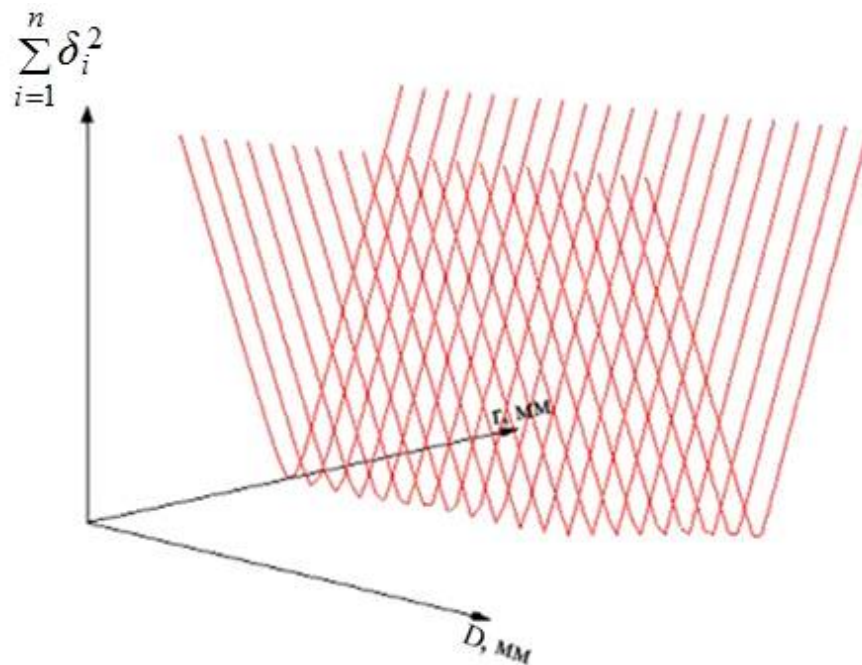


Рисунок 2.3 - Поверхні рішень задачі знаходження параметрів тора традиційним способом

Проведені обчислювальні експерименти і реальні вимірювання на координатно-вимірювальній машині демонструють і доводять присутність поганої обумовленості в розглянутій вимірювальній задачі. Це означає, що для повноцінного контролю радіуса жолоба бігової доріжки і її діаметра необхідне вдосконалення методу розрахунку.

2.4 Використання апіорної інформації при вирішенні задачі визначення параметрів поверхні

Одним із шляхів вирішення проблеми поганої обумовленості може бути використання методу регуляризації, автором якого є академік А.Н.Тихонов [18]. Суть методу полягає в додаванні до умові завдання якоїсь додаткової (апіорної) інформації, що приводить задачу до коректної, тобто добре обумовленою. Наприклад, для погано обумовленої системи лінійних рівнянь $Ax = b$ рішення можна отримати за допомогою функціоналу:

$$\Omega(x, \lambda) = |Ax - b|^2$$

де λ – позитивний коефіцієнт регуляризації

x_0 – апіорний вектор рішення.

При $\lambda \rightarrow 0$ задача зводиться до вихідної погано обумовленою, а при великих значеннях λ стає добре обумовленою з рішенням, що збігається з x_0 .

Якщо застосувати подібний підхід до задачі знаходження параметрів об'єктів, представлених в конструкції деталі малими сегментами за допомогою операції мінімізації суми квадратів відхилень (2.1), то вийде такий вираз:

$$\Phi(a) = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 + \text{reg}(a, w)$$

де $\sum_{i=1}^n \delta_i^2$ – сума квадратів відхилень, n вимірних точок, від побудованої поверхні;

$$\text{reg}(a, w) = w \sum_{i=1}^k \left(a_i - a_{i \text{ ном}} \right)^2 \quad (2.5)$$

Таким чином, вводячи в задачу регуляризуючого ланка, що характеризує відхилення параметрів від їх номінальних значень, можна отримати чітку точку мінімуму в функції мінімізації.

2.5 Використання регуляризації для визначення параметрів кіл

Було проведено дослідження можливості застосування методу регуляризації академіка А.Н. Тихонова для вирішення завдання визначення параметрів кола, представленої в конструкції деталі малим сектором. В ході цього дослідження було проведено вимірювальний експеримент, який полягав у вимірі на координатно-вимірювальній машині різних секторів зразкового кільця, з відомим діаметром рівним 27,000 мм (рис. 2.4).

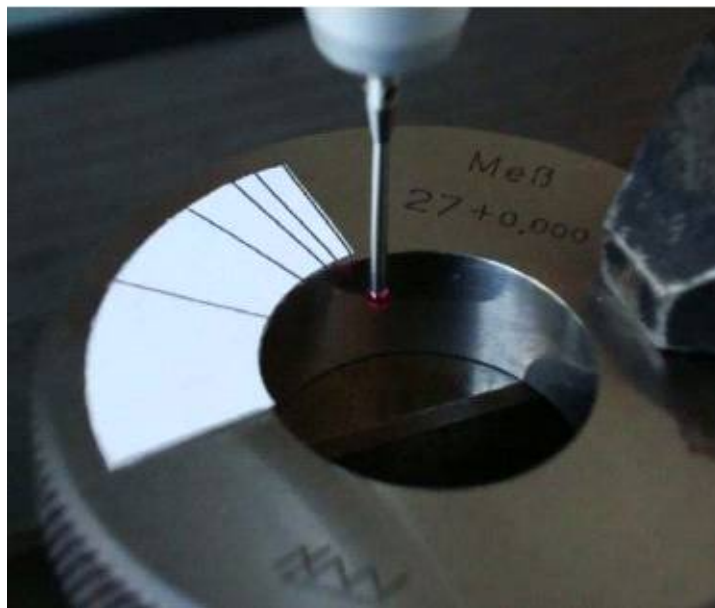


Рисунок 2.4 - Вимірювання зразкового кільця на КВМ

Вимірювалися сектора кільця в 6, 11, 22, 45 і 90 градусів, і для кожного з цих випадків проводились розрахунки традиційним методом (без включення регуляризуючого члена), що показують відхилення від круглості одержані кіл, а також відхилення значення їх діаметра від номінального. Ці розрахунки наочно вказують на те, що традиційний метод показує незадовільні результати вже в тому випадку, коли сектор кола дорівнює 45 градусам, зі зменшенням сектора спостерігалось подальше погіршення результатів. Далі розрахунки були повторені, але з додаванням в функцію визначення параметрів кола даних про номінальних значеннях діаметра кола та її центру. Отримані результати були стабільними і задовольняли

величиною полів допусків вимірюваного виробу. Детальніше про це дослідження можна прочитати в статті «Новий метод визначення геометричних параметрів об'єктів при вимірах на малих областях» [19].

Визначення параметрів тора в програмі ГеоАрм схоже з операцією визначення параметрів кола, хоч побудова тороїдальних поверхонь і більш складна функція з великою кількістю параметрів. Логічно припустити, що якщо такий підхід працює для простих операцій, як обчислення параметрів кола, то він може спрацювати і для більш складних.

Якщо застосувати метод регуляризації для тороїдальних поверхонь шляхом модифікації мінімізується (рис. 2.4) за рахунок включення в неї відхилень визначених параметрів від їх номінальних значень, функція отримує вид:

$$\Phi(D, R, P_0, V) = F(D, R, P_0, V) + w(D - D_{ном})^2 + w(R - R_{ном})^2 + w(P_0 - P_{0ном})^2 + w_V(V - V_{ном})^2 \quad (2.6)$$

де $D_{ном}$, $R_{ном}$, $P_{0(ном)}$, $V_{ном}$ – номінальні значення параметрів.

w - коефіцієнт регуляризації для лінійних величин;

w_V - коефіцієнт регуляризації для кутових величин.

2.6 Дослідження впливу поганої обумовленості завдання на визначення параметрів тора

Вираз (2.6) описує функцію мінімізації з включенням в неї апріорної інформації про всі параметри тора, але це не є необхідним, так як малий розмір сектора утворює окружності тора повинен впливати не на всі параметри тора. Для перевірки цього припущення і оцінки можливості вимірювання параметрів жолоба бігової доріжки кулькових підшипників на КІМ немодифікована методом найменших квадратів були проведені обчислювальні експерименти, що імітують вимірювання на координатно-вимірювальній машині тороїдальних поверхонь з сектором утворює 80-90 градусів. Обчислювальні експерименти полягали в наступному: була згенерована поверхня тора, що імітує жолоб

бігової доріжки кільця підшипника. На поверхні цього тора, були нараховані точки $P_i = (X_i, Y_i, Z_i)$. Розташування точок вибиралося таким чином, щоб їх положення відповідало доступною для вимірювання на справжніх деталях області (рис. 2.5).

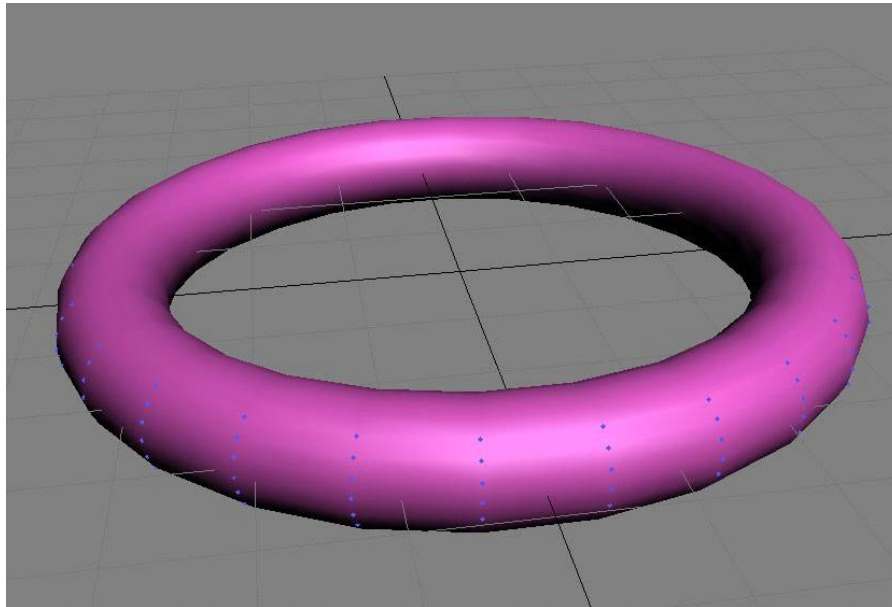


Рисунок 2.5 - Розташування розрахункових точок на поверхні тора

Координати отриманих точок були «зіпсовані» нормально розподіленими випадковими числами ξ_i зі стандартним відхиленням $s = 0,01$. Це зроблено з метою імітувати процес вимірювання і виникають при цьому похибки, які можуть з'явитися через недосконалість вимірювальної техніки і якості вимірюваної поверхні.

$$P'_i = (X'_i, Y'_i, Z'_i)$$

$$X'_i = X_i + \xi_i, Y'_i = Y_i + \xi_i, Z'_i = Z_i + \xi_i \quad (2.7)$$

При визначенні параметрів тороїдальних поверхонь деталей (наприклад, таких, як жолоб бігової доріжки кільця кулькових підшипників) на КВМ необхідно виміряти мінімум 3 перетину, в кожному з яких береться

за 3 точки. Таке мінімальну кількість точок обумовлено тим, що початкові наближення для радіуса перетину тора визначається, як середній радіус вимірних перерізів. А початкові наближення для інших параметрів тора визначаються за допомогою кола, що проходить через центри вимірних перерізів. Такий спосіб вимірювання по мінімальному набору точок не забезпечує високої точності вимірювань тому, слід вибрати інший спосіб, що дає достатні точності показники, але найменш трудомісткий. Експерименти показали, що цим вимогам задовольняє спосіб вимірювання тора по 4-м перетинах, кожне з яких виміряно по 4-м точкам.

Для визначення геометричних параметрів тора (центральної точки, вектора осі, діаметра і радіуса утворює кола) за координатами вимірних точок застосуємо метод найменших квадратів. Для цього потрібно мінімізувати функцію

$$F(D, R, P_0, V) = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \quad (2.8)$$

де $\sum_{i=1}^n \delta_i^2$ - сума квадратів відхилень n вимірних точок, від побудованої поверхні;

D, R, P_0, V - параметри тора, що визначаються: діаметр, радіус утворює кола, координати центральної точки і вектора осі тора (рис. 2.6).

Оскільки параметри згенерованої поверхні відомі ($D_{\text{ном}}, R_{\text{ном}}$) - є можливість оцінити помилки, що виникають у визначенні параметрів вимірюного тора ($D_{\text{изм}}, R_{\text{изм}}$), а також при визначенні його положення і орієнтації в просторі. Отримані значення відхилень параметрів тора

$$\begin{aligned} \Delta D &= |D_{\text{изм}} - D_{\text{ном}}| \\ \Delta R &= |R_{\text{изм}} - R_{\text{ном}}| \end{aligned} \quad (2.9)$$

Для того щоб оцінити помилку у визначенні положення тора в просторі, слід оцінити відхилення положення його центральної точки.

Значення відхилень положення центральної точки($P = (X, Y, Z)$) по осях

$$\begin{aligned}\Delta P.x &= |\Delta P.x_{изм} - \Delta P.x_{ном}| \\ \Delta P.y &= |\Delta P.y_{изм} - \Delta P.y_{ном}| \\ \Delta P.z &= |\Delta P.z_{изм} - \Delta P.z_{ном}|\end{aligned}\quad (2.10)$$

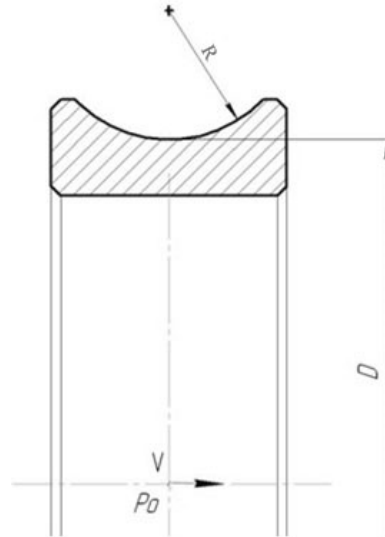


Рисунок 2.6 - Внутрішнє кільце підшипника

Можливість оцінити орієнтацію тора в просторі представляє вектор його нормалі. Косинус кута α між двома векторами $V_{изм}(V_{x_{изм}}, V_{y_{изм}}, V_{z_{изм}})$ та $V_{ном}(V_{x_{ном}}, V_{y_{ном}}, V_{z_{ном}})$ визначається за формулою:

$$\cos(\alpha) = \frac{V_{x_{изм}} V_{x_{ном}} + V_{y_{изм}} V_{y_{ном}} + V_{z_{изм}} V_{z_{ном}}}{\sqrt{V_{x_{изм}}^2 + V_{y_{изм}}^2 + V_{z_{изм}}^2} \sqrt{V_{x_{ном}}^2 + V_{y_{ном}}^2 + V_{z_{ном}}^2}} \quad (2.11)$$

Знаючи висоту кільця підшипника h (для зовнішнього кільця підшипника 206 $h = 16$ мм), і обчисливши кут α між векторами нормалей виміряного і номінального об'єктів за формулою(2.11), можна оцінити відхилення, що виникають при визначенні паралельності осі тора PL.

$$PL = h\sqrt{2(1 - \cos \alpha)} \quad (2.12)$$

Значення відхилень паралельності осі тора PL, що виникає через помилки у визначенні орієнтації об'єкта наведені в табл. 2.2.

Для визначення відхилень кожного з параметрів від їх номінальних значень було проведено 7 експериментів.

Таблиця 2.2 - Відхилення значень параметрів вимірних торів від їх номінальних значень

№	ΔD , мм	ΔR , мм	PL, мм	ΔP_x , мм	ΔP_y , мм	ΔP_z , мм
1	0,049	0,0533	0,0013	0,0001	0,0005	0,0008
2	0,042	0,0468	0,0009	0,0005	0,0002	0,0004
3	0,0335	0,0379	0,0004	0,0001	0,0002	0,0047
4	0,0434	0,0512	0,0014	0,0001	0,0003	0,0006
5	0,0285	0,0302	0,0022	0,0003	0,0003	0,0012
6	0,0271	0,0280	0,0011	0,0001	0,0002	0,0007
7	0,0324	0,0312	0,0006	0,0001	0,0002	0,0014

Дані табл. 2.2 дозволяють відзначити, що проведені експерименти показали погану обумовленість задачі вимірювання радіуса окружності і діаметра тора тому, що помилки в їх визначенні набагато більше помилок вхідних даних ξ_i , і хорошу обумовленість вимірювання центральної точки і вектора осі, оскільки величини помилок виникають у визначенні положення то реальні відхилення, що виникають через помилки визначення просторової орієнтації тора, за своєю величиною можна порівняти з помилками у вхідних даних ξ_i . Це природно з огляду на те, що мала величина сектора практично не впливає на визначення центральної точки тора його орієнтації в просторі (вектора осі). Цей факт підтверджується тим, що на практиці при вимірюванні кілець кулькових підшипників радіус окружності тора відповідає радіусу жолоба бігової доріжки кільця підшипника, який у багатьох випадках вимірюється за допомогою спеціальних вимірювальних

пристроїв, налаштованих на номінальний розмір за допомогою еталонних кілець або кінцевих мір довжини.

2.7 Дослідження впливу поганої обумовленості на результати вимірювання підшипників різних класів точності

Відповідно до ГОСТ 520-2002 існує кілька класів точності підшипників:

- 0 - нормальний,
- 6 – підвищений,
- 5 - високий,
- 4 - прецизійний,
- T - особливо прецизійний,
- 2 - надпрецизійний.

Для різних класів точності підшипників характерні різні вимоги до якості поверхні жолобів доріжок кочення їх кілець, що позначається на погрішності, що виникають при вимірі. З огляду на цю особливість, цікавим є залежність між величиною помилок у вхідних даних ξ_i , що виникають в ході вимірювань і величиною помилок у визначенні параметрів тора, таких як діаметр тора ΔD (цей параметр відповідає діаметру бігової доріжки кільця підшипника) і радіус його утворює окружності ΔR (цей параметр відповідає радіусу жолоба бігової доріжки кільця підшипника). Таким чином постає завдання у визначенні залежності між сукупністю величини відхилень форми на поверхні жолоба бігової доріжки і точносних характеристиками вимірювальної машини і величиною помилок, що виникають при визначенні діаметра бігової доріжки і радіуса її жолоби.

Для визначення цієї залежності були проведені обчислювальні експерименти. Суть їх полягали в наступному: була згенерована поверхня тора, що імітує жолоб бігової доріжки кільця підшипника. На поверхні цього тора, були нараховані точки, а потім їх координати були «зіпсовані» випадковими нормально розподіленими величинами ξ_i зі стандартним відхиленням $s = 0,03$;

0,01; 0,005; 0,003; 0,001 і 0 з метою імітувати процес вимірювання кілець підшипників різних класів точності. Максимальна величина стандартного відхилення $s = 0,03$ мм була взята з практичних експериментів вимірювання кільця нормального класу точності, мінімальна $s = 0$ мм була взята, як ідеалізований випадок, при якому відсутні помилки вимірювання.

Отримані таким чином дані були оброблені, параметри вимірюваних поверхонь були зрівняні з номінальними і результати порівняння Δ параметрів ($\Delta P = |P_{\text{изм}} - P_{\text{ном}}|$) зведені в табл. 2.3. Для порівняння були обрані тільки ті параметри, при визначенні величин яких виникають суттєві помилки зважаючи на малу величини сектора утворює окружності тора.

Таблиця 2.2 - Величина відхилення параметрів торів від їх номінальних значень

s , мм	ΔD , мм	ΔR , мм
0,030	0,120	0,115
0,010	0,049	0,053
0,005	0,016	0,016
0,003	0,004	0,004
0,001	0,002	0,003
0,000	0,000	0,000

Проаналізувавши дані в представлений таблиці, можна зробити висновок про те, що поки похибки вимірювань, що виникають із-за якості вимірюваної поверхні і недосконалості вимірювальної техніки, досить малі і не перевищують 5 мкм, помилки визначення параметрів тора, таких як його діаметр і радіус окружності невеликі і порівняти з помилками у вхідних даних. Таким чином можна не враховувати погану обумовленість задачі. Але в разі, коли похибки вимірювань 5 мкм і більше, помилки у визначенні параметрів тора помітно перевищують помилки вхідних даних, що свідчить

про погану обумовленості і неможливості використання методу найменших квадратів для визначення параметрів поверхні.

2.8 Дослідження виникнення помилок у визначенні параметрів поверхонь при використанні методу регуляризації

Запропонований спосіб вирішення передбачає включення регуляризуючого члена в функцію мінімізації, що дозволяє уникнути великих помилок у визначенні параметрів тороїдальних поверхонь. З огляду на те, що поганий обумовленістю характеризується вимір тільки таких параметрів тора, як його діаметр і радіус утворює кола, в регуляризуючого член слід включати номінальні значення саме цих параметрів:

$$\Phi(D,R,P_0,V,w)=F(D,R,P_0,V)+reg(D,R,w) \quad (2.13)$$

де $reg(D,R,w)$ – регуляризуючий член, що містить в собі номінальні значення визначених параметрів і ваговий коефіцієнт;

D_{nom} , R_{nom} – номінальні значення діаметра тора і радіусу утворює його окружності

w - коефіцієнт регуляризації.

Даний спосіб обробки даних вимірювань дозволяє зменшити помилки у визначенні діаметра і радіуса утворює окружності тора до величин, порівнянних з величинами помилок у вхідних даних. З метою перевірки цього припущення була побудована поверхня, утворена сукупністю всіх можливих варіантів вирішення задачі (2.13). У параметри тора підставлялися все значення з розумного проміжку з малим інтервалом, і розраховувалася величина $\Phi(D,R,P_0,V,w)$ для кожного набору значень параметрів. За цими даними був побудований графік, показаний на рис. 2.7.

Завдяки цьому можна судити про доцільність використання методу регуляризації для вирішення вимірювальних завдань, в разі, якщо конструкція деталі дозволяє вимірювати лише маленький сектор об'єкта.

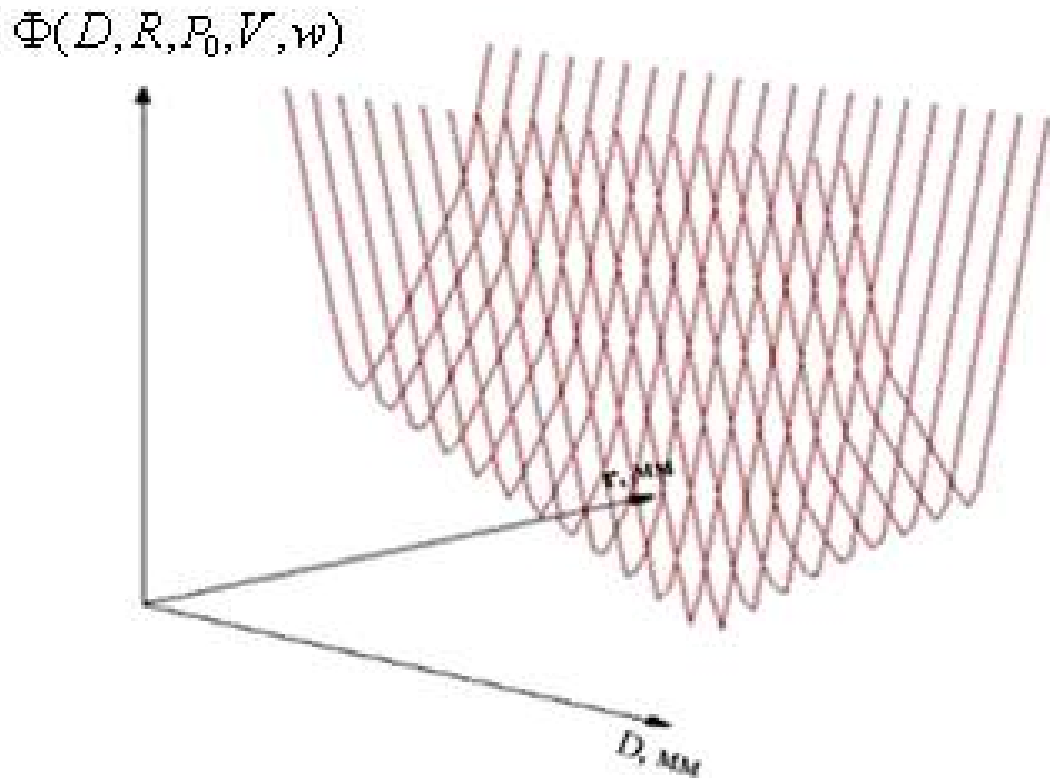


Рисунок 2.7 - Поверхні рішень задачі знаходження параметрів тора методом регуляризації

Слід перевірити чи не відбувається в процесі мінімізації модифікованої функції (2.13) збільшення помилок визначення положення тора і його орієнтації в просторі, тобто помилок у визначенні його центру і вектора осі. Для цього були проведені обчислювальні експерименти, в ході яких на поверхні тора, були нараховані точки і їх координати «зіпсували» нормально розподіленими випадковими числами ξ_i зі стандартним відхиленням $s = 0,01$. Таким чином отримано 7 наборів «зіпсованих» точок, по кожному з них були проведені розрахунки, в ході яких обчислювалися параметри тороїдальних поверхонь в двох випадках:

-в разі відсутності впливу номінальних значень параметрів на кінцеве рішення ($w \rightarrow 0$), регуляризуючий член $reg(D, R, w)$ буде дуже малий і рішення буде залежати тільки від суми квадратів відхилень точок від поверхні;

-в разі, коли сума квадратів відхилень точок від поверхні не впливає на кінцеве рішення ($w \rightarrow \infty$). Тобто регуляризуючий член $reg(D, R, w)$ буде надавати набагато більший вплив на рішення задачі, ніж $F(D, R, P, V)$.

Було проведено 7 експериментів і різниця між значеннями параметрів, отриманими першим і другим способом приведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Результати порівняння значень параметрів тора, отриманих з впливом регуляризуючого члена і без нього

№	ΔD , мм	ΔR , мм	PL, мм	$\Delta V.x$	$\Delta P.x$, мм	$\Delta P.y$, мм	$\Delta P.z$, мм
1	0,049	0,053	0,000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001
2	0,015	0,016	0,000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,042	0,046	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,009	0,012	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,034	0,039	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,044	0,051	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,027	0,028	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

За результатами експерименту, представленим в таблиці, можна зробити висновок про те, що запропонований спосіб не викликає збільшення помилок у визначенні положення тора і його орієнтації в просторі. Це свідчить про те, що регуляризація дозволить поліпшити точність обчислення саме тих параметрів, які неможливо було визначити без включення регуляризуючої ланки.

2.9 Визначення коефіцієнта регуляризації

Коефіцієнт регуляризації w є важливим параметром в виразі (2.13). Так як, якщо взяти занадто маленький коефіцієнт w , то в цьому випадку впливу номінальних значень параметрів на кінцеве рішення буде недостатньо для того, щоб отримати яскраво виражену точку мінімуму функції і рішення буде залежати в основному від суми квадратів відхилень точок від поверхні, а значить, завдання залишиться погано обумовленою. При занадто великому коефіцієнті - сума квадратів відхилень точок від поверхні не буде надавати потрібного впливу на функцію мінімізації, і рішення буде підбиратися максимально наближеним до номінальних значень, практично без урахування відхилень форми. Таким чином, вибір оптимального значення коефіцієнта регуляризації є важливим завданням.

Оптимальний коефіцієнт регуляризації залежить від геометричних параметрів об'єктів і від відхилень точок, від поверхні, за якими вона будується. З цього випливає, що оптимальний коефіцієнт буде різним для різних випадків вимірювань. Після вивчення можливих методів визначення оптимального коефіцієнта регуляризації, для застосування в даній задачі був обраний метод L-кривої. Суть методу полягає в наступному: коефіцієнт регуляризації w змінюється від $w_{\min} = 0$ до w_{\max} з деяким кроком. Для кожного коефіцієнта регуляризації проводиться розрахунок параметрів об'єкта і для наочності за результатами розрахунку можна побудувати графік залежностей, по вертикальній осі якого відкладена сума квадратів відхилень параметрів від їх номінальних значень, по вертикальній осі відкладена сума квадратів відхилень точок від поверхні. На початку кривої з ростом коефіцієнта регуляризації спостерігається швидке зменшення суми квадратів відхилень параметрів від їх номінальних значень при незначному збільшенні суми квадратів відхилень виміряних точок від поверхні. При переході через деяку точку процес змінюється, і вже невеликого зменшення суми квадратів відхилень параметрів буде відповідати істотне збільшення суми квадратів відхилень виміряних точок. Характерна форма кривої дає можливість

визначити точку з максимальною кривизною, яка і буде відповідати оптимальному коефіцієнту регуляризації (рис. 2.8).

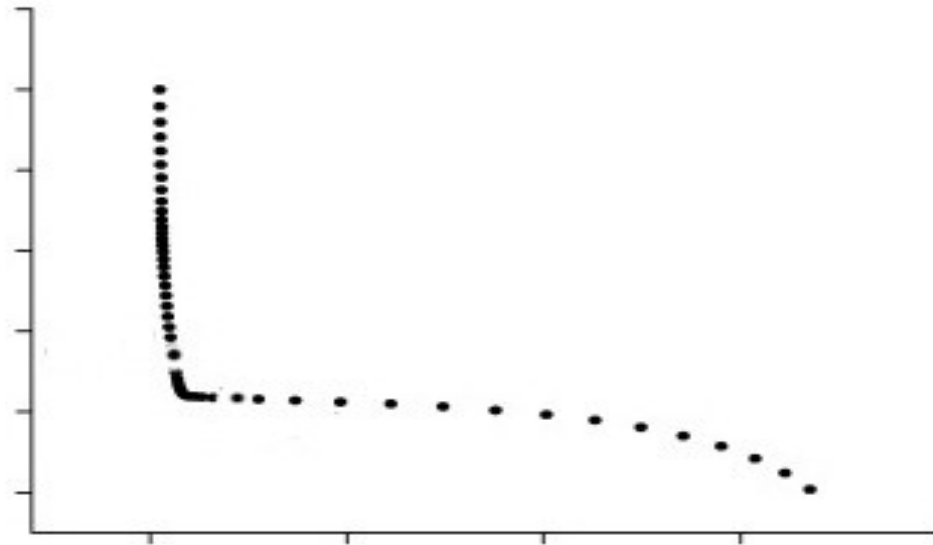


Рисунок 2.8 – Загальний вид L-кривої

Характерна форма кривої дає можливість визначити точку з максимальною кривизною, яка і буде відповідати оптимальному коефіцієнту регуляризації.

Застосовуючи даний підхід до визначення оптимального коефіцієнта при знаходженні параметрів торів, по вертикальній осі буде відкладатися:

$$\left(\frac{D - D_{ном}}{2}\right)^2 + (R - R_{ном})^2 \quad (2.14)$$

По горизонтальній осі буде відкладатися сума квадратів відхилень вимірних точок від поверхні тора:

$$F(D, R, P_0, V) = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \quad (2.15)$$

Коефіцієнт регуляризації w буде змінюватися від початкового значення $w_{min} = 0$ до максимального значення w_{max} , підбраного таким чином, щоб

при ньому параметри, що виходять при розрахунку, були максимально близькі до номінальних. Максимальне значення w легко визначити з огляду на те, що при досягненні параметрами значень, близьких номінальним, вони практично перестають змінюватися зі збільшенням коефіцієнта регуляризації. Крок збільшення w підбирається таким чином, щоб точки на графіку розташовувалися відносно рівномірно, це досягається за рахунок витримування певної відстані ($dist$) між сусідніми точками, яке визначається за формулою:

$$dist = \sqrt{\left(\left(\left(\frac{D - D_{ном}}{2} \right)^2 + (R - R_{ном})^2 \right)_{i+1} - \left(\left(\frac{D - D_{ном}}{2} \right)^2 + (R - R_{ном})^2 \right)_i \right)^2 + \left(F(D, R, P_0, V)_{i+1} - F(D, R, P_0, V)_i \right)^2}$$

Робиться пробний крок з приростом коефіцієнта регуляризації Δw , розраховуються значення параметрів при поточній величині w і обчислюється відстань між вийшла точкою і попередньої по формулі (2.16). Якщо відстань менше обраного мінімальної відстані, то робиться ще один крок з приростом коефіцієнта регуляризації $w / 2$ і повторюється розрахунок відстані. Якщо відстань все ще менше обраного мінімального, то знову робиться крок і збільшенням w , якщо відстань більше обраного максимальної відстані, то робиться крок назад, тобто коефіцієнт регуляризації зменшується на остаточний розрахунок точки.

Щоб підтвердити припущення про можливість застосування L-кривих для визначення параметрів тороїдальних поверхонь, в разі, якщо для вимірювання доступний малий сектор були проведені експерименти в ході яких були виміряні кільця кулькових підшипників 206A і 307a на модернізованій координатно-вимірювальній машині ДКМ 1-300DP з похибкою вимірювань $\pm (3 + L / 200)$ мкм. Після вимірювання дані були оброблені за зміною коефіцієнта

регуляризації і отримані дані на прикладі зовнішнього кільця підшипника 206А представлені на рис. 2.9.

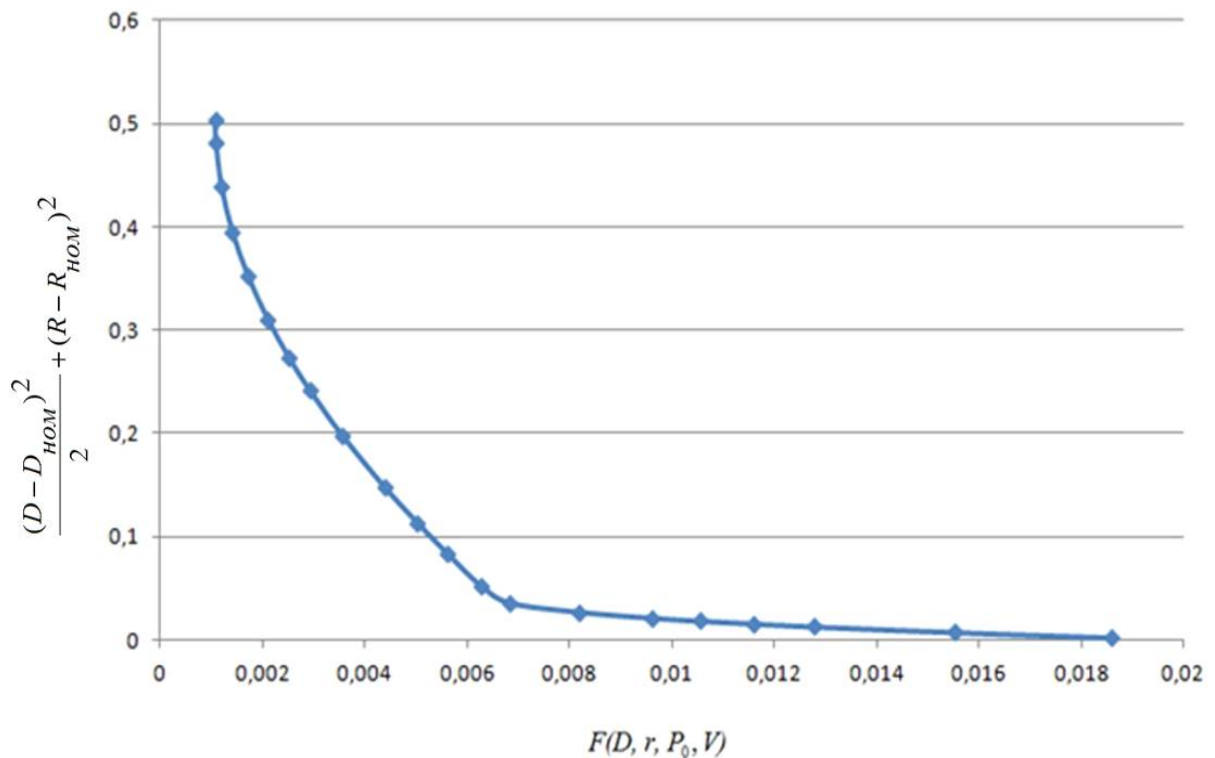


Рисунок 2.9 - L-крива для зовнішнього кільця підшипника 206А

Графік на малюнку наочно ілюструє характерну форму залежності і підтверджує можливість визначення точки перегину, яка яскраво виражена в даному випадку. Це підтверджує розумність вибору підходу визначення оптимального коефіцієнта w .

Кривизна на кожній ділянці плоскої кривої визначається, як відношення кута повороту дотичній $\Delta\varphi$ до довжини пройденої дуги Δs (рис. 2.10).

Формула для визначення кривизни k буде виглядати таким чином:

$$k = \frac{|X_k'(w)Y_k''(w) - Y_k'(w)X_k''(w)|}{\left[(X_k'(w))^2 + (Y_k'(w))^2 \right]^{3/2}}$$

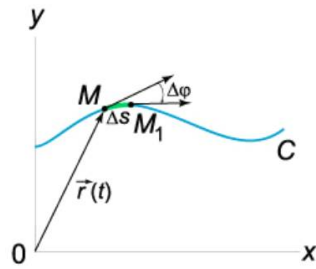


Рисунок 2.10 – Визначення кривизни в точках плоскої кривої

Залежність на рис. 2.9 задана чисельно, тобто табличними даними, тому значення похідних в точках визначалися методом кінцевих різниць. Якщо крива складається з n точок, то для обчислення першої похідної $X_k(w)$ в кожній точці використовується вираз:

$$X_k(w)j' = \frac{X_k(w)_i - X_k(w)_{i-1}}{w_i - w_{i-1}}$$

де $i = 1, 2, \dots, n$.

Для обчислення першої похідної $Y_k(w)$ в кожній точці використовується вираз:

$$Y_k(w)j' = \frac{Y_k(w)_i - Y_k(w)_{i-1}}{w_i - w_{i-1}}$$

де $i = 1, 2, \dots, n$.

Для обчислення першої похідної $X_k(w)$ в кожній точці використовується вираз:

$$X_k(w)j'' = 2 \cdot \frac{X_k(w)'_i - X_k(w)'_{i-1}}{w_{i+1} - w_{i-1}}$$

де $i = 1, 2, \dots, n - 1$.

Обчислення другої похідної $Y_k(w)''$

$$Y_k(w)j'' = 2 \cdot \frac{Y_k(w)'_i - Y_k(w)'_{i-1}}{w_{i+1} - w_{i-1}}$$

де $i = 1, 2, \dots, n - 1$.

Для перевірки запропонованого підходу до визначення оптимального коефіцієнта регуляризації кращим способом є практична перевірка та порівняння отриманих параметрів поверхні з дійсним. Проблема вимірювальних експериментів в тому, що дійсний розмір вимірюваних поверхонь важко встановити з великою точністю на координатно-вимірювальних машинах, користуючись традиційним методом, тому для перевірки були проведені обчислювальні експерименти.

Була згенерована поверхня тора, що імітує жолоб бігової доріжки кільця підшипника 307а (рис. 2.11). Потім на поверхні цього тора, були нараховані точки, а їх координати були «зіпсовані» випадковими нормально розподіленими числами ξ_i зі стандартним відхиленням $s = 0,01$, з метою імітувати процес вимірювання і виникають при цьому похибки, що виникають через недосконалість вимірювальної техніки та якості вимірюваної поверхні. Основна відмінність з реальними вимірами полягає в тому, що всі дійсні розміри відомі.

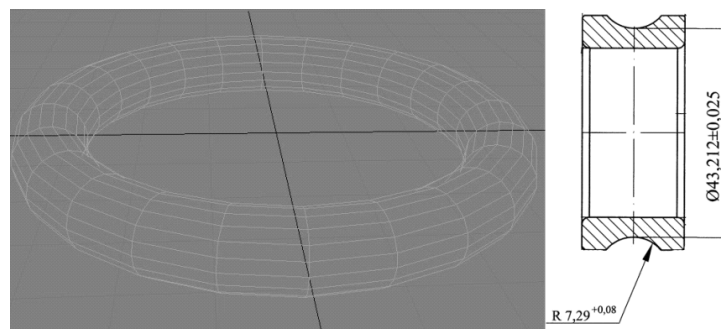


Рисунок 2.11 - Модель бігової доріжки кільця шарикопідшипника

Для початку було проведено розрахунки з введенням в функцію мінімізації регуляризуючого ланки з дійсними розмірами моделі тора. В

цьому випадку при досягненні достатньої величини коефіцієнта регуляризації рішення повинно звестися до вірного, тобто повинні вийти справжніх розмірів тора. На рис. 2.12 зображений вийшов графік.

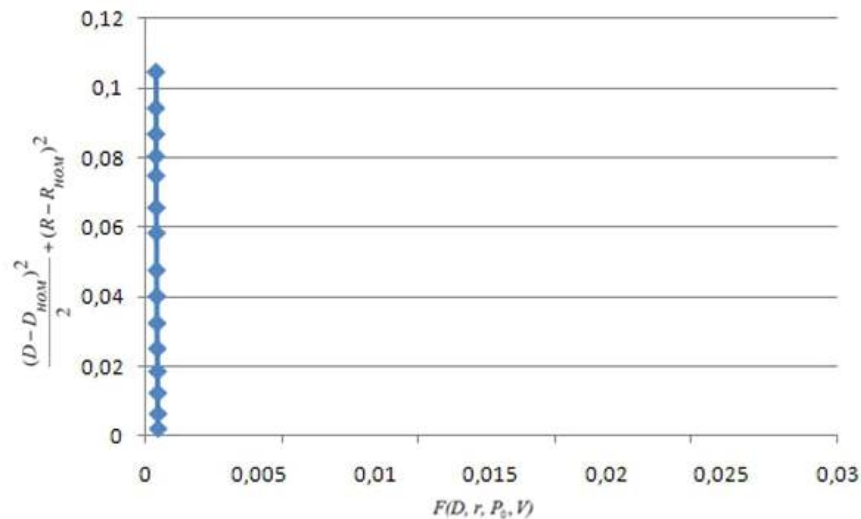


Рисунок 2.12 - Залежність величини відхилень параметрів від номінальних і суми квадратів відхилень при різних w

Цей графік підтверджує припущення про те, що при вірно заданих значеннях параметрів поверхні - рішення приходить до вірного без появи точок перегину, тобто сума квадратів відхилень не збільшується зі збільшенням коефіцієнта регуляризації. На підтвердження цього в табл. 2.4 зведені результати розрахунків кривизни вийшла плоскої кривої.

Таблиця 2.4 - Значення кривизни на ділянках кривої

w	0,0001	0,0060	0,0610	0,0810	0,1110	0,7460
k	0,0000	0,0452	0,0407	0,0295	0,0327	0,0032

З таблиці видно, що значення кривизни на всіх ділянках відрізняються не значно і неможливо визначити точку перегину.

Було проведено аналогічний експеримент з тією різницею, що була згенерована модель бігової доріжки кільця підшипника з розмірами, що

відрізняються від розмірів на кресленні. Діаметр тора був на 90мкм більше номінального, а радіус утворює окружності на 35 мкм більше заданого на кресленні. На рис. 2.13 наведено графік, який ілюструє результати розрахунку.

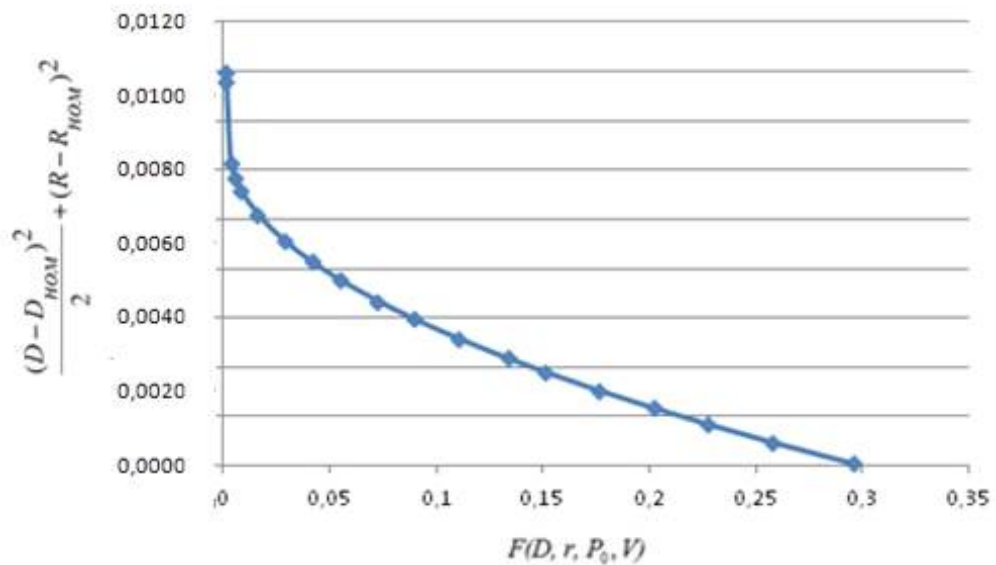


Рисунок 2.13 - Залежність величини відхилень параметрів від номінальних і суми квадратів відхилень при різних w

У табл. 2.5 представлені чисельні результати експерименту.

Для того, щоб оцінити похибка запропонованого методу було зроблено ряд обчислювальних експериментів, в ході яких була згенерована поверхня тора, що імітує жолоб бігової доріжки внутрішнього кільця підшипника 307 з закладеними помилками параметрів – дійсний діаметр тора (D_d) був взяти на 0,035 мм більше номінального (D_n), а дійсний радіус утворює кола (R_d) на 0,090 мм більше номінального R_n . Вимоги до розмірів для цього кільця позначені на рис. 2.14.

Величини закладених помилок були підібрані таким чином, щоб справжніх розмірів лежали за кордоном поля допуску. Потім на поверхні цього тора були нараховані точки, а їх координати були «зіпсовані» випадковими нормально розподіленими числами зі стандартним відхиленням $s = 0,01$ мм, з метою імітувати процес вимірювання і виникають при цьому

похибки. Таким чином, було створено 15 наборів даних для розрахунків. Основна відмінність з реальними вимірами полягає в тому, що всі дійсні розміри відомі. Для оцінки похибки необхідно порівняти виміряні і оброблені запропонованим методом параметри тора ($D_{и}$ і $R_{и}$) з їх дійсними значеннями ($D_{д}$ і $R_{д}$), ґрунтуючись на різниці між ними можна зробити висновок про похибки методу розрахунку. У табл. 2.6 наведені приклади результатів розрахунку діаметра тора методом регуляризації.

Таблиця 2.5 - Чисельні результати експерименту

$\left(\frac{D-D_{iii}}{2}\right)^2 + (R-R_{iii})^2$	$F(D, R, P_0, V)$	$D - D_{НОМ}$	$R - R_{НОМ}$	w
0,01021	0,0015	0,1403	-0,0193	0,000
0,00991	0,0015	0,1386	-0,0175	0,001
0,00696	0,0033	0,0458	0,0769	1,251
0,00005	0,2574	0,0035	0,0063	32,111
0,00000	0,2958	0,0004	0,0007	305,811

Таблиця 2.6 – Похибка при розрахунках діаметра тора

№ измерения	$D_{н}$, мм	$D_{д}$, мм	$D_{р}$, мм	$D_{и} - D_{д}$, мм
1	43,212	43,247	43,258	0,011
2	43,212	43,247	43,255	0,008
3	43,212	43,247	43,252	0,005

Різниця між дійсним і виміряним значеннями діаметра тора в середньому становить 8 мкм. У табл. 2.7 зведені приклади результатів розрахунку радіусу утворює окружності тора методом регуляризації, доповненим методом L-кривої.

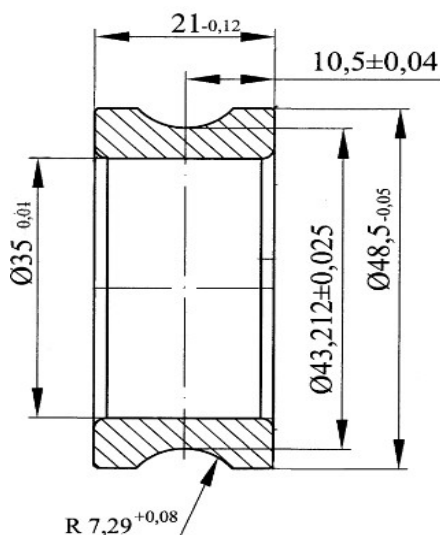


Рисунок 2.14 - Внутрішнє кільце підшипника 307а

Таблиця 2.7 - Похибка при розрахунку радіусу утворює окружності тора

№ вимірювання	R_n , мм	R_d , мм	R_p , мм	$R_n - R_d$, мм
1	7,290	7,380	7,367	-0,013
2	7,290	7,380	7,366	-0,014
3	7,290	7,380	7,365	-0,015

Різниця між дійсним і розрахунковим значеннями радіусів утворює окружності тора в середньому становить 14 мкм.

Результати всіх експериментів показали, що величини помилок визначення діаметра тора і радіусу його утворює окружності менше, ніж третину поля допуску на відповідні розміри. З цього випливає, що запропонований спосіб розрахунку дає прийнятні похибки і придатний до використання. При таких же умовах традиційний метод розрахунку параметрів (без використання регуляризації) давав помилки у визначенні діаметра тора досягають 105 мкм і помилки у визначенні радіуса утворює кола досягають 109 мкм.

2.10 Особливості вимірювання кілець наполегливих кулькових підшипників

Основною відмінністю кілець наполегливих кулькових підшипників, з точки зору особливості вимірювання на координатно-вимірювальних машинах, є те, що для вимірювання може бути недоступною бокова частина поверхні жолоба бігової доріжки, яка є тором, а нижня або верхня його частина (рис. 2.16).

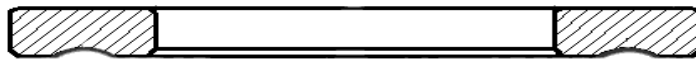


Рисунок 2.16 - Кільце упорного підшипника

Ця особливість повинні приводити до того, що погана обумовленість при вимірюванні параметрів буде виявлятися не тільки у визначенні діаметра тора і радіусу його утворює окружності, а й при визначенні координат центральної точки.

Для підтвердження цього припущення було проведено експеримент, в ході якого була згенерована поверхня тора, що імітує жолоб бігової доріжки кільця наполегливої кулькового підшипника. На поверхні цього тора, були нараховані точки. Розташування точок вибиралося таким чином, щоб координати отриманих точок були «зіпсовані».

Нормально розподіленими випадковими числами і зі стандартним відхиленням $s = 0,01$. Це зроблено з метою імітувати процес вимірювання і виникають при цьому похибки, які можуть з'явитися через недосконалість вимірювальної техніки і якості вимірюваної поверхні.

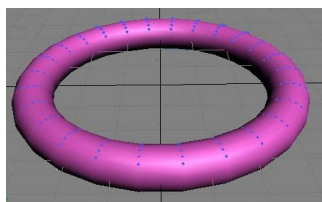


Рисунок 2.17 - Розташування розрахункових точок на поверхні тора.

Оскільки параметри згенерованої поверхні ($P_{\text{НОМ}}$, $P_{\text{НОМ}}$) відомі - є можливість оцінити помилки, що виникають у визначенні параметрів виміряного тора ($R_{\text{ІЗМ}}$, $R_{\text{ІЗМ}}$), а також при визначенні його положення і орієнтації в просторі. Отримані значення відхилень діаметра і радіуса утворює окружності тора.

Для того щоб оцінити помилку у визначенні положення тора в просторі, слід оцінити відхилення положення його центральної точки. Значення відхилень положення центральної точки ($P = (X, Y, Z)$) по осях

$$\Delta P.x = |\Delta P.x_{\text{ІЗМ}} - \Delta P.x_{\text{НОМ}}| \quad (2.25)$$

$$\Delta P.y = |\Delta P.y_{\text{ІЗМ}} - \Delta P.y_{\text{НОМ}}| \quad \Delta P.z = |\Delta P.z_{\text{ІЗМ}} - \Delta P.z_{\text{НОМ}}|$$

Можливість оцінити орієнтацію тора в просторі представляє вектор його осі. Косинус кута α між двома векторами $V_{\text{ІЗМ}}(V_{x_{\text{ІЗМ}}}, V_{y_{\text{ІЗМ}}}, V_{z_{\text{ІЗМ}}})$ та $V_{\text{НОМ}}(V_{x_{\text{НОМ}}}, V_{y_{\text{НОМ}}}, V_{z_{\text{НОМ}}})$ визначається за формулою

$\cos(\alpha) = \frac{V.x_{\text{ІЗМ}} V.x_{\text{НОМ}} + V.y_{\text{ІЗМ}} V.y_{\text{НОМ}} + V.z_{\text{ІЗМ}} V.z_{\text{НОМ}}}{\sqrt{V.x_{\text{ІЗМ}}^2 + V.y_{\text{ІЗМ}}^2 + V.z_{\text{ІЗМ}}^2} \sqrt{V.x_{\text{НОМ}}^2 + V.y_{\text{НОМ}}^2 + V.z_{\text{НОМ}}^2}}$	(2.26)
--	--------

Знаючи висоту кільця підшипника h (для кільця підшипника 8103 $h = 2,5$ мм), і обчислившику α між векторами нормалей виміряного і номінального об'єктів за формулою (2.26), можна оцінити відхилення, що виникають при визначенні паралельності осі тора PL.

$$PL = h\sqrt{2(1 - \cos \alpha)} \quad (2.27)$$

Для того, щоб виправити помилки, необхідно за аналогією з формулою (2.13) внести в функцію мінімізації інформацію про номінальному положенні об'єкта по вертикальній осі регуляризуючого член, що містить в собі номінальні значення визначених параметрів і ваговий коефіцієнт

$$reg(D, R, P, z, w) = w(D - D_{nom})^2 + w(R - R_{nom})^2 + w(P, z - P, z_{nom})^2.$$

Для визначення оптимального коефіцієнта регуляризації використовується L-крива. Для її побудови коефіцієнт регуляризації w змінюється від $w_{min} = 0$ до w_{max} деяким кроком. Для кожного коефіцієнта регуляризації проводиться розрахунок параметрів об'єкта і для наочності будується графік залежностей, по вертикальній осі якого відкладена сума квадратів відхилень параметрів від їх номінальних значень, а по вертикальній осі відкладена сума квадратів відхилень точок від поверхні.

Застосовуючи даний підхід до визначення оптимального коефіцієнта при знаходженні параметрів торів, відповідних жолобу бігових доріжок кілець наполегливих кулькових підшипників, по вертикальній осі буде відкладатися:

Коефіцієнт регуляризації w буде змінюватися від початкового значення $w_{min} = 0$ до максимального значення w_{max} , підбраного таким чином, щоб при ньому параметри, що виходять при розрахунку, були максимально близькі до номінальних. Крок збільшення w підбирається таким чином, щоб точки на графіку розташовувалися рівномірно, це досягається за рахунок витримування певної відстані ($dist$) між сусідніми точками, яке визначається за формулою (2.16).

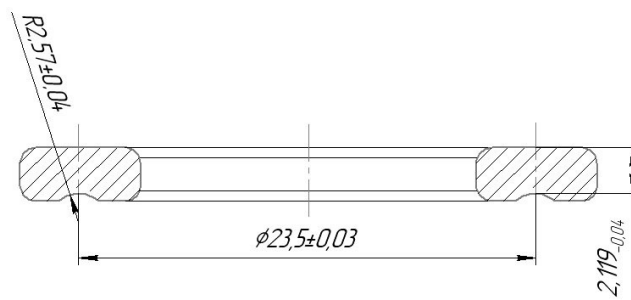


Рисунок 2.18 - Вимоги до розмірів кільця підшипника 8103

Для того, щоб зробити висновок про можливість використання запропонованого методу для визначення параметрів жолоба бігової доріжки

кільце наполегливих кулькових підшипників і оцінити похибку методу був зроблений ряд обчислювальних експериментів, в ході яких була згенерована поверхня тора, що імітує жолоб бігової доріжки внутрішнього кільця підшипника 8103. Вимоги до розмірами для цього кільця позначені на рис. 2.18.

Висновки

1. При вимірюванні деталей на координатно-вимірювальних машинах, коли вимірювані об'єкти представлені вигляді невеликих сегментів, звичайні методи визначення параметрів об'єктів, засновані на методі найменших квадратів, дають великі помилки у визначенні параметрів поверхонь. Так при вимірюванні торів, поданих сектором утворює в 70° , помилки у визначенні параметрів тора, таких як його діаметр і радіус утворює окружності, набагато більше, ніж величина відхилення форми поверхні. Це свідчить про поганий обумовленості даної задачі.

2. Додавання в умову задачі апріорної інформації про параметри поверхні дозволяє позбутися поганої обумовленості в задачі визначення параметрів поверхні, вимірюної на невеликому сегменті.

3. Визначення точки з максимальною кривизною на графіку залежностей між сумою квадратів відхилень виміряних точок від поверхні тора і різницею між виміряним значенням параметра і його номінальним значенням дає можливість визначити коефіцієнт регуляризації.

4. Запропоновані рішення дозволяють поліпшити традиційний спосіб розрахунку параметрів поверхонь, які вимірюються на координатно-вимірювальних машинах. Поверхні, представлені в конструкції деталі маленьким сектором можуть бути виміряні з досить високою точністю (відповідно до ГОСТ 8.051 "Допустимі похибки вимірювання лінійних розмірів до 500 мм).

3 ЗАСТОСУВАННЯ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН ДЛЯ КОНТРОЛЮ КІЛЕЦЬ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

3.1 Координатно-вимірювальні машини

Основною перевагою координатно-вимірювальних машин (КІМ) є те, що деталь, в тому числі кільце підшипника, в більшості випадків можна поміряти за одну установку, що підвищує продуктивність і оперативність контролю, тому що виключає з процесу переустановку деталі і переналагодження вимірювальних приладів.

На столах координатно-вимірювальних машин встановлюються затискні пристрої, що дозволяє позбутися від необхідності виготовлення спеціальних оснасток під деталі різних розмірів і типів.

КІМ не вимагають настройки на зразок, контроль відбувається за значеннями параметрів виміряних елементів, а так само за відхиленнями їх форм, або за математичними моделями [18, 19].

3.2 Контроль параметрів кілець підшипників кочення на координатно-вимірювальних машинах

Точність обертання зібраних підшипників визначається параметрами внутрішнього і зовнішнього кільця підшипників. Досборочний контроль геометричних параметрів кілець в більшості випадків проводиться з використанням ряду спеціалізованих приладів, таких як Talysond, Form Talysurf, Talysenta і ін [21]. Точність обертання характеризується наступними параметрами: радіальними биттям внутрішнього і зовнішнього кілець; бічними биттям торця внутрішнього кільця; бічним биттям по доріжках кочення внутрішнього і зовнішнього кілець [8].

Відхилення по биття підшипника обумовлені головним чином похибками форми і розташуванням кілець. Так, радіальне биття може бути викликано радіальним биттям кілець, тобто непаралельністю плоскостей центрів кривизни бігової дороги кінця кільця, або порушеності профілю бігової доріжки [22].

Використання КВМ дозволяє вимірювати геометричні параметри та побічні характеристики підшипників коліс, а побудова тороїдальної поверхні за допомогою вимірюваних точок дозволяє проводити вимірювання незалежно від розташування деталей та точності попадання в крайні точки бігового проходу кільця підшипника [23].

Геометричними параметрами для досборного контролю внутрішніх кілець є:

- діаметр отворів - діаметр циліндра, що містить у собі теоретичну поверхню циліндричного отвору;
- непостійність діаметра отворів, тобто відхилення форми циліндра;
- відхилення діаметра отворів в одиничній площині;
- відхилення от круглості;
- відхилення от циліндричності;
- ширина кільця;
- непостійність ширини кільця;
- непаралельність доріжки кочіння внутрішнього кільця відносно торця;
- неперпендикулярність торця внутрішнього кільця відносно отвору;
- різноманітність проходу катання внутрішнього кільця відносно отворів;
- діаметр бігової доріжки;
- непостійність діаметра бігової доріжки;
- діаметр доріжки кочіння;
- непостійність діаметра проходу катання;
- конусність (половина кута конусу) внутрішнього кола.

Геометричними параметрами для досборочного контролю зовнішніх кілець є:

- зовнішній діаметр - діаметр циліндра, що містить у собі теоретичну зовнішню поверхню;
- відхилення зовнішнього діаметру, тобто відхилення форми циліндра;

- відхилення зовнішнього діаметра в одиничній площині;
- відхилення від круглості;
- відхилення від циліндричності;
- ширина кільця;
- непостійність ширини кільця;
- непаралельність доріжки кочіння зовнішнього кільця щодо торця;
- неперпендикулярність зовнішньої поверхні зовнішнього кільця щодо торця;
- різнотовщинність доріжки кочіння зовнішнього кільця відносно зовнішньої поверхні;
- діаметр бігової доріжки;
- непостійність діаметра бігової доріжки;
- діаметр доріжки кочіння;
- непостійність прохідного діаметра кочіння;
- конусність (половина кута конусу) зовнішнього кільця.

Геометричні параметри для контролю підшипників у зборі на КВМ:

- дійсна ширина (монтажна висота підшипника) - відстань між точками перетину вісі підшипника з двома планами, що відносяться до дійсних базових кінців кілець;
- відхилення дійсної ширини (монтажної висоти) підшипника [24].

Контроль на координатно-вимірювальній машині параметрів, пов'язаних з біговою дорогою кілець шарикопідшипників таких як: непаралельність дороги розкачування кільця по відношенню до торця, різноманітність дорожнього полотна, діаметр бігової доріжки, діаметр ходьби катання та їх нестійкості; яка представляє собою тороїдальну поверхню, вимагає вимірювання об'єкта тор. Для цього був розроблений відповідний модуль для програми ГеоАрм.

3.3 Модуль виміру тороїдальних поверхонь для програми ГеоАрм

В процесі дослідження можливостей виміру кільця шарикопідшипників на координатно-вимірювальних машинах був розроблений модуль для програми GeoArm, що дозволяє вимірювати тороїдальні поверхні.

Значення початкового наближення для радіусу перетину тора визначається як середній радіус вимірюваних перетинів. Початкове наближення для інших параметрів тора були отримані за допомогою окружності, що проходить через центри вимірюваних перетинів. Таким чином, у виді того, що мінімальна кількість точок для побудови окружності - 3, мінімальна кількість точок, необхідна для вимірювання тора - 9, тобто є вимірювання 3-х перетинів тора, кожне по 3-му точкам.

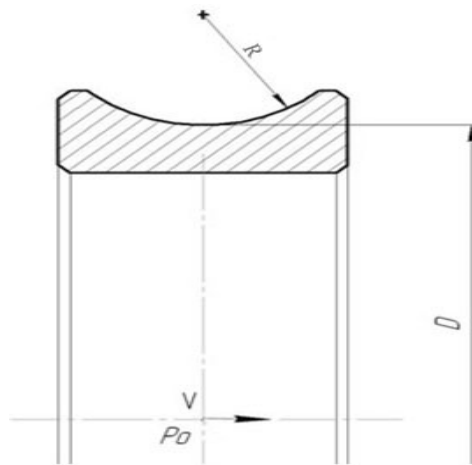


Рисунок 3.1 - Внутрішнє кільце підшипника

Рівняння тороїдальної поверхні має вигляд:

$$(x^2 + y^2 + z^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 - R^2)^2 - 4\left(\frac{D}{2}\right)^2 (x^2 + y^2) = 0$$

де D – діаметр тора,

R – радіус утворюючої окружності тора,

а x, y, z – координати точки на поверхні тора.

З допомогою функції мінімізації, методом найменших квадратів знаходиться оптимальна тороїдальна поверхня для вимірюваних точок, тобто підбираються такі параметри центру (координати вектора осі та центральної точки, діаметра тора та радіусу його утворюючої окружності), щоб сума

квадратів відстані вимірюваних точок до поверхні була мінімальною. Для цього треба мінімізувати функцію:

$$F(D, R, P_0, V) = \sum_{i=1}^n \delta_i^2$$

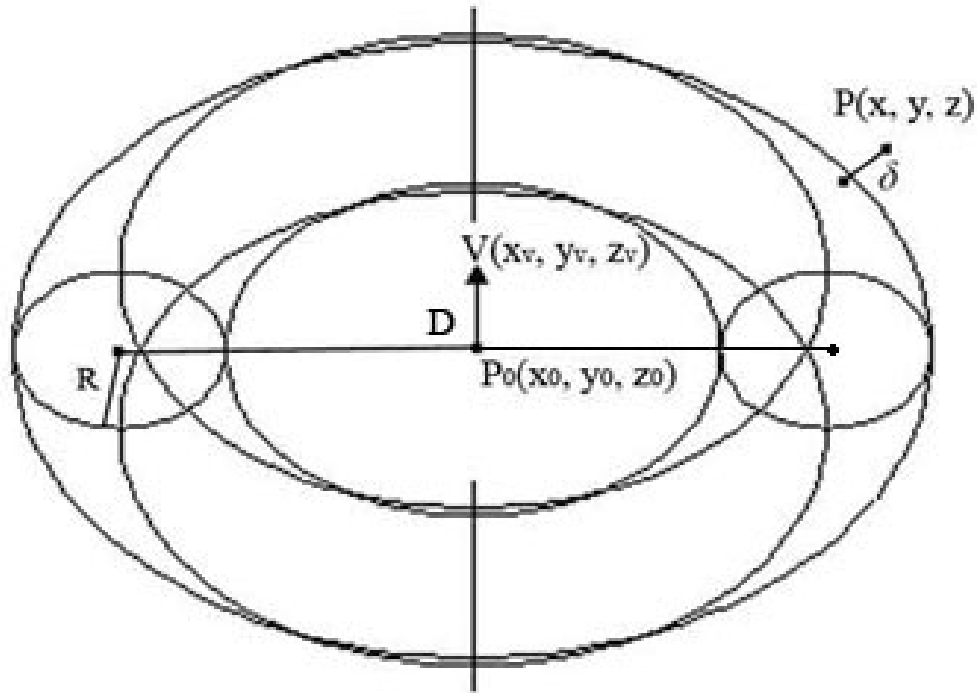


Рисунок 3.2 - Відстані від вимірної точки до тороїдальної поверхні

Для визначення суми квадратів відхилень вимірних точок від поверхні тора необхідно виконати операцію знаходження відстані від точки до тороїдальної поверхні (рис. 3.2).

Обчислення відстані відбувається за наступним алгоритмом:

- обчислення і нормалізація вектора від центру тора до точки;
- отримання 2-х кіл шляхом перетину тороїдальної поверхні площиною, нормаль якої є векторним твором осі тора і вектора від центру тора, до вимірної точки і центром в точці P_0 ;
- вибір однієї з околиць з центром, найближчим до вимірної точці.
- обчислення вектора від центру отриманої окружності до вимірної точки і перетин кола прямий, вектор якої збігається з отриманим, а центр знаходиться в центрі кола;

- вибір з 2-х отриманих точок точки, найближчої до виміряної і обчислення відстані між ними.

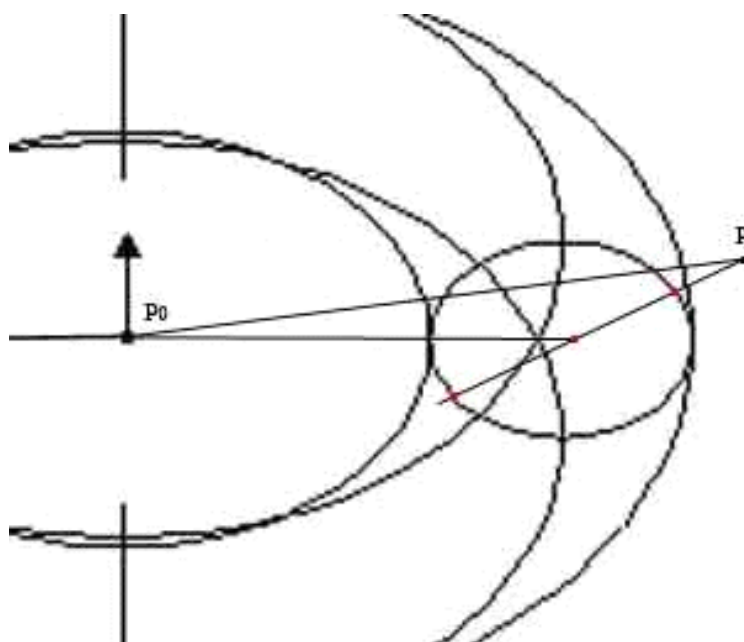


Рисунок 3.3 - Обчислення відстані від виміряної точки до тороїдальної поверхні

В залежності від того, внутрішнє кільце або зовнішнє задається поправка на радіус наконечника щупа (рис. 3.4).

У разі вимірювання внутрішнього кільця малий радіус тора повинен бути збільшений на радіус наконечника, а великий зменшений. У разі вимірювання зовнішнього кільця - малий і великий радіусу тора повинні бути збільшений на радіус наконечника.

Вимірювання тороїдальної поверхні відбувається по 3-м і більш перетинах, рекомендується для вимірювання вибрати зону контакту бігової доріжки з тілами кочення (рис. 3.5).

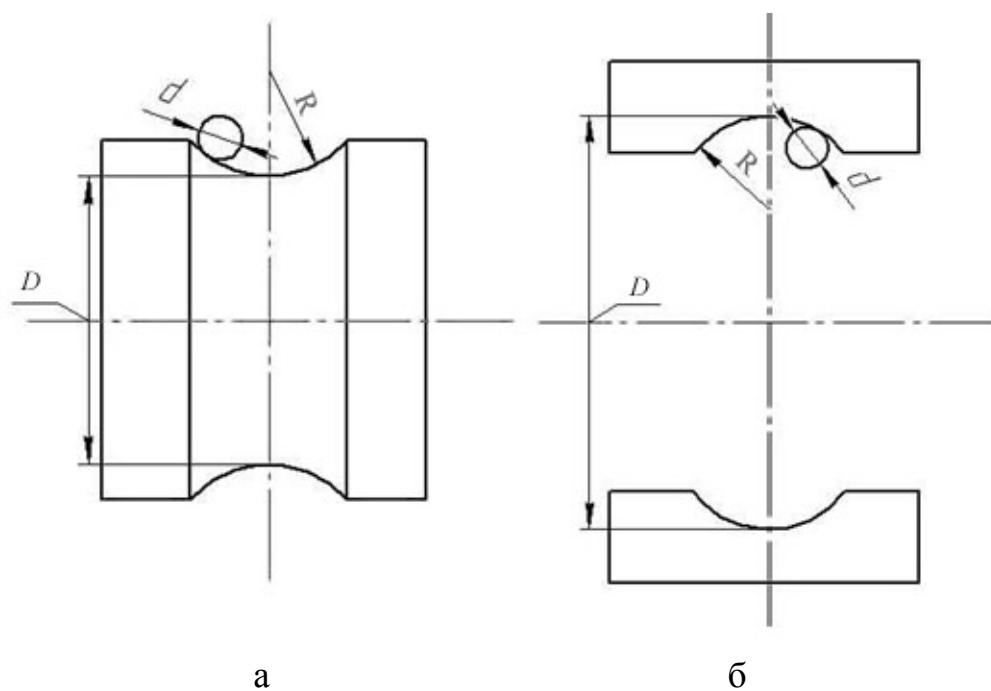


Рисунок 3.4 - Поправка на радіус наконечника:

а - у разі внутрішнього кільця,

б - в разі зовнішнього кільця

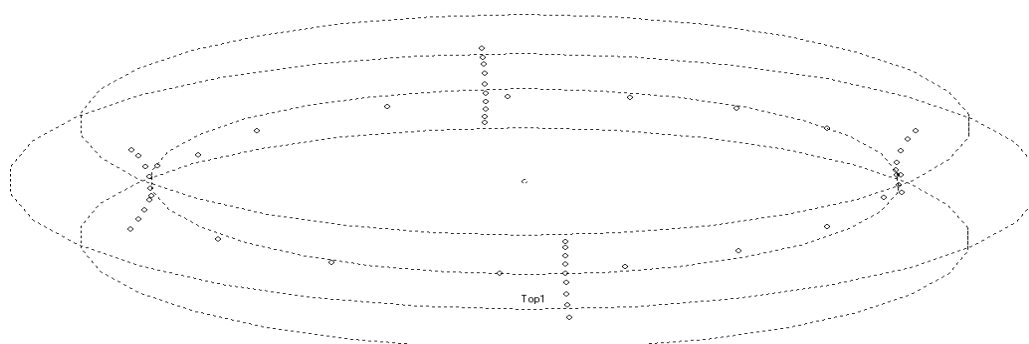


Рисунок 3.5 - Вимірювання тороїдальної поверхні

Розроблений програмний модуль дозволяє отримати такі параметри тора, як:

- діаметр тора,
- радіус утворює окружності тора,
- координати центральної точки тора,
- координати вектора осі тора,
- відхилення форми.

Завдяки програмному модулю для вимірювання тороїдальних поверхонь стало можливо використовувати координатно-вимірювальні машини в поєднанні з програмою ГеоАрм для контролю геометричних параметрів кілець підшипників кочення відповідно до ГОСТ 520-2002 і виробничими кресленнями.

3.4 Визначення оптимальної кількості точок на поверхнях для визначення їх параметрів

Для комплексного геометричного аналізу кілець підшипників кочення за допомогою координатно-вимірювальних машин необхідно вимір таких поверхонь як: площину, окружність, циліндр, конус і тор [9] (рис. 3.6).

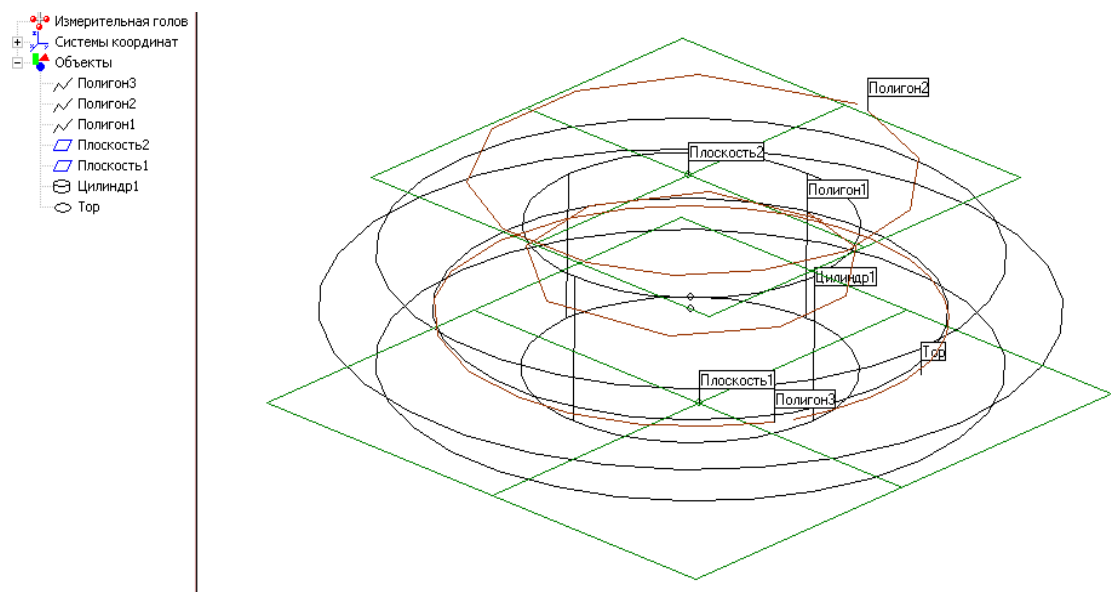


Рисунок 3.6 - Вимірювання поверхонь кільця підшипника кочення

Методика оцінки похибок вимірювання вищеперелічених поверхонь полягає в наступному: проводиться багаторазове вимір еталонного об'єкта, визначається середнє значення вимірюваного параметра і відхилення окремих його вимірювань від середнього. Мінімальна і максимальна відхилення дають розмах відхилень, що характеризує похибка вимірювання. Для оцінки отримані значення розмаху відхилень будемо порівнювати з похибкою об'єкта

КІМ. Так як похибка виготовлення еталонного об'єкта на порядок менше похибки обмацує головки, то фактично дане дослідження спрямоване на визначення похибки результату обробки даних в залежності від кількості вимірних точок. Отримаємо теоретичні оцінки похибок вимірювання. Припустимо, що поруч з поверхнею вимірюваного об'єкта є зона розмаху точок шириною Δ , що дорівнює похибки головки КІМ (рис. 3.7).

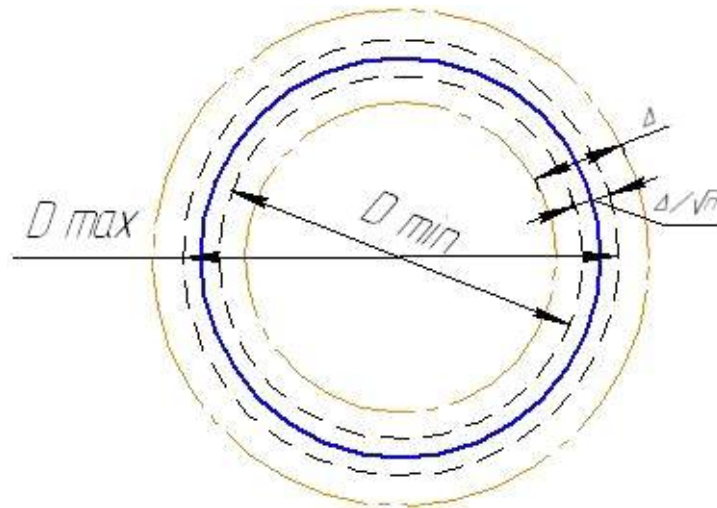


Рисунок 3.7 - Схема розрахунку теоретичної оцінки похибки вимірювань для окружності

У цій зоні можуть розташовуватися вимірні точки. При обробці вимірювань точки усереднюються, тому зона можливого розташування розміру, що оцінюється через середньоквадратичне відхилення, звужиться пропорційно квадратному кореню з кількості точок, вимірних на поверхні об'єкта [4]. У разі окружності матимемо:

$$\begin{aligned} \Delta D &= D_{max} - D_{min} \\ &= \frac{\Delta \cdot \Delta \sqrt{n}}{\sqrt{n} + \dots + \sqrt{n}} = \frac{2\Delta \sqrt{n}}{\sqrt{n}} \end{aligned} \quad (3.3)$$

де n – кількість вимірних точок.

З метою практичної перевірки залежності (3.3) на КВМ ДКМ 1-300DP (похибка лінійних переміщень $3 + L / 300$ мкм, похибка обмацує головки ± 2

мкм) були проведені вимірювальні експерименти, в ході яких вимірювалося зразкове кільце діаметром 27,000 мм (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 - Еталонне кільце

Окружність кільця вимірювалося п'ятьма способами: по 3-м, 4-м, 6-й, 8-й і 10-й точках. З перерахованих способів вимірювання потрібно вибрати найменш трудомісткий, але дає достатні точності показники. Кожним способом було проведено 15 вимірювань. У кожному вимірі фіксувалося відхилення отриманого діаметра окружності від номінального значення. 315 результатів для конкретного способу вимірювань визначалися максимальне і мінімальне відхилення діаметра і діапазон помилки діаметра $\Delta D = \delta_{max} - \delta_{min}$. Узагальнені результати вимірювань наведені в таб. 3.1.

Таблиця 3.1 - Вимірювання зразковою окружності

Число точок	3	4	6	8	10
ΔD , мм	0,0066	0,0030	0,0024	0,0019	0,0018

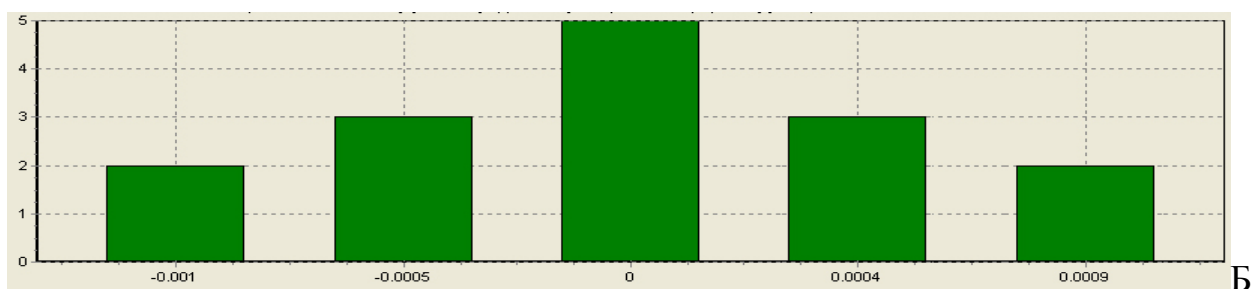


Рисунок 3.9 - Гістограма відхилень

Гістограма відхилень побудована за даними, отриманим при вимірюванні кільця по 4 точкам. Вид гістограми свідчить про близькість закону розподілу відхилень діаметра кільця від номінального значення до нормального.

На графіку (рис. 3.10) наочно представлена залежність помилок визначення діаметра від кількості вимірних точок. По горизонтальній осі відкладено кількість точок, взятих для вимірювання, по вертикальній осі відкладені розкид відхилень при вимірюванні діаметру в мм.

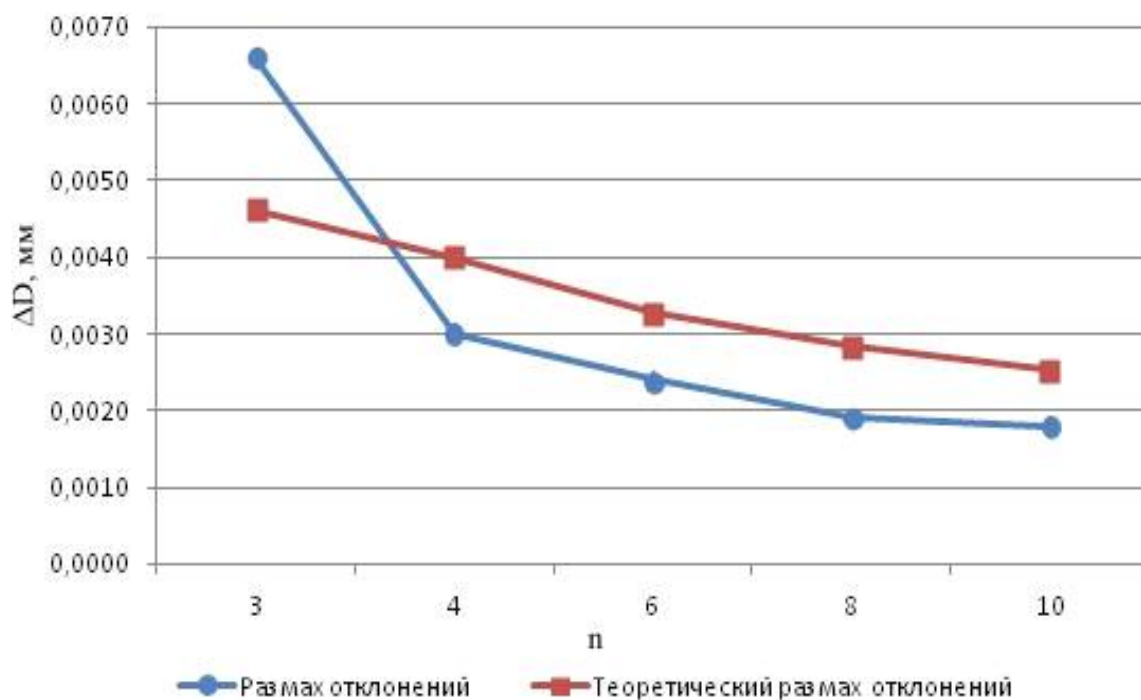


Рисунок 3.10 - Залежність помилки визначення діаметра отвору від кількості вимірних точок

Криві, зображені на графіку, показують відхилення, що виникають при практичних вимірах і теоретичні відхилення, розраховані за допомогою формули (3.3).

На підставі отриманих результатів можна об'єктивно визначити число вимірюваних точок, при якому вимірювання будуть найменш трудомісткі, але дає достатні точності показники. Наприклад, якщо похибка виготовлення деталі порівнянна або більше похибки КІМ, то можна рекомендувати вимір окружності по 4-м точкам. При цьому можлива помилка визначення діаметра становить 0,0015 мм, а похибка обмацує головки дорівнює 0,002 мм. Тобто чотирьох точок досить практично для всіх реальних вимірів. Для високоточних вимірювань можна рекомендувати 8 точок. При цьому помилка обробки даних більш ніж в два рази буде менше похибки обмацує головки.

Так само графік показує близькість результатів, отриманих за допомогою практичних вимірювань з теоретичної залежністю формули (3.3), що дозволяє зробити висновок про можливість обчислення похибки з її допомогою. Для визначення оптимальної кількості точок, яке слід вимірювати на конічній поверхні був проведений чисельний експеримент, в ході якого були розраховані набори з 6, 8, 12 і 16 точок на математичному конусі. Отримувати дані були «зіпсовані» нормально розподіленими випадковими величинами і зі стандартним відхиленням $s = 0,001$. За допомогою отриманих наборів точок були побудовані конічні поверхні і проведена оцінка відхилення отриманого кута конуса від номінального. На графіку, зображеному на рис. 3.11 показана залежність точності визначення кута конуса, від кількості виміряних точок.

По горизонтальній осі відкладено кількість точок, взятих для вимірювання, по вертикальній осі відкладені розкид відхилень при вимірюванні кута в градусах. Щоб оцінити похибка і порівняти її з похибкою КВМ переведемо помилки вимірювання кута в помилки вимірювання діаметрів перетину конуса. Вони рівні 0,0045 мм, 0,0020 мм, 0,0015 мм і 0,0011 мм відповідно для випадків вимірювання по 6, 8, 12 і 16 точок. На підставі результатів експерименту можна

рекомендувати вимір 8 точок для визначення кута конуса, а якщо потрібна висока точність, то слід вимірювати 12 точок.

Аналогічні експерименти були проведені для циліндр і тора. Були розраховані набори з 6, 8, 12 і 16 точок на поверхні циліндра. Отримувати дані були «зіпсовані» і по ним побудовані циліндричні поверхні. Графік на рис. 3.12 показує результати експерименту. По горизонтальній осі відкладено кількість точок, взятих для вимірювання циліндрів, по вертикальній осі відкладені розкид відхилень при вимірюванні діаметру в мм.

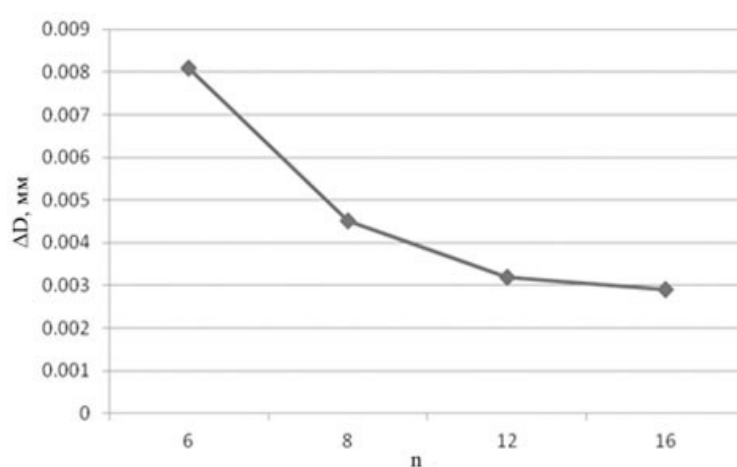


Рисунок 3.11 - Залежність помилки визначення кута конуса від кількості вимірних точок

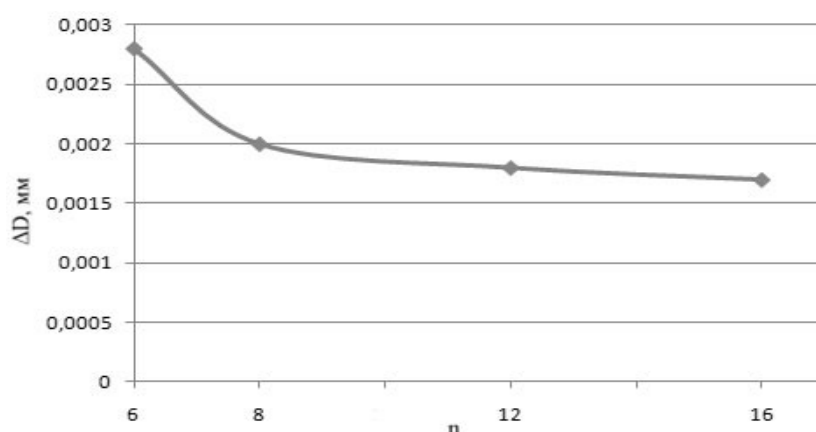


Рисунок 3.12 - Залежність помилки визначення діаметра циліндра від кількості вимірних точок

Для визначення параметрів циліндричних поверхонь на КІМ доцільно вимірювати 8-12 точок.

Графік на рис. 3.13 показує розкид відхилень при вимірюванні параметрів тороїдальної поверхні в залежності від способу вимірювання (по 12, 16, 20 і 24 точкам).

Можна зробити висновок про те, що для визначення параметрів тороїдальних поверхонь слід вимірювати 16 точок.

При вимірі площин, з метою визначення відстані між ними, що актуально для контролю таких параметрів підшипників, як ширина кілець і монтажна висота, можна скористатися рекомендаціями статті [2] по оптимальній кількості точок при вимірах площин. З урахуванням допусків на ці розміри підшипників можна рекомендувати вимірювання торцевих площин по 4-м точкам [5].

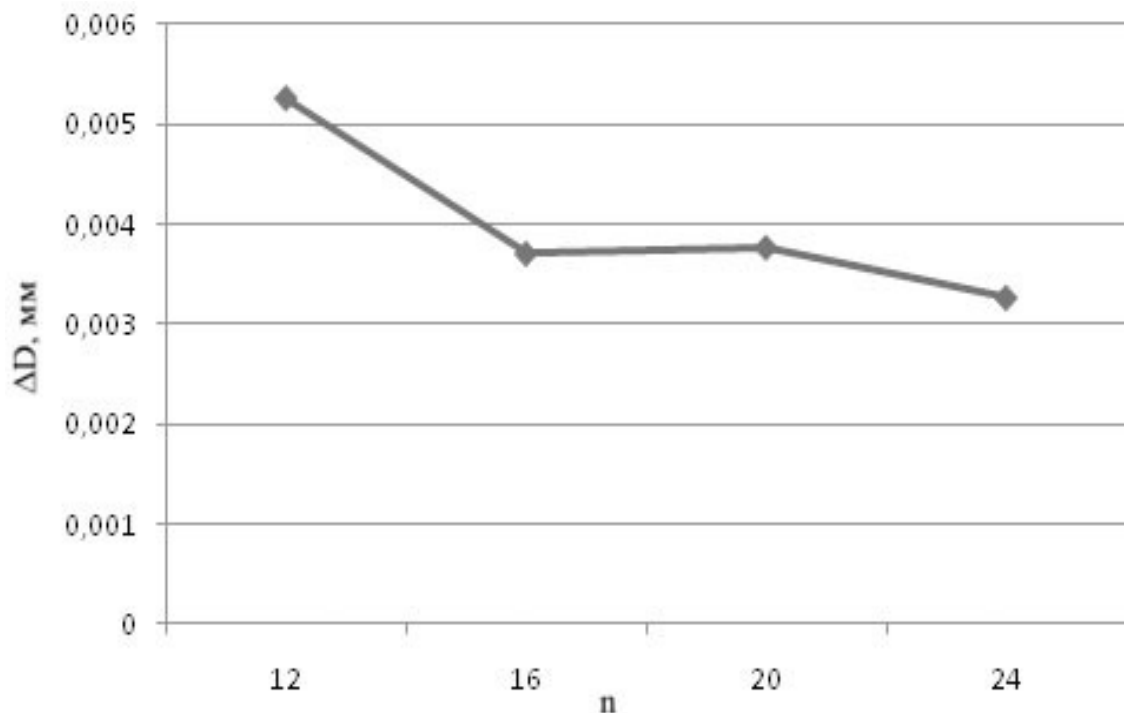


Рисунок 3.13 - Залежність помилки визначення діаметра тора від кількості вимірюваних точок

В табл. 3.2 наведені рекомендації по способу вимірювання поверхонь (мінімальної кількості вимірюваних точок n , для отримання достатньої точності), що входять в конструкцію кільця підшипників кочення на координатно-вимірювальних машинах, зроблені на основі вищеописаних експериментів.

Таблиця 3.2 - Рекомендована кількість точок для вимірювання

Поверхня	Площина	Окружність	Циліндр	Конус	Тор
n	4	4	8-12	12	16

Таким чином, отримані обгрунтовані рекомендації по оптимальній кількості вимірюваних точок для кожної складової поверхні кільця підшипника, що дозволить мінімізувати час витрати в комплексних вимірюваннях.

3.5 Методика вимірювання кільця підшипників кочення на координатно-вимірювальних машинах

Для проведення контролю геометричних параметрів кільця підшипників кочення потрібно виміряти ряд поверхонь, отримати їх параметри і розрахувати деякі відносини між ними.

Контроль діаметра і відхилення форми (нециліндричності) циліндричних поверхонь кільця буде визначено за допомогою стандартної процедури вимірювання циліндрів, з мінімальною кількістю точок рівним 12-й (рис. 3.14).

Контроль мінливості діаметрів циліндричних поверхонь, тобто радіальних биття (різниць найбільшого і найменшого відстані від точок реального профілю поверхні до базової осі в перерізі площиною, перпендикулярної базової осі [20]) здійснюється за допомогою стандартної

процедури, яка передбачає вимірювання полігону по перетину циліндра площиною (рис. 3.14).

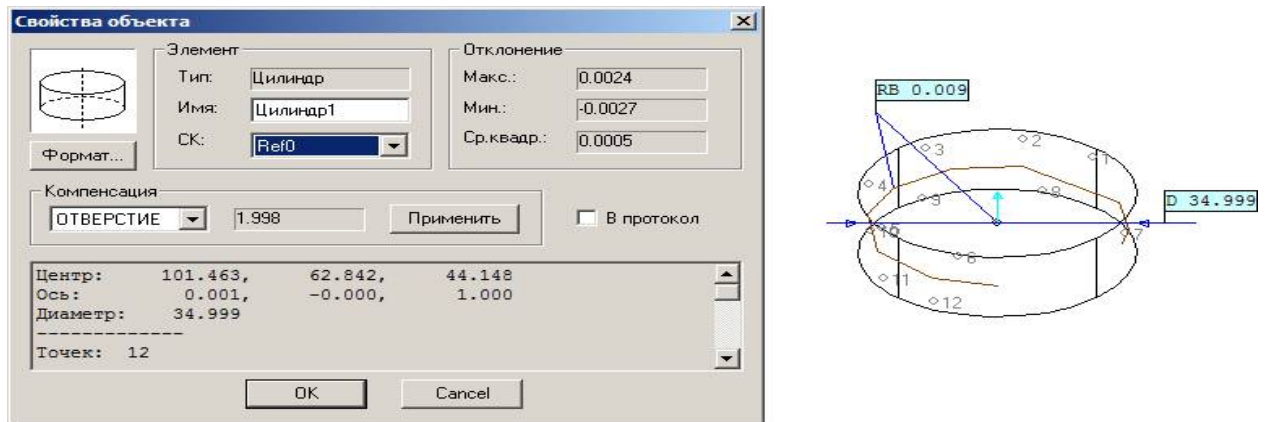


Рисунок 3.14 - Вимірювання діаметра і його мінливості

Контроль діаметра отвору в одиничній площині і відхилення його форми (некруглої) здійснюється за допомогою процедури вимірювання окружності, із зазначенням базової площини по торця кільця.

Контроль ширини кільця здійснюється за допомогою стандартної процедури вимірювання відстані між площинами, вимірюваними мінімум по 4 точкам [24].

Контроль мінливості ширини кільця, тобто їх торцеві биття (різниці найбільшого і найменшого відстані від точок реального профілю торцевої поверхні, до площини, перпендикулярної базової осі [20]) здійснюється за допомогою процедури, аналогічної процедури вимірювання радіального биття (рис. 3.15).

Непаралельність доріжки кочення кільця підшипника щодо торця - це різниця між найбільшим і найменшим відстанями в осьовому напрямку від базового торця до радіальної площини, перпендикулярної до осі тороїдальної поверхні бігової доріжки кільця. Непаралельність доріжки кочення вимірюється за допомогою стандартної процедури вимірювання неперпендикулярності (рис. 3.16).

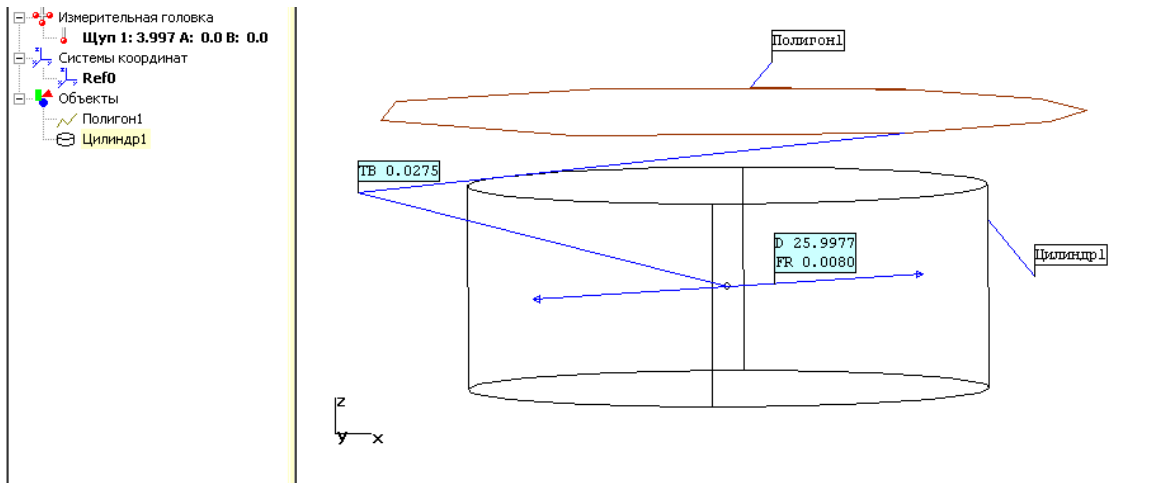


Рисунок 3.15 - Вимірювання мінливості ширини кільця

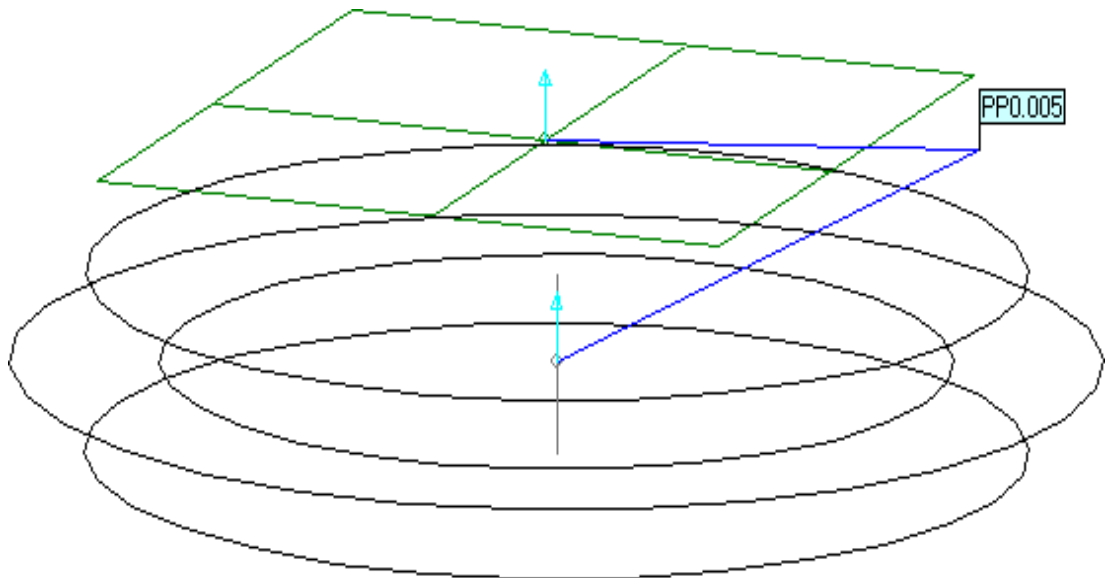


Рисунок 3.16 - Вимірювання непаралельності доріжки кільця

Неперпендикулярність торця кільця щодо циліндричної поверхні – це різниця між найбільшим і найменшим відстанями в осьовому напрямку від базового торця до радіальної площини, перпендикулярної до осі кільця, на відстані від осі в радіальному напрямку, що дорівнює половині середнього діаметра циліндра. Неperпендикулярність торця вимірюється за допомогою стандартної процедури вимірювання неперпендикулярності.

Контроль різнотовщинності доріжки кочення здійснюється за допомогою процедури вимірювання відстані від центру тороїдальної поверхні бігової доріжки кільця, до осі циліндра.

Контроль діаметра і радіуса жолоба бігової доріжки здійснюється за допомогою модуля вимірювання тороїдальних поверхонь.

Доріжка кочення кільця кулькового підшипника є тор. Процедура контролю передбачає побудову тора по 4-м перетинах і точках, узятим в області контакту з кульками по периметру доріжки (рис. 3.17).

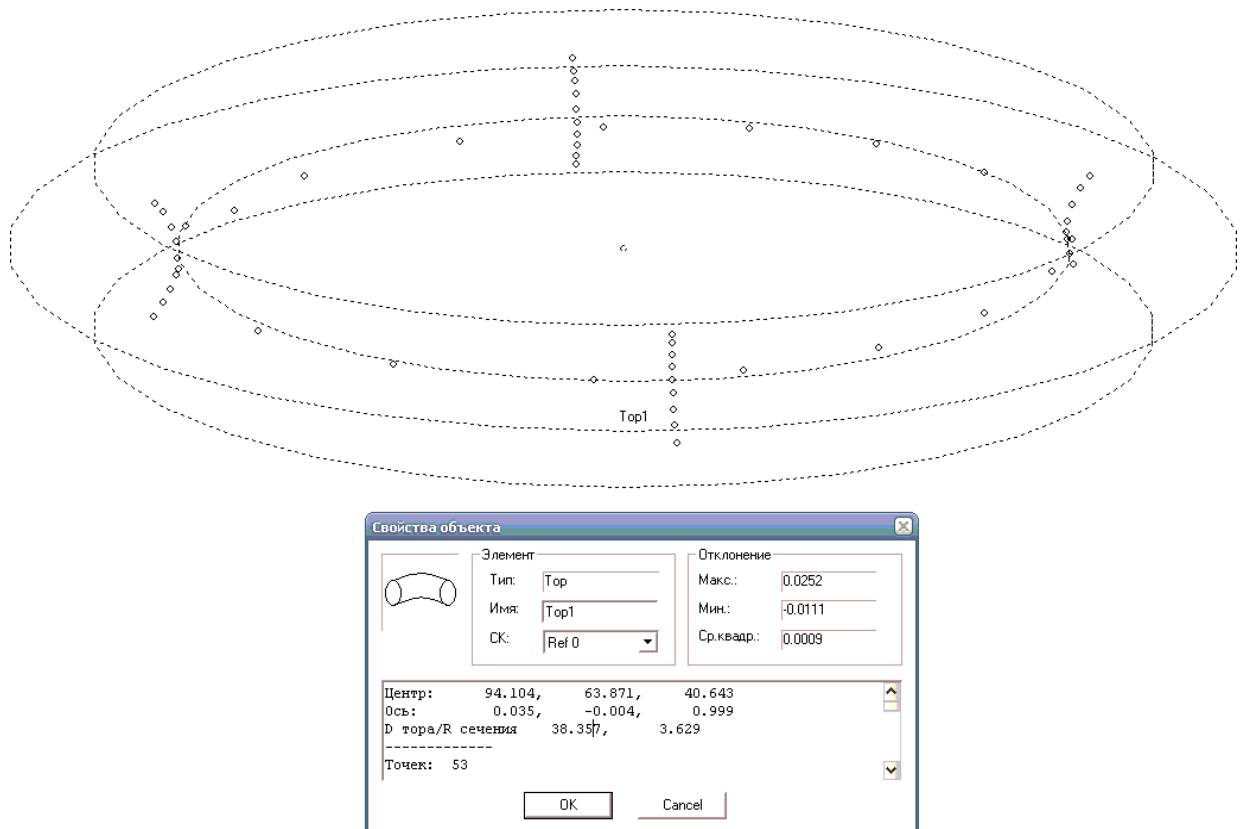


Рисунок 3.17 - Вимірювання доріжки кочення кільця кулькового підшипника

Контроль нестабільності діаметра бігової доріжки здійснюється за допомогою діаграми, побудованої за відхиленнями від тороїдальної поверхні точок, взятих по периметру доріжки кочення в зоні контакту з кульками або в разі роликового підшипника за відхиленнями точок, взятих в зоні контакту кільця з тілами обертання, від конічної поверхні (рис. 3.18). Точки виміряні для цієї мети беруть участь в побудові тора і завдяки цьому можна дізнатися відхилення кожної з них від поверхні.

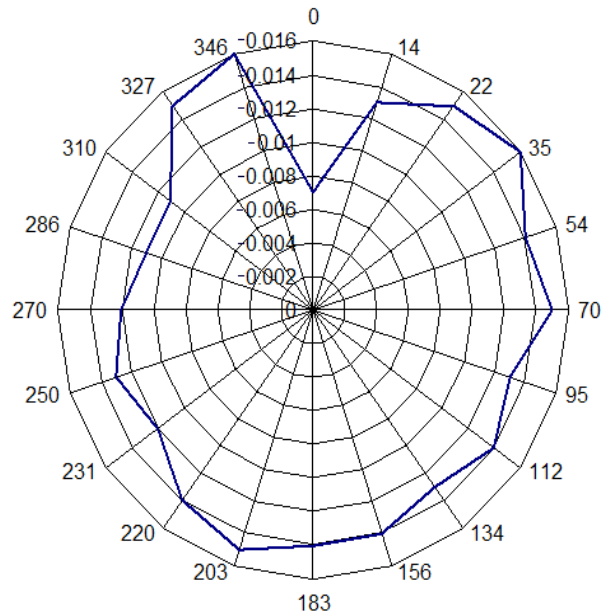


Рисунок 3.18 - Діаграма відхилень

Контроль мінливості діаметра доріжки кочення здійснюється за відхиленнями від тороїдальної поверхні точок, взятих по перетинах тора, паралельним його осі.

Кут конусності і відхилення форми бігової доріжки кільця конічного підшипника визначається за допомогою процедури вимірювання конуса по 12-й точках (рис. 3.19).

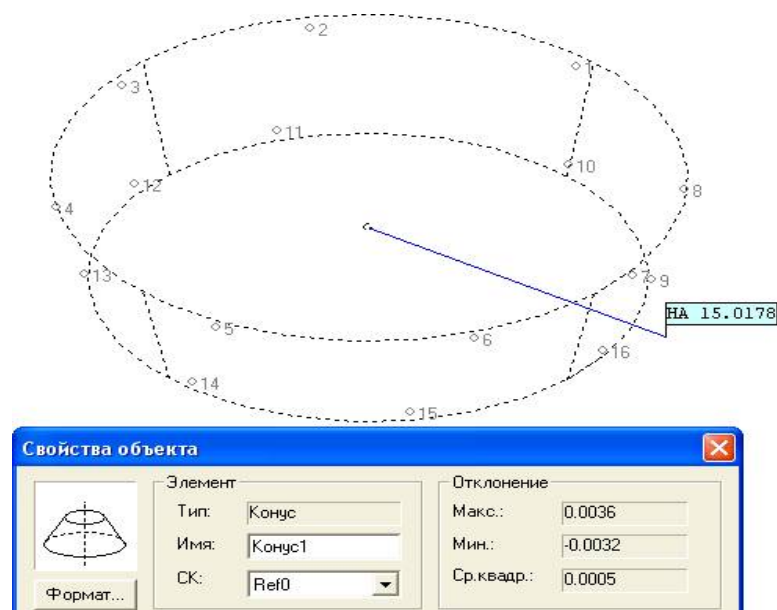


Рисунок 3.19 – Контроль бігової доріжки кільця конічного підшипника

Поверхні, необхідні для вимірювання геометричних параметрів кільця кулькового підшипника зображені на рис. 3.20.

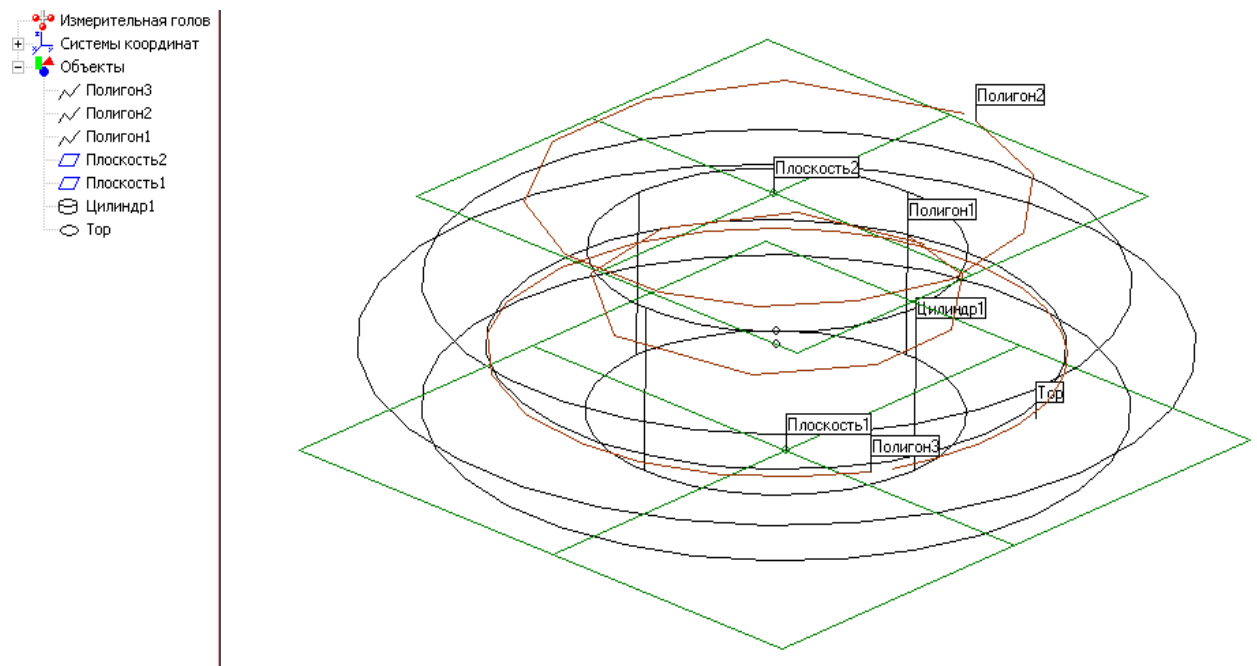


Рисунок 3.20 - Сеанс вимірювання кільця кулькового підшипника

На рис. 3.21 представлені поверхні, необхідні для вимірювання геометричних параметрів кільця роликового підшипника.

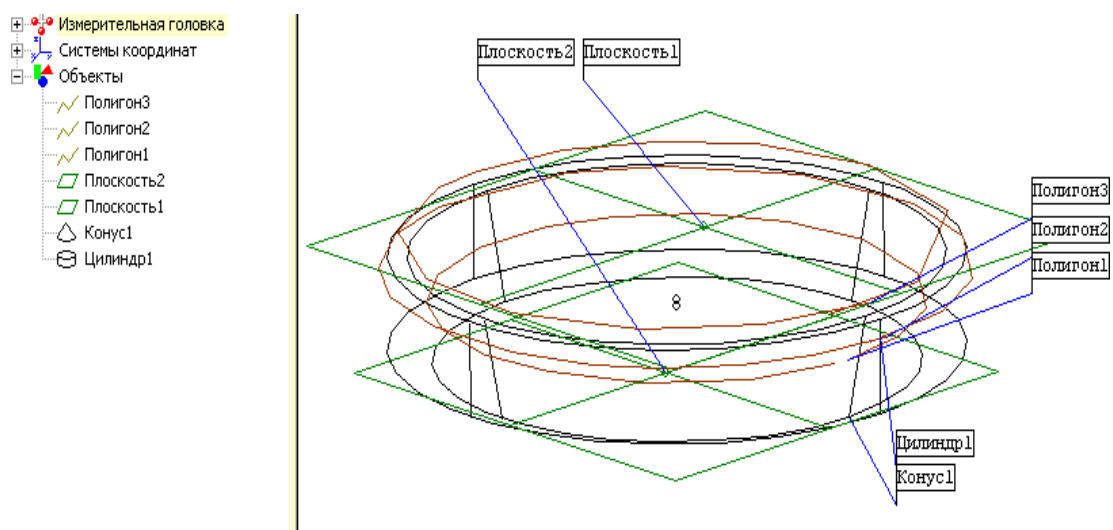


Рисунок 3.21 - Сеанс вимірювання кільця роликового підшипника

Дійсна ширина (монтажна висота) підшипника в зборі визначається за допомогою процедури вимірювання відстані між площинами, вимірюваними по виступаючим торцях кілець підшипника.

Висновки

Контроль кілець підшипників кочення досить складний процес з огляду на те, що для контролю всіх геометричних параметрів, заявлених в ГОСТ 520-2002 і на кресленнях необхідно застосування широкої номенклатури вимірювальних пристроїв. Застосування універсального засобу вимірювання, такого, як координатно-вимірювальна машина спрощує і прискорює процес досборочного контролю кілець підшипників кочення. Розроблена методика контролю кілець підшипників кочення на КІМ дозволяє проводити наступні вимірювання:

- вимірювання внутрішніх і зовнішніх циліндричних поверхонь, що дає значення радіусів, мінливості діаметрів, відхилення від циліндричної і від круглості;

- вимір торцевих площин кільця, що дає значення ширини і мінливості ширини кільця;

вимірювання тороїдальної або конічної поверхні бігової доріжки кільця, що дає значення радіуса жолоба бігової доріжки, значення діаметра бігової доріжки і їх мінливість;

- визначення різних відносин (таких, як перпендикулярність, відстань і т.д.) між вимірюваними об'єктами, що дозволяє покрити весь список параметрів, які потрібно виміряти.

У табл. 3.3 наведено аналіз номенклатури засобів вимірювання, що потребується для здійснення різних операцій контролю і вказано чи можливо проводити їх за допомогою координатно-вимірювальних машин.

Таблиця 3.3 - Вимірювальні прилади, що застосовуються для контролю параметрів кілець підшипників кочення

Параметр для контролю	прилади для контролю	Можливість контролю на КІМ
Діаметри отворів / валів	УД-ОМ, УД-2В-2М, Д-313-3М	Да
відхилення форми	УД-ОМ, Д-313-3М, Талиронд	Да
Непаралельність і неперпендикулярність	В-902М, В-903М	Да
різнотовщинність	Д-422М, ПП-2М	Да
Ширина	В-902М, В-903М, 0-64М	Да
Параметри жолоби бігової доріжки	Rotary talysurf, Form talysur, MarSurfLD, Бендикс	Да
Шорсткість поверхні	Rotary talysurf, Form talysur, MarSurf LD	Нет

Табл. 3.3 наочно показує, що використання координатно-вимірювальних машин дає можливість відмовитися від великої кількості вимірювальних пристроїв і дозволяє контролювати геометричні параметри кілець підшипників кочення, як того вимагає ГОСТ і креслення.

4 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ РЕГУЛЯРИЗАЦІЯ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КІЛЕЦЬ ПІДШИПНИКІВ

4.1 Вимірювання кілець підшипників кочення на КВМ

З метою практичної перевірки способу вимірювання поверхонь, представлених в конструкції деталі малими секторами, розробленого на основі методу регуляризації А.М. Тихонова, було проведено ряд вимірювальних експериментів. Вимірювання проводились на координатно-вимірювальній машині Inspector Maxі виробництва фірми Olivetti. Переміщення по осях машини складають 1150x900x600 мм, похибка вимірювань $\pm (4 + L / 250)$ мкм (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – КВМ Inspector Maxі

Були виміряні жолоби бігових доріжок внутрішніх і зовнішніх кілець підшипників 206А, 307а, внутрішнього кільця підшипника № 6-50306 і кільця роликового підшипника 7515 (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Кільця підшипників 206А, 307А, 7515 и № 6-50306

4.2 Вимірювання кілець підшипника 307А

Підшипник 307а відноситься до підшипників підвищеного класу точності, вимоги до розмірів для внутрішнього кільця цього підшипника позначені на кресленні, рис. 4.3.

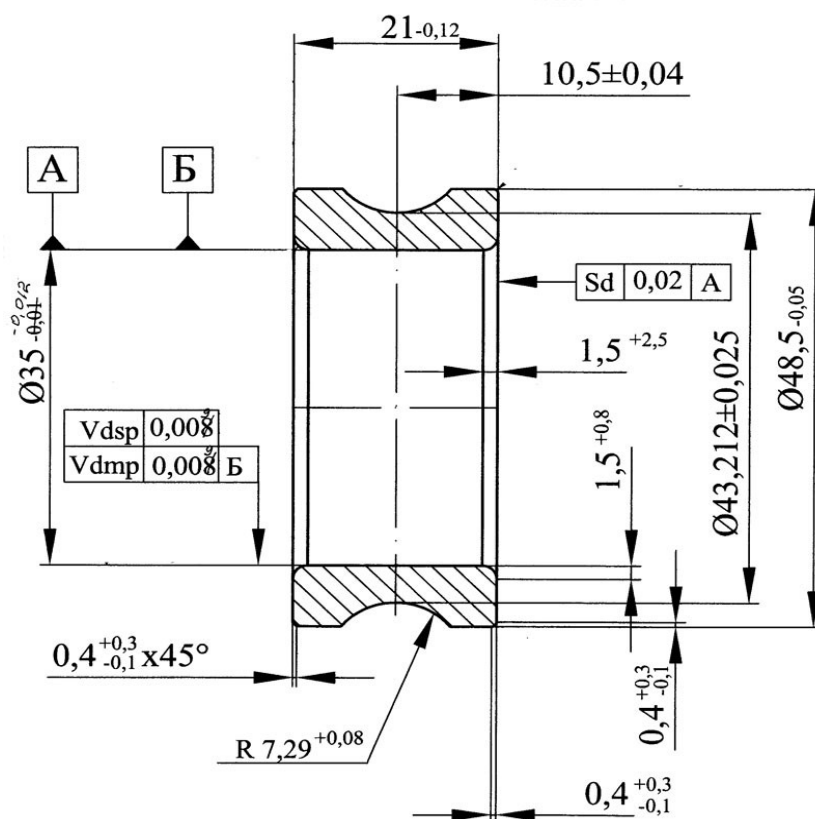


Рисунок 4.3 - Креслення внутрішнього кільця підшипника 307А

Відповідно до розробленої методики була проведена серія обмірів внутрішнього кільця підшипника 307а на координатно-вимірвальній машині (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 - Вимірювання внутрішнього кільця підшипника 307А

За результатами обмірів були побудовані геометричні об'єкти: площини, циліндри і тор (рис. 4.4).

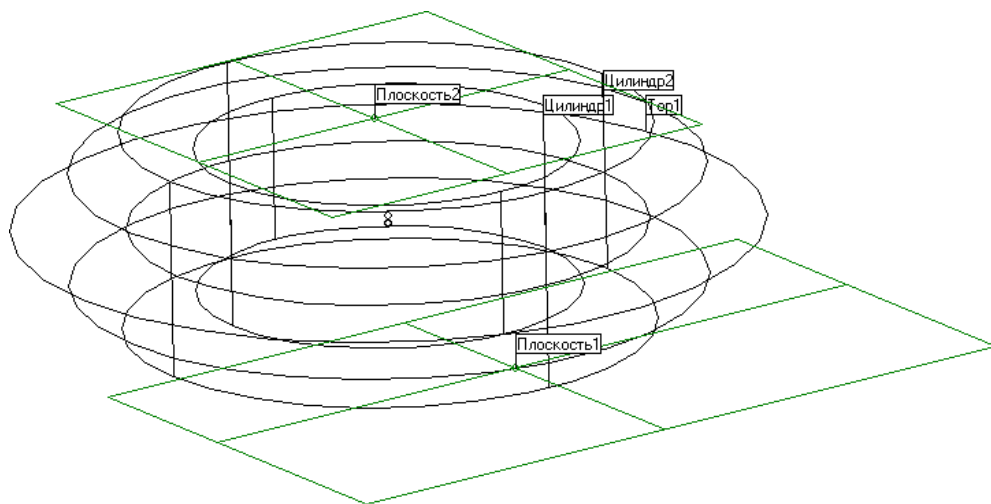


Рисунок 4.4 - Сеанс вимірювання внутрішнього кільця підшипника 307А

Об'єкти «площина 1» і «площина 2» відповідають торцевих площинах кільця, «циліндр 1» відповідає отвору внутрішнього кільця, «Циліндр 2»

відповідає заплічників внутрішнього кільця, «тор1» відповідає жолобу бігової доріжки кільця (рис. 4.5.).

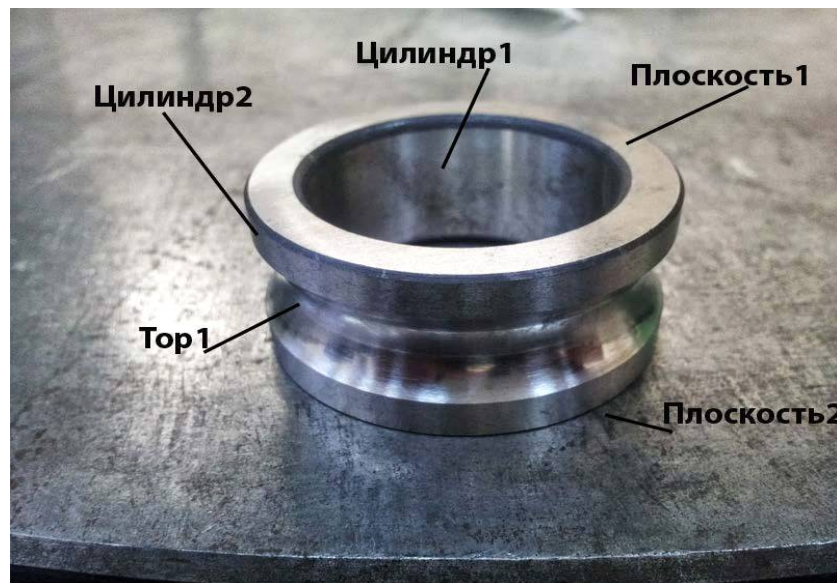


Рисунок 4.5 – Геометричні об'єкти, виміряні на кільці підшипника

Було проведено 15 вимірювань тороїдальної поверхні бігової доріжки кільця підшипника. За вимірами були проведені розрахунки параметрів тора з різними коефіцієнтами регуляризації, результати розрахунку по одному з проведених вимірювань наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати розрахунків параметрів бігової доріжки внутрішнього кільця підшипника 307а

0,00623	0,000429	-0,069	0,07088	0,00001
0,00508	0,000434	-0,063	-0,06391	0,01
0,00008	0,000847	-0,010	-0,007269	0,41
0,00005	0,000871	-0,009	-0,005	0,51
0,00003	0,000889	-0,008	-0,004	0,61
0,00000	0,001276	0,000	0,000	444,43
0,00000	0,001306	0,000	0,000	1247

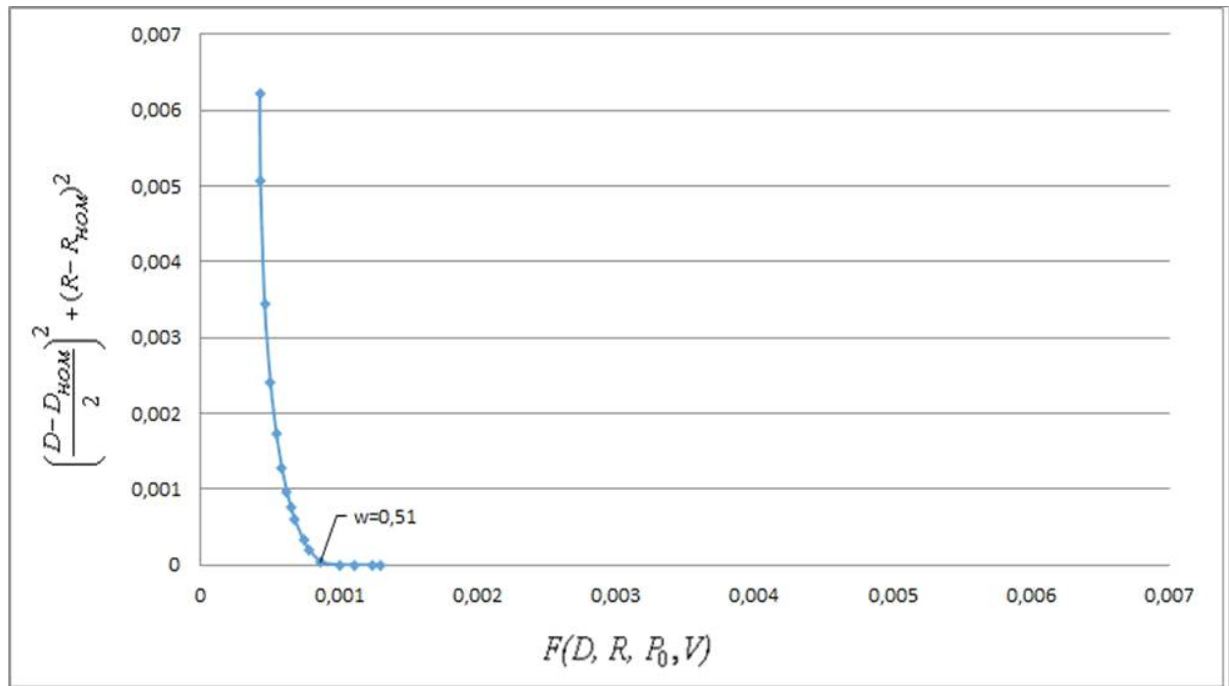


Рисунок 4.5 - L-крива для бігової доріжки внутрішнього кільця підшипника 307а

Графік, побудований за результатами розрахунків (рис. 4.5), має характерну форму і має яскраво виражену точку з максимальною кривизною.

У табл. 4.2 наведені значення кривизни в точках L-кривої.

Таблиця 4.2 - Кривизна в точках L-кривої

w	0,00001	0,01	0,41	0,51	0,61	97,35	477,77
k	0,00	0,0000	477,32	1288,72	496,58	14,04	3.34

Точці з максимальною кривизною відповідає оптимальне значення коефіцієнта регуляризації.

У табл. 4.3 представлені номінальні розміри з креслення, допуски на них і виміряні значення.

Дані таблиці табл. 4.2 дозволяють зробити висновок протє, що такі розміри виміряного кільця підшипника, як радіус жолоба бігової доріжки, діаметр заплічників і перпендикулярність торця що до отвори виходять за межі поля допуску. Решта розміри знаходяться в межах допусків.

Таблиця 4.3 - Розміри внутрішнього кільця підшипника 307а

Розмір	Номінальне значення, мм	Виміряне значення, мм
Радіус жолоби бігової доріжки	7,29 +0,08	7,240
Діаметр бігової доріжки	43,212 ±0,025	43,20
Ширина кільця	21 -0,12	20,89
Діаметр отвору	35 -0,012	35,00
Діаметр заплічників	48,5 -0,05	48,40
Перпендикулярність торця кільця щодо отвори	0 +0,02	0,064
Мінливість зовнішнього діаметра в одиничній площини	0 +0,008	0,005
Мінливість середнього зовнішнього діаметра	0 +0,008	0,005
мінливість ширини	0 +0,020	0,001
Мінливість діаметра доріжки кочення	0 +0,009	0,008

Відповідно до методики, кільце було виміряно на координатно-вимірювальній машині (рис. 4.7).



Рисунок 4.7 – Вимірювання зовнішнього кільця підшипника 307а

За результатами обмірів були побудовані геометричні об'єкти: площині, циліндри і тор (рис. 4.8).

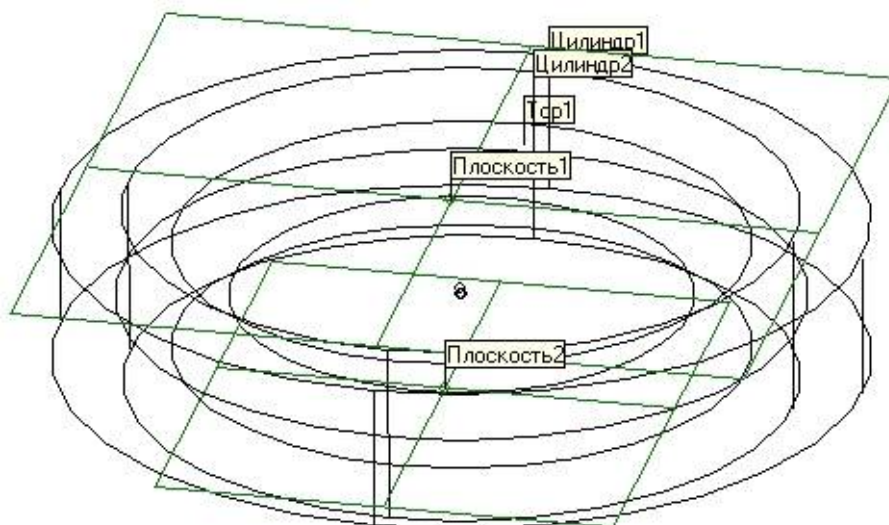


Рисунок 4.8 - Сеанс вимірювання зовнішнього кільця підшипника 307а

Об'єкти «площина 1» і «площина 2» відповідають торцевих площинах кільця, «циліндр 1» відповідає отвору внутрішнього кільця, «циліндр 2» відповідає заплічників внутрішнього кільця, «тор 1» відповідає жолобу бігової доріжки кільця (рис. 4.9).



Рисунок 4.9 - Геометричні об'єкти, виміряні на кільці підшипника

Було проведено 15 вимірювань жолоби бігової доріжки кільця підшипника, яка представляє собою тор. За результатами вимірювань було проведено розрахунок параметрів тора з різними коефіцієнтами регуляризації, результати розрахунку по одному з проведених вимірювань наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Результати розрахунків параметрів бігової доріжки зовнішнього кільця підшипника 307а

	$F(D, R, P_0, V)$	$D - D_{НОМ}$	$R - R_{НОМ}$	w
0,12842	0,00107	-0,450	-0,279	0,0001
0,11765	0,00109	-0,429	-0,268	0,003
0,00216	0,00627	-0,014	-0,046	0,235
0,00109	0,00684	0,008	-0,033	0,555
0,00045	0,00817	0,016	-0,020	3,045
0,00004	0,01551	0,005	-0,005	21,57
0,00000	0,01859	0,002	-0,002	64,57

Графік, побудований за даними табл. 4.4, має характерну форму з чітко вираженою точкою максимальної кривизни (рис. 4.10).

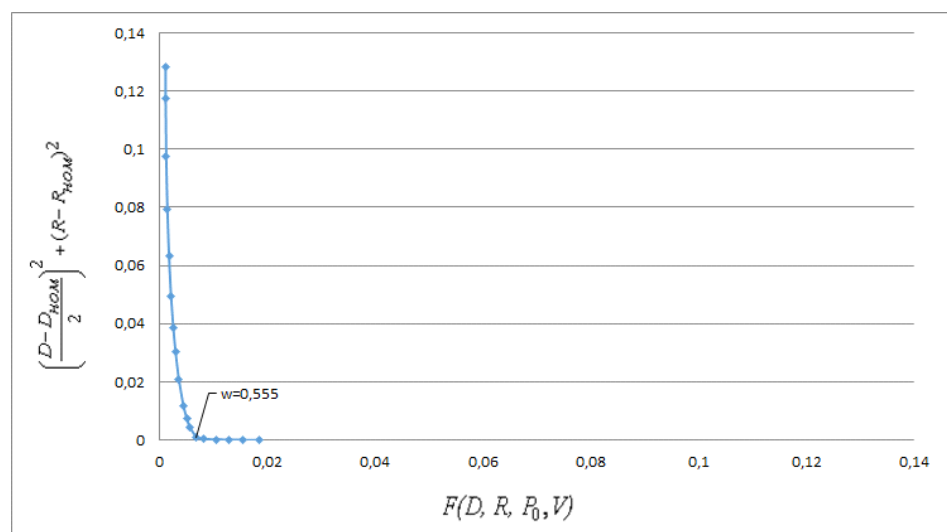


Рисунок 4.10 - L-крива для бігової доріжки зовнішнього кільця підшипника 307а

У табл. 4.5 наведені значення кривизни в точках вийшла L- кривої.

Таблиця - 4.5 Кривизни в точках L-кривої

w	0,00001	0,003	0,235	0,555	3,045	97,35	477,77
k	0,00	0,00	17,33	230,37	33,50	14,04	3.34

Точка з максимальною кривизною відповідає оптимальному коефіцієнту регуляризації. У таблиці 4.6 представлені номінальні розміри кільця підшипника з креслення, допуски на них і їх виміряні значення.

Дані табл. 4.6 показують, що всі параметри зовнішнього кільця підшипника 307а знаходяться в межах полів допусків, крім радіусу жолоба бігової доріжки.

Таблиця 4.6 - Розміри зовнішнього кільця підшипника 307а

Розмір	Номінальне значення, мм	Виміряне значення, мм
Радіус жолоби бігової доріжки	7,57 +0,08	7,507
Діаметр бігової доріжки	71,788 ±0,025	71,796
Ширина кільця	21 -0,12	20,937
Діаметр вала	80 -0,013	79,999
Діаметр заплічників	66,1 +0,4	66,256
Перпендикулярність торця кільця щодо отвори	0 +0,02	0,002
Відхилення зовнішнього діаметра в одиничній площині	0 +0,010	0,010
Мінливість середнього зовнішнього діаметра	0 +0,010	0,010
мінливість ширини	0 +0,020	0,013
Мінливість діаметра доріжки кочення	0 +0,009	0,010

4.3 Вимірювання кільця підшипника 206А

Підшипник 206А відноситься до підшипників підвищеного класу точності, вимоги до розмірів для внутрішнього кільця цього підшипника позначені на рис. 4.11.

Було проведено ряд вимірювань кільця на КВМ відповідно до методики вимірювань (рис. 4.12).



Рисунок 4.12 - Вимірювання внутрішнього кільця підшипника 206А

Об'єкти «площина 1» і «площина 2» відповідають торцевих площинах кільця, «циліндр 1» відповідає отвору внутрішнього кільця, «циліндр 2» відповідає заплічників внутрішнього кільця, «тор 1» відповідає жолобу бігової доріжки кільця.

Було проведено 15 вимірювань поверхні жолоба бігової доріжки кільця. За вимірами був праведний розрахунок параметрів тора з різними коефіцієнтами регуляризації, результати розрахунку по одному з проведених вимірювань наведені в табл. 4.7.

Графік, побудований за даними табл. 4.7, має характерну форму з чітко вираженою точкою максимальної кривизни (рис. 4.13).

Точка з максимальною кривизною відповідає оптимальному коефіцієнту регуляризації. У табл. 4.9 представлені номінальні розміри кільця підшипника з креслення, допуски на них і їх виміряні значення.

Таблиця 4.7 - Результати розрахунків параметрів бігової доріжки внутрішнього кільця підшипника 206А

	$F(D, R, P_0, V)$	$D - D_{ном}$	$R - R_{ном}$	w
0,08206	0,00150	-0,212	-0,266	0,0001
0,07094	0,00159	-0,195	-0,248	0,01
0,00158	0,01219	-0,009	-0,040	0,35
0,00120	0,01262	-0,005	-0,035	0,45
0,00099	0,01290	-0,002	-0,031	0,55
0,00000	0,02815	0,000	0,000	437
0,00000	0,02845	0,000	0,000	1108

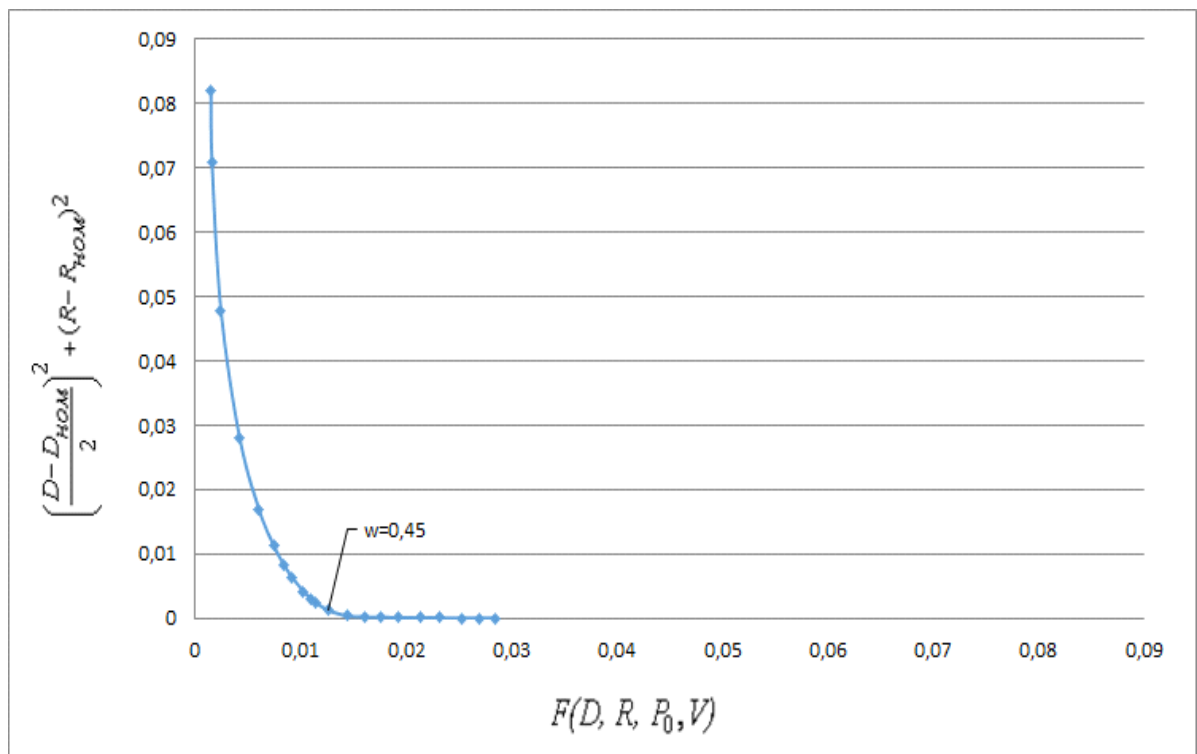


Рисунок 4.13 - L-крива для бігової доріжки внутрішнього кільця підшипника 206А

В табл. 4.8 наведені значення кривизни на ділянках L-кривої.

Таблиця 4.8 - Кривизни в точках L-кривої

w	0,00001	0,003	0,35	0,45	0,55	437,73	1108,51
k	0,00	0,00	82,22	121,61	80,29	0,00	0,00

Таблиця 4.9 - Розміри внутрішнього кільця підшипника 206А

Розмір	Номінальне значення, мм	Виміряне значення, мм
Радіус жолоби бігової доріжки	4,86 +0,08	4,534
Діаметр бігової доріжки	35,475 ±0,025	35,470
Ширина кільця	16 -0,12	15,954
Діаметр отвору	30 -0,010	61,997
Діаметр заплічників	39,8 -0,5	51,965
Перпендикулярність торця кільця щодо отвори	0 +0,02	0,005
Мінливість зовнішнього діаметра в одиничній площини	0 +0,010	0,010
Мінливість середнього зовнішнього діаметра	0 +0,010	0,010
мінливість ширини	0 +0,020	0,002
Мінливість діаметра доріжки кочення	0 +0,010	0,021

Дані табл. 4.9 показують, що всі параметри внутрішнього кільця підшипника 206А знаходяться в межах полів допусків, крім радіусу жолоба бігової доріжки і відхилення діаметра доріжки кочення.

Розміри зовнішнього кільця підшипника позначені на кресленні, рис. 4.14.

Відповідно до методики, кільце було виміряно на координатно-вимірвальній машині (рис. 4.15).



Рисунок 4.15 - Вимірювання зовнішнього кільця підшипника 206А

За результатами обмірів були побудовані геометричні об'єкти: площині, циліндри і тор. Об'єкти «площина 1» і «площина 2» відповідають торцевих площинах кільця, «циліндр 1» відповідає отвору внутрішнього кільця, «циліндр 2» відповідає заплічників внутрішнього кільця, «тор 1» відповідає жолобу бігової доріжки кільця.

Було проведено 15 вимірювань поверхні жолоба бігової доріжки кільця. За вимірами був праведний розрахунок параметрів тора з різними коефіцієнтами регуляризації, результати розрахунку по одному з проведених вимірювань наведені в табл. 4.10.

Графік, побудований за даними табл. 4.10, має характерну форму з чітко вираженою точкою максимальної кривизни (рис. 4.16).

В табл. 4.11 наведені значення кривизни в точках L-кривої.

Точка з максимальною кривизною відповідає оптимальному коефіцієнту регуляризації. У табл. 4.12 представлені номінальні розміри кільця підшипника з креслення, допуски на них і їх виміряні значення.

Таблиця 4.10 - Результати розрахунків параметрів бігової доріжки зовнішнього кільця підшипника 206А

	$F(D, R, P_0, V)$	$D - D_{ном}$	$R - R_{ном}$	w
0,00815	0,001753	-0,082	0,076	0,001
0,006508	0,00177	-0,074	0,066	0,01
0,000801	0,002341	-0,027	0,015	0,15
0,000033	0,003004	-0,005	0,007	5,84
0,000008	0,004061	-0,002	-0,004	28,48
0,000002	0,005067	-0,001	-0,002	70,69999
0	0,00607	0,000	0,000	419,38

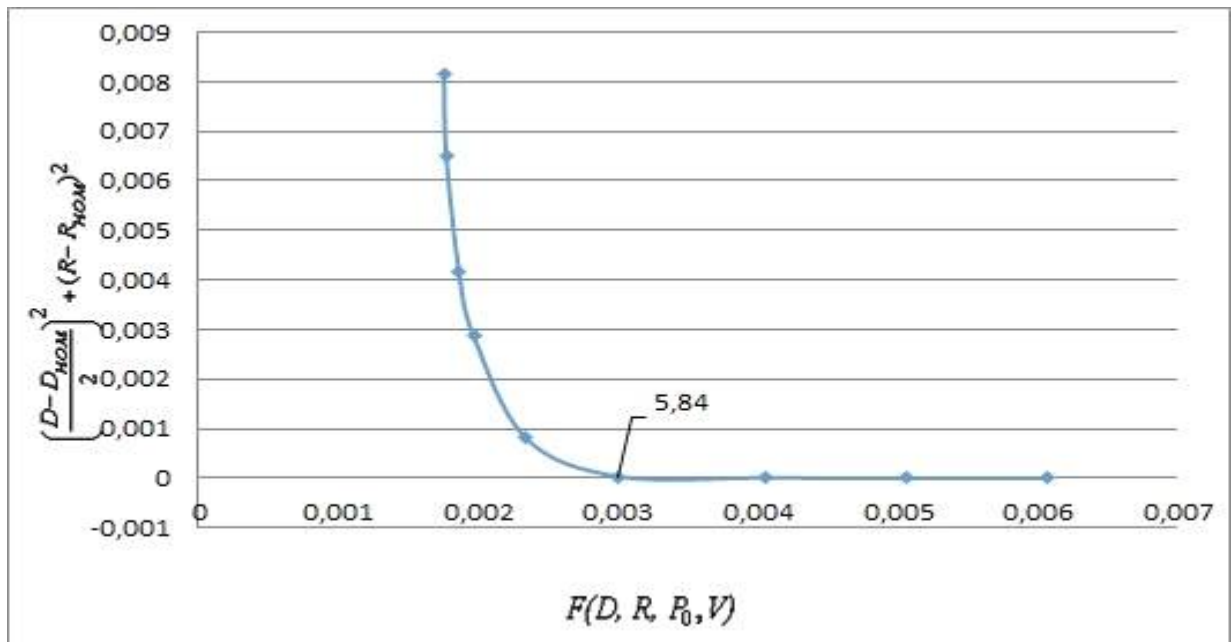


Рисунок 4.16 - L-крива для бігової доріжки зовнішнього кільця підшипника 206А

Дані табл. 4.12 показують, що всі параметри внутрішнього кільця підшипника 206А знаходяться в межах допусків.

Таблиця 4.12 - Розміри зовнішнього кільця підшипника 206А

Розмір	Номінальне значення, мм	Виміряне значення, мм
Радіус жолоби бігової доріжки	5,05 +0,08	4,930
Діаметр бігової доріжки	55,525 ±0,025	55,520
Ширина кільця	16 -0,12	15,954
Діаметр отвору	62 -0,013	61,997
Діаметр заплічників	51,7 +0,4	51,965
Перпендикулярність торця кільця щодо отвори	0 +0,02	0,005
Мінливість зовнішнього діаметра в одиничній площині	0 +0,010	0,010
Мінливість середнього зовнішнього діаметра	0 +0,010	0,010
мінливість ширини	0 +0,020	0,002
Мінливість діаметра доріжки кочення	0 +0,010	0,009

Висновки

Для вимірювання кілець підшипників 206А, 307а, 7515 і 7516 на координатно-вимірювальній машині була застосована розроблена методика в поєднанні з розробленим способом вирішення погано обумовлених завдань.

Запропоновані рішення дозволили отримати значення всіх розмірів, які підлягають контролю згідно з кресленнями підшипників.

Проведений вимірювальний експеримент, який полягав в порівнянні даних, отриманих за допомогою розробленого способу вимірювань і в метрологічній лабораторії підшипникового заводу, дозволяє зробити висновок, про можливість використання такого універсального вимірювального пристрою, як координатно-вимірювальні машини, для контролю геометричних параметрів кілець підшипників кочення, завдяки використанню методу регуляризації при обробці результатів вимірювання з метою визначити геометричні параметри бігових доріжок до олец кулькових підшипників.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Засоби та заходи щодо забезпечення підвищення стійкості об'єкту в надзвичайних ситуаціях

Заходи направлені на попередження і зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій в цеху.

Запобігання вибухам і пожежам вирішується шляхом виключення утворення токсичного і горючого середовища в приміщеннях і в атмосфері на території технологічної установки наступними технологічними рішеннями:

- застосування електродвигунів, освітлювальної арматури і технічних засобів автоматизації у вибухозахищеного виконання;
- ступінь вогнестійкості будівель II;
- блискавкозахист будівель і споруд;
- ємкісні апарати з легкозаймистими рідинами, що працюють під атмосферним тиском, знаходяться під азотним «диханням»;
- можливість відключення всіх вентиляційних систем з ЦПУ при пожежі;
- установка арматури з ручним управлінням для припинення надходження легкозаймистих рідин;

наявність підручних засобів пожежогасінні: ручних вогнегасників, хімічно-пінних, легко-пінних (ОП-5, ОХП-10, ОПВ-5 и др.), вуглекислотних ОУ-5, вуглекислотно-брометилових, ящиків з піском, щитів з пожежним інвентарем, азбестових ковдр;

- організовані майданчики для проведення електрогазозварювальних робіт;
- навколо будівель по периметру розміщені пожежні гідранти;
- організовані мережа пожежних проїздів на території виробництва;
- організована ємкість (резервуар) для недоторканного запасу води, використовуваної для зовнішнього гасіння пожежі через гідранти.

- проводяться систематичні перевірки ефективності вентиляційних систем, у тому числі і аварійних;
- організован систематичний контроль найбільш небезпечних ділянок трубопроводів і устаткування;
- дотримання правил ТБ и ПБ;
- проведення систематичних перевірок протипожежного стану об'єктів;
- проведення обов'язкових перевірок повітря робочої зони, стічних вод на відповідність нормативно-технічній документації;
- забезпечення працюючих засобами захисту для роботи з токсичними речовинами;
- установка надійних огорож на частинах машин і механізмів, що обертаються;
- розробка ПЛАС і навчання оперативного персоналу і ІТР діям в аварійних ситуаціях відповідно до інструкцій і ПЛАС.

5.2 Індивідуальні і колективні засоби захисту. Засоби індивідуального захисту

Робочі і службовці цеху виробництва аміачної селітри забезпечуються побутовими приміщеннями відповідно до вимог СНіП 2.09.04-87 «Адміністративні і побутові будівлі», спецодягом, спецвзуттям і іншими засобами індивідуального захисту відповідно до «Типових галузевих норм безкоштовної видачі спецодягу, спецвзутті і інших засобів індивідуального захисту робочим і службовцем хімічних виробництв».

Для захисту від шкідливих і небезпечних виробничих чинників застосовуються засоби індивідуального захисту:

- При виконанні всіх видів робіт в цеху, знаходитися в костюмі бавовняному (брюки костюма повинні бути поверх черевик), в зимовий час - куртці бавовняною на утепленій підкладці;

До спецвзуття, яке вживається в цеху відносяться: черевики шкіряні, валянки.

- При виконанні електрогазозварювальних робіт застосовувати білизну натільну, костюм брезентовий;
- Рукавиці спеціальні - застосовуються при відкритті і закритті замочної і регулюючої арматури, її відігріванні, а також при проведенні ремонтних робіт;
- Рукавиці спеціальні (суконні) - застосовуються при роботі з рідкими продуктами розділення повітря;
- Рукавиці брезентові - застосовуються при проведенні електрогазозварювальних робіт;
- Протипилові респіратори - застосовуються для захисту органів дихання під час проведення ремонтних робіт;
- Каска «Праця» з підшоломником - застосовують для захисту голови від травм при проведенні в цеху ремонтний-будівельних і монтажних робіт;
- Протигаласльні вкладиші «Беруши» або протигалані навушники застосовуються для захисту органів слуху від підвищеного рівня шуму, потрапляючого від працюючого устаткування, при знаходженні в місцях з підвищеним рівнем шуму;

Для захисту очей застосовувати наступні типи окулярів:

- 1) для захисту від твердих частинок - відкриті захисні окуляри з прямій вентиляцією;
- 2) при роботі з рідкими криогенними продуктами застосовувати захисні окуляри герметичні.

Діелектричні рукавички, калоші - від поразки електричним струмом;

Протигаз з фільтруючою коробкою марки «М».

Застосовується для захисту органів дихання від дії окислу вуглецю у присутності невеликих кількостей органічної пари, оцтової

кислоти, кислих газів, аміаку, миш'яковистого і фосфорного воднів у разі аварійних викидів в атмосферу цих речовин з інших цехів підприємства.

Промислові (що фільтрують) протигазу застосовуються в атмосфері, що містить не меншого 18 об'ємних відсотків вільного кисню і не більше 0,5 об'ємних відсотків шкідливих речовин. Аварійний запас спецодягу, ізолюючих протигазів, аптечка знаходяться в диспетчерській.

5.3 Засоби колективного захисту

Виробництво азотної кислоти оснащено засобами колективного захисту:

- світловими отворами, освітлювальними приладами згідно проекту;
- захисним заземленням устаткування;
- вентиляцією приточування з калориферами і витяжною вентиляцією;
- опалюванням;
- огорожею майданчиків для обслуговування арматури, трубопроводів, апаратів;
- знаками безпеки;
- устаткування оснащено запобіжними, ізолюючими пристроями і покриттям;
- громовідводи і розрядники.
- засобами пожежогасінні;
- аварійними ізолюючими протигазами;
- аптечками;
- аварійними засобами індивідуального захисту;
- ванни самопомоги встановлені:

Ванни містяться в постійній готовності і заповнюються чистою водою, яку періодично, у міру забруднення, замінюють.

До колективних засобів захисту відносяться сховища. Вони забезпечують найбільш надійний захист людей від вражаючих факторів зброї

масової поразки, також від високих температур і шкідливих газів у зоні пожежі.

Колективні засоби захисту повинні відповідати проекту, нормам, правилам. Вони повинні бути в справному стані.

5.4 Заходи з електробезпеки

Для забезпечення електробезпеки передбачені:

-усунення небезпеки ураження при появі напруги на корпусах, кожухах і частинах електроустаткування, досягається використанням малих напруг, застосуванням подвійної ізоляції, вирівнювання потенціалу, захисним заземленням, захисним відключенням;

-організація безпечної експлуатації електроустановок;

-забезпечення недосяжності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою.

Для виключення переходу напруги на корпус та неструмлені частини електричного та технологічного обладнання при замиканні на них однією з фаз застосуємо захисне заземлення.

5.5 Пожежобезпека

У цехувиробництва метанолу пожежі можуть виникати по наступних причинах:

- самозаймання горючих речовин і матеріалів та їх здатність утворювати з повітрям вибухонебезпечні середовища;
- спалах масла і промаслених матеріалів;
- спалахвнаслідок пошкоджень електропроводки, через перевантаження електродвигунів устаткування;
- при проведенні робіт газо- та електрозварювань близько від місць знаходження горючих речовин.

Загальними заходами по забезпеченню пожежної безпеки при проведенні технологічних процесів є:

- заміна небезпечних технологічних операцій менш небезпечними;
- ізолюване розташування небезпечних технологічних установок та устаткування (у будівлях і на відкритому повітрі);
- зменшення кількості горючих і вибухонебезпечних речовин, що знаходяться у виробничих приміщеннях;
- запобігання можливості утворення горючих сумішей в апаратах, газопроводах, вентиляційних системах і др.;
- механізація, автоматизація і безперервність (потокова) виробництва;
- герметизація устаткування, місць з'єднань комунікацій і апаратури і місць завантаження і вивантаження технологічних апаратів;
- строге дотримання стандартів і точне виконання встановленого технологічного режиму;
- продування водяною парою або газами технологічної апаратури і комунікацій перед зупинкою їх на ремонт або пуском в експлуатацію;
- запобігання можливості появи в небезпечних місцях джерел запалення.

Пожежну безпеку речовин і матеріалів визначають по концентраційних і температурних межах займання, температурам спалаху і самозаймання, схильності до спалаху і самозагорання.

Якщо в апарати, що містять горючі речовини, можливе попадання повітря і утворення горючої суміші вибухонебезпечної концентрації, то необхідно використовувати негорючі пари і гази, для застереження можливістьвибуху не тільки в самому апараті, але і в приміщенні, в яке у разі аварії апарату можуть потрапити ці суміші. Найчастіше для цього застосовують азот, двоокис вуглецю і галоїдні з'єднання. Щоб запобігти займанню і ліквідувати горіння, використовують також водяну пару, топкові і вихлопні гази чотиритактних карбюраторних і газогенераторних двигунів, що відходять, очищені від кисню і горючих домішок.

Розповсюдження вогню в умовах хімічного виробництва може відбуватися також в трубопроводах, по яких переміщуються тверді горючі речовини. Розповсюдженню вогня можна запобігти, застосовуючи наступні заходи:

- на рідинних трубопроводах, в яких можливе неповне перекриття перетину труби, а також періодична відсутність рідини в трубі, встановлюють зворотні клапани, сітчасті фільтри і гідравлічні затвори;
- на газопроводах встановлюють гідравлічні затвори, огнепреградители і розривні мембрани. Тиск води в таких затворах приймається на 1 кПа вище за робочий тиск газу в системі;
- на горизонтальних і похилих транспортерах, що перетинають протипожежні перешкоди, отвори забезпечують автоматичними дверцями або щитами з легкоплавкими замками. Окрім такого захисту, в деяких випадках додатково влаштовують водяні завіси.

До пристроїв, що запобігають розповсюдженню вогню, відносяться також резервуари для аварійного зливу рідин, обладнані дихальними трубами, сітками, гідрозасувами на спусковій лінії і тому подібне

Нестійкість горіння і його повна ліквідація досягаються застосування тих або інших протипожежних речовин, які взаємодіють із зоною горіння при пожежі. Ці речовини можуть бути в твердому, рідкому або газоподібному стані. Для гасіння пожеж широке застосування знаходять такі речовини, як вода, її пари, а також інші рідини, гази і твердий порошок деяких речовин, що володіють найбільш ефективною дією, пісок.

Вода в порівнянні з іншими вогнегасящими речовинами має найбільшу теплоємність і придатна для гасіння більшості горючих речовин. Вода володіє достатньою термічною стійкістю (понад 1700 °С), що перевищує стійкість багатьох інших речовин. Крім того, вода володіє трьома властивостями вогнегасіння: охолоджує зону горіння або речовини, що горять, розбавляє реагуючі речовини в зоні горіння і ізолює горючі речовини від зони горіння.

На пожежах воду подають у вигляді:

–сильних компактних струменів з лафетних стовбурів з насадками діаметром 28–150 мм або компактних струменів з ручних пожежних стовбурів з насадками діаметром 13–125 мм

–розпорошених струменів (при діаметрі крапель понад 100 мкм);

–розчинів, що містять 0,2–12,0% (мас.) змочувачів для зниження поверхневого натягнення;

Для підвищення проникаючої здатності знижують поверхнєве натягнення води, для цього в неї вводять змочувачі типу піноутворювачів. При пониженні поверхневого натягнення води в два рази різко поліпшується її вогнегасяща дія, причому необхідна витрата води зменшується приблизно в 2,4–2,5 рази при одночасному скороченні часу на пожежогасіння.

У пожежних водопроводах тиск води в системі є нормованим величиною. Протипожежні, господарсько–протипожежні і виробничо–протипожежні водопроводи можуть бути низького або високого тиску. У водопроводах низького тиску вільний натиск (на рівні поверхні землі) при повній витраті води на гасіння пожежі повинен бути не менше 10 м. Необхідний для гасіння пожежі гідростатичний натиск пожежних струменів створюється пожежними насосами, пожежними командами, що підвозяться, до місця пожежі і що забирають воду з водопровідної мережі через гідранти. У водопроводах високого тиску необхідний натиск створюється при пожежі встановленими в насосних станціях пожежними насосами, які повинні запускатися не пізніше ніж через 5 хвилин після сповіщення про пожежу.

При виникненні пожежі в цеху, що діє, обслуговуючий персонал зобов'язаний негайно прийняти заходи до ліквідації пожежі. Одночасно слід викликати виробничу пожежну бригаду. Для полегшення робіт із ліквідації виниклої пожежі необхідно забезпечити вільний доступ до протипожежного інвентарю. У зв'язку з цим забороняється захаращувати проходи між апаратами, підходи до сходів і дверей.

Під'їзд до виробничої будівлі повинен бути завжди вільним. Тому ремонт підземних комунікацій, пов'язаний з розкопками і, отже, з порушенням

цілісності під'їзних доріг, проводиться в самі стислі терміни і лише з дозволу пожежної охорони.

ВИСНОВКИ

Для досягнення поставлених завдань в роботі були виконані дослідження, на основі яких:

- Експериментально досліджено вплив величини сектора утворює кола торів бігових доріжок на точність результатів вимірювання їх геометричних параметрів на координатно-вимірювальних машинах. Було встановлено, що при вимірюванні тороїдальних поверхонь з сектором утворює окружності менше 90° , невеликого розкиду значень відхилення форми (ΔE_{form}) тора бігової доріжки, відповідає більший в 4-5 раз розкид в значеннях діаметра і радіуса утворює кола (ΔD і ΔR);

- встановлено, що додавання інформації про номінальних геометричні параметри торів бігових доріжок кулькових підшипників дозволяє знизити похибки, що виникають при їх вимірі на координатно-вимірювальних машинах;

- розроблений програмний модуль, що дозволяє вимірювати поверхні бігових доріжок кулькових підшипників на координатно-вимірювальних машинах;

- розроблені програмні засоби, що реалізують запропоновані рішення, що дає можливість знизити похибки при визначенні геометричних параметрів торів бігових доріжок на координатно-вимірювальних машинах і зробити це засіб вимірювання придатним, для контролю геометричних параметрів кілець підшипників;

- визначено найменш трудомісткий, але дає достатні точності показники спосіб вимірювання поверхонь, що входять в конструкцію кілець підшипників кочення, на координатно-вимірювальних машинах;

- розроблена методика комплексного контролю кілець підшипників кочення з використанням універсальних координатно-вимірювальних машин,

що забезпечує можливість отримання результатів відповідно до вимог креслень і технічних умов.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Асташенков А.И. Разработка системы обеспечения единства измерений геометрических параметров эвольвентных зубчатых зацеплений. Дис. д-ра техн наук. Москва 2001г.
2. Исследования и разработка координатных методов и средств измерений геометрических параметров эвольвентных поверхностей и их метрологического обеспечения: Дис. канд. техн.Наук
3. Джунковский А.В., Суслин В.П. Исследование способов измерения концевых мер длины при калибровке координатно-измерительных машин // Законодательная и прикладная метрология. 2006. №5 (87).с. 54-57
4. Суслин В.П. Метод наименьших квадратов для решения нелинейных геометрических задач// Сб. науч. трудов НПО НИИТавтопром. М. 1987. Вып.1. С.122-138.
5. Суслин В.П, Джунковский А.В. Современные методы измерения и контроля в машиностроении //Технология машиностроения. 2004. №5. с.49-51
6. Суслин В.П., Макаров А.И., Джунковский А.В.,ШутерМ.И.Программы измерений и контроля геометрии деталей автомобильной техники //Автомобильная промышленность. 2005. №3.с.39-40.
7. Остроушкин Г.П., Федотов Н.Н. Конструкция и технология производства подшипников с листоштампованными кольцами. М: НПО ВНИПП 1991.
8. Спришевский А.И. Подшипники качения [http](http://mybearing.ru/) [HYPERLINK](#) ["http://mybearing.ru/"](http://mybearing.ru/):// [HYPERLINK](#) ["http://mybearing.ru/"](http://mybearing.ru/)[HYPERLINK](#) ["http://mybearing.ru/"](http://mybearing.ru/). [HYPERLINK](#) ["http://mybearing.ru/"](http://mybearing.ru/)[HYPERLINK](#) ["http://mybearing.ru/"](http://mybearing.ru/)
9. Чудов В.А.,Цидулко Ф.В., Фредгейм Н.И. Размерный контроль в машиностроении.-М.: Машиностроение. 1982.-328с.
10. Рольт Ф.Г. Калибры и точные измерения. Т.1.- Л.: ОГИЗ 1933. 286 с.

11. Л. Константайн, Л. Локвуд. Разработка программного обеспечения.- СПб.-Питер.-2004.-592 с.
12. Стройк Дж. Краткий очерк истории математики. М.: Наука. 1990. 251 с.
13. Грановский В.А. Динамические измерения.-Л: Энергоатомиздат. 1984.224 с.
14. Солопченко Г.Н. Формальные компоненты измерительных систем.//В сб.
15. Тарбеев Ю.В. Современные проблемы теоретической метрологии.//Итоги науки и техники. Сер. «Метрология и измерительная техника» М. ВИНТИ.-1991.-Т.8.-130с.
16. Соломахо В.Л. Оптимизация методов управления качеством координатных измерений в машиностроении. Дисс.д-ра техн наук. Минск, БГПА, 2000.
17. Дич Л.З. Геометрическая теория точности координатных измерительных приборов. Дисс. д-ра техн наук. СПб. 1996.
18. Каспарайтис А.Ю., Кумейтатис Ю.П. Конструкция и точность координатных измерительных машин // Станкостроение Литвы.-1982.- т.14.- с.12-27.
19. Каспарайтис А.Ю., Шилюнас П.И. Метод оценки составляющих погрешности координатных измерительных машин.//Измерительная техника.- 1990.- №7.- С. 15-18.
20. Каспарайтис А.Ю. Методы исследования и построение прецизионных автоматических координатных измерительных машин. Автореф. дисс. д-ра техн. наук -М., 1990. -42 с. ИМАШ им. А.А. Благонравова.
21. Лысенко В.Г. Разработка и исследование системы обеспечения единства координатных измерений Дисс. д-ра техн наук. Москва, 2005.

22. Черменский О.Н., Федотов Н.Н. Подшипники качения. Москва, 2003.
23. ГОСТ 8.207-76 Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.
24. ГОСТ 24642-81 – Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски и формы расположения поверхностей.
25. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. РМГ 29-99.