

Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет

ЄНІКЄЄВ ОЛЕКСАНДР ФАНИЛОВИЧ



УДК 681.518.3: 621.923.4

**ТЕОРІЯ Й ПРАКТИКА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ
СИСТЕМ ПОКООРДИНАТНОГО ЗАДАВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Вінниця – 2015

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки
Щербак Леонід Миколайович,
Національний авіаційний університет, м. Київ,
професор кафедри інформаційно-вимірювальних
систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки
Мислович Михайло Володимирович,
Інститут Електродинаміки НАН України, м. Київ,
завідувач відділом.

доктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки
Кошовий Микола Дмитрович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», завідувач кафедри
авіаційних приладів та вимірювань.

доктор технічних наук, професор
Кулик Анатолій Ярославович,
Вінницький національний медичний університет
ім. М.І. Пирогова, завідувач кафедри біофізики,
інформатики та медичної апаратури.

Захист відбудеться «5» лютого 2016 року о 14.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК.

Автореферат розісланий «4» січня 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



С.М. Захарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Інформаційно-вимірювальні системи знайшли використання у машинобудівному виробництві України при упровадженні сучасних інформаційних та енергозберігаючих технологій для підвищення економічної ефективності технологічних процесів, зокрема алмазного шліфування. Застосування відомих апаратних засобів має мету скоротити час обробки деталі та отримати задану шорсткість поверхні. Питанням розробки методів побудови інформаційно-вимірювальних систем, реалізації апаратного та програмного забезпечення для розв'язування задач оптимізації параметрів алмазного шліфування присвячено праці таких учених: Жалперовича Е.А., Железнова Е.С., Михелькевича В.І., Невельсона М.С., Подураєва В.М., Щукіна Б.Д., Якімова А.В., Ящерицина П.І. та ін.

Одновимірні інформаційно-вимірювальні системи реалізують традиційні технології автоматизації процесу алмазного шліфування. Їхнє програмне забезпечення розв'язує задачі задавання оптимальних технологічних параметрів, які зберігає банк даних у вигляді програми обробки партії деталей. При цьому не використовується інформація про поточну якість поверхні деталі, оскільки отримати цей сигнал шляхом прямих вимірювань неможливо у зв'язку з відсутністю відповідних первинних перетворювачів. Ця обставина робить неефективним використання відомих інформаційно-вимірювальних систем.

Програмні рухи щодо скорочення часу обробки деталі та забезпечення потрібного «якості» чистоти поверхні в умовах неповної інформації та дії випадкових завад принципово можливо організувати на основі використання багатовимірної багатоступінчастої інформаційно-вимірювальної системи. Труднощі її розробки зумовлені відсутністю концепції програмних рухів щодо досягнення мети, теоретичних засад та методології побудови апаратних засобів на основі обробки інформації непрямих вимірювань.

Виробниче середовище технологічного процесу алмазного шліфування характеризується підвищеним рівнем завад. Інформаційно-вимірювальна система відрізняється широкою номенклатурою вхідних сигналів, фізичною природою каналів передачі даних, похибками вимірювань та обробки інформації. Розвиток теорії похибок із використанням математичних моделей завад у вигляді випадкових процесів дозволить підвищити точність вимірювальних перетворювачів вхідних сигналів та побудувати ефективні апаратні засоби. Відсутність первинних перетворювачів для контролю шорсткості поверхні деталі компенсуємо розробкою методу непрямих вимірювань амплітуди мікронерівностей та ефективного критерію оцінювання. При розробці архітектури інформаційно-вимірювальної системи доцільно використати принцип розпаралелювання процесів обробки вхідних сигналів, що дозволить підвищити продуктивність її апаратних засобів.

Для формування програмних рухів щодо досягнення мети шліфувальний верстат використовує двигуни постійного або змінного струму середньої потужності. З метою забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу апаратні засоби інформаційно-вимірювальної системи, які реалізують програмні рухи

верстата, повинні розташовуватися біля двигунів. Зубчасті передачі шліфувальних верстатів характеризуються наявністю кінематичної похибки виготовлення та люфтами з'єднань. Ці особливості процесу алмазного шліфування зумовлюють незадовільну точність програмного задавання його параметрів апаратними засобами відомих інформаційно-вимірювальних систем. Розробка вимірювальних перетворювачів із компенсацією похибок виготовлення датчиків та зубчастих передач дозволить підвищити точність вхідної інформації. Застосування принципу децентралізації при побудові структури інформаційно-вимірювальної системи забезпечить потрібну надійність і завадостійкість апаратних засобів обробки вхідної інформації.

Таким чином, *науково-прикладна проблема* дисертаційної роботи формулюється так: створення теоретичних засад для побудови ефективних апаратних засобів інформаційно-вимірювальної системи покоординатного програмного задавання параметрів алмазного шліфування в умовах неповної інформації та дії випадкових завод.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові дослідження й розробки дисертаційної роботи пов'язано з виконанням здобувачем державних науково-дослідних робіт: НДР № Г 06-96 «Розробка теорії системного аналізу технологічних систем зі складною динамічною структурою» (номер державної реєстрації 0198U004244); НДР № Г 06-2000 «Розробка теорії комп'ютерного управління процесом механообробки на важких верстатах із ЧПУ з використанням оперативних систем, моделювання й оптимізації» (номер державної реєстрації 0198U004287), зазначені теми входять до плану науково-дослідних робіт Донбаської державної машинобудівної академії, що затверджений Міністерством освіти й науки України; НДР КН 2219 «Наукові основи технології алмазно-іскрового шліфування, математичне моделювання, проблеми зношування інструменту і якості обробленої поверхні», що входить до плану науково-дослідних робіт національного технічного університету «ХПІ» і затверджена наказом Міністерством освіти й науки України №166 від 05.06.2000р.; НДР № 78411 «Дослідження й розробка систем автоматичного регулювання для перетворювача власних потреб тепловоза» (номер державної реєстрації 0197U003552), що виконувалася Українською державною академією залізничного транспорту; Держбюджетної теми Г 04-99 «Дослідження й розробка методів ідентифікації параметрів технічного стану об'єктів автоматизації», що виконувалася Донбаською державною машинобудівною академією й затверджена Міністерством освіти й науки України. Здобувач брав участь як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності апаратних засобів інформаційно-вимірювальної системи покоординатного задавання параметрів алмазного шліфування в умовах неповної інформації та дії випадкових завод шляхом розробки методичних засад їхньої побудови.

Для досягнення поставленої мети розв'язано такі задачі:

- проведено аналіз методів побудови інформаційно-вимірювальних систем та відомих апаратних засобів автоматизації алмазного шліфування;

- проведено аналіз інформаційного забезпечення процесу алмазного шліфування і розроблено методи для непрямих вимірювань шорсткості поверхні деталі та різальної властивості круга;
- розроблено концепцію програмних рухів інформаційно-вимірювальної системи щодо скорочення часу обробки поверхні деталі та забезпечення потрібного «квалітету» чистоти;
- побудовано на основі принципу децентралізації структурну схему інформаційно-вимірювальної системи;
- виконано математичне моделювання завад апаратних засобів і розроблено методіку підсумовування їхніх випадкових складових;
- проведено аналіз метрологічних характеристик апаратних засобів інформаційно-вимірювальної системи і розроблено методи для підвищення їхньої точності;
- розроблено математичні моделі технологічних процесів алмазного та алмазно-іскрового шліфування;
- виконано розробку математичних моделей апаратних засобів з урахуванням факторів невизначеності, які обумовлено дією випадкових завад та похибками вимірювань вхідних сигналів;
- розроблено метод для структурних перетворень компонент;
- побудовано пристрої обробки сигналів;
- реалізовано програмно-технічний комплекс, виконано натурні випробування й промислове впровадження.

Об'єкт дослідження – процес побудови інформаційно-вимірювальної системи покоординатного задавання параметрів алмазного шліфування в умовах неповної інформації та дії випадкових завад.

Предмет дослідження – моделі, методи, алгоритмічне та програмне забезпечення, структури інформаційно-вимірювальної системи та її компонент.

Методи досліджень. Для розробки концепції програмних рухів та методології побудови інформаційно-вимірювальної системи застосовано методи системного аналізу, теорії автоматичного управління та інтелектуального управління в умовах неповної інформації. При розробці апаратних засобів використано методи збору, обробки, кодування та декодування інформації. Під час аналізу завад застосовано методи теорії ймовірностей, математичної статистики та теорії випадкових процесів. При аналізі метрологічних характеристик компонент використано методи теорії похибок, зокрема інформаційний підхід. Оцінювання ефективності апаратних засобів виконано методами комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розвитку теорії побудови ефективних апаратних засобів інформаційно-вимірювальної системи покоординатного програмного задавання параметрів алмазного шліфування на основі непрямих вимірювань мікронерівностей поверхні деталі, амплітуда яких прогнозується, та різальних властивостей круга.

1. Уперше запропоновано та науково обґрунтовано концепцію програмних рухів апаратних засобів тривимірної тріступінчастої інформаційно-вимірювальної системи щодо скорочення часу обробки деталі та

забезпечення прогнозованих мікронерівностей, відмінною особливістю якої є використання сигналу девіацій для оцінювання поточної шорсткості та сигналу потужності для оцінювання різальної властивості інструменту, а також покоординатного задавання оптимальних параметрів алмазного шліфування.

2. Уперше розроблено теоретичні засади для побудови пристроїв обробки сигналів із використанням квадратичного критерію якості та еталонних математичних моделей апаратних засобів із відомим запізненням в умовах дії завад у вигляді лінійного та гармонійного лінійного випадкових процесів, що дозволило підвищити ефективність їхнього застосування.

3. Уперше запропоновано критерій для непрямого оцінювання поточної шорсткості, відмінною особливістю якого є використання сигналу девіацій швидкості обертання шліфувального круга. Побудовано апаратні засоби для його реалізації, встановлено інформаційні зв'язки між ступенями інформаційно-вимірювальної системи, на основі принципу управління за відхилення та методу допускового контролю розроблено алгоритмічне забезпечення, що дозволило скоротити на 20% час обробки деталі й отримати мікронерівності, амплітуда яких прогнозується.

4. Отримали подальший розвиток методи математичного моделювання та структурного перетворення компонент, подання завад у вигляді лінійного та гармонійного лінійного випадкових процесів, підсумовування випадкових складових завади при оцінюванні похибок і надійності апаратних засобів, а також підвищення точності каналів обробки інформації на основі прогнозування та мінімізації дисперсії вихідного сигналу.

5. Удосконалено математичну модель процесу алмазного шліфування, яка відрізняється від відомих двоканальною побудовою. Вхідними сигналами моделі є поперечна та поздовжня подачі шліфувального круга, подальше ортогональне підсумовування забезпечує отримання вихідного сигналу у вигляді девіацій, у результаті аналізу якого сформульовано вимоги щодо точності для інформаційно-вимірювального перетворювача апаратних засобів оцінювання прогнозованих мікронерівностей.

6. Уперше побудовано математичну модель процесу алмазно-іскрового шліфування, відмінною особливістю якої є використання методів теорії електричних ланцюгів. На основі її аналізу встановлено та внесено до банку даних інформаційно-вимірювальної системи допускові межі на скважність сигналу технологічного джерела живлення, що дозволило запобігти припалюванню обробленої поверхні деталі та отримати мікронерівності, що прогножуються.

7. Уперше запропоновано метод вимірювань девіацій швидкості обертання шліфувального круга, відмінною особливістю якого є використання апаратних засобів компенсації кінематичної похибки первинного перетворювача, що дозволило підвищити точність каналу оцінювання мікронерівностей, амплітуда яких прогнозується.

Практичне значення отриманих результатів.

1. На основі бази даних процесу алмазного шліфування, сучасних інформаційних технологій та апаратних засобів створено триступінчасту

тривимірну інформаційно-вимірювальну систему, реалізація якої дозволила на 20% підвищити продуктивність верстата та зменшити витрати електричної енергії, а також отримати мікронерівності обробленої поверхні деталі, що прогноуються.

2. Розроблено методики: оцінювання та забезпечення різальних властивостей алмазного інструменту; автоматичного виправлення шліфувального круга на металевому зв'язуванні; збору, обробки, кодування та декодування інформації; компенсації кінематичної похибки; структурного перетворення компонент та аналізу їхньої ефективності; ідентифікації параметрів математичних моделей алмазного та алмазно-іскрового шліфування; аналізу частотних характеристик моделей; комп'ютерного моделювання; аналізу ймовірних характеристик завад; оцінювання вірогідності дослідних даних; підсумовування випадкових складових похибок вхідних сигналів та завад.

3. Побудовано апаратні засоби для реалізації методик, які розроблено.

4. Розроблено алгоритми: контролю якості поверхні деталі, що прогноується, без вимірювань мікронерівностей; цифрової обробки сигналу миттєвої швидкості обертання шліфувального круга; розподілу вкладів подач алмазного інструменту до сигналу девіацій. Реалізовано прикладне програмне забезпечення тривимірної інформаційно-вимірювальної системи.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на наступних підприємствах м. Харкова: науково-виробниче підприємство «ФЕД» (Акт від 12 квітня 2004р.), акціонерне товариство «АВТРАМАТ» (Акт від 17 жовтня 1998р.), відкрите акціонерне товариство «Харківський тракторний завод імені С. Орджонікідзе» (Акт від 22 червня 2002р.), виробниче об'єднання «Завод імені Малишева» (Акт від 24 травня 1999р.). Сумарний економічний ефект від упровадження результатів роботи склав близько 900 тис. гривень.

Особистий внесок здобувача. Результати дисертаційної роботи отримано за особистої участі автора. У публікаціях, які написано у співавторстві, авторові належать: у [2, 3, 7, 17, 18, 54] – методи побудови апаратних засобів та аналіз їхньої ефективності, у [6, 13-16, 20-23, 31, 33, 36, 38-41, 44, 46] – розробка математичних моделей апаратних засобів, у [8, 10-12, 25, 28, 32, 37] – теоретичне обґрунтування математичних моделей, у [9, 55-57] – теоретичне обґрунтування алгоритмів, у [26, 29] – метод компенсації кінематичної похибки первинного перетворювача та аналіз ефективності пристроїв, у [35, 42] – метод підвищення точності апаратних засобів в умовах дії випадкових завад, у [27, 30, 34, 43, 48-53] – методи розробки пристроїв обробки сигналів та аналіз ефективності апаратних засобів. Реалізація триступінчастої тривимірної інформаційно-вимірювальної системи та налаштування її параметрів виконана здобувачем разом зі співробітниками кафедри технології машинобудування й металорізальних верстатів, а також співробітниками відділу метрології й сертифікації національного технічного університету «ХПІ».

Апробація результатів роботи. Основні наукові положення й результати роботи повідомлені здобувачем на різних науково-технічних конференціях.

Республіканська конференція «Пристрої перетворення інформації для контролю й управління в енергетиці» (м. Харків, 1988р., 1992р.). Республіканська конференція «Функціонально-орієнтовані обчислювальні системи» (м. Харків, 1990р.). Всесоюзна конференція «Перспективи розвитку й застосування засобів ОТ для моделювання й автоматичного дослідження» (м. Москва, 1991р.). Всеукраїнська конференція «Технологічні методи підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин» (м. Севастополь, 1994р.). Міжнародний науково-технічний семінар «Високі технології в машинобудуванні» (м. Харків, 1992-1997р.). Всеукраїнська конференція «Маркетинг і управління інноваціями» (м. Харків, 1993р., 1995р., 1999р.). Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні технології: наука, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 1999р., 2001р., 2002р., 2004р., 2006р.). Міжнародна конференція «Надійність інструменту й оптимізація технологічних систем» (м. Краматорськ, 2004р., 2006р., 2008р., 2010р., 2012р.). Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми інженерно-педагогічної освіти. Теорія і практика» (м. Артемівськ, 2012р.). Міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні роботехнічні комплекси ІРТК-2013» (м. Київ, 2013р.). 2-а Міжнародна наукова конференція «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах ВКДТС-2013» (м. Вінниця, 2013р.). Міжнародна наукова конференція «Контроль і управління в складних системах» (м. Вінниця, 2014р.).

Публікації. За результатами наукових досліджень автором опубліковано 1 монографію, 47 статей (6 статей у виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз, 39 статей у наукових спеціалізованих виданнях України, 7 статей одноосібних), 9 тез доповідей, отримано 2 авторські посвідчення СРСР, 3 навчальних посібники (2 мають гриф Міністерства освіти і науки України).

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку літератури та додатка. Загальний обсяг роботи – 376 сторінок, з яких основний зміст викладено на 316 сторінках машинописного тексту, містить 89 рисунків, 14 таблиць (на 16 сторінках розміщено рисунки та таблиці, які займають усю площу сторінки). Список джерел посилення складає 269 найменувань. Додаток містить акти впровадження результатів роботи, результати досліджень та фотографії інформаційно-вимірювальної системи.

Основний зміст роботи

Вступ відбиває актуальність обраної теми дисертаційної роботи, зв'язок роботи з науковими програмами та темами, мету й завдання досліджень, методи досліджень, наукову новизну отриманих результатів, практичне значення роботи, особистий внесок здобувача та апробацію результатів.

Перший розділ роботи присвячено аналізу відомих принципів та методів побудови інформаційно-вимірювальних систем. Запропоновано методи безпосереднього цифрового та покоординатного управління, ієрархічний

принцип, принципи децентралізації та розпаралелювання процесів обробки вхідної інформації для розробки її архітектури. Принцип мультиплексування шин адреси та даних закладено в основу організації системного інтерфейсу. В основу розробки програмного забезпечення запропоновано покласти принцип управління за відхиленням.

В якості методу збору вхідної інформації запропоновано виміри із багаторазовими спостереженнями. Апроксимація інформаційних зв'язків між інформаційно-вимірювальною системою та процесом алмазного шліфування базується на одержанні ступеневих функціоналів. При цьому передбачається, що всі випадкові складові похибки вимірів статистично незалежні та мають нормальний закон розподілу з тією ж самою дисперсією. Оцінювання вірогідності дослідних даних запропоновано виконати з використанням методів теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії похибок, зокрема інформаційного підходу.

Установлено програмні рухи інформаційно-вимірювальної системи щодо скорочення часу обробки деталі та отримання заданого «квалітету» чистоти. У якості методу автоматичної правки шліфувального круга на металевому зв'язуванні запропоновано процес алмазно-іскрового шліфування. В основу розробки апаратних засобів з організації нової технології обробки поверхні деталі покладено пошук методів для непрямих вимірювань різальних властивостей шліфувального круга.

Недоліком відомих одновимірних інформаційно-вимірювальних систем є відсутність вхідної інформації про поточні мікронерівності поверхні деталі. Запропоновано використати девіації швидкості обертання шліфувального круга в якості інформаційного сигналу для оцінювання прогнозованих мікронерівностей. Поміж відомих методів та апаратних засобів вимірювання параметрів частотно-модульованих сигналів перевагу надано використанню цифрових пристроїв.

Розділ закінчується обґрунтуванням науково-прикладної проблеми та формулюванням задач дисертаційної роботи.

Другий розділ роботи присвячено розробці теоретичних засад для побудови апаратних засобів інформаційно-вимірювальної системи в умовах неповної інформації та дії випадкових завад.

Критерій вибору періоду дискретизації сигналів інформаційно-вимірювальної системи розроблено з використанням відомого значення похибки відновлення аналогового сигналу за дискретними відліками. Для цього вхідний сигнал подано у вигляді обмеженого ряду Фур'є. Втрати інформації при дискретизації за часом гармонійного сигналу оцінюються величиною динамічної похибки, яка отримана в такому вигляді

$$\delta_{\text{дин}} = 1 - \frac{\pi}{m} \sum_{k=0}^{0.5m-1} \sin\left(k \frac{2\pi}{m}\right), \quad (1)$$

де m – кількість інтервалів дискретизації.

Відносна похибка дискретизації вхідного сигналу визначена з урахуванням внесків гармонійних складових

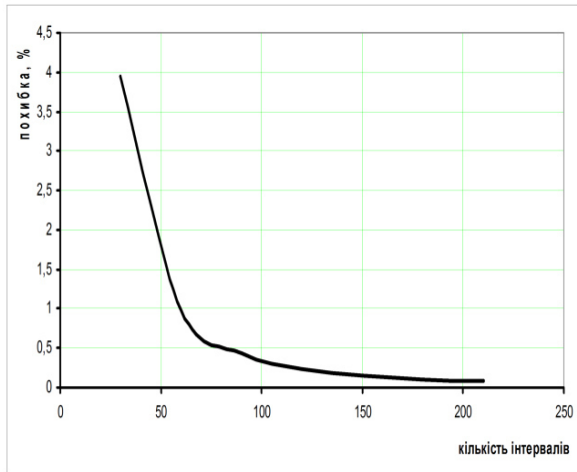


Рисунок 1 – Графік похибок дискретизації

$$\delta_{\text{від}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A_{2i-1}^2}{\sum_{i=1}^n A_{2i-1}^2}} \delta_{(2i-1)\text{дин}}^2 \quad (2)$$

Комп'ютерним моделюванням на основі виразів (1) і (2) побудовано графік похибок (рис. 1), який використано для встановлення періоду дискретизації вхідних сигналів. Продуктивність апаратних засобів обробки сигналів не перевищує значення періоду дискретизації, яке отримано за допомогою графіка.

В основу розробки концепції програмних рухів апаратних засобів інформаційно-вимірювальної системи щодо скорочення часу обробки деталі та отримання заданого «квалітету» чистоти поверхні покладено метод покоординатного управління, ієрархічний та принцип управління за відхиленням, методи непрямих вимірювань мікронерівностей та різальних властивостей шліфувального круга.

Інформаційне забезпечення системи подано в такому вигляді:

- $\bar{U} = (u_1, u_2, \dots, u_i)^T$ – вектор вихідних сигналів;
- $\bar{X} = (S_{\text{non}}, S_{\text{новз}}, \omega_{\text{кр}})^T$ – вектор вхідних сигналів;
- $\bar{Q} = (\Delta_{\text{em}}, S_{\text{non,ont}}, S_{\text{новз,ont}}, \omega_{\text{кр,ont}})^T$ – вектор уставок банку даних процесу алмазного шліфування;

алмазного шліфування;

- $\bar{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)^T$ – вектор випадкових завод;
- $F(\bar{U}, \bar{Q}, \bar{\xi}, \Delta\omega, P_s, \omega_{\text{кр}}) = \bar{Y}$ – математична модель програмних рухів апаратних засобів інформаційно-вимірювальної системи в умовах неповної інформації та дії завод;

інформації та дії завод;

- $F_k = (u_k, \bar{Q}_k, \bar{\xi}_k) = 0$ – математична модель перетворення каналом вхідної інформації.

Відсутність первинних перетворювачів різальних властивостей шліфувального круга компенсуємо застосуванням непрямих методів для їхнього оцінювання: із збільшення на 5% потужності, яка споживається виконуючим механізмом головного руху верстата; із зменшення на 7% середньої швидкості обертання алмазного інструменту. Рівні порогів встановлено в результаті статистичної обробки дослідних даних. При визначенні вірогідності вимірювань потужності застосовано методику підсумовування випадкових складових похибки, яку розроблено з використанням методів теорії ймовірності та теорії інформації. Ентропійний інтервал невизначеності дослідних даних розраховується з використанням

середньоквадратичних відхилень та ексцесів розподілів двох незалежних випадкових складових похибки.

Концепцію програмних рухів апаратних засобів інформаційно-вимірювальної системи подано на рис. 2. На рисунку позначено наступне: $\Delta\omega$, P_v – сигнали девіацій та потужності; q_{opt} – оптимальна скважність сигналу технологічного джерела живлення; R_z – мікронерівності, які прогнозуються. Програмні рухи забезпечуються задаванням подач та швидкості обертання круга, які зберігає банк даних інформаційно-вимірювальної системи.

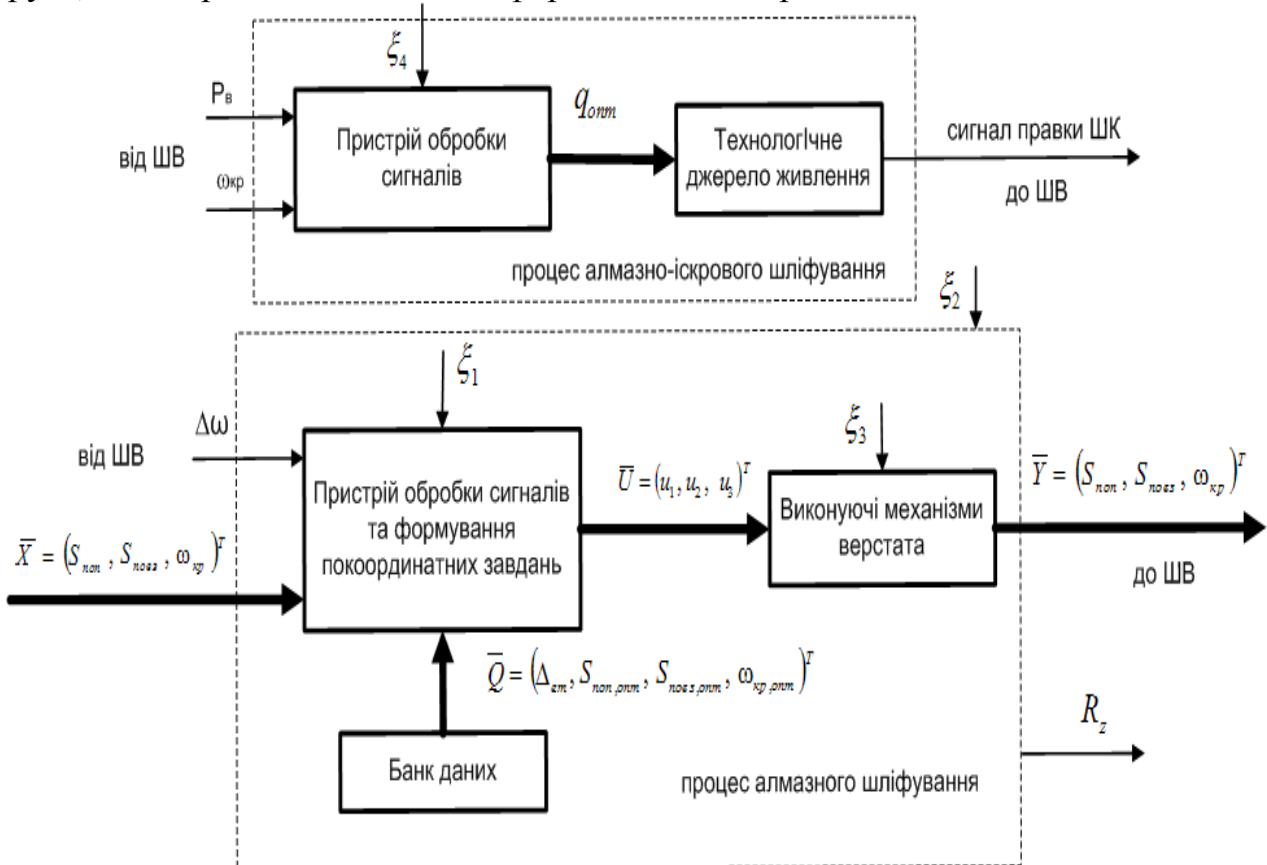


Рисунок 2 – Концепція програмних рухів апаратних засобів інформаційно-вимірювальної системи

В основу розробки архітектури інформаційно-вимірювальної системи покладено мікроконтролер MC68HC912B32, методи безпосереднього цифрового та покоординатного управління, ієрархічний принцип, непрямі вимірювання мікронерівностей та різальних властивостей круга, а також принципи децентралізації та мультиплексування шин адреси та даних. Структурна схема тривимірної треступінчастої системи подана на рис. 3. На рисунку позначено: Д – датчик; ЕП – електричний привід; П – перетворювач; ВМ – виконуючий механізм; К – комутатор сигналів; I , U – відповідно струм та напруга ВМ1; ШГІ – генератор сигналів; ВПП – вимірювальний перетворювач потужності; П5 – вимірювач параметрів сигналу ШГІ; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

Інформаційний зв'язок між інформаційно-вимірювальною системою та процесом алмазного шліфування забезпечують сигнали подач та швидкості

обертання круга. Апаратні засоби першого ступеня системи задають параметри алмазного шліфування, які зберігає банк даних у вигляді відповідного вектора. Вихідні сигнали формуються ними під час прямої або зворотної ходи шліфувального круга.

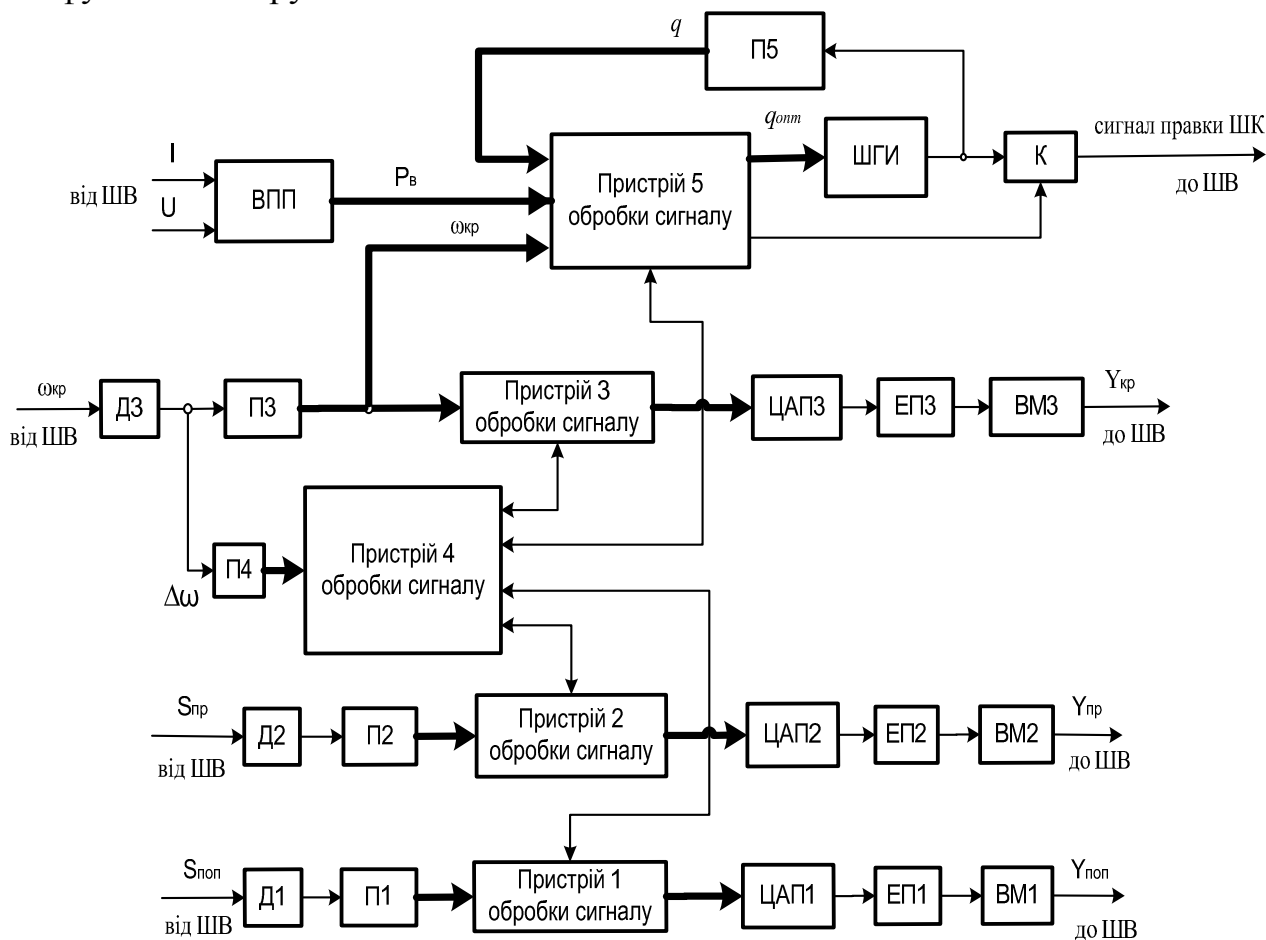


Рисунок 3 – Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи

Сигнал миттєвої швидкості обертання алмазного інструмента є вхідним для апаратних засобів другого ступеня. Пристрій 4 на основі прямих вимірювань миттєвої швидкості та за допомогою інформаційної технології обробки цього сигналу визначає мікронерівності поверхні деталі, амплітуда яких прогнозується. Алгоритм обробки сигналу швидкості складається з таких обчислювальних процедур: виділення сигналу девіацій та подання його обмеженим рядом Фур'є; визначення діючого значення та його порівняння з еталонним рівнем, котрий встановлено програмою обробки партії деталей. Якщо амплітуда можливих мікронерівностей перевищує рівень, який задано прийнятим «квалітетом» чистоти поверхні деталі, то пристрій 4 аналізує банк даних та формує сигнали коригування подач. Обробка цих сигналів виконується пристроями 1, 2 та 3 під час пауз між прямою та зворотною ходою алмазного інструменту. ВМ1-ВМ3 задають нові параметри алмазного шліфування.

Інформаційний зв'язок між процесом алмазного шліфування та апаратними засобами третього ступеня системи забезпечують сигнали струму та напруги ВМ3, а також сигнал швидкості обертання. На основі допускового

контролю та непрямих вимірювань різальної властивості круга вони реалізують нову технологію безперервної обробки поверхні деталі, яка поєднує процеси алмазного та алмазно-іскрового шліфування. Інформаційний зв'язок між апаратними засобами третього ступеня та процесом алмазно-іскрового шліфування забезпечує сигнал правки круга, електричні параметри якого вимірює П5.

Паралельний інтерфейс забезпечує інформаційний зв'язок між блоками П1-П4, ВПІ та пристроями 1-5, між пристроями 1-3 та ЦАП1-ЦАП3, а також пристроєм 5 та ШГІ. Процеси обміну даних між пристроями 1-5 забезпечує послідовний інтерфейс. Структурна схема організації системного інтерфейсу подана на рис. 4.

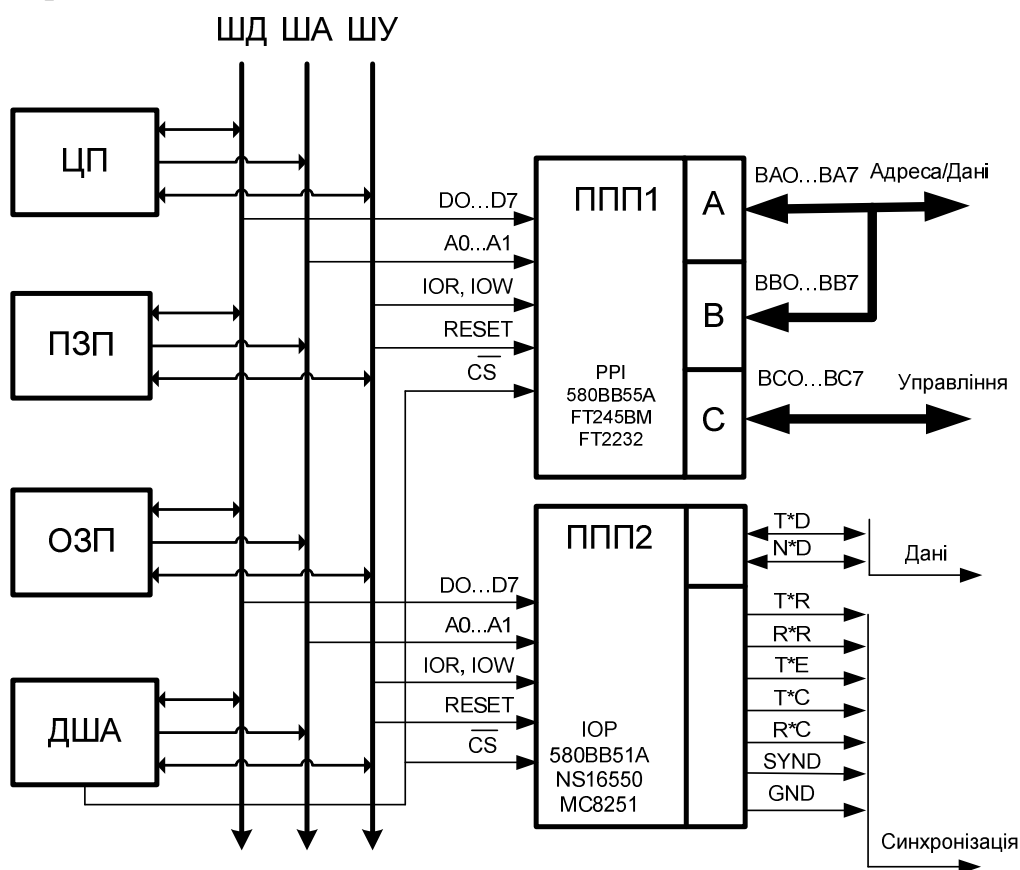


Рисунок 4 – Структурна схема системного інтерфейсу

Функціонування апаратних засобів організовано за допомогою операційного середовища реального часу. Розроблено прикладне програмне забезпечення та реалізовано інформаційну базу даних для технологічної підготовки інформаційно-вимірювальної системи.

В основу розробки методів перетворення інформації покладено подання безперервно-дискретного процесу алмазного шліфування дискретними функціями часу. Теорія аналізу лінійних безперервних компонент інформаційно-вимірювальної системи побудована на їхньому поданні дискретними блоками з використанням математичного апарату перетворення Лапласа. Встановлено, що введення змінного запізнення у вираз для передатної функції компонента дозволяє отримати його вихідний сигнал у межах інтервалу

дискретизації

$$y^*[nT_0] = \frac{v_m}{1 - e^{-pT_0}} \sum_{i=1}^k \frac{A(p_i)}{B'(p_i)} \frac{e^{\chi p_i T_0}}{1 - e^{-(p-p_i)T_0}}, \quad y^*(z, \chi) = v_m \frac{z}{z-1} \sum_{i=1}^k \frac{A(p_i)}{B'(p_i)} \frac{ze^{\chi p_i T_0}}{z - e^{p_i T_0}}, \quad (3)$$

де v_m – амплітуда імпульсів, $A(p), B(p)$ – поліноми чисельника та знаменника передатної функції, χ – запізнення, p_i – корені характеристичного рівняння.

Канал обробки сигналу являє собою обчислювальну систему з одним входом та виходом. Процес перетворення інформації в умовах дії на вихідний сигнал каналу випадкової завади подано у вигляді такого рівняння

$$D(z^{-1})u_t = H(z^{-1})G_t - F(z^{-1})y_t + \eta_t, \quad (4)$$

де G_t, y_t – відповідно вхідний та вихідний сигнали каналу в моменти часу $t = nT_0$, η_t – випадкова завада, u_t – вихідний сигнал каналу в моменти часу $nT_0 \leq t \leq (n+1)T_0$, $D(z^{-1}), H(z^{-1}), F(z^{-1})$ – ступеневі поліноми відносно оператора зсуву z^{-1} .

Розроблено узагальнену структурну схему каналу обробки вхідного сигналу (рис. 5). Його еталонну математичну модель подано в такому вигляді

$$A(z^{-1})y_t = z^{-(d+1)}B(z^{-1})u_t; \quad (5)$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_rz^{-r}, \quad A(z^{-1}) = 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_mz^{-m}.$$

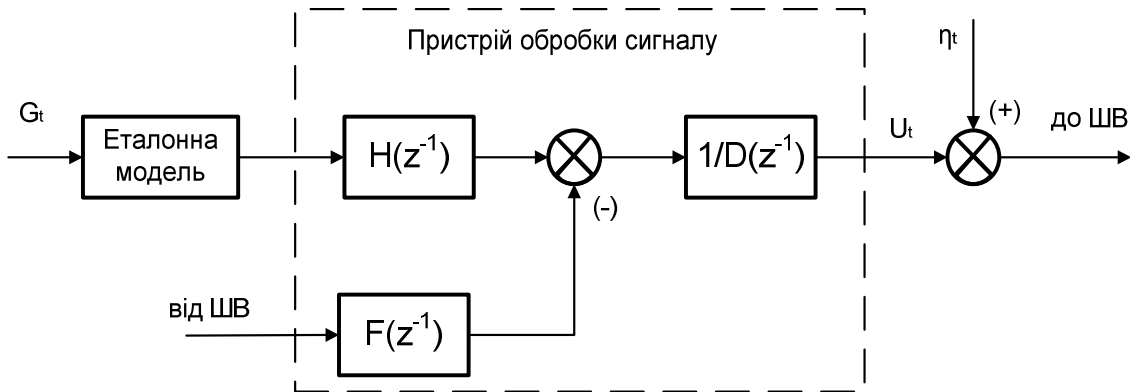


Рисунок 5 – Структурна схема каналу обробки сигналу

Розробку апаратних засобів приведено до визначення ступеневих поліномів $D(z^{-1}), H(z^{-1}), F(z^{-1})$, при яких його основний контур є стійким. У результаті математичних перетворень отримано вираз для вихідного сигналу каналу у вигляді

$$u_t = \frac{1}{b_0} [R(z^{-1})y_{M_{t+d+1}} - F(z^{-1})y_t - G^*(z^{-1})u_t], \quad G^*(z^{-1}) = D(z^{-1}) - b_0. \quad (6)$$

Вектори налаштувань та ідентифікації параметрів апаратних засобів мають такий вигляд

$$u_t = \frac{1}{b_0} [R(z^{-1})y_{M_{t+d+1}} - \bar{\theta}_0 \bar{X}_{0_t}], \quad (7)$$

$$\bar{\theta}_0 = [\bar{g}_1, \bar{g}_2, \dots, \bar{g}_{r+d}, f_0, f_1, \dots, f_f]^T \quad \text{та} \quad \bar{X}_{0_t} = [u_{t-1}, u_{t-2}, \dots, u_{t-r-d}, y_t, y_{t-1}, \dots, y_{t-f}]^T.$$

$$R(z^{-1})y_{M_{t+d+1}} = D(z^{-1})u_t + F(z^{-1})y_t = \bar{\theta} \bar{X}_t, \quad \bar{\theta} = [b_0, \bar{\theta}_0]^T, \quad \bar{X}_t = [u_t, \bar{X}_{0_t}]^T. \quad (8)$$

Методика розробки апаратних засобів складається з таких процедур:

- розробляємо математичні моделі компонент із використанням перетворення Лапласа;
- на основі інформаційного підходу визначаємо смугу нечутливості первинного перетворювача вхідного сигналу навколо номінальної характеристики перетворення;
- визначаємо передатну функцію каналу в результаті перетворень його структурної схеми;
- досліджуємо частотні характеристики каналу. Спрощення моделі забезпечується за рахунок погашення коренів чисельника та знаменника передатної функції, а також у відкиданні коренів другого порядку малості;
- моделюємо завади компонент та за допомогою методики підсумовування випадкових складових встановлюємо смугу невизначеності вихідного сигналу каналу;
- визначаємо дискретну передатну функцію каналу;
- розробку пристрою обробки вхідного сигналу виконуємо на основі мінімізації квадратичного критерію якості із застосуванням еталонної моделі каналу;
- встановлюємо математичну модель вхідного сигналу каналу та визначаємо його частотне подання;
- за допомогою теореми про згортку визначаємо вихідний сигнал, який використовуємо в якості прогнозованого при аналізі ефективності апаратних засобів обробки інформації;
- будуємо схему комп'ютерного моделювання процесів перетворення каналами інформації. У результаті аналізу вихідного сигналу робимо висновок про ефективність апаратних засобів.

Розроблено методику аналізу частотних характеристик апаратних засобів, яка складається з таких обчислювальних процедур:

- визначаємо нулі та полюси передатної функції;
- будуємо перехідну та імпульсну перехідну функцію;
- будуємо ЛАЧХ та ЛФЧХ, визначаємо запас стійкості за амплітудою та фазою;
- будуємо частотний годограф Найквіста.

Методика проектування апаратних засобів обробки сигналів складається з таких обчислювальних процедур:

- ідентифікація коефіцієнтів математичної моделі каналу з використанням рекурентного методу найменших квадратів;
- факторизація ступеневого полінома $\hat{B}(z^{-1})$ шляхом $\hat{B} = \hat{B}^+ \hat{B}^-$, де нулі \hat{B}^+ відповідають стійкому стану каналу, а \hat{B}^- – нестійкому;
- підбір для рівняння $\hat{A}(z^{-1})G_1(z^{-1}) + z^{-d}\hat{B}^-(z^{-1})F(z^{-1}) = A_M(z^{-1})A_0(z^{-1})$ ступеневих поліномів $G_1(z^{-1})$ та $F(z^{-1})$;
- подання полінома $B_M(z^{-1})$ у вигляді $B_M(z^{-1}) = B_{M_1}(z^{-1})\hat{B}^-(z^{-1})$;

- визначення поліномів $D(z^{-1})$ та $H(z^{-1})$

$$D(z^{-1}) = G_1(z^{-1})\hat{B}^+(z^{-1}), \quad H(z^{-1}) = B_{M_1}(z^{-1})A_0(z^{-1})$$

й реалізація рівняння (4) перетворення інформації пристроєм обробки вхідного сигналу. Розроблено прикладне програмне забезпечення. Схема алгоритму роботи пристрою подана на рис. 6.

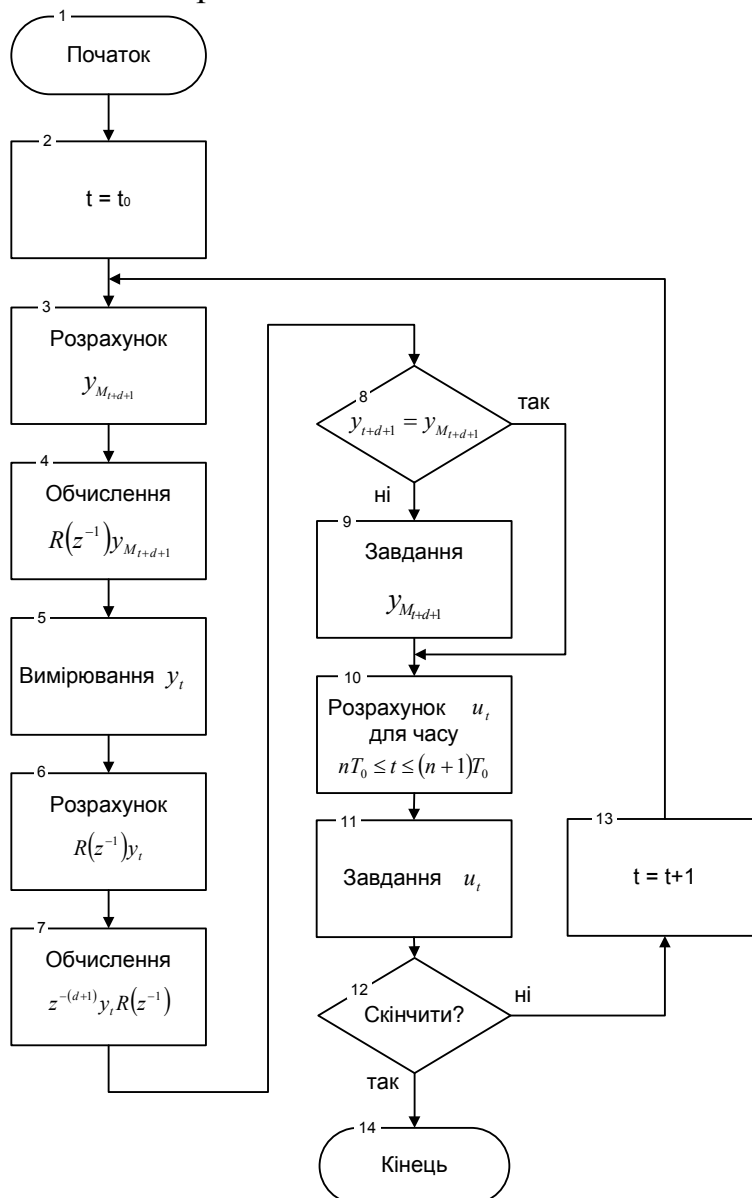


Рисунок 6 – Схема алгоритму роботи компонента

Третій розділ роботи присвячено розробці методу підвищення точності перетворення вхідної інформації каналами та побудові апаратних засобів обробки сигналу швидкості обертання шліфувального круга.

Процес алмазного шліфування характеризується нестабільністю поведінки. Шумовий процес взаємодії шліфувального круга з поверхнею деталі подано у вигляді лінійного випадкового процесу. У якості математичної моделі завад апаратних засобів запропоновано тепловий шум, який подано у вигляді вінерівського випадкового процесу. Визначено характеристики вказаних випадкових процесів та на їхній основі встановлено коректність моделей.

Метод підвищення точності каналів інформаційно-вимірювальної системи в умовах дії випадкових завад розроблено на основі прогнозування та мінімізації дисперсії вихідного сигналу. Доведено можливість подання всіх випадкових завад у вигляді однієї, яка діє на виході каналу. Математичну модель каналу подано в такому вигляді

$$y(t) = \frac{B_1^*(\mathcal{N}^{-1})}{A_1^*(\mathcal{N}^{-1})} u(t-k) + \xi(t), \quad (9)$$

де $u(t-k)$ – вихідний сигнал, \mathcal{N} – оператор зсуву сигналу праворуч, $B_1^*(\mathcal{N}^{-1})$, $A_1^*(\mathcal{N}^{-1})$ – поліноми передатної функції, $\xi(t)$ – випадкова завада. При цьому саму модель подано кінцево-різницею рівнянням.

Процеси перетворення інформації апаратними засобами подано в такому вигляді

$$B^*(\mathcal{N}^{-1})F^*(\mathcal{N}^{-1})u(t) = -G^*(\mathcal{N}^{-1})y(t), \quad (10)$$

де $F^*(z) = 1 + f_1z + \dots + f_{k-1}z^{k-1}$ та $G^*(z) = g_0 + g_1z + \dots + g_{n-1}z^{n-1}$ – ступеневі поліноми відносно оператора зсуву z^{-1} .

У результаті математичних перетворень отримано вирази для визначення дисперсії та похибки вихідного сигналу

$$E y^2(t+k) \geq \lambda^2 [1 + f_1^2 + f_2^2 + \dots + f_{k-1}^2], \quad (11)$$

$$y(t) = \lambda [e(t) + f_1 e(t-1) + \dots + f_{k-1} e(t-k+1)]. \quad (12)$$

Побудова каналу в умовах дії випадкових завад полягає у розробці провісника вихідного сигналу та організації процесу обробки вхідного. Проведено аналіз чутливості методу та рівняння (11) перетворення інформації до зміни параметрів поліномів $B^*(\mathcal{N}^{-1})$, $F^*(\mathcal{N}^{-1})$, $G^*(\mathcal{N}^{-1})$ математичної моделі каналу. Встановлено, що через безперервність вихідного сигналу його коливання стійкі до малих змін параметрів поліномів моделі каналу.

У результаті аналізу структурної схеми блоку ЕПЗ разом із ВМЗ та математичних перетворювань отримано передатну функцію

$$W_4(p) = \frac{k_y k_{\mathcal{E}} K_{uin} K_{ms} (T_{oc} p + 1) k_M p}{[e^{\tau_{uin} p} e^{\tau_{ms} p} (T_{uin} p + 1)(T_{ms} p + 1)(T_{oc} p + 1)(T_E p + 1) + 1](T_M p + 1)}, \quad (13)$$

де K_i, T_i – відповідно коефіцієнти передачі та постійні часу елементарних ланок математичної моделі. Досліджено частотні характеристики блоків ЕПЗ та ВМЗ і в результаті обробки дослідних даних встановлено, що вони відповідають вимогам інформаційно-вимірювальної системи за величиною похибки.

Структурну схему апаратних засобів обробки сигналу швидкості подано на рис. 7. У результаті її аналізу та математичних перетворень отримано передатну функцію каналу в такому вигляді

$$W_9(p) = \frac{b_0^* \tau_r p [T_3 \tau_3 p^2 + (T_3 + \tau_3) p + 1]}{a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1}, \quad (14)$$

де $a_4 = T_1 T_2 T_3 \tau_3$, $a_3 = T_1 T_2 (T_3 + \tau_3) + (T_1 + T_2) T_3 \tau_3$;

$a_2 = T_1 T_2 + T_3 \tau_3 + \tau_r + (T_1 + T_2)(T_3 + \tau_3)$, $a_1 = T_1 + T_2 + T_3 + \tau_3$.

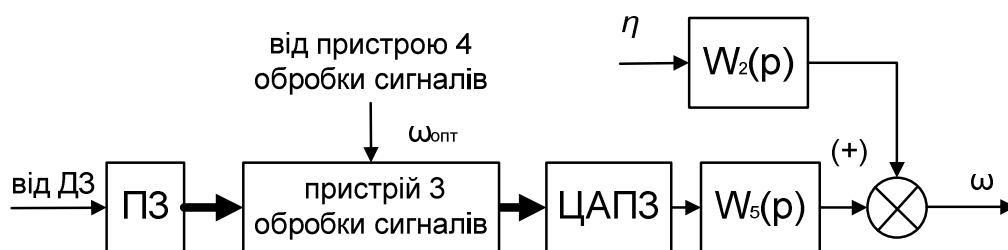


Рисунок 7 – Структурна схема каналу обробки сигналу швидкості

Визначено z -перетворення передатних функцій блоків ЕПЗ та ВМЗ. Математичну модель завади, яка діє на виході каналу обробки сигналу швидкості, подано у вигляді гармонійного лінійного випадкового процесу. Визначено його характеристики та на основі їхнього аналізу встановлено коректність моделі. Процедуру обробки апаратними засобами вхідного сигналу розроблено на основі принципу управління за відхиленням та подано в такому вигляді

$$C(z^{-1})\psi_t^* = f_0 y_t + f_1 y_{t-1} + g_0 u_t + g_1 u_{t-1} + g_2 u_{t-2} + g_3 u_{t-3} + h_0 G_t + h_1 G_{t-1} + \delta = 0, \quad (15)$$

де δ – допустиме значення похибки апаратних засобів.

У результаті математичних перетворень виразу (16) отримано сигнал, який формує пристрій 3 на ЕПЗ в кожний період дискретизації

$$u_t = -g_0^{-1}(f_0 y_t + f_1 y_{t-1} + g_1 u_{t-1} + g_2 u_{t-2} + g_3 u_{t-3} + h_0 G_t + h_1 G_{t-1} + \delta). \quad (16)$$

Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі каналу отримана передатна функція пристрою 3 обробки сигналу швидкості в такому вигляді

$$W_{пз}(z) = 1.206 \frac{z^2 - 0.1706z}{z^2 - 0.995z - 5.019 \cdot 10^{-3}}. \quad (17)$$

На основі виразів (15) та (18) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу обробки апаратними засобами сигналу швидкості обертання шліфувального круга (рис. 8).

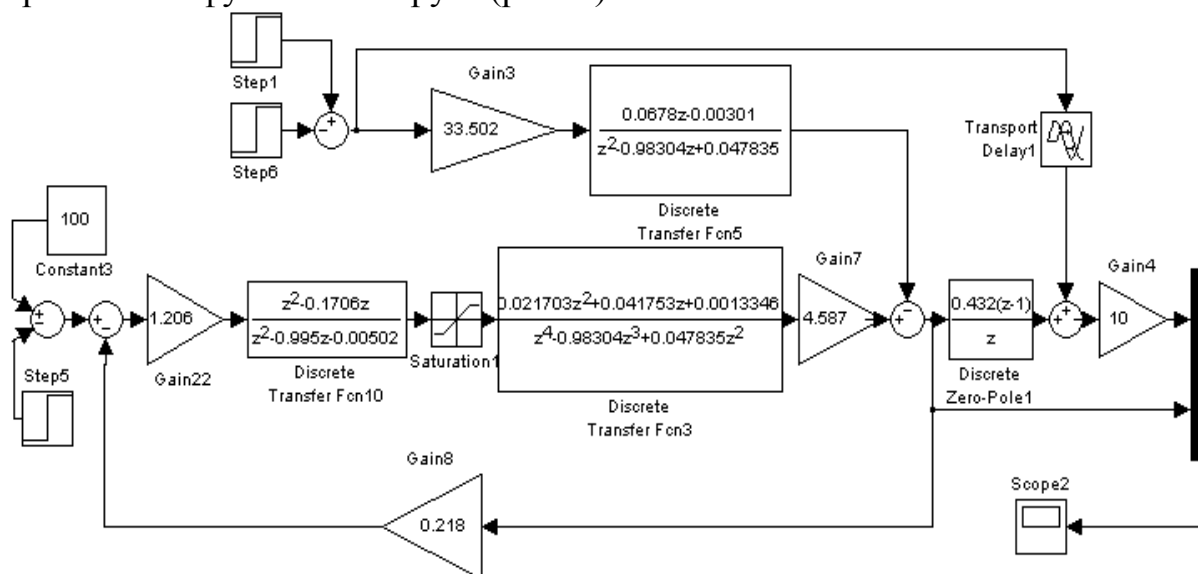


Рисунок 8 – Схема комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу швидкості обертання шліфувального круга

У результаті комп'ютерного моделювання отримано сигнали кутової швидкості обертання круга та струму обмотки збудження двигуна у функції часу. Встановлено, що апаратні засоби відповідають вимогам інформаційно-вимірювальної системи із швидкодії. Розроблено прикладне програмне забезпечення для пристрою 3.

Четвертий розділ роботи присвячено побудові апаратних засобів обробки сигналів поперечної та поздовжньої подач шліфувального круга в умовах дії випадкових завад. З урахуванням смуги нечутливості (Δ_1) вихідного сигналу Д1, яку встановлено в результаті статистичної обробки дослідних даних, отримано передатну функцію блоків Д1 та П1 у такому вигляді

$$W_{11}(p) = \frac{\Delta_1 k_{П1} e^{-p\tau_{П1}}}{T_{П1} p + 1}. \quad (18)$$

У результаті аналізу схеми побудови та математичних перетворювань отримано таку передатну функцію ЕП1 разом з ВМ1

$$W_{12}(p) = \frac{k_y k_{\Omega} K_{uin} K_{m6} (T_{dc} p + 1) k_M}{[e^{\tau_{uin} p} e^{\tau_{m6} p} (T_{uin} p + 1)(T_{m6} p + 1)(T_{dc} p + 1)(T_E p + 1) + 1](T_M p + 1)}. \quad (19)$$

Аналіз нулів та полюсів передатної функції дозволив подати її без суттєвих втрат точності в такому вигляді

$$W_{13}(p) = \frac{b_0^*}{(\zeta_1 T_4 p + 1) \left(\frac{T_4}{\zeta_1} p + 1 \right) (T_5 p + 1)}. \quad (20)$$

Вхідний сигнал каналу обробки сигналу поперечної подачі шліфувального круга подано у вигляді обмеженого ряду Фур'є

$$S_{non}(t) = \sum_{k=1}^n A_{2k-1} \left\{ e^{j[(2k-1)\Omega t - 0.5\pi]} - e^{-j[(2k-1)\Omega t - 0.5\pi]} \right\}, \quad (21)$$

де $A_{2k-1} = \frac{4S_{non}}{\pi(2k-1)} \cos\left[\frac{(2k-1)\Omega}{2}(t_1 - t_2)\right]$, Ω – кругова частота першої гармоніки.

На основі теореми про згортку з використанням передатної функції каналу отримано вираз, який описує його вихідний сигнал

$$y_{non}(t) = \sum_{k=1}^4 B_k e^{-p_k t} \sum_{i=1}^n \frac{2 A_{2i-1} T_k}{\sqrt{1 + T_k^2 (2i-1)^2 \Omega^2}} e^{j[0.5\pi - \arctg T_k (2i-1)\Omega]}. \quad (22)$$

Визначено z-перетворення передатних функцій ЕП1 разом із ВМ1. Математичну модель випадкової завади, яка діє на виході каналу, подано у вигляді флікер-шуму. Проведено аналіз характеристик цього випадкового процесу та встановлено його придатність для подання. На основі принципу управління за відхиленням процедуру обробки сигналу поперечної подачі круга подано в такому вигляді

$$b_0^{\circ} U_t = R_1(z^{-1}) y_{m,t+d+1} - F(z^{-1}) y_t - [D(z^{-1}) - b_0^{\circ}] U_t, \quad (23)$$

де $y_{m,t+d+1}$ – вихідний сигнал каналу, який прогнозується; ступеневі поліноми

$$R_1(z^{-1}) = \frac{\Delta_2 k_M T_M (1-l_4)}{\varepsilon_{don}} z^{-1}, \quad D(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + g_2 z^{-2}, \quad F(z^{-1}) = f_0 + f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2}.$$

Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі каналу отримано передатну функцію пристрою 1 обробки сигналу поперечної подачі шліфувального круга

$$W_{m1}(z^{-1}) = 767.113 \frac{2.3 - 3.453z^{-1} + 1.33z^{-2}}{0.262 + 0.008z^{-1} + 0.2182z^{-2}}. \quad (24)$$

На основі виразів (21) та (25) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу поперечної подачі шліфувального круга (рис. 8). Встановлено, що апаратні засоби відповідають вимогам інформаційно-вимірювальної системи із швидкодії.

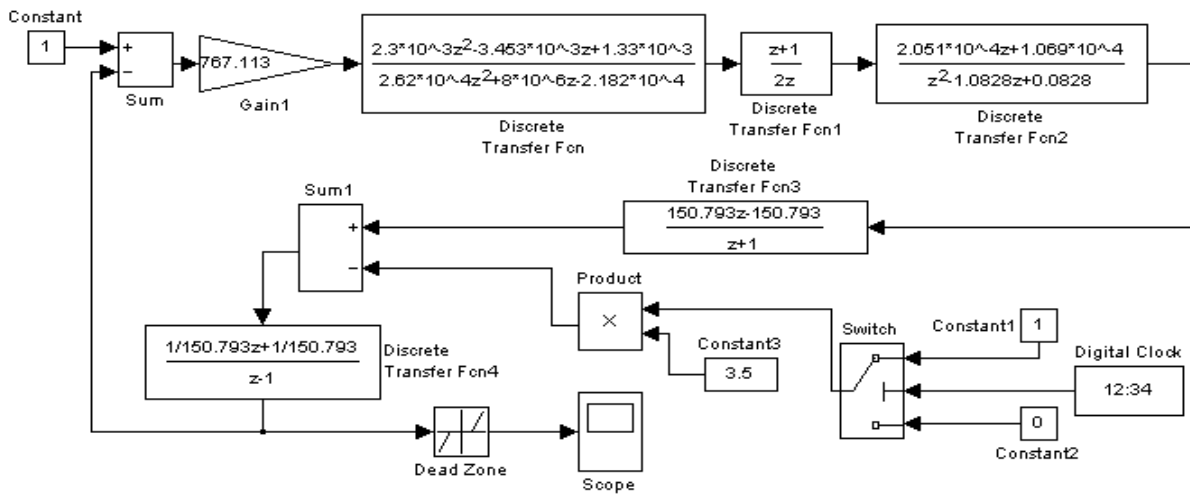


Рисунок9 – Схема комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу поперечної подачі шліфувального круга

У результаті аналізу структурної схеми апаратних засобів обробки сигналу поздовжньої подачі круга із застосуванням комп'ютерного моделювання та математичного апарату z -перетворень отримано такі вирази для передатних функцій

$$W_{23}(z^{-1}) = z^{-2} \frac{b_1^{\circ} z^{-1} + b_2^{\circ} z^{-2} + b_3^{\circ} z^{-3}}{1 + a_1^{\circ} z^{-1} + a_2^{\circ} z^{-2} + a_3^{\circ} z^{-3}}, \quad W_{24}(z^{-1}) = \frac{k_M z^{-1} [1 - T_M + (T_M - l_4) z^{-1}]}{1 - (1 + l_8) z^{-1} + l_8 z^{-2}}.$$

У цих виразах ураховано запізнювання, яке вносять блок П2, екстраполятор та ЕП2. Також ураховано смугу нечутливості вихідного сигналу Д2, яку встановлено в результаті статистичної обробки дослідних даних.

Сигнал поздовжньої подачі шліфувального круга подано обмеженим рядом Фур'є. На основі теореми про згортку з використанням передатної функції каналу отримано вираз, який описує його вихідний сигнал

$$y_{noz}(t) = \sum_{k=5}^8 B_k e^{-p_k t} \sum_{i=1}^n \frac{B_{2i-1} T_k}{\sqrt{1 + T_k^2 (2i-1)^2 \Omega^2}} \left[e^{j \arctg T_k (2i-1) \Omega} - e^{-j \arctg T_k (2i-1) \Omega} \right]. \quad (25)$$

Математичну модель випадкової завади апаратних засобів обробки сигналу поздовжньої подачі шліфувального круга подано у вигляді флікер-

шуму, який діє на виході. Проведено аналіз характеристик цього випадкового процесу та встановлено його придатність для подання. Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі апаратних засобів отримано передатну функцію пристрою 2 обробки сигналу поздовжньої подачі круга в такому вигляді

$$W_{п2}(z^{-1}) = \frac{0.04752 + 0.862z^{-1} - 0.823z^{-2}}{0.374 - 0.374z^{-1}}. \quad (26)$$

На основі виразу (27) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу поздовжньої подачі шліфувального круга (рис. 10). Встановлено, що апаратні засоби відповідають вимогам інформаційно-виміральної системи із швидкодії.

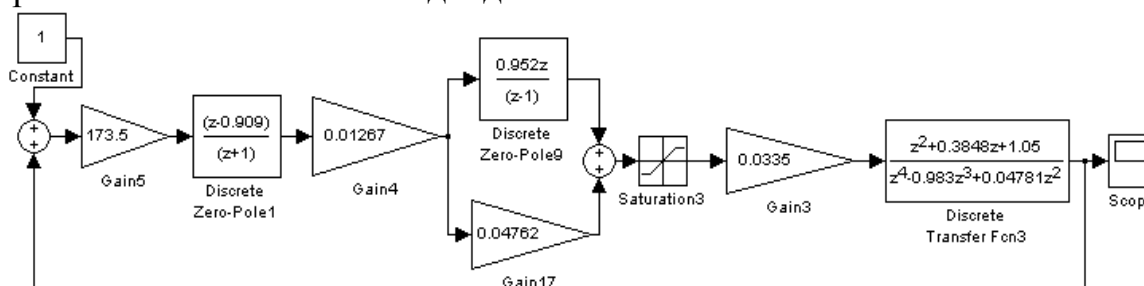


Рисунок 10 – Схема комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу поздовжньої подачі шліфувального круга

Критерій оцінювання мікронерівностей, амплітуда яких прогнозується, розроблено на основі обмежень подач із використанням сигналу дев'ятих швидкості обертання шліфувального круга. Обмеження поперечної подачі визначено в результаті статистичної обробки дослідних даних у вигляді коефіцієнтів, які змінюють її розмір. 12 «квалітет» чистоти поверхні деталі забезпечується при $S_{\text{поп}} = 0.07$ мм на подвійний хід. Обмеження закладено в алгоритм програмного завдання пристроєм 1 поперечної подачі ШК:

- програма обробки партії деталей задає допустиме значення мікронерівностей R_z поверхні деталі, що оброблюється верстатом;
- пристрій 1 обробки сигналу поперечної подачі на підставі аналізу банку даних обирає Q_1 і задає чорновий цикл обробки деталі $S_{\text{non}} = Q_1 S_{\text{non},m}$;
- він періодично після виконання шліфувальним кругом одного проходу обчислює поточний припуск обробки $h = h_n - kS_{\text{non}}$, де $k = 0, 1, 2, \dots$;
- якщо $h_n - kS_{\text{non}} \leq h_k$, то пристрій 1 задає чистовий цикл обробки деталі

у відповідності з таким виразом $S_{\text{non}} = Q_1 \left[S_{\text{non},k} + (S_{\text{non},m} - S_{\text{non},k}) \frac{h}{h_k} \right]$.

Розроблено позиційний алгоритм задавання пристроєм 1 поперечної подачі шліфувального круга. В основу розробки алгоритму задавання поздовжньої подачі покладено те, що вона за своєю сутністю є швидкістю руху ВМ2. Розроблено прикладне програмне забезпечення та бази даних для пристроїв 1 та 2 обробки сигналів подач. Встановлено їхню продуктивність при формуванні вихідних сигналів.

П'ятий розділ роботи присвячено побудові апаратних засобів оцінювання прогнозованих мікронерівностей в умовах дії випадкових завад. Вимоги до метрологічних характеристик блоку ДЗ встановлено в результаті аналізу вихідного сигналу математичної моделі процесу алмазного шліфування. При її розробці в якості вхідних сигналів використано поперечну та поздовжню подачі круга. Вихідний сигнал – сила різання матеріалу заготівлі (F). З урахуванням динаміки процесу різання матеріалу заготівлі, пружних деформацій кінематичної схеми верстата та лінійного зносу алмазного інструменту отримано вираз для передатної функції

$$W_{26}(p) = \frac{K_{рез,y}(1 - e^{-p t_1})}{1 + K_{рез,y}(1 - e^{-p t_1}) \left[p K_y \left(\frac{p^2}{\Omega_m^2} + \frac{2\beta_m p}{\Omega_m} + 1 \right) + \frac{K_3}{p \tau_{kp}} (1 - e^{-p \tau_{kp}}) \right]}. \quad (27)$$

Цей вираз встановлює інформаційний зв'язок між поперечною подачею шліфувального круга та радіальною складовою сили різання матеріалу заготівлі. З урахуванням динаміки процесу різання матеріалу заготівлі та пружних деформацій кінематичної схеми верстата отримано вираз для передатної функції, яка встановлює інформаційний зв'язок між поздовжньою подачею та тангенціальною складовою сили різання

$$W_{28}(p) = \frac{K_x K_{рез,x}(1 - e^{-p t_1})}{p [K_x + K_{рез,x}(1 - e^{-p t_1})]}. \quad (28)$$

Процедура підсумовування складових сили різання виконана з урахуванням їхньої ортогональності. На підставі лінійності перетворення Лапласа та з урахуванням теореми додавання отримано рівняння для підсумовування

$$F(p) = \sqrt{W_{27}^2(p) S_{non}^2(p) + W_{28}^2(p) S_{новз}^2(p)}. \quad (29)$$

Після нормалізації параметрів рівняння (3) за допомогою теорем теорії подібності та математичних перетворень отримано вираз для передатної функції, яка встановлює інформаційний зв'язок між сигналом девіацій та силою різання матеріалу заготівлі

$$W_{29}(p) = \frac{R_{kp} t_1 \gamma_1 p}{J_{kp} t_1 p^2 + \beta_1 t_1 p + \gamma_1}. \quad (30)$$

На основі виразів (28-31) складено схему комп'ютерного моделювання процесу алмазного шліфування (рис. 11). У результаті комп'ютерного моделювання отримано графік сигналу девіацій швидкості обертання шліфувального круга в межах одного оберту (рис. 12).

Частотне подання сигналу девіацій використано при ідентифікації параметрів математичної моделі процесу алмазного шліфування. У результаті математичних перетворень отримано вираз для незв'язності амплітуд гармонійних складових сигналу моделі та дослідних даних

$$v = \frac{\Delta_5}{\sum_{k=1}^{10} k \Omega A_k \cos(k \Omega + \varphi_k)}, \quad (31)$$

де Δ_s – допустиме значення похибки, A_k, φ_k – амплітуда та фаза подання сигналу девіацій.

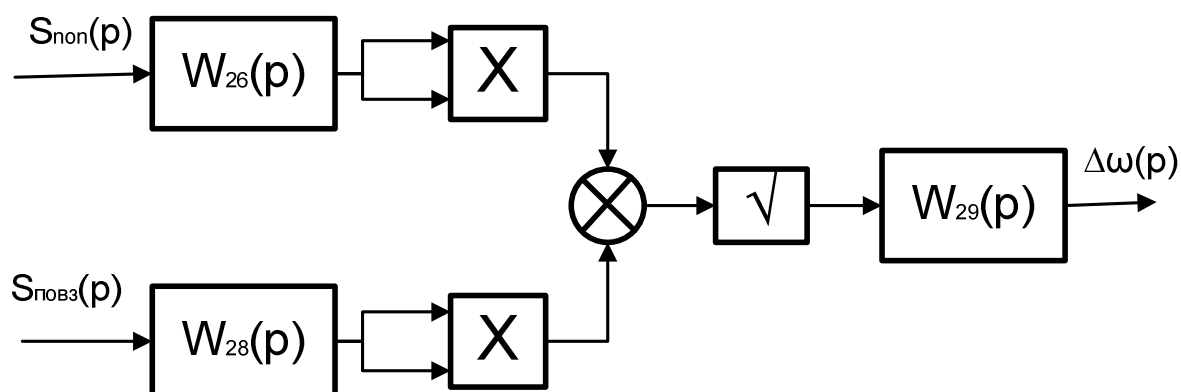


Рисунок 11 – Схема комп'ютерного моделювання процесу алмазного шліфування

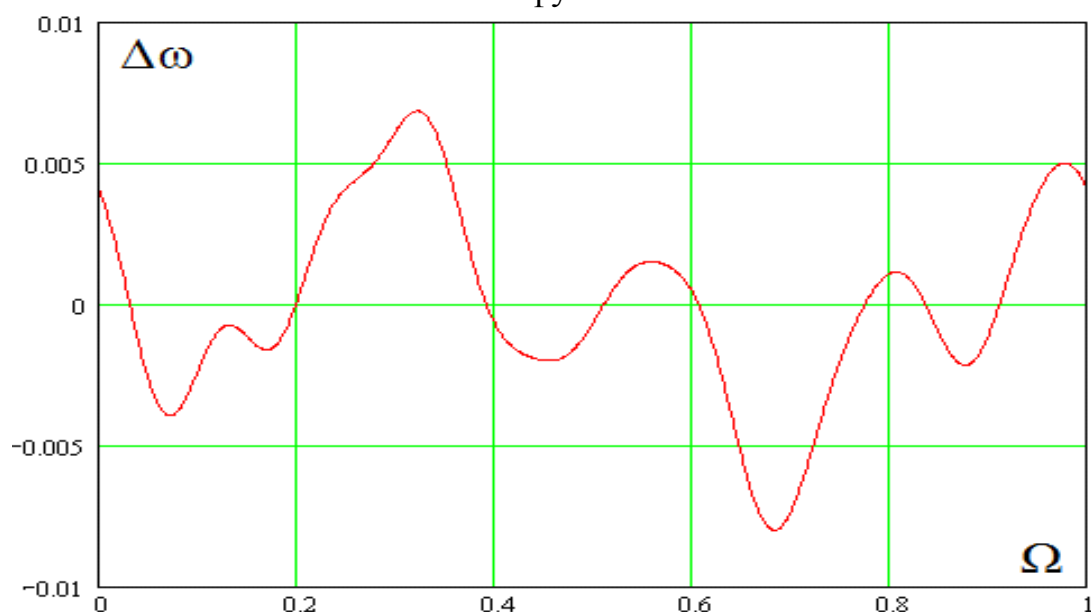


Рисунок 12 – Графік девіацій швидкості обертання шліфувального круга

Порівнянням графіків девіацій та дослідних даних встановлена коректність математичної моделі процесу алмазного шліфування. З аналізу сигналу девіацій також встановлено, що його амплітудне значення не перевищує 0,05 середнього періоду миттєвої швидкості обертання круга. Часову реалізацію девіацій визначаємо в результаті цифрової обробки частотно-модульованого сигналу з малою глибиною модуляції. Ця процедура достатньо складна та потребує розробки апаратних засобів, які мають малий інтервал невизначеності навколо номінальної характеристики перетворення.

Розробку апаратних засобів оцінювання мікронерівностей, амплітудне значення яких прогнозується, почато з аналізу складових похибки первинного перетворювача:

- похибка відновлення аналогового сигналу за дискретними відліками, яка визначається для його частотного подання за допомогою виразу

$$\delta_{\epsilon} = \frac{t_0}{8} \sqrt{0.1 \sum_{i=1}^{10} \Omega_i^4} 100\%; \quad (32)$$

• кінематична похибка первинного перетворювача, яку визначено на прикладі дослідження допусків на виготовлення зубчастих коліс різного класу точності та подано в табл. 1. При оцінюванні кінематичної похибки застосовано такий вираз

$$\delta_{\epsilon} = \frac{\Delta m}{m} 100\%, \quad (33)$$

де Δm – допуск на кінематичну похибку зубчастого колеса, m – модуль;

- динамічна похибка первинного перетворювача.

Таблиця 1 – Чисельні дані кінематичної похибки

Клас точності зубчастого колеса	4	5	6	7	8
$\delta_{\kappa}, \%$	0.80	1.25	2.00	2.75	4.00
Похибка вимірювань девіацій, %	16.0	25.0	40.0	55.0	80.0

Дані табл. 1 дозволяють зробити висновок: вимірювання сигналу девіацій потребують розробки методу зменшення величини кінематичної похибки первинного перетворювача та відповідних апаратних засобів. Один із можливих шляхів розв'язування цієї задачі є виконання паспортизації первинного перетворювача. У результаті паспортизації отримуємо поправки, які враховує вимірювальний перетворювач при визначенні сигналу девіацій. До складу перетворювача також входить пристрій синхронізації з фазою обертання первинного перетворювача.

Для компенсації кінематичної похибки автором пропонується метод багатоканальних вимірювань інтервалів часу, які формуються одною рисою первинного перетворювача та відповідають повному оберту його вала. При такому методі вимірювань сигналу миттєвої швидкості обертання шліфувального круга кінематична похибка первинного перетворювача не впливає на тривалість сформованих інтервалів часу. Однак виникає динамічна похибка зрушень за часом дискретних відліків часової реалізації сигналу девіацій, які виникають як наслідок кінематичної. Виконано оцінювання динамічної похибки первинного перетворювача. Її абсолютне значення знаходимо таким чином

$$\Delta_{\text{дин}} = \frac{1}{T} \int_0^T [\Delta\omega(\Omega t + \Omega\sigma_{\text{зм}}) - \Delta\omega(\Omega t)] dt, \quad (34)$$

де $\sigma_{\text{зм}}$ – середнє квадратичне відхилення часового зсуву дискретних відліків, яке визначено на підставі допусків первинного перетворювача.

Для гармонійного сигналу останній вираз після математичних перетворень набуває такого вигляду

$$\Delta_{\text{дин},i} = \frac{2A_i}{\pi} \sin(\varphi_i - 0.5i\Omega\sigma_{\text{зм}}) \sin(i\Omega\sigma_{\text{зм}}). \quad (35)$$

Відносну похибку гармонійного сигналу отримано в такому вигляді

$$\delta_i = \frac{2}{\pi} \sin(\varphi_i - 0.5i\Omega\sigma_{3M}) \sin(i\Omega\sigma_{3M}). \quad (36)$$

Динамічну похибку первинного перетворювача визначаємо з урахуванням внесків гармонійних складових до сигналу девіацій

$$\delta_{\text{дин}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (A_i \delta_i)^2}{\sum_{i=1}^{10} A_i^2}}. \quad (37)$$

Результати розрахунків динамічної похибки первинного перетворювача подано в табл. 2.

Таблиця 2 – Чисельні дані динамічної похибки

Клас точності первинного перетворювача	4	5	6	7	8
Похибка вимірювань девіацій, %	3.1	4.8	7.4	9.9	14.1

Сутність методу апаратної компенсації кінематичної похибки первинного перетворювача полягає в тому, що вихідний сигнал блоку ДЗ за допомогою лічильника та дешифратора перетворюється в декілька імпульсних послідовностей. Положення імпульсів в них відповідає моментам проходження біля чутливого елемента датчика однієї риски. Цей сигнал подається на вхід відповідного каналу для вимірювань інтервалів часу. Кількість каналів у складі пристрою визначається кількістю рисок первинного перетворювача. Апаратну реалізацію каналів для вимірювань проведено на основі методу дискретизації за часом. Усунення взаємних накладань вихідних сигналів каналів при їхньому поєднанні схемою АБО у сигнал вимірювальної інформації для пристрою 5 виконується за допомогою лічильників. Об'єм останніх та частота взірцевого генератора обираються таким чином, щоб переповнення лічильника виконувалося за час трохи менший, ніж середній період імпульсної послідовності. При цьому з вимірювальної інформації кожного каналу виключається калібрований за тривалістю проміжок часу.

На підставі цього методу розроблено оригінальний пристрій для вимірювань сигналу девіацій (рис. 13), який описано в роботі [59]. На рисунку позначено: ТА1, ..., ТА4 – логічні схеми ТА; ДШ – дешифратор; Г – взірцевий генератор; Т1, ..., Т3 – тригери; N_x – вихідний код; N – кількість каналів для вимірювань; АБО1, АБО2 – логічні схеми АБО; Л1, ..., Л4 – лічильники імпульсів; Ф – формувач імпульсів; З – лінія затримки. Пристрій для вимірювань має два канали, які вимірюють тривалість імпульсів прямого та інверсного виходів Т1. Сигнал вимірювальної інформації для пристрою 5 формує схема АБО2. Лічильник Л3 перетворює цей сигнал у цифровий код. Блок Ф формує сигнал запису коду в регістр пристрою 5 та за допомогою блоку З переводить лічильник Л3 до нульового стану.

У результаті аналізу структурної схеми апаратних засобів оцінювання прогнозованих мікронерівностей із використанням моделей його компонент та апарату z-перетворень отримано вираз для передатної функції

$$W_{33}(z^{-1}) = \frac{b_1^* z^{-1}}{1 + a_1^* z^{-1} + a_2^* z^{-2}}, \quad (38)$$

де $b_1^* = \frac{\Delta_5 k_{\delta 3} k_{\Pi 4}}{\tau_{\Pi 4} - T_{\delta 3}} \left(e^{-\frac{T_0}{\tau_{\Pi 4}}} - e^{-\frac{T_0}{T_{\delta 3}}} \right)$, $a_2^* = e^{-\left(\frac{T_0}{T_{\delta 3}} + \frac{T_0}{\tau_{\Pi 4}} \right)}$, $a_1^* = -\left(e^{-\frac{T_0}{\tau_{\Pi 4}}} + e^{-\frac{T_0}{T_{\delta 3}}} \right)$. Ураховано

запізнення апаратних засобів та похибка вимірювань девіацій.

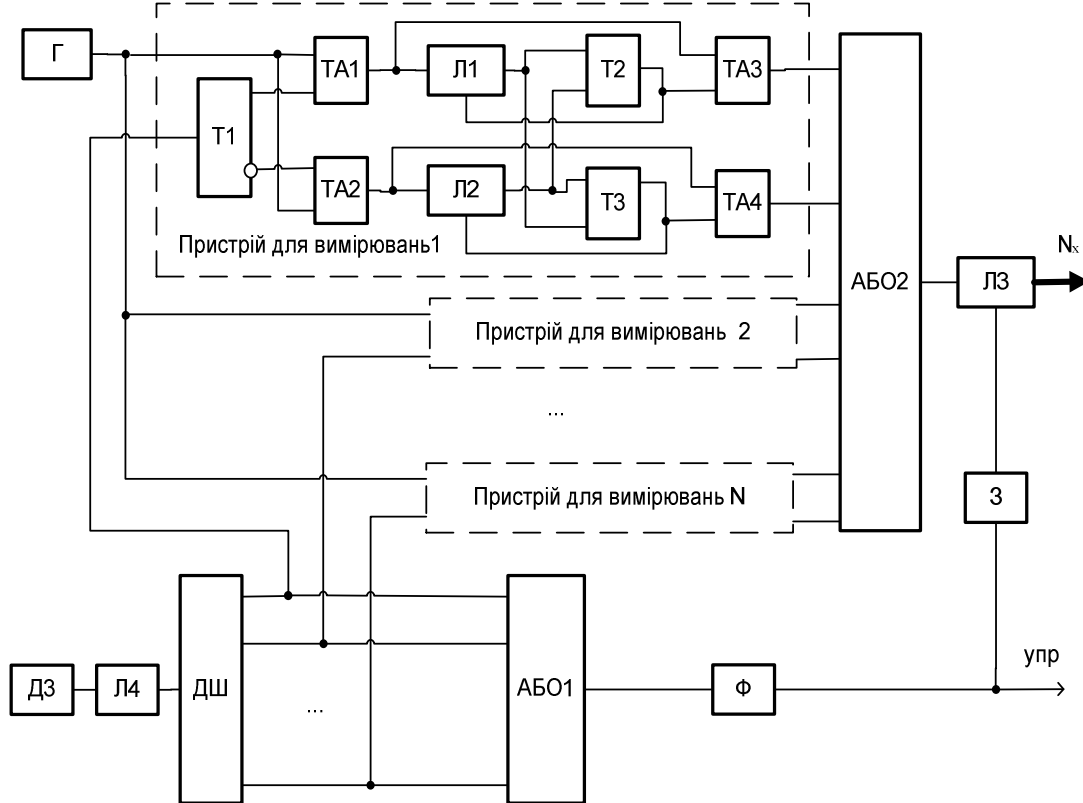


Рисунок 13 – Пристрій компенсації кінематичної похибки

На основі теореми про згортку з використанням передатної функції апаратних засобів оцінювання мікронерівностей отримано вираз, який описує вихідний сигнал

$$y_{P2}(t) = B_9 e^{\frac{1}{T_{16}} t} \sum_{k=1}^{10} \frac{A_k T_{16}}{\sqrt{1 + T_{16}^2 k^2 \Omega^2}} \left[e^{j(\psi_k + 0.5\pi - \arctg T_{16} k \Omega)} - e^{-j(\psi_k + 0.5\pi + \arctg T_{16} k \Omega)} \right] + B_{10} e^{\frac{1}{T_{17}} t} \sum_{k=1}^n \frac{A_k T_{17}}{\sqrt{1 + T_{17}^2 k^2 \Omega^2}} \left[e^{j(\psi_k + 0.5\pi - \arctg T_{17} k \Omega)} - e^{-j(\psi_k + 0.5\pi + \arctg T_{17} k \Omega)} \right]. \quad (39)$$

Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі апаратних засобів отримано передатну функцію пристрою 4 обробки сигналу миттєвої швидкості в такому вигляді

$$W_{\Pi 4}(z^{-1}) = \frac{1.54 - 2.096z^{-1} + 0.616z^{-2}}{2.574 + 0.083z^{-1} - 2.156z^{-2}}. \quad (40)$$

На основі виразів (39) та (41) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу перетворення інформації апаратними засобами оцінювання мікронерівностей (рис. 14). Встановлено, що їхня швидкодія задовольняє вимогам інформаційно-вимірювальної системи.

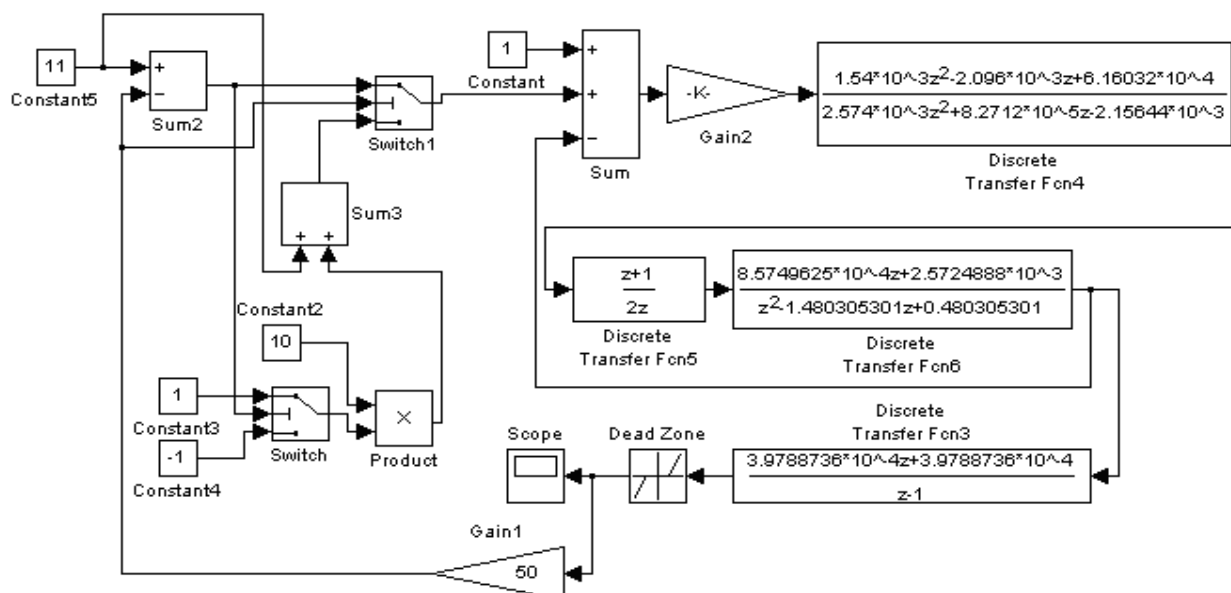


Рисунок14–Схема комп'ютерного моделювання процесу обробки сигналу миттєвої швидкості обертання шліфувального круга

Інформаційну технологію поділу внесків подач до вимірювальної часової реалізації девіацій швидкості обертання круга розроблено на основі частотного подання вказаних сигналів. Передатні функції внесків подач до сигналу девіацій отримано з аналізу математичної моделі процесу алмазного шліфування в такому вигляді

$$W_{non}(p) = \frac{K_n T_{13} b_1 p^2}{(T_{11}p + 1)(T_{12}p + 1)(T_{14}p + 1)(T_{15}p + 1)}, \quad W_{noz}(p) = \frac{K_n T_{13} b_0 p}{(a_1p + a_0)(T_{14}p + 1)(T_{15}p + 1)}$$

За допомогою цих виразів комп'ютерним моделюванням отримано графіки внесків подач до сигналу девіацій (рис. 15).

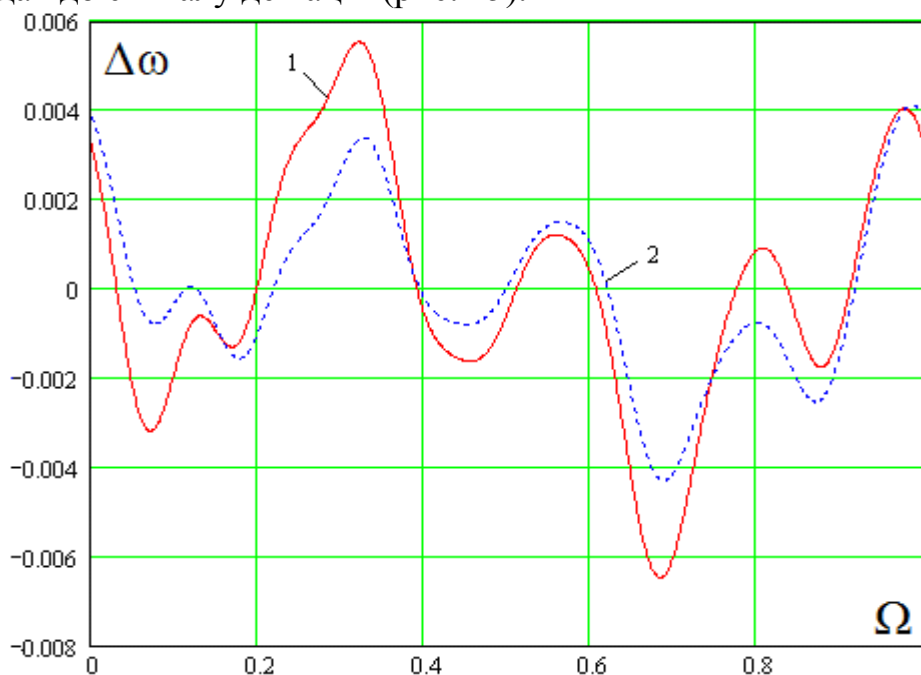


Рисунок 15 – Графіки внесків подач до сигналу девіацій:
1 – поперечної подачі, 2 – поздовжньої

Визначено вагові коефіцієнти поділу внесків подач. На основі допускового контролю сигналу девіацій розроблено такий алгоритм формування пристроєм 4 уставок для пристроїв 1, 2 та 3 обробки сигналів:

- часову реалізацію сигналу девіацій після нормалізації його параметрів подаємо обмеженим рядом Фур'є;
- визначаємо діюче значення сигналу девіацій;
- нормовані значення подач одержуємо шляхом множення діючого значення сигналу девіацій на відповідний ваговий коефіцієнт;
- аналізуємо банк даних про еталонні рівні амплітуд девіацій і за потреби виконуємо коригування величин подач.

Розроблено прикладне програмне забезпечення та бази даних апаратних засобів оцінювання мікронерівностей. Встановлено, що їхня швидкодія задовольняє вимогам інформаційно-вимірювальної системи.

Шостий розділ роботи присвячено побудові апаратних засобів задавання параметрів алмазно-іскрового шліфування в умовах дії випадкових завад. Запропоновано варіанти побудови пристрою ВПП та в результаті статистичної обробки дослідних даних встановлено їхню ефективність.

Обґрунтовано вибір скважності для задавання енергії вихідного сигналу генератора ШГІ. Межі зміни цього параметра з метою усунення припикань поверхні деталі визначено в результаті аналізу математичної моделі алмазно-іскрового шліфування. Після нормалізації параметрів моделі на основі теорем теорії подібності та перетворювань отримано вираз для енергії, яка подається в зону обробки деталі при алмазно-іскровому шліфуванні,

$$E_3 = T \left[\frac{U_m R_3}{q(R_3 + R_r)} \right]^2, \quad (41)$$

де U_m, q – відповідно амплітуда та скважність сигналу, R_3, R_r – опори відповідно зони обробки деталі та джерела живлення.

Для розрахунку величини енергії пристрій 5 має у своєму банку пам'яті масив даних опорів зони обробки деталей. Цей параметр процесу правки як функція швидкості обертання та подач алмазного інструменту отримано в результаті статистичної обробки дослідних даних. Побудовано гістограми розкиду, визначено їхні закони розподілу та на основі інформаційного підходу отримано ентропійні похибки вимірювань. У смугах невизначеності вимірів із багаторазовими спостереженнями опору та ємності проведено детерміновані середні лінії, які прийнято за їхні номінальні характеристики.

Еквівалентна схема заміщення зони обробки деталі подана як фільтр нижніх частот першого порядку з такою межею смуги прозорості

$$\omega = \frac{\sqrt{-(1 + 2R_3/R_2)}}{R_3 C_3}, \quad (42)$$

де C_3 – ємність зони обробки поверхні деталі.

Апроксимацією дослідних даних ступеневими поліномами отримано вираз, який пов'язує опір зони обробки деталі з параметрами алмазно-іскрового шліфування

$$R_3 = (3.03 - 60S_{non} + 328S_{non}^2)(3.74 + 1.17S_{повз}). \quad (43)$$

У результаті аналізу обмежень енергії алмазно-іскрового шліфування отримано рівняння для визначення пристроєм 5 діапазону зміни скважності

$$\left. \begin{aligned} q_{\min} &= \frac{U_m^* R_3^*}{(R_3^* + 1) \sqrt{E_{\max}^* F^*}} \\ q_{\max} &= \frac{U_m^* R_3^*}{(R_3^* + 1) \sqrt{E_{\min}^* F^*}} \end{aligned} \right\}, \quad (44)$$

де E_{\max} , E_{\min} – межі зміни енергії з метою усунення припикань поверхонь деталей на етапі чистового шліфування.

Комп'ютерним моделюванням отримано графіки зміни електричної енергії, яка подається в зону обробки деталі, у функції скважності вихідного сигналу генератора ШГІ (рис.16). За допомогою виразів (48) визначено границі зміни скважності та сформовано банк даних для пристрою 5. Аналогічні дані дають графіки.

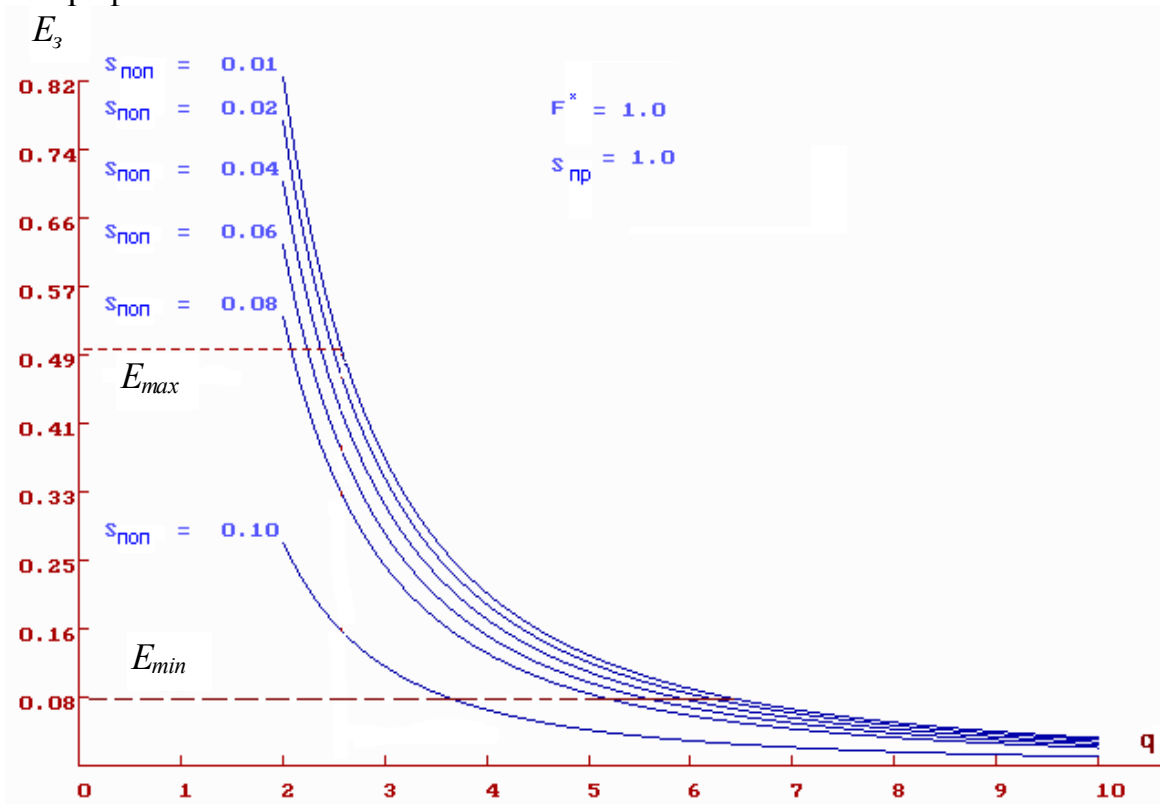


Рисунок 16 – Графіки зміни енергії як функції скважності

На основі методу дискретизації за часом розроблено варіанти побудови пристроїв для оцінювання та задавання скважності сигналу генератора ШГІ. Визначено мінімізоване значення середньої квадратичної похибки перетворення ними інформації

$$\delta_{9,\min} = \frac{180}{\sqrt{N_4} \sqrt[3]{15N_4}}, \quad (45)$$

де N_4 – кількість імпульсів. Встановлено ефективність пристроїв.

Структурна схема апаратних засобів задавання параметрів алмазно-іскрового шліфування подана на рис. 17. У результаті її аналізу із застосуванням моделей компонент та апарату z-перетворень отримано вираз для передатної функції

$$W_{P3}(z^{-1}) = \frac{k_{ПП} T_z (T_z + K_{OY} T_{np}) \frac{T_{18}}{T_{17} - T_{16}} \left(e^{\frac{T_0}{T_{17}}} + e^{\frac{T_0}{T_{16}}} \right) z^{-1}}{1 - \left(e^{\frac{T_0}{T_{16}}} + e^{\frac{T_0}{T_{17}}} \right) z^{-1} + e^{\frac{T_0}{T_{17}}} e^{\frac{T_0}{T_{16}}} z^{-2}}. \quad (46)$$

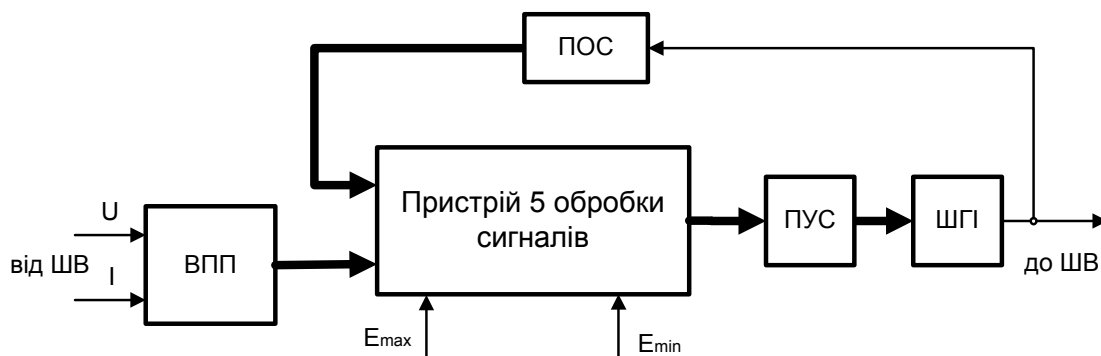


Рисунок 17 – Структурна схема апаратних засобів задавання параметрів алмазно-іскрового шліфування

Поданням вхідного сигналу одиничною функцією Хевісайда та на основі теореми про згортку з використанням передатної функції апаратних засобів отримано вираз, який описує його вихідний сигнал,

$$y_{КОАШ}(t) = 1(t) + \frac{B_{12} T_{17}}{T_{17} + 1} e^{-\frac{T_{17} t}{T_{17} + 1}} - \frac{B_{11} T_{16}}{T_{16} + 1} e^{-\frac{T_{16} t}{T_{16} + 1}}. \quad (47)$$

Мінімізацією квадратичного критерію якості з використанням еталонної моделі каналу отримано передатну функцію пристрою 5 обробки сигналів у такому вигляді

$$W_{П5}(z^{-1}) = \frac{k_{ШП} T_z (T_z + K_{OY} T_{np}) \frac{T_{18}}{T_{17} - T_{16}} \left(e^{\frac{T_0}{T_{17}}} + e^{\frac{T_0}{T_{16}}} \right) z^{-1}}{1 - \left(e^{\frac{T_0}{T_{16}}} + e^{\frac{T_0}{T_{17}}} \right) z^{-1} + e^{\frac{T_0}{T_{17}}} e^{\frac{T_0}{T_{16}}} z^{-2}}. \quad (48)$$

За допомогою виразів (46) та (48) розроблено схему комп'ютерного моделювання процесу перетворення інформації апаратними засобами задавання параметрів алмазно-іскрового шліфування (рис. 18). Встановлено, що їхня швидкодія відповідає вимогам інформаційно-виміральної системи.

Визначена також передатна функція похибки каналу

$$G_2(p) = \frac{T_{16} T_{17} p^2 + (T_{16} + T_{17}) p + 1}{T_{16} T_{17} p^2 + p [T_{16} + T_{17} + K_{ПП} T_z (T_z + K_{OY} T_{np})] + 1}. \quad (49)$$

Перехід до частотної області дає такий вираз

$$\delta = \sqrt{\frac{(1 - T_{16} T_{17} \Omega^2)^2 + (T_{16} + T_{17})^2 \Omega^2}{(1 - T_{16} T_{17} \Omega^2)^2 + [T_{16} + T_{17} + K_{III} T_z (T_z + K_{OY} T_{np})]^2 \Omega^2}}. \quad (50)$$

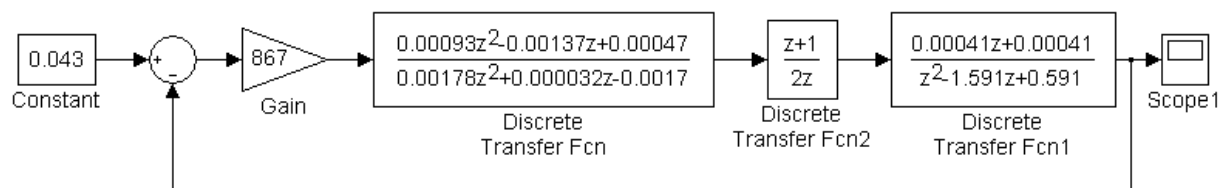


Рисунок 18 – Схема комп'ютерного моделювання процесу задавання параметрів алмазно-іскрового шліфування

За результатами розрахунку похибки апаратних засобів встановлено, що вони відповідають вимогам інформаційно-виміральної системи за точністю. На основі допускового контролю розроблено прикладне програмне забезпечення та бази даних для пристрою 5.

Досліджено ефективність роботи апаратних засобів інформаційно-виміральної системи. Перший та третій ступені системи оперують із трьома вхідними сигналами. Час обробки інформації каналами першого ступеня визначено за формулою

$$T_{\Sigma} = T_{кр} + \Delta T_{новз} + \Delta T_{нон}, \quad (51)$$

$$\text{де } T_{кр} = 0.5(T_{\max} + T_{\min}), \quad \Delta T_{новз} = \frac{T_{\max} \left(\frac{T_{np}}{T_{кр}} - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} \right)^3}{6 \frac{T_{np}}{T_{кр}} \left(1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} \right)^2}, \quad \Delta T_{нон} = \frac{T_{\max} \left(\frac{T_{нон}}{T_{кр}} - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} \right)^4}{12 \frac{T_{np}}{T_{кр}} \frac{T_{нон}}{T_{кр}} \left(1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} \right)^3}.$$

Визначено час обробки вхідних сигналів та встановлено, що апаратні засоби першого ступеня відповідають вимогам інформаційно-виміральної системи до продуктивності. У результаті обробки дослідних даних доведено економічну ефективність нової технології процесу алмазного шліфування.

ВИСНОВОК

У роботі розв'язано актуальну науково-прикладну проблему, яка полягає у створенні теоретичних засад для побудови ефективних апаратних засобів інформаційно-виміральної системи координатного програмного задавання параметрів алмазного шліфування в умовах неповної інформації та дії випадкових завад.

1. Уперше запропоновано використати сигнали девіацій швидкості обертання шліфувального круга та потужності виконуючого механізму верстата для непрямого оцінювання відповідно мікронерівностей поверхні деталі, що обробляється, й різальної властивості алмазного інструменту. На основі методів математичної статистики та принципу допускового контролю розроблено інформаційні технології для їхнього оцінювання, реалізація яких апаратними

засобами інформаційно-виміральної системи забезпечила скорочення на 20% часу обробки деталі та отримання прогнозованих мікронерівностей.

2. Концепція програмних рухів апаратних засобів інформаційно-виміральної системи щодо скорочення часу обробки деталі та отримання прогнозованих мікронерівностей використовує непрямі вимірювання шорсткості та різальної властивості шліфувального круга. На основі методів безпосереднього цифрового та покоординатного управління, принципів децентралізації та розпаралелювання процесів обробки вхідної інформації розроблено тривимірну треступінчасту інформаційно-виміральною систему. Встановлено структурно-алгоритмічні зв'язки між ступенями інформаційно-виміральної системи та принципи роботи її апаратних засобів, що дозволило скоротити на 20% час обробки деталі та отримати прогнозовані мікронерівності.

3. Уперше запропоновано лінійний та гармонійний лінійний випадкові процеси як математичні моделі завод, що впливають на апаратні засоби інформаційно-виміральної системи. На основі методів теорії інформації та інформаційного підходу отримала подальший розвиток методика підсумовування випадкових складових завади. Методика знайшла застосування при оцінюванні точності й надійності процесів обробки вхідних сигналів апаратними засобами інформаційно-виміральної системи.

4. Отримали подальший розвиток методи математичного моделювання процесів обробки інформації апаратними засобами, які відрізняються використанням гармонійного лінійного випадкового процесу в якості завади. На основі еталонних моделей каналів, які мають відоме запізнення, мінімізацією квадратичного критерію якості розроблено апаратні засоби обробки сигналів. З використанням математичного апарату дискретного перетворення Лапласа побудовано схеми комп'ютерного моделювання процесів обробки інформації апаратними засобами інформаційно-виміральної системи. У результаті комп'ютерного моделювання встановлено, що апаратні засоби відповідають вимогам інформаційно-виміральної системи з точності та продуктивності.

5. Удосконалено математичну модель процесу алмазного шліфування, яка відрізняється від відомих двоканальною побудовою. Вхідними сигналами моделі є поперечна та поздовжня подачі шліфувального круга. Ортогональне підсумовування забезпечило отримання вихідного сигналу у вигляді девіацій. У результаті комп'ютерного моделювання й аналізу сигналу девіацій встановлено вимоги щодо точності інформаційно-вимірального перетворювача девіацій. На основі частотного подання сигналів розроблено метод поділу внесків поперечної та поздовжньої подачі шліфувального круга до сигналу девіацій. Реалізовано інформаційні технології та алгоритми покоординатних програмних рухів інформаційно-виміральної системи щодо досягнення мети.

6. Уперше запропоновано метод вимірювань миттєвої швидкості обертання шліфувального круга, який відрізняється використанням апаратних засобів компенсації кінематичної похибки первинного перетворювача. Розроблено інформаційно-виміральний пристрій та інформаційну

технологію отримання сигналу девіацій. На основі дискретного перетворення Лапласа побудовано схему комп'ютерного моделювання процесів обробки сигналів апаратними засобами оцінювання прогнозованих мікронерівностей. Встановлено, що апаратні засоби відповідають вимогам інформаційно-вимірювальної системи з точності та продуктивності.

7. Обґрунтовано можливість та доведено економічну ефективність використання в циклі обробки деталі процесів алмазного та алмазно-іскрового шліфування. На основі теорії електричних ланцюгів уперше побудовано математичну модель процесу алмазно-іскрового шліфування. У результаті комп'ютерного моделювання встановлено межі задавання апаратними засобами скважності сигналу генератора ШГІ з метою отримання прогнозованих мікронерівностей. На основі дискретного перетворення Лапласа розроблено математичні моделі компонент каналу програмного задавання параметрів алмазно-іскрового шліфування. З використанням еталонної моделі каналу розроблено потрібні апаратні засоби та побудовано схему комп'ютерного моделювання процесу перетворення інформації. Встановлено, що апаратні засоби програмного задавання параметрів алмазно-іскрового шліфування відповідають вимогам інформаційно-вимірювальної системи з точності та продуктивності.

8. Розроблено тривимірну триступінчасту структуру інформаційно-вимірювальної системи, інформаційні технології обробки сигналів, алгоритми та прикладне програмне забезпечення, а також інформаційні бази даних. Побудовано математичні моделі цифрових та аналогових компонент інформаційно-вимірювальної системи й у результаті комп'ютерного моделювання встановлено, що вони мають потрібні динамічні характеристики. На основі методів теорії похибок, зокрема інформаційного підходу, визначено смуги невизначеності вихідних сигналів каналів навколо номінальних характеристик перетворення. На підставі їхнього аналізу встановлено ефективність апаратних засобів інформаційно-вимірювальної системи.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Еникеев А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования/ А.Ф. Еникеев // – Краматорск: ДГМА, 2001. – 160 с.
2. Еникеев А.Ф. Анализ погрешности устройства контроля мощности транспортного дизель-генератора постоянного тока / А.Ф. Еникеев, Л.Н. Щербак // Техническая электродинамика. – 1990. – № 4. – С. 88 – 91.
3. Еникеев А.Ф. Измеритель мощности дизель-генератора на базе частотно-импульсного перемножителя кодов / А.Н. Борисенко, А.Ф. Еникеев, В.В. Золотых, В.П. Самсонов // Двигателестроение. – 1991. – №3. – С. 20 – 21.
4. Еникеев А.Ф. О повышении точности измерителя мощности для внутришлифовальных станков / А.Ф. Еникеев // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1999. – Вып. 47. – С. 49 –

51.

5. Еникеев А.Ф. О повышении качества обработанной поверхности при алмазно-искровом шлифовании / А.Ф. Еникеев // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 1999. – Вип. 9. – С. 227 – 230.

6. Еникеев А.Ф. Метод повышения эффективности алмазно-искрового шлифования / Ф.М. Евсюкова, О.В. Евсюкова, А.Ф. Еникеев, И.С. Зыков, Л.А. Шищенко // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 2000. – Вып. 78. – С. 48 – 50.

7. Еникеев А.Ф. О повышении точности устройства управления производительностью алмазного шлифования / Ф.М. Евсюкова, О.В. Евсюкова, А.Ф. Еникеев, И.С. Зыков, Л.А. Шищенко // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 2000. – Вып. 81. – С. 40 – 42.

8. Еникеев А.Ф. Об установлении математической зависимости для сопротивления межэлектродного промежутка / Ф.М. Евсюкова, О.В. Евсюкова, А.Ф. Еникеев, И.С. Зыков, Л.А. Шищенко // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 2000. – Вып. 83. – С. 41 – 43.

9. Еникеев А.Ф. Алгоритм управления поперечной подачей заточного станка ЗВ624 / Ф.М. Евсюкова, О.В. Евсюкова, А.Ф. Еникеев, И.С. Зыков, Л.А. Шищенко // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 2000. – Вып. 118. – С. 24 – 26.

10. Еникеев А.Ф. Анализ модели технологического процесса алмазного шлифования / Ф.М. Евсюкова, О.В. Евсюкова, А.Ф. Еникеев, И.С. Зыков, Л.А. Шищенко // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 2000. – Вып. 119. – С. 21 – 23.

11. Еникеев А.Ф. О повышении производительности алмазного шлифования / А.Ф. Еникеев, А.В. Разживин, О.В. Субботин, Л.Н. Щербак // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2000. – Вип. 10. – С. 140 – 152.

12. Еникеев А.Ф. О повышении эффективности процесса алмазного шлифования / Ф.М. Евсюкова, О.В. Евсюкова, А.Ф. Еникеев, И.С. Зыков, Л.А. Шищенко, М.И. Гасанов // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2001. – №14. – С. 202 – 206.

13. Еникеев А.Ф. Оптимизация черного цикла технологического процесса алмазного шлифования / А.Ф. Еникеев, А.В. Разживин, Т.В. Парамонова // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2001. – Вип. 11. – С. 107 – 111.

14. Еникеев А.Ф. О повышении точности преобразования угловой скорости вращения шлифовального круга / Д.В. Греков, А.Ф. Еникеев, О.В. Субботин // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2001. – Вип. 11. – С. 166 – 170.

15. Еникеев А.Ф. Оптимизация технологического процесса алмазного шлифования по критерию стоимости / Ф.М. Евсюкова, А.Ф. Еникеев, И.С. Зыков, Л.А. Шищенко, М.И. Гасанов // Вестник национального

технического университета «ХПИ». – 2002. – №3. – С. 198– 202.

16. Еникеев А.Ф. Оптимизация процесса алмазного шлифования по критерию производительности / Ф.М. Евсюкова, А.Ф. Еникеев, И.С. Зиков, Л.А. Шищенко, М.И. Гасанов // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2002. – №9. – С. 52– 56.

17. Єнікєєв О.Ф. Статична оптимізація технологічних режимів алмазного шліфування/ Ф.М.Євсюкова, О.Ф.Єнікєєв, І.С.Зиков, Л.О. Шищенко, С.С.Добротворський// Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2002. – №19'. – С. 120 – 124.

18. Еникеев А.Ф. Статическая оптимизация алмазного шлифования на базе метода покоординатного управления / Р.А. Яровой, А.Ф. Еникеев, Л.Н. Щербак // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2002. – Вип. 12. – С. 248 – 257.

19. Еникеев А.Ф. Динамическая оптимизация технологических режимов прецизионного алмазного шлифования / А.Ф. Еникеев // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2002. – Вип. 12. – С. 223 – 225.

20. Єнікєєв О.Ф. Перетворювач миттєвої швидкості обертання шліфувального круга / Ф.М.Євсюкова, О.Ф.Єнікєєв, Л.О.Шищенко, Р.О. Яровий // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2003. – №16'. – С. 42– 48.

21. Єнікєєв О.Ф. Оптимізація технологічного процесу виправлення шліфувального круга на металевих зв'язках / О.Ф. Єнікєєв, О.В. Суботін, Л.М. Щербак, Р.О. Яровий // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2003. – Вип. 14. – С. 186– 195.

22. Єнікєєв О.Ф. Пристрій оптимізації процесу правки шліфувального круга на металевій зв'язці / І.Б. Абрамська, О.Ф. Єнікєєв, О.В. Суботін, Л.О. Шищенко// Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2004. – Вип. 16. – С. 183 – 186.

23. Єнікєєв О.Ф. Система виправлення шліфувального круга / Ф.М. Євсюкова, О.Ф. Єнікєєв, І.С. Зиков, Л.О. Шищенко, Р.О. Яровий // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2004. – № 28. – С. 116– 124.

24. Єнікєєв О.Ф. Динамічна оптимізація алмазного шліфування на базі методу покоординатного управління / О.Ф. Єнікєєв // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2004. – № 28. – С. 49– 54.

25. Єнікєєв О.Ф. Детермінована математична модель технологічного процесу алмазного шліфування / Ф.М. Євсюкова, О.Ф. Єнікєєв, Л.О. Шищенко, А.П. Фроленко, І.С.Зиков // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2004. – №44. – С. 16 – 23.

26. Єнікєєв О.Ф. Аналіз динамічних характеристик системи стабілізації швидкості обертання круга / О.Ф. Єнікєєв, О.В. Суботін, Р.О. Яровий // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2005. – Вип. 18. – С. 107 – 113.

27. Єнікєєв О.Ф. Цифровий регулятор технологічного процесу алмазного

шліфування із еталонною моделлю / О.Ф. Єнікєєв, Ф.М. Євсюкова, Л.О. Шищенко// Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2006. – №1. – С. 103 – 108.

28. Єнікєєв О.Ф. Аналіз двокоординатної математичної моделі технологічного процесу алмазного шліфування / О.Ф. Єнікєєв, О.В. Суботін, А.П. Фроленко// Наукові праці Донецького НТУ. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація» – 2006. – Вип. 107. – С. 187 – 190.

29. Єнікєєв О.Ф. Розробка моделі цифрової системи стабілізації швидкості обертання шліфувального круга / О.Ф. Єнікєєв, Ф.М. Євсюкова, І.С. Зиков, Л.О. Шищенко // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2007. – №1. – С. 132– 138.

30. Єнікєєв О.Ф. Оптимальний цифровий регулятор привода обертання шліфувального круга / О.Ф.Єнікєєв, Ф.М. Євсюкова, І.С. Зиков, Л.О. Шищенко // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2007. – №17. – С. 91 – 98.

31. Єнікєєв О.Ф. Адаптивна система цифрового управління технологічним процесом алмазного шліфування з еталонною моделлю / О.Ф. Єнікєєв, О.В. Суботін // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2008. – Вип. 23. – С. 307 – 314.

32. Єнікєєв О.Ф. Аналіз моделі процесу алмазного шліфування у середовищі Matlab/ О.Ф. Єнікєєв, Ф.М. Євсюкова, Л.О. Шищенко// Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2008. – №22. – С. 106 – 110.

33. Єнікєєв О.Ф. Система управління процесом правки шліфувальних кругів на металевому зв'язуванні / О.Ф. Єнікєєв, Ф.М. Євсюкова, Л.О. Шищенко// Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2008. – №23. – С. 109 – 113.

34. Еникеев А.Ф. Синтез цифрового регулятора поперечної передачі шліфувального круга / А.Ф. Еникеев, И.С. Зыков // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2008. – №57. – С. 87 – 93.

35. Єнікєєв О.Ф. Стратегія управління замкненим каналом в умовах неповної вхідної інформації / О.В. Суботін, О.Ф. Єнікєєв // Наукові праці Донецького НТУ. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація» – 2010. – Вип. 17(171), – С. 147 – 151.

36. Єнікєєв О.Ф. Аналіз динамічних характеристик системи відновлення ріжучої здатності шліфувальних кругів / О.Ф. Єнікєєв, Г.В. Соколовська, Т.Л. Щербак // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць ІПМЕ НАН України. – 2011. – Вип. 58. – С.135–140.

37. Єнікєєв О.Ф. Математичне моделювання технологічного процесу алмазного шліфування деталей з твердих сплавів / О.Ф. Єнікєєв, Г.В. Соколовська, Т.Л. Щербак // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць ІПМЕ НАН України. – 2011. – Вип. 60. – С. 55 – 61.

38. Єнікєєв О.Ф. Комп'ютеризована система для підвищення ефективності алмазного шліфування / О.Ф. Єнікєєв, Т.Л. Щербак // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць ІПМЕ НАН

України.– 2012. – Вип. 63. – С. 32 – 40.

39. Єнікєєв О.Ф. Реалізація непрямих вимірювань мікронерівностей деталей для підвищення ефективності алмазного шліфування / О.Ф. Єнікєєв, Г.В. Соколовська, Т.Л. Щербак // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць ІПМЕ НАН України. – 2012. – Вип. 62. – С. 41 – 48.

40. Єнікєєв О.Ф. Метрологічні характеристики перетворювача миттєвої швидкості обертання шліфувального круга при алмазному шліфуванні / О.Ф. Єнікєєв, О.В. Монченко, Т.Л. Щербак // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць ІПМЕ НАН України. – 2012. – Вип. 63. – С. 42 – 48.

41. Єнікєєв О.Ф. Аналіз динаміки дворівневої системи підвищення ефективності алмазного шліфування / А.М. Борисенко, О.Ф. Єнікєєв, І.С. Зиков // Математичне моделювання в техніці та технологіях. Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2012. – № 2. – С. 34 – 43.

42. Єнікєєв О.Ф. Комп'ютерна система підвищення ефективності алмазного шліфування в умовах неповної інформації / О.Ф. Єнікєєв // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. Міжнародний науково-технічний журнал ВНТУ. – 2014. – № 2. – С. 40 – 49.

43. Еникеев А.Ф. Компьютерная система программного задания поперечной шлифовального круга / А.Ф. Еникеев, И.Б. Абрамская, Р.А. Яровой // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2014. – № 11. – С. 174 – 181.

44. Єнікєєв О.Ф. Комп'ютерна система управління алмазним шліфуванням в умовах неповної інформації / О.Ф. Єнікєєв // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 6. – С. 15 – 24.

45. Еникеев А.Ф. О повышении точности измерителя флуктуаций частотно-модулированных сигналов / А.Ф. Еникеев // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2015. – № 1. – С. 109 – 113.

46. Еникеев А.Ф. Анализ эффективности аппаратных средств управления поперечной подачей шлифовального круга / А.Ф. Еникеев, Ф.М. Євсюкова, Л.А. Шищенко // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2015. – № 4. – С. 132– 137.

47. Еникеев А.Ф. Устройство для расчета неравномерности цикловой подачи / А.Ф. Еникеев // Тезисы докладов всесоюзной конференции «Перспективы развития и применения средств ВТ для моделирования и автоматического исследования». – М.: 1991. – С. 204 –205.

48. Еникеев А.Ф. Автоматизация исследований процесса шлифования / В.В. Полищук, А.Ф. Еникеев, В.М. Манев, Е. Варга // Тезисы докладов международного научно-технического семинара «Высокие технологии в машиностроении». – Харьков: 1992. – С. 124 –125.

49. Еникеев А.Ф. Устройство для автоматизации процесса шлифования / А.Ф. Еникеев, В.В. Полищук // Тезисы докладов украинской конференции «Технологические методы повышения эксплуатационных свойств деталей машин». – Севастополь: 1992. – С. 55.

50. Еникеев А.Ф. Способ контроля режущей способности алмазных

кругов на металлической связке / А.Ф. Еникеев, В.В. Полищук // Тезисы докладов украинской конференции «Технологические методы повышения эксплуатационных свойств деталей машин». – Севастополь: 1992. – С. 57.

51. Еникеев А.Ф. О повышении эффективности алмазно-искрового шлифования / А.Ф. Еникеев, И.С. Зыков // Материалы международной научно-технической конференции «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье». – Харьков: Часть 2, 1997. – С. 107 – 112.

52. Еникеев А.Ф. Метод управления производительностью алмазного шлифования / Ф.М. Евсюкова, А.Ф. Еникеев, И.С. Зыков, В.А. Исаев // Материалы международной научно-технической конференции «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье». – Харьков: Часть 2, 1999. – С. 93 –101.

53. Еникеев А.Ф. Регулятор поперечной подачи шлифовального круга / А.Ф. Еникеев, О.В. Субботин // Тези доповідей 8 міжнародної науково-технічної конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». – Краматорськ: ДДМА, 2010. – С.106.

54. Еникеев А.Ф. Преобразование структурных схем управления электроприводом для выделения момента / А.Ф. Еникеев, О.В. Субботин, В.О. Ставицкий // Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми інженерно-педагогічної освіти. Теорія і практика». – Артемівськ: 2012 – С. 144–146.

55. Єнікєєв О.Ф. Інформаційна технологія підвищення ефективності процесу алмазного шліфування / О.Ф. Єнікєєв, Л.М. Щербак // Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані інтелектуальні роботехнічні комплекси ІРТК-2013» – К.: НАУ, 2013. –С. 135–136.

56. Єнікєєв О.Ф. Вимірювальна інформація технології підвищення ефективності алмазного шліфування / О.Ф. Єнікєєв, Л.М. Щербак // Тези доповідей 2-ї міжнародної наукової конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах ВКДТС-2013». – Вінниця: 2013. – С. 203 – 205.

57. Еникеев А.Ф. Экстремальное управление алмазным шлифованием/ А.Ф. Еникеев, Р.А. Яровой //Тези доповідей міжнародної наукової конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2014)». – Вінниця: 2014. – С. 159.

58. А.с. №1331239 (СССР). Устройство для оценки неравномерности вращения вала двигателя внутреннего сгорания / А.Ф. Еникеев, А.Н. Борисенко, В.П. Самсонов, В.Г. Галян.

59. А.с. № 1538679 (СССР). Устройство для контроля неравномерности вращения вала двигателя внутреннего сгорания / Б.Г. Марченко, А.Н. Борисенко, А.Ф. Еникеев.

АНОТАЦІЯ

Єнікеев О.Ф. Теория и практика информационно-измерительных систем по координатному заданию параметров алмазного шлифования. – На правах рукописи.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за фахом 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2015.

Дисертацію присвячено розробці теоретичних засад для побудови ефективних апаратних засобів тривимірної триступінчастої інформаційно-вимірювальної системи по координатному програмному заданню параметрів алмазного шлифования в умовах неповної інформації. Запропоновано концепцію програмних рухів апаратних засобів системи щодо скорочення часу обробки деталі та забезпечення потрібного «якості» чистоти поверхні. Розробку архітектури інформаційно-вимірювальної системи виконано на основі методів безпосереднього цифрового та по координатному управління, ієрархічного принципу, непрямих вимірювань мікронерівностей та різальної властивості круга, принципів децентралізації та розпаралелювання процесів обробки вхідної інформації. Інформаційний зв'язок між компонентами системи забезпечують послідовний та паралельний інтерфейс з мультиплексованою шиною адреса/дані.

На основі мінімізації квадратичного критерію якості з використанням еталонних математичних моделей апаратних засобів з відомим запізненням розроблено пристрої обробки сигналів. Побудовано математичні моделі завад інформаційно-вимірювальної системи у вигляді лінійного та гармонійного лінійного випадкових процесів. Розроблено метод підвищення точності апаратних засобів в умовах дії випадкових завад на основі прогнозування та мінімізації дисперсії вихідного сигналу. Розроблено критерій для непрямого оцінювання мікронерівностей поверхні деталі на підставі обробки сигналу девіацій швидкості обертання шлифувального круга. Уперше запропоновано метод компенсації кінематичної похибки первинних перетворювачів миттєвої швидкості. Розроблено прикладне програмне забезпечення та бази даних, схеми комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, концепція, методологія, апаратні засоби, непрямі вимірювання, критерії оцінювання, методи підвищення точності, комп'ютерне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Еникеев А.Ф. Теория и практика информационно-измерительных систем по координатному заданию параметров алмазного шлифования. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2015.

Диссертация посвящена разработке теоретических основ для построения эффективных аппаратных средств трехмерной трехступенчатой информационно-измерительной системы по координатного программного задания параметров алмазного шлифования в условиях неполной информации. Предложена концепция программных движений аппаратных средств системы по сокращению времени обработки детали и обеспечению нужного «качества» чистоты. Разработка архитектуры информационно-измерительной системы выполнена на основе применения методов непосредственного цифрового и по координатного управления, иерархического принципа, косвенных измерений микронеровностей и режущей способности круга, принципов децентрализации и распараллеливания процессов обработки входной информации. Информационную связь между компонентами информационно-измерительной системы обеспечивают последовательный и параллельный интерфейс с мультиплексированной шиной адрес/данные.

Разработана трехмерная трехступенчатая информационно-измерительная система, установлены структурно-алгоритмические связи и принципы функционирования ее аппаратных средств, что позволило на 20% сократить время обработки детали и получить прогнозируемую амплитуду микронеровностей. Предложен метод разработки аппаратных средств в условиях действия случайных помех на основе минимизации квадратичного критерия качества с использованием эталонных математических моделей компонент, запаздывание которых установлено. На базе линейного и гармонического линейного случайных процессов впервые построены математические модели помех аппаратных средств информационно-измерительной системы. Разработан метод повышения точности аппаратных средств в условиях действия случайных помех на основе прогнозирования и минимизации дисперсии ошибки выходного сигнала. Разработан критерий для косвенного оценивания микронеровностей поверхности детали по данным измерений мгновенной скорости вращения шлифовального круга. Впервые предложен метод аппаратной компенсации кинематической погрешности, которой обладает первичный преобразователь скорости, и на его основе разработано оригинальное информационно-измерительное устройство.

Усовершенствована математическая модель процесса алмазного шлифования. Компьютерным моделированием получен сигнал девиаций, и на основе его анализа сформулированы требования к метрологическим характеристикам канала оценивания прогнозируемых микронеровностей. На основе частотного представления разработана методика и информационная технология разделения вкладов продольной и поперечной подач в сигнал девиаций. Обоснована возможность использования в едином технологическом цикле обработки детали процессов алмазного и алмазно-искрового шлифования. На основе теории электрических цепей впервые построена модель

процесса алмазно-искрового шлифования. В результате ее анализа установлены пределы скважности сигнала генератора ШГИ.

Разработаны информационные технологии обработки сигналов, алгоритмы и прикладное программное обеспечение, а также информационные базы данных. Построены математические модели цифровых и аналоговых компонент, и в результате компьютерного моделирования установлено, что они обладают требуемыми динамическими характеристиками. На основе методов теории погрешностей, в частности, информационного подхода, определены метрологические характеристики аппаратных средств и установлена их эффективность. Построены схемы компьютерного моделирования процессов преобразования входной информации и установлено, что аппаратные средства обладают требуемыми динамическими характеристиками. Разработано прикладное программное обеспечение и базы данных информационно-измерительной системы.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, концепция, методология, аппаратные средства, косвенные измерения, критерии оценивания, методы повышения точности, компьютерное моделирование.

ABSTRACT

Yenikejev A.F. Theory and practice of information-measuring system of coordinate setting parameters of diamond grinding.-The manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences, specialty 05.13.05 - computer systems and components. – Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, 2015.

The thesis is devoted to the development of theoretical bases for building the effective hardware means of three-dimensional three-stage information-measuring system of coordinate setting parameters of diamond grinding in conditions of incomplete information. The conception of program motions of hardware systems has been suggested to reduce the time of processing the details and ensure the desired «quality class» of the surface smoothness. The architecture of information-measuring system has been developed on the basis of methods of coordinate and digital control, the hierarchical principle, indirect measurements of roughness and cutting properties of a circle, principles of decentralization and parallelization of incoming information processing. The information communication between system components has been provided by a serial and parallel interface with a multiplexed address/data bus.

Devices of signal processing means are designed on the basis of minimizing of a quadratic quality criterion with using standard mathematical models of hardware means with a known delay. The mathematical models of interference of information-measuring system has been built in a form of linear and harmonic linear stochastic processes. The method for improving the efficiency of hardware means has been developed in conditions of interference on base of prediction and minimization of the output signal dispersion. The criteria for indirect estimation of the surface roughness workpieces have been developed based on the signal processing of deviations in the

speed of rotation of the grinding wheel. Firstly there have been suggested the method of compensation of the kinematic error of transducers of the instantaneous speed. The software and database application, the scheme of computer simulation of processes of transformation of information through data channels have been developed.

Keywords: information-measuring system, conception, methodology, hardware means, indirect measurements, evaluation criteria, methods to improve accuracy, computer simulation.

Підписано до друку 26.12.2015 р. Формат 60×84/16.
Папір офсетн. Друк – різнографічний. Умовн. друк. арк.
Наклад 100 прим. Зам. № **610**

Надруковано в друкарні Українського державного університету
залізничного транспорту
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7
