

Міністерство освіти, науки, молоді та спорту України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

**ЗАСОБИ
КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСІВ
МЕХАНООБРОБКИ НАДТОЧНИХ
ДЕТАЛЕЙ**

Монографія

Київ
НТУУ «КПІ»
2011

ББК
Т

УДК 621.9008:620.179:615.47

*Рекомендовано Вченою радою Національного технічного університету
України “Київський політехнічний інститут”
(протокол № 7 від 29.06.2011 р.)*

Рецензенти:

*В.М. Шарапов, д-р техн. наук, проф., засл. діяч науки і техніки України,
Черкаський державний технологічний університет*

М.Д. Гераїмчук, д-р техн. наук, проф.;

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»;

З Засоби контролю процесів механообробки надточних деталей

[Текст]: Монографія / Г.С. Тимчик, В.І. Скицюк, М.А. Вайнтрауб,
Т.Р. Клочко. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. - 516 с., іл.

ISBN

Розглянуто низку теоретичних засад, які пояснюють взаємодію технологічних об'єктів, орієнтуючись на принципи теорії ТОНТОР (тонкого торкання). Наведено класифікацію основних типів відчутників. Досліджено теоретичне підґрунтя роботи основних класів та підкласів чутливих елементів та можливості їх застосування у контролі технологічних процесів. У монографії наведено реальні схеми побудови чутників контролю. Розглянуто деякі технологічні та конструкційні аспекти виготовлення. Наведено приклади виконання низки приладів для контролю технологічного процесу обробки металів різанням.

Розраховано на наукових та інженерно-технічних працівників, аспірантів, студентів старших курсів вищих навчальних закладів відповідно технічного напрямку. Може бути застосовано для підготовки висококваліфікованих працівників у галузі обробки металів, наприклад, з фаху «Технологія приладобудування» та іншими спеціальностями, які зорієнтовані на отримання високих точностей у металообробці.

УДК 621.9008:620.179:615.47
ББК

ISBN

© Тимчик Г.С., Скицюк В.І., Вайнтрауб М.А.,
Клочко Т.Р., 2011

© Обкладинка Клочко М.М., 2011

З М І С Т

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ	18
1.1. ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК	18
1.2. ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ТА НАПРЯМКИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ	28
1.2.1. ЧИННИКИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ КІНЦЕВОГО ПРОДУКТУ МЕХАНООБРОБКИ	29
1.3. ЗВ'ЯЗОК ЯКОСТІ ТОРКАННЯ З ЯКІСТЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕТАЛООБРОБКИ	35
1.4. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРИЛАДІВ КОНТРОЛЮ ТОРКАННЯ ІНСТРУМЕНТА ДО ДЕТАЛІ	39
1.5. КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТОРКАННЯ ПРИ МЕТАЛООБРОБЦІ	42
РОЗДІЛ 2. ПАНДАННА ЗОНА ОБ'ЄКТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ	45
2.1. ПАНДАННА ЗОНА АБСТРАКТНОЇ СУТНОСТІ	45
2.1.1. ПАНДАННА ЗОНА ЕЛЕМЕНТАРНИХ АБСТРАКТНИХ СУТНОСТЕЙ	51
2.2. ПАНДАННА ЗОНА РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА І ДЕТАЛІ	58
2.3. РОЗПОДІЛ МАСИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТУ В ПАНДАННІЙ ЗОНІ	63
2.4. ВПЛИВ ФАЗИ РУХУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА НА ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТИ ПОВЕРХНІ	74
2.5. ЕНЕРГЕТИЧНА НАСИЧЕНІСТЬ ПАНДАННОЇ ЗОНИ	79
2.6. ЗАГАЛЬНІ ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ПАНДАННОЇ ЗОНИ	82
РОЗДІЛ 3. ЗОНА ПРИСУТНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ	84
3.1. ЗОНА ПРИСУТНОСТІ АБСТРАКТНОЇ СУТНОСТІ	84
3.2. ВПЛИВ ПАНДАННОЇ ЗОНИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА НА СТАБІЛЬНІСТЬ РЕЄСТРАЦІЇ ЗОНИ ПРИСУТНОСТІ	86
3.3. ДЖЕРЕЛА СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОЇ ЗОНИ ПРИСУТНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ	91

3.4. ПРИРОДНІ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГО ПОЛЯ	95
3.5. ЧИННИКИ ВИНИКНЕННЯ ЗМІННОЇ ЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ У СИСТЕМІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	98
3.5.1. ПІДГРУНТЯ УТВОРЕННЯ ЗМІННОЇ ЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ ТА МЕЖІ МОЖЛИВОСТЕЙ ЇЇ РЕЄСТРАЦІЇ	100
3.6. КОНТУРНІ СТРУМИ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ОБЛАДНАННІ	103
3.6.1. ЕЛЕКТРОФІЗИЧНА МОДЕЛЬ АБСТРАКТНОГО ВЕРСТАТА	103
3.7. СКІН-ЕФЕКТ В ІНСТРУМЕНТАХ І ДЕТАЛЯХ ПРИ ОБРОБЦІ МЕТАЛІВ	110
3.8. УНІПОЛЯРНА ІНДУКЦІЯ ПРИ ОБРОБЦІ МЕТАЛІВ	117
3.9. КІНЕМАТИКА РУХУ ЕЛЕКТРОНА У ДЕТАЛІ, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ	122
3.10. ПОВЕРХНЕВІ ЕРС ТА СТРУМИ ПРИ КРУТНИХ КОЛИВАННЯХ ДЕТАЛІ ТА ІНСТРУМЕНТА	131
3.11. ФОРМУВАННЯ ПАНДАННОЇ ЗОНИ МАГНЕТНОГО ПОЛЯ ТА ЧИННИКИ ВПЛИВУ НА ЇЇ ПОТУЖНІСТЬ	138
3.12. ПАНДАННА ЗОНА ЗОНИ ПРИСУТНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА	143
РОЗДІЛ 4. ЗАГАЛЬНА ФІЗИЧНА ТЕОРІЯ ПОБУДОВИ ВІДЧУТНИКІВ ТА ЧУТНИКІВ	150
4.1. ВВЕДЕННЯ ПОНЯТТЯ ПРО АБСОЛЮТНИЙ ТА ІДЕАЛЬНІ ВІДЧУТНИКИ	154
4.2. ДУАЛЬНІСТЬ СИСТЕМИ «ЧУТНИК → СИЛОВИЙ ЕЛЕМЕНТ»	158
4.3. ЗВ'ЯЗОК ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ВІДЧУТНИКА З ДІЮЧИМ ЧИННИКОМ ТОРКАННЯ	164
4.4. ЄДИНИЙ ЕЛЕМЕНТАРНИЙ ВІДЧУТНИК	167
4.4.1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЄДИНОГО ЕЛЕМЕНТАРНОГО ВІДЧУТНИКА	168
4.4.2. ВЕКТОРНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ ЄДИНОГО ЕЛЕМЕНТАРНОГО ВІДЧУТНИКА.....	179
4.5. ЗАГАЛЬНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОБУДОВИ КЛАСИЧНИХ ВІДЧУТНИКІВ	182
РОЗДІЛ 5. ВІДЧУТНИКИ КЛАСУ M	184
5.1. ВІДЧУТНИКИ КЛАСУ M	184

5.2. ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ k	185
5.3. ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ rk	187
5.4. ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ m	188
5.5. ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ $rk m$	190
РОЗДІЛ 6. ВІДЧУТНИКИ КЛАСУ EM	192
6.1. ВІДЧУТНИКИ КЛАСУ EM ПІДКЛАСУ $f(RLC) + f(r, m, k)$	192
6.2. ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ $f(RLC) + f(r, m, k)$	194
6.3. СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ МЕТАЛООБРОБКИ ЗА АНАЛІЗОМ ВІБРОАКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ	200
6.4. МАТЕМАТИЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ ВІБРОАКУСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ТОРКАННЯ НА ЗАСАДАХ ВІДЧУТНИКА ПІДКЛАСУ $f(RLC) + f(r, m, k)$	202
6.5. ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСІВ МЕТАЛООБРОБКИ НА ЗАСАДАХ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ $f(RLC) + f(r, m, k)$	204
6.6. ПРИНЦИП РОБОТИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ СТАНУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА НА ЗАСАДАХ ДВОПАРАМЕТРИЧНОГО ВІДЧУТНИКА	209
6.6.1. СИНТЕЗ ТА АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ДВОПАРАМЕТРИЧНОГО ВІДЧУТНИКА КОНТРОЛЮ ТОРКАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ МЕТАЛООБРОБКИ	210
6.6.1.1. АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ІНДУКЦІЙНО-ІНДУКТИВНОГО ВІДЧУТНИКА ВІБРАЦІЙ	211
6.6.1.2. ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ВІДЧУТНИКА ЯК КОЛИВАЛЬНОГО КОНТУРУ	214
6.6.1.3. ІНДУКЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ІНДУКТИВНОГО ВІДЧУТНИКА	219
6.6.1.4. АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ДВОПАРАМЕТРИЧНОГО ІНДУКЦІЙНОГО ВІДЧУТНИКА.....	222
6.6.1.5. ПРОЦЕС ІНВЕРТУВАННЯ У ЧУТЛИВОМУ ЕЛЕМЕНТІ ВІДЧУТНИКА	225
6.6.2. ПРИЛАД КОНТРОЛЮ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАДІЇ РОБОЧОГО СТАНУ ІНСТРУМЕНТА.....	228
РОЗДІЛ 7. ВІДЧУТНИКИ КЛАСУ E	233
7.1. ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ РОБОТИ ВІДЧУТНИКІВ КЛАСУ E	233
7.1.1. КОНТУР З ПЕРІОДИЧНО ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ	236
7.2. ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ R КЛАСУ E	238

7.2.1. ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ РОБОТИ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ R	239
7.2.2. ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ R	241
7.2.3. НАЙПРОСТІШІ ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ R	243
7.2.3.1. НАЙПРОСТІШІ ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ R З НАДТОЧНОЮ МЕХАНІКОЮ.....	243
7.2.4. ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ R АНАЛОГОВОГО ТИПУ (РЕОСТАТНІ)	249
7.2.5. ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ R З ЧУТЛИВІСТЮ ДО МЕХАНІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ (ТЕНЗОМЕТРИЧНІ)	255
7.3. ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ C	260
7.3.1. ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ C	261
7.3.2. ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ C	263
7.3.3. ЕКВІВАЛЕНТНА СХЕМА ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ C	264
7.3.4. ВІБРАЦІЙНІ ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ C	269
7.3.5. ТИПОВІ СХЕМИ УВІМКНЕННЯ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ C	271
7.3.6. ЧУТЛИВІСТЬ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ C ДО ЗОНИ ПРИСУТНОСТІ ДЕТАЛІ.....	273
7.4. ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ L КЛАСУ E	282
7.4.1. ЗАГАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ L	282
7.4.2. ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ L	287
7.4.3. ОСНОВНІ КОНСТРУКЦІЇ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ L	289
7.4.4. ЗАСТОСУВАННЯ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ L ПРИ КОНТРОЛІ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ.....	293
7.5. ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ RLC	297
7.5.1. ЕЛЕКТРИЧНІ СХЕМИ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ RLC	297
7.5.2. ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ RLC	299
7.5.2.1. ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВІДЧУТНИКІВ RLC ПРИ ПОСЛІДОВНИХ З'ЄДНАННЯХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛАНЦЮГУ.....	299
7.5.2.2. ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВІДЧУТНИКІВ RLC ПРИ ПАРАЛЕЛЬНИХ З'ЄДНАННЯХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛАНЦЮГУ.....	303
7.5.3. ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ RLC ПРИ РЕЗОНАНСІ.....	306
7.5.4. АЧХ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ RLC	311
7.5.4.1. АЧХ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ RLC ПРИ ПОСЛІДОВНОМУ З'ЄДНАННІ ЕЛЕМЕНТІВ.....	311
7.5.4.2. АЧХ ПІДКЛАСУ RLC ПРИ ПАРАЛЕЛЬНОМУ З'ЄДНАННІ ЕЛЕМЕНТІВ	313

7.5.5. ІНДУКЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ <i>RLC</i>	316
7.5.5.1. ВІДЧУТНИКИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МАГНЕТНИХ ПОЛІВ.....	317
7.5.6. ВІДЧУТНИКИ ПІДКЛАСУ <i>RLC</i> ДЛЯ КОНТРОЛЮ МОМЕНТУ ТОРКАННЯ ІНСТРУМЕНТА ДО ДЕТАЛІ.....	319
7.6. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СКТ ПІДКЛАСУ <i>RLC</i>	322
7.7. ПОБУДОВА УНІВЕРСАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ТОРКАННЯ ДЛЯ МЕТАЛООБРОБНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	326
7.8. ВИЗБИРУВАЧІ КОРИСНОГО СИГНАЛУ.....	328
7.9. ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИЙ ЧУТНИК ТОРКАННЯ ІНСТРУМЕНТА ДО ДЕТАЛІ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З СНС.....	334
РОЗДІЛ 8. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ РЕЄСТРАЦІЇ ТОРКАННЯ ІНСТРУМЕНТА ДО ДЕТАЛІ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ.....	340
8.1. ЧИННИКИ ВИНИКНЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У МЕТАЛООБРОБНОМУ ОБЛАДНАННІ	341
8.2. ОГЛЯД МОЖЛИВИХ ДЖЕРЕЛ ВИНИКНЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ПРИЙМАЧІВ ЦИХ СИГНАЛІВ	345
8.3. СПОТВОРЕННЯ ФОРМИ СИГНАЛУ, ВИКЛИКАНІ КОНСТРУКЦІЙНИМИ ОСОБЛИВОСТЯМИ ВІДЧУТНИКІВ.....	347
8.4. ПРОЦЕС ТОРКАННЯ ІНСТРУМЕНТА У ПАНДАННІЙ ЗОНІ ДЕТАЛІ	351
8.5. ВПЛИВ ТРИКУТНОГО ІМПУЛЬСУ НА РОБОТУ ВІДЧУТНИКА	353
8.6. ЕЛЕКТРОМАГНЕТНІ ПЕРЕШКОДИ ПРИ РЕЄСТРАЦІЇ МОМЕНТУ ТОРКАННЯ ІНСТРУМЕНТА ДО ДЕТАЛІ.....	358
8.6.1. ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИХ ПОЛІВ НА РОБОТУ ВІДЧУТНИКА.....	359
8.6.2. СТИБОК ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ АБО СТРУМУ ЯК ПРИЧИНА ВИСОКОЧАСТОТНОГО НАВЕДЕННЯ У ВІДЧУТНИКУ.....	360
8.6.3. ПРОХОДЖЕННЯ ІМПУЛЬСІВ ПЕРЕШКОДИ ЧЕРЕЗ ШИРОКОСМУГОВІ ПІДСИЛЮВАЧІ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ.....	364
8.6.4. ПРОХОДЖЕННЯ ІМПУЛЬСІВ ПЕРЕШКОДИ МАЛОЇ СКВАЖНОСТІ ЧЕРЕЗ ВУЗЬКОСМУГОВІ ПІДСИЛЮВАЧІ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ.....	367
8.6.5. СТИБОК ЗМІННОЇ НАПРУГИ АБО СТРУМУ ЯК ПРИЧИНА ВИСОКОЧАСТОТНОГО НАВЕДЕННЯ.....	373

8.6.6. НАВЕДЕННЯ ІМПУЛЬСІВ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ НА НЕНАЛАШТОВАНІ ВІДЧУТНИКИ ТА ПІДСИЛЮВАЧІ.....	376
8.7. ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ, ЩО ВИНΙΚАЮТЬ У ІДЕАЛЬНОМУ ВІДЧУТНИКУ КЛАСУ <i>E</i>	379
8.7.1. РЕАКЦІЯ ВІДЧУТНИКА КЛАСУ <i>EM</i> НА РЕАЛЬНИЙ ПЕРЕПАД СТРУМУ	383
8.7.2. ЛІНІЙНО-ЗРОСТАЮЧИЙ ФРОНТ СТРУМУ.....	385
8.7.3. ВПЛИВ ТРИВАЛОСТІ ФРОНТУ СТРУМУ НА АМПЛІТУДУ НАПРУГИ	388
8.7.4. ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПУ НАКЛАДАННЯ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧІ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ У ВІДЧУТНИКА КЛАСУ <i>E</i>	392
8.7.5. ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ЗАПІЗНЮВАННЯ СИГНАЛУ ПІСЛЯ ВИНИКНЕННЯ ЛІНІЙНО ЗРОСТАЮЧОГО СТРУМУ.....	393
8.7.6. ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ ВПЛИВУ КІНЦЕВОЇ ТРИВАЛОСТІ ФРОНТУ НА ФОРМУ ТА ВЕЛИЧИНУ ІМПУЛЬСУ.....	395
8.8. ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНЕ ПІДГРУНТЯ РОБОТИ РЕАЛЬНИХ ВІДЧУТНИКІВ КЛАСУ <i>E</i>	403
8.8.1. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РІЗНИХ СХЕМ УВІМКНЕННЯ ВІДЧУТНИКА КЛАСУ <i>E</i>	406
8.8.2. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ НА ДЕТАЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІДЧУТНИКА КЛАСУ <i>E</i>	411
8.9. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕАЛЬНОГО ТА ІДЕАЛЬНОГО ВІДЧУТНИКА КЛАСУ <i>E</i>	414
8.9.1. ЗВ'ЯЗОК МІЖ ЧАСОМ ВСТАНОВЛЕННЯ ПЕРЕШКОДИ ТА ЇЇ СПЕКТРОМ.....	419
РОЗДІЛ 9. ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЧУТНИКІВ ТА СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТОРКАННЯ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З СНС	421
9.1. СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТОРКАННЯ.....	421
9.2. БЛОК-СХЕМИ БЛОКУ КОНТРОЛЮ ТОРКАННЯ.....	423
9.3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГО ВІДЧУТНИКА ТА ЙОГО ВХІДНИХ ЛАНЦЮГІВ.....	430
9.4. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЧУТНИКІВ ДЛЯ МЕТАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК.....	433
9.5. БЛОК НАЛАГОДЖЕННЯ ВІДЧУТНИКА НА РОБОЧУ ЧАСТОТУ.....	435
9.5.1. КОНСТРУКЦІЯ ВХІДНОГО ПІДСИЛЮВАЧА БЛОКУ НАЛАГОДЖЕННЯ ВІДЧУТНИКА.....	437
9.6. КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИЛАД ТА МЕТОДИКА ТЕСТУВАННЯ БЛОКУ НАЛАГОДЖЕННЯ ВІДЧУТНИКА	439

9.7. ГЕНЕРАТОР ШТУЧНОГО ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГО ПОЛЯ	443
9.7.1. ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРОННА СХЕМА ГЕНЕРАТОРА ШТУЧНОГО ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГО ПОЛЯ.....	443
9.8. МОДУЛЬ КОНТРОЛЮ РЕЄСТРАЦІЇ ТОРКАННЯ.....	446
9.8.1. ПРИНЦИПОВА СХЕМА КАНАЛУ ТОРКАННЯ.....	447
9.9. МОДУЛЬ МОНІТОРИНГУ БКТ.....	453
9.10. БЛОК ЖИВЛЕННЯ БКТ ТА КРОС-ПЛАТА.....	457
9.11. МОДЕЛЮВАННЯ ДОДАТКОВОГО СУББЛОКУ КОНТРОЛЮ СТАНУ ПРОЦЕСУ МЕТАЛООБРОБКИ.....	459
9.11.1. ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА СУББЛОКУ КОНТРОЛЮ.....	460
9.12. ЗАСАДИ ЗБІЛЬШЕННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ <i>RLC</i>	461
9.13. КОНСТРУКЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ ВІДЧУТНИКІВ ПІДКЛАСУ <i>RLC</i>	465
9.13.1. ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ КОРПУСІВ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИХ ВІДЧУТНИКІВ.....	467
9.14. КОМПЛЕКС СКТ.....	471
9.14.1. ГЕНЕРАТОРИ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГО ПОЛЯ ПО ПІДТРИМЦІ ФІЗИЧНОГО ПРИНЦИПУ РОБОТИ.....	474
9.15. ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ МЕТАЛООБРОБКИ НА ЗАСАДАХ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИХ ЯВИЩ У ЗОНІ ОБРОБКИ.....	476
9.15.1. КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ЧУТНИКИ РЕЄСТРАЦІЇ МОМЕНТУ ТОРКАННЯ ДО ДЕТАЛІ ТА ПРИСУТНОСТІ ІНСТРУМЕНТА.....	477
ПІСЛЯМОВА. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ СТАНУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА.....	486
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	503
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ.....	514

ВСТУП

Як доводить світовий досвід, фундацією розвитку будь-якої сучасної країни є удосконалення високих технологій надточного приладобудування. Але недолуга промислово-економічна політика в Україні призводить до значних втрат науково-технічних позицій нашої держави. Автори сподіваються на те, що швидкоплинний час доведе дієвість авторських технічних рішень, які не мають аналогів. Їх застосування допоможе інтенсифікації вітчизняного промислового виробництва, а також підвищенню якості підготовки висококваліфікованих працівників у галузі надточної обробки металів.

Висвітлені у цій книзі проблеми стосовно надточного приладобудування є фундаментальними. Саме подоланню цих проблем присвячено основний обсяг роботи.

Отже, для створення нормальної промислової бази необхідним є розвиток автоматизованих виробництв із застосуванням CNC-верстатів для обробки металів. При цьому особливої уваги набуває проміжний контроль стану деталі, різального інструмента і виробничого обладнання. Це стосується сучасного напрямку виготовлення виробів і мініатюрних розмірів, і великогабаритних, а також виготовлення виробів з нових матеріалів та виробів підвищеної точності. Якість виготовлення будь-якого виробу залежить від точності виконання його механічних деталей. Як відомо, необхідно зауважити, що якість будь-якого технологічного процесу і, як наслідок, кінцевого виробу, визначено мірою відхилення цього процесу від запланованого та технічних можливостей контрольних систем і приладів.

Для підтримання належної якості технологічного процесу необхідним є постійне спостереження за станом інструмента, деталі, верстатів та іншого технологічного обладнання. Такому контролю підлягають: плинний та межовий стан інструмента, деталі, обладнання та верстатів. Тобто важливим та невід'ємним чинником забезпечення якості виробу є по-перше, висококваліфікований оператор, що володіє новітніми технологіями, навичками та вмінням працювати з модерними пристроями контролю та технологічним обладнанням, в тому числі автоматизованим. Так, сучасне виробництво спрямоване на забезпечення на виробництві мінімізації чисельності працівників, але тих, хто має найвищу кваліфікацію.

Основними параметрами, які підлягають постійному плинному контролю, є контроль розміру виробу та розміру зносу різальної крайки інструмента, а також контроль відхилень цих параметрів від заданих у технічному завданні. Межовий контроль виконує функції прогнозування та своєчасної реєстрації доаварійних та аварійних ситуацій. Узагальнену кількість таких ситуацій пов'язано з наступними чинниками:

- помилки у програмуванні обробки деталі;
- неякісне кріплення інструмента і деталі;
- критичний знос інструмента;
- защемлення інструмента у масі деталі та його руйнування.

Здебільшого подібні ситуації призводять до руйнування інструмента, верстата і обладнання, що є надто небажаним.

Звісно є можливість часткового уникнення надзвичайних ситуацій у металообробці, базуючись на відомих характеристиках стійкості різального інструмента і властивостях матеріалу деталі. Однак повне уникнення таких ситуацій без наявності приладів контролю стану різального інструмента, деталі та обладнання не є можливим. Збільшення кількості нових матеріалів та одночасні вимоги зростання точності виготовлення деталей визначають необхідність розробки нових засобів контролю та вимірювання у процесах металообробки.

При створенні приладів контролю стану різального інструмента і деталі виникають наступні проблеми:

- необхідність високої чутливості до змін параметрів процесів металообробки;
- необхідність високої швидкодії;
- невеликі розміри, які не заважають роботі інструмента;
- максимальна надійність;
- стійкість до забрудненого середовища у зоні металообробки.

Всі ці вимоги виникають тому, що контроль процесу за критичними випадками не є задовільним. Застосовані наразі прилади, що контролюють межові ситуації, по-перше, є мало чутливими, а, по-друге, реєструють вже завершений акт дії. Тобто, встановлення факту деякої критичної ситуації не попереджає насамперед розвиток цієї ситуації і, як наслідок, наступних руйнацій. Така побудова системи контролю не виконує основної вимоги виробництва - попередження критичних ситуацій. У цьому випадку необхідно мати прилади високої швидкодії, які не поступаються своїм швидкісним аналізом процесу обробки металів.

Досягнення високих виробничих потужностей та сталої якості технологічного процесу можливо лише за умов розробки контрольно-вимірвальних чутників, підсистем та модулів загального стеження та керування процесом, яким притаманні висока точність та швидкодія у загальному колі керування процесом металообробки. Характеристики таких систем контролю повинні відповідати сучасним умовам виробництва.

Основною проблемою всіх систем контролю стану інструмента і виробу є несвоєчасне визначення моменту їх торкання. Здебільшого невизначеність

цього чиннику виробничого процесу призводить не тільки до надмірних перевантажень інструмента, деталі та обладнання, але й до їх руйнування. Одночасно зауважимо, що первинна оцінка якості процесу металообробки зазвичай отримується на етапі входження інструмента у повний робочий режим (тобто силове навантаження). Отримати якісний аналіз з цього перехідного процесу за відсутністю точної інформації про момент торкання просто неможливо. На цей час розроблено невелику кількість систем, котрі визначають момент торкання інструмента і деталі. Але низка конструктивних недоліків та складність використання при встановленні на обладнання заважають їх широкому розповсюдженню у виробництві.

Авторські дослідження цього питання показали, що основна проблема криється у недосконалості побудови системи верстата як такого. Якщо звернути конкретну увагу на конструкційні особливості металообробних верстатів, то можна констатувати той факт, що існують три системи координат, які незамкнені між собою, тобто:

- механічна система координат зі своїми рушіями, яка є носієм деталі та інструмента;
- електронна система координат, яка відслідковує координати розташування рухомих вузлів верстата;
- система координат деталі, яка лише приблизно пов'язана з двома попередніми.

Механічна система координат верстата попри будь-якої точності виконання має кінцеві похибки виготовлення. Здебільшого всі ці похибки є наслідком самої конструкції верстата як такого. Тому всі похибки, які має верстат, окрім механічної точності виготовлення деталей, мають ще дві, а саме:

- кінцева пружність деталей, які мають ваду деформуватися під дією стискання або розтягання;
- точність збирання, яка має проблему додержання розмірів кутів між робочими осями та віссю робочого інструмента і шпинделя верстата.

До всіх цих похибок додається ще й координатна система інструмента, яка завжди має визначену прив'язку до системи координат верстата.

Особливу надію було покладено свого часу на електронну систему виміру координати, але навіть вона не змогла повністю вирішити всі проблеми, оскільки має свої вади. Оскільки електронна система пов'язана з механічною системою верстата, вона частково перейняла на себе його похибки, а також має ваду збою та похибок накопичувального характеру. Все це призводить до того, що систему керування верстатом необхідно постійно «обнуляти».

Система координат деталі є відносно пов'язаною з системою координат верстата. Тому орієнтування інструмента на деталь відбувається посередньо.

При цьому виготовлення деталі та оцінка її точності відбувається за ланцюжком: електронна система координат → механічна система верстата → інструмент → деталь. Тобто у такій системі відсутній зв'язок, який дав би змогу зв'язати всі координати в одне ціле, а саме зв'язок деталь → електронна система координат.

Визначимо, як необхідний нам виріб проходить вторинну стадію технологічного фантому (ТФ), тобто реалізується у кресленниках [1]. Наступна стадія реалізації ТФ деталі полягає у завантаженні програм у систему числового програмного керування (ЧПК) верстата. Одночасно з цим у систему ЧПК завантажуються ТФ інструментів та ворокола їх рухів під час виготовлення деталі. Отже, ми отримуємо у пам'яті ЧПК нереалізований ТФ деталі третього ступеню. Цей ТФ деталі є цілком уявним, тобто система ЧПК має лише уяву як виготовити деталь, користуючись своєю системою координат, яку вона приймає за ідеальну. При цьому вважається, що система координат механіки теж є ідеальною. Але це далеко не так, тому що вона вже реалізована, тобто є реальна механічна система координат, яка посередньо пов'язана з уявною. Десь у цій системі координат знаходиться заготовка, яка несе в собі ТФ деталі.

Якщо ми уявимо, що геть усі координатні системи, які приймали участь у виготовленні деталі, були ідеальні з будь-якого погляду, то і деталь повинна бути ідеальною. Така деталь, у якій неможливо знайти дефекти або похибки за будь-якого способу контролю будемо вважати ідеальною, а також її систему координат [2].

У випадку, коли ми маємо якісь відмінності, які нас не задовольняють, то єдиний висновок, якого можна дійти – це незадовільна якість інших координатних систем.

Сутність цього явища полягає у наступному. ТФ деталі, який зберігається у пам'яті системи ЧПК, є ідеальним, оскільки він дає опис ідеальної деталі. Але існує ще й чинник інтерпретації цього ТФ, тобто похибки, з якими система ЧПК реалізує деталь через свої чутливі елементи (ЧЕ). Тобто тут ми маємо справу з уявною системою координат. Ця уявна система координат пов'язана з механічною, а та, у свою чергу, - з системами координат інструмента і системою координат деталі, тобто це є жорстка або реальна система координат [3]. Для більш достеменного розуміння всі ці системи координат та зв'язки між ними відображені на рис. 0.1.

З цієї блок-діаграми добре видно, що існує група векторів $V_{ум}, V_{yi}, V_{уд}$, незамкнених у просторі.

Технологічна операція з «обнуління» верстата, яка полягає у зведенні в одну точку початків координат уявних та реальних, завжди відбувається з кінцевою похибкою у розмірах та напрямку вектора V_{ym} .

Всі ці вектори необхідно сприймати як векторні суми, які їх формують у просторі. Для того, щоб вирішити цю задачу необхідно розглянути фізико-математичне підґрунтя утворення подібних похибок.

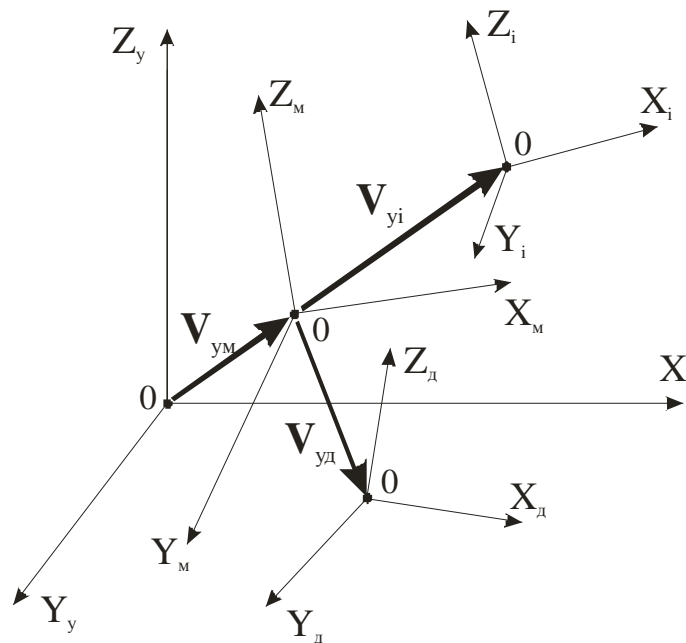


Рис. 0.1. Векторна блок-діаграма трикоординатної системи верстата, де: X_y, Y_y, Z_y - уявна система координат, притаманна системі CNC; X_m, Y_m, Z_m - реальна система координат верстата (механічна); X_d, Y_d, Z_d - ідеальна система координат (деталь); X_i, Y_i, Z_i - додаткова система координат (інструмент); V_{ym}, V_{yi}, V_{yd} - вектори зв'язку координатних систем: уявна – реальна, реальна – додаткова, реальна – ідеальна відповідно

З векторної діаграми (рис. 0.1) дуже добре видно, що для вирішення задачі з отримання необхідної точності повинна виконуватися умова (векторна сума):

$$V_{ym} + V_{yi} = V_{ym} + V_{yd} \quad (0.1)$$

Оскільки ця умова виконується в уявній системі координат CNC, то

$$V_{ym} + V_{yi} - V_{ym} - V_{yd} = 0 \quad (0.2)$$

і, як наслідок, при будь-яких ситуаціях вектор $V_{ym} = 0$, а $V_{yi} = V_{yd}$.

Порушити цю умову може лише деякий збій у системі CNC та наявність ірраціональних функцій при обчисленні координат векторів.

Але реальна система координат верстата виробляє свої аналогічні вектори V_{PM} , V_{PD} та V_{PI} , до того ж кожний з них визначається як сума уявного вектора та вектора похибки, тобто

$$V_y = xi + yj + zk, \quad (0.3)$$

та

$$V_n = n_x i + n_y j + n_z k. \quad (0.4)$$

Звідси маємо можливість отримати наступні залежності у реальній системі координат:

$$\begin{aligned} V_{PM} &= V_{yM} + \text{grad } V_{PM}, \\ \text{grad } V_{PM} &= \frac{\partial V_{PM}}{\partial x} i + \frac{\partial V_{PM}}{\partial y} j + \frac{\partial V_{PM}}{\partial z} k, \\ V_{PI} &= V_{yI} + \text{grad } V_{PI}, \\ \text{grad } V_{PI} &= \frac{\partial V_{PI}}{\partial x} i + \frac{\partial V_{PI}}{\partial y} j + \frac{\partial V_{PI}}{\partial z} k, \\ V_{PD} &= V_{yD} + \text{grad } V_{PD}, \\ \text{grad } V_{PD} &= \frac{\partial V_{PD}}{\partial x} i + \frac{\partial V_{PD}}{\partial y} j + \frac{\partial V_{PD}}{\partial z} k. \end{aligned} \quad (0.5)$$

Проаналізуємо отриманий результат з огляду на взаємодію уявної та реальної системи координат.

Як відомо з класичної геометрії, для того, щоб дві площини співпадали, вони повинні мати хоча б три спільні точки, а у цьому випадку є лише одна та ще й з невідомою точністю. Окрім того, ми приймаємо певну ідеалізацію, обумовивши, що всі системи координат являють собою ідеалізовані площини з кутами у 90^0 між ними. У реальності це є криволінійні площини (криволінійні координати), і знаходження для них спільних координат є вкрай проблематичною справою.

Ще більша проблема виникає у визначенні векторів V_{yI} та V_{yD} та їх зв'язок і векторами V_{PI} , V_{PD} , що зазвичай є невизначеними. Особливо це стосується координат інструмента, які мають плинний характер. Це є основною причиною того, що точність сучасних верстатів знаходиться у межах від 300 до 400 мм відносно центру.

Оскільки конструкція будь-якого верстата є сталою, тобто відпрацьованою на протязі багатьох десятиліть, всі ці системи координатних вимірюваних пристроїв є лише додатком до вже усталеної конструкції. Через те, що будь-яка

координатна система вимірювання є додатком до механічної, всі неточності механіки верстата автоматично переносяться на неї.

Внаслідок сталої конструкції механообробних верстатів можна констатувати той факт, що відчутники координат у кращому випадку встановлені попарно. У дійсності це означає, що монолітно скріплені відчутники можуть бути базовані лише на нерухомій частині верстата, в той час як третя транспортується по одній з попередніх.

Згідно вище вказаної тези, залежність однієї координати від іншої може мати наступні варіанти:

Залежні координати	Транспортуєма координата
$X \longleftrightarrow Y$	Z
$X \longleftrightarrow Z$	Y
$Y \longleftrightarrow Z$	X

У першому стовпчику є координати, які знаходяться у прямому зв'язку. Тобто відчутники монолітно зв'язані, і точність цього зв'язку залежить від точності їх розташування у просторі та точності кріплення. Транспортуєма координата у цьому випадку відрізняється тим, що вона транспортується вздовж будь-якої із залежних координат.

Пояснимо це простим прикладом токарного верстата. Подовжня координата Z руху інструментального блоку (револьверної головки) перемішує і поперечну координату Y, тобто її рушійну систему і відчутник відстані (координати). За такого конструкційного рішення всі похибки, притаманні координаті Z, впливатимуть на точність розташування координати Y, яка, в свою чергу, теж має свою похибку. Отже, на координату розташування інструмента у просторі матиме вплив координати Z на координату Y.

Для обробного центра (ОЦ) на фрезерному верстаті необхідно додати ще третю координату, яка жорстко пов'язана з будь-якою з координат, що призводить до ще більш складної залежності. Якщо для токарного верстата уявити площину руху інструмента, кожна координата якої має свою похибку, то у цьому випадку ми маємо право стверджувати, що це є поле похибки. Для випадку з трьома координатами це буде польовий об'єм похибок.

Ця система польових структур є досить специфічною. Якщо розглянути, наприклад, польову структуру в площині (тобто Y-Z), то необхідно зауважити, що вона має кінцеву товщину, яка утворюється внаслідок неточностей виконання реальних координат. Така площина лише уявна, оскільки система допусків, яка застосовується у цьому випадку, має на увазі, що всі похибки розташовані на площині з нульовою товщиною. Тим не менш з попереднього розгляду видно, що це не зовсім вірно. І справа не в тому, що несуча і

транспортуєма координати знаходяться у різних площинах. Теж саме можна зауважити і стосовно трикоординатної системи [3, 4].

Наступною проблемою металообробки є наявність люфтів у рухомих з'єднаннях реальної системи координат. Якою б не була досконалою уявна система координат, вона є за своєю суттю уявною, тобто ніякі прив'язки до реальної не можуть повністю вирішити задачу виходу на ідеальну систему координат деталі. Як наслідок, створюється перша зона нечутливості уявної системи координат до реальної.

Ще одна проблема полягає в тому, що вийти із зони люфту можна, але це не вирішує поставленої задачі, оскільки виникають перешкоди, які пов'язані з процесами пружності та тертя у реальній системі координат. Виявляється, що прибрати люфти у реальній системі координат є замало, необхідно зробити певне зусилля, щоб зрушити з місця ту чи іншу координату. Наявність мастильних матеріалів у зоні контакту координатних рушійних систем, хоч і полегшує задачу, але не вирішує її. Тобто все залежить від тиску на контактних полозках координат. Звісно, що тут на перше місце виходить вага рухомої частини верстата і, як наслідок, розташування системи рухомих координат. Це є наслідком взаємодії з вектором земного тяжіння. У таких умовах все залежить від кута нахилу ковзаючої площини відносно цього вектора. Чим більше кут (до 180°), тим легше відбувається ковзання, і залишається лише інерційна маса координати, яку необхідно зрушити з місця. Чим менше цей кут, тим більші проблеми з тертям та динамікою руху. Як наслідок, з усього цього ми отримуємо ще одну проблемну додаткову зону, що створює шар похибки навколо зони люфту.

Отже, необхідно зробити висновок: уявна координата охоплена зоною невизначеності. Як наслідок, звідсіля можна констатувати той факт, що рух за однією з обраних координат матиме подвійну координату залежно від напрямку. Це явище можна визначити як дуальність координати поверхні.

На первинному етапі цю задачу можна вирішити, замкнувши систему координат інструмента і деталі, тобто, створивши систему контролю торкання та низки допоміжних приладів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Скицюк, В. І. Технологічний фантом [Текст] / В. І. Скицюк, М. В. Скицюк // Вісник Нац. техн. ун-ту України “Київський політехнічний інститут”. Серія приладобудування. – 2002. – № 24. – С. 149 – 155.
2. V. F. Ostafiev. A new electromagnetic contact sensing technique for enhancing machine accuract [Текст] / V. F. Ostafiev, Patri K. Venuvinod // Manufacturing science and engineering. – 1997. – Med. – Vol. 6 – 1. – Volume 1. – ASME 1997. – P.113 – 119.
3. ГОСТ 27843-88. Станки металлорежущие. Методы проверки точности позиционирования [Текст]. Введ. 01.01.90. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 19 с.
4. Скицюк, В. І. Ефект дуальності поверхні торкання та його вплив на точність визначення координати поверхні [Текст] / В. І. Скицюк, О. О. Плотников, Л. С. Глоба // Збірн. Наук. праць Кіровоградського держ. техн. ун-ту. – 2003. – Вип. № 13. – С. 174 – 180.
5. Коваль, М. И. Сравнительный анализ составляющих погрешности обработки на тяжелом станке с ЧПУ [Текст] / М. И. Коваль, Г. А. Игонин // Станки и инструмент. – 1979. – № 9. – С. 8 – 11.
6. Кобринский, Н. Е. Точность экономико-математических моделей [Текст] / Н. Е. Кобринский, В. И. Кузьмин. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 255 с., ил.
7. Белокур, И. П. Дефектоскопия материалов и изделий [Текст] / И. П. Белокур, В.А. Коваленко. – К.: Тэхника, 1989. – 192 с.
8. Костин, П. П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов [Текст]: Учеб. пособ. для проф.- техн. училищ / П. П. Костин.. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
9. Методы акустического контроля металлов [Текст] / Н. П. Алёшин, В. Е. Белый, А. Х. Вopilкин и др.; под ред. Н. П. Алёшина. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.
10. Технические средства диагностирования [Текст]: Справочник / В. В. Клюев, П. П. Пархоменко, В. Е. Абрамчук и др.; под общ. ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
11. Бауман, Э. Измерение сил электрическими методами [Текст] / перев. с немец. / Э. Бауман. – М.: МИР, 1978. – 431 с.
12. Армарего, И. Дж. А. Обработка металлов резанием [Текст] / перев. с англ. В. А. Пастунова / И. Дж. А. Армарего, Р. Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
13. Остафьев, В. А. Диагностика процесса металлообработки [Текст] / В. А. Остафьев, В. С. Антонюк, Г. С. Тимчик. – К.: Тэхника, 1991. – С. 70 – 90.

14. Материаловедение [Текст]: Учеб. для высш. техн. учебн. заведений / Б. Н. Арзамасов, И. И. Сидорин, Г. Ф. Косолапов и др.; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
15. Лоладзе, Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента [Текст] / Т. Н. Лоладзе. – М.: Машиностроение, 1982. – С. 305.
16. Махмудов, К. Г. Контроль, диагностика и прогнозирование обработки металлов резанием по переходным процессам [Текст]. Автореф. диссерт. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук / К. Г. Махмудов. – К.: КПИ. – 1994. – 30 с.
17. Сафронкин, Г. В. Датчик контроля деталей и инструмента [Текст] / Г. В. Сафронкин // Приборы и системы управления. – 1991. – № 9. – С. 36.
18. Контроль и диагностика в ГПС [Текст]; под ред. Б. И. Черпакова. Кн. 7. – М.: Высш. школа, 1989. – С. 30 – 80.
19. Шевченко, В. В. Диагностика работоспособности режущего инструмента при чистовом точении на основе электромагнитных явлений [Текст]. 05.03.01. Автореф. диссерт. на соискание уч. степ. канд. техн. наук / В. В. Шевченко. – К.: КПИ. – 1985. – С. 16.
20. Кретинин, В. П. О связи параметров износа инструмента и шероховатости обработанной поверхности [Текст] / В. П. Кретинин, О. В. Кретинин, А. В. Денисенко // Вопросы повышения качества и производительности изготовления деталей машин на металлорежущих станках. – Горький. – 1974. – Т. 30, вып. 17. – С. 14 – 15.
21. Васильев, С. В. Использование электрических явлений при резании для коррекции режимов обработки [Текст]: метод. реком. / С. В. Васильев. – М.: ЭНИМС, 1981. – 76 с.
22. Зелик, В. П. Многоканальное устройство для виброакустической диагностики металлорежущих станков [Текст] / В. П. Зелик и др. // Металлорежущие станки. – 1990. – 18. – С. 50 – 54.
23. А.с. 1652805 СССР, МКИ G01B 7/00. Бесконтактный датчик положения [Текст] / Р. А. Пищальников, С. П. Трубочанин. Приоритет 4036868/28. Заявл. 14.03.86. Оpubл. 30.05.91. Бюл. № 20.
24. Скицюк, В. И. Автоматическая настройка и поднастройка режущих инструментов на токарных станках с ЧПУ [Текст] / В. И. Скицюк, В. А. Остафьев, В. В. Шевченко // Технология и организация производства. – 1989. – № 3. – С. 15 – 17.
25. Остафьев, В. А. Устройство контроля состояния сверл в многошпиндельных головках [Текст] / В. А. Остафьев, В. И. Скицюк, Т. Р. Клочко // Технология и организация производства. – 1991. – № 3. – С. 33 – 35.
26. Скицюк, В. И. Технология ТОНТОР [Текст] / В. И. Скицюк, К. Г. Махмудов, Т. Р. Клочко. – К.: Техніка, 1993. – 80 с.

27. Скицюк, В. І. Технологія ТОНТОР [Текст] / В. І. Скицюк // Вісті українських інженерів (Ukrainian Engineering News). – 1993. – XLVIII. – 4. – С. 10 – 14.
28. Скицюк, В. І. Аналіз сучасного стану приладів контролю точності торкання інструменту з деталлю та шляхи подальшого розвитку [Текст] / В. І. Скицюк // Сучасне машинобудування. – 2000. – № 1. – С. 20 – 30.
29. Активный контроль размеров [Текст] / С. С. Волосов, М. Л. Шлейфер, В. Я. Рюмкин и др.; под ред. С. С. Волосова. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.
30. Кужидем, Зб. Методы управления точностью токарной обработки на станках с ЧПУ типа CNC [Текст]. 05.08.01. Автореф. диссертации на соискание уч. степ. канд. техн. наук / Збигнев Кужидем. – К.: КПИ. – 1987. – 16 с.
31. Федотов, А. В. Применение измерительных головок на обрабатывающих центрах [Текст] / А. В. Федотов, А. Н. Компанейц // Станки и инструменты. – 1989. – № 4. – С. 24 – 25.
32. Скицюк, В. І. Технологія ТОНТОР для автоматизованого прецизійного контролю якості [Текст] / В. І. Скицюк, Т. Р. Ключко / Зб. Приладобудування – 96, м. Віниця (м. Судак), Віницький ДТУ. – Т. 1. – 1996. – С. 84.
33. DAISHOWA SEIKI CO., LTD. FA Dept. CATALOG № 52, 53, 51, 63, 68 [Текст]. 1998.
34. А.с. 1399072 СССР, МКИ В 23 Q 15/00. Устройство автоматического регулирования процесса обработки на металлорежущих станках [Текст] / В. А. Остафьев, В. Л. Заковоротный, Т. Р. Ключко, Л. З. Бузик, И. М. Костра. – Приоритет 3919467/31–08; Заявл. 12.04.85; Опубл. 30.05.88, Бюл. № 40.
35. Скицюк, В. І. Нові науково-технічні поняття та терміни на їх позначення. Проблеми української термінології [Текст] / В. І. Скицюк, Т. Р. Ключко: Зб. наук. праць. – Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка». – 2006. – С. 128 – 131.
36. Точность производства в машиностроении и приборостроении [Текст]; под ред. А. Н. Гаврилова. – М.: Машиностроение, 1973. – 567 с.
37. Павловський, М. А. Теоретична механіка [Текст]: підруч. / М. А. Павловський. – К.: Техніка, 2002. – 512 с., іл.
38. Скицюк, В. І. Технологія торкання технологічних об'єктів. Основні засади. Ч. 1 [Текст] / В. І. Скицюк, Р. С. Сілін // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – № 1. – С. 27 – 30.
39. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – 13-е изд., исправл. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.
40. Волин, М. Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре [Текст] / М. Л. Волин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Радио и связь. – 1981. – 296 с.
41. Барнс, Дж. Электронное конструирование: Методы борьбы с помехами [Текст] / перев. с англ. / Дж. Барнс – М.: Мир, 1990. – 238 с., ил.

- 42.Смайт, В. Электростатика и электродинамика [Текст] / перев. со второго амер. издания А. В. Гапонова и М. А. Миллера. / В. Смайт. – М.: Иностранная литература, 1954. – 804 с.
- 43.Ремизов, Л. Т. Естественные радиопомехи [Текст] / Л. Т. Ремизов. – М.: Наука, 1985. – 200 с.
- 44.Скицюк, В. І. Контроль та керування процесом торкання для підвищення якості виробів приладобудування [Текст]. Автореф. дисерт. на здоб. вченого ступеню канд. техн. наук / В. І. Скицюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2001 р.
- 45.Chapman, F.W. Propagation of audiofrequency radio waves to great distances [Текст] / F. W. Chapman, R. C. V. Macario // Nature. – 1956. – Vol. 177, N 4516. – P. 930 – 933.
- 46.Михайлова, Г. А. Спектры атмосфериков на сверхнизких частотах в ночное время [Текст] / Г. А. Михайлова // Геомагнетизм и аэрономия. – 1967. – Т. VII, № 2. – С. 357 – 359.
- 47.Фізичні засади технології ТОНТОР [Текст]: монографія / Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, М. А. Вайнтрауб, Т. Р. Клочко. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 352 с., іл.
- 48.Тимчик, Г. С. Теоретичні засади технології ТОНТОР [Текст] / Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, Т. Р. Клочко. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 234 с., іл.
- 49.Бобров, В. Ф. Основы теории резания металлов [Текст] / В. Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
- 50.Коробов, Ю. М. Электрический износ при трении и резании металлов [Текст] / Ю. М. Коробов, Г. А. Прейс. – К.: Техника, 1976. – 200 с.
- 51.Атабеков, Г. И. Основы теории цепей [Текст] / Г. И. Атабеков. – М.: Энергия, 1966. – 424 с., ил.
- 52.Попов, Г. М. Кристаллография [Текст] / Г. М. Попов, И. И. Шафрановский. – М.: Гос. научно-техн. изд-во лит. по геологии и охране недр, 1955. – 296 с.
- 53.Анго, А. Математика для электро- и радиоинженеров [Текст] / А. Анго; перев. с фр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1965. – 780 с., ил.
- 54.Кухаркин, Е. С. Основы инженерной электрофизики. Ч. 1. Основы технической электродинамики [Текст]: Учеб. пособ. для студентов вузов / Е. С. Кухаркин; под ред. П. А. Ионкина – М.: Высш. школа, 1969. – 510 с.
- 55.Кузмичев, В. Е. Законы и формулы физики [Текст] / В. Е. Кузмичев. – К.: Наук. думка, 1989. – 864 с.
- 56.Ландау, Л. Д. Теоретическая физика [Текст]: учеб. пособ. В 10 т. Т. II. Теория поля. – 7-е изд. исправл. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 512 с.
- 57.Парселл, Э. Электричество и магнетизм [Текст] / перев. с англ. / Э. Парселл; под ред. А. И. Шальникова и А. О. Вайсенберга, изд. 2-е, исправл. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1975. – 440 с.

58. Калашников, С. Г. Электричество [Текст]: Учеб. пособ. – 5-е изд., исправл. и доп. / С. Г. Калашников. – М.: Наука. Главная ред. физ. – мат. литер., 1985. – Общий курс физики. – 576 с., ил.
59. Костиков, В. Г. Источники электропитания высокого напряжения РЭА [Текст] / В. Г. Костиков, И. Е. Никитин. – М.: Радио и связь, 1986. – 200 с.
60. Лифшиц, И. М. Электронная теория металлов [Текст] / И. М. Лифшиц, М. Я. Азбель, М. И. Каганов. – М.: Наука, Гл. ред. физ. – мат. лит., 1971. – 416 с.
61. Скицюк, В. І. Дрейф вільного електрона у технологічних об'єктах, що обертаються [Текст] / В. І. Скицюк, М. А. Вайнтрауб // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2009. – Вип. 38. – С. 85 – 92.
62. Барнетт, С. Гиромагнитные эффекты и эффекты инерции электронов [Текст] / С. Барнетт // Успехи современной физики. – 1937. – С. 393 – 453.
63. Скицюк, В. І. Новый метод прогнозирования состояния автоматизированной обработки металлов [Текст] / В. І. Скицюк, М. М. Ключко // Вісник Інж. академії України. – 2006. – Бюл. 2 – 3. – С. 114 – 121.
64. Электрические измерения [Текст]: учеб. пособ для вузов; под общ. ред. докт. техн. наук В. Н. Малиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 416 с., ил.
65. Скицюк, В. І. Фізичні основи ближньої електромагнітної взаємодії інструменту та деталі при токарній металообробці [Текст] / В. І. Скицюк, Г. С. Тимчик // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2002. – № 5. – С. 131 – 134.
66. Скицюк, В. І. Застосування сигналу електромагнітного поля деталі та інструмента у процесі контролю металообробки [Текст] / В. І. Скицюк, Г. С. Тимчик, М. М. Ключко // Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. – 2003. – № 4 (21). – С. 30-37.
67. Філософський словник [Текст]; под ред. М. Розенталя, П. Юдіна. – К.: Вид. політ. літ. України, 1964. – С. 154-155.
68. Мизюк, Л. Я. Элементы транзисторных схем измерительной аппаратуры для индуктивной электроразведки [Текст] / Л. Я. Мизюк. – К.: Наукова думка, 1970. – 280 с.
69. Чутники електромагнітного випромінювання біотехнічних об'єктів [Текст] / Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, М. А. Вайнтрауб, Т. Р. Ключко. – К.: Леся, 2004. – 64 с., іл.
70. Гарднер, М. Ф. Переходные процессы в линейных системах с сосредоточенными постоянными [Текст] / перев. с англ. / М. Ф. Гарднер, Дж. Л. Бэрнс. – М. Изд-во физ.-мат. лит., 1961. – 552 с.
71. Спектор, С. А. Электрические измерения физических величин: методы измерений [Текст]: Учеб. пособ. для вузов / С. А. Спектор. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 320 с.

72. Измерение электрических и неэлектрических величин [Текст]: Учеб. пособ. для вузов / Н. Н. Евтихеев, Я. А. Купершмидт, В. Ф. Папуловский, В. Н. Скугоров; под общ. ред. Н. Н. Евтихеева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
73. Джагулов, Р. Г. Пьезокерамические элементы в приборостроении и автоматике [Текст] / Р. Г. Джагулов, А. А. Еродиев. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. – 256 с.
74. Неразрушающий контроль. Россия, 1900 – 2000 г. г. [Текст]: Справочник; под ред. Ключева В. В. – М.: Машиностроение, 2001. – 612 с.
75. Скицюк, В. І. Градієнтометрія зонної точності верстатів [Текст] / В. І. Скицюк, О. О. Плотников // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2004. – Вип. 28. – С. 132 – 138.
76. Патент 62421А Україна. Спосіб та пристрій для визначення градієнта точності металообробних верстатів з ЧПК [Текст] / Л. С. Глоба, В. І. Скицюк, О. О. Плотников. Заявка №2003032421. Заявл. 20.03.2003. Пріоритет 15.12.2003. Опубл. 15.12.2003. Бюл. № 12.
77. Заковоротный, В. Л. Исследования динамической характеристики резания при автоколебаниях инструмента [Текст] / В. Л. Заковоротный. В кн. Изв. техн. науки. Ростов. – Ростов: Ин-т с.-х. машиностроения, 1976. – С. 37 – 44.
78. Жарков, И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом [Текст] / И. Г. Жарков. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1986. – 184 с., ил.
79. Подураев, В. Н. Обработка резанием с вибрациями [Текст] / В. Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1970. – 351 с.
80. Юганов В. С. Использование низкочастотных акустических колебаний для текущего контроля процесса шлифования [Текст]: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / В. С. Юганов. Ульянов. гос. техн. ун-т. – 1999. – 18 с.
81. Xin-quan, Chen. Использование акустической эмиссии для мониторинга состояния инструмента [Текст] / Chen Xin-quan, Li Xi-lan, Deng Min // Changsha dianli xuebao. Ziran kexue ban = J. Changsha Univ. Elect. Power. – 2001. – 16, № 1. – С. 1 – 3.
82. Патент 2025253 Россия. МКИ В23Q 15/00. Устройство для определения момента затупления режущего инструмента [Текст] / Обабков А. И., Зубов В. К. Заявка № 4913898/08. Заявл. 25.02.91. Опубл. 30.12.94. Бюл. № 24.
83. Система контроля состояния инструмента [Текст] // Cutt. Tool. Eng. – 1994. – 46, № 5. – С. 123. Tooling and Production Systems (USA).
84. Контроль состояния режущего инструмента по сигналу АЭ [Текст] // Arch. technol. masz; autom. – 1994. – № 13. – С. 299 – 309.
85. Система контроля состояния инструмента в многошпиндельных головках [Текст] // Fertigung. – 1993. – 114, № 4. – С. 61. Prometec.

- 86.Связь износа режущей кромки инструмента с сигналом АЭ [Текст] // Zesz. nauk. Mech. PSI. – 1993. – № 113. – С. 185 – 191.
- 87.Способ контроля состояния фрез по сигналу АЭ [Текст] // Mod. Mach. Tool and Autom., Manuf. Techn. – 1992. – № 3. – С.10 – 14.
- 88.Кабалдин, Ю. Г. Виброакустический способ контроля износа режущего инструмента [Текст] / Ю. Г. Кабалдин // Вестн. К. – на – Ам. Гос. техн. ун-та. – 1995. – 3, № 1. – С. 13 – 15.
- 89.Кретинин, О. В. Контроль режущего инструмента и состояния поверхности детали [Текст] / О. В. Кретинин, А. Р. Кварталов // Технол. процессы и оборуд. машино– и приборостроения. – 1995. – С. 57 – 61. Нижегород. гос. техн. ун-т. – Н. Новгород.
- 90.Бранцевич, П. Ю. Автоматизированная система вибрационного мониторинга [Текст] / П. Ю. Бранцевич, С. Ф. Костюк, Н. П. Шишков // Соврем. пробл. радиотехн., электроники и связи: Научн.техн. конф., Минск, 4 – 5 мая, 1995. – С. 348 – 349.
- 91.Кабалдин, Ю. Г. Метод анализа временного ряда для построения системы диагностики износа инструмента на основе сигнала АЭ [Текст] / Ю. Г. Кабалдин // Рос. научн. – техн. конф. "Новые материалы и технологии машиностроения (Москва), 18–19 ноября 1993 г., тез. докл. – М., 1993. – С. 52 – 53.
- 92.Либерман, Л. Л. Системы вибродиагностики состояния режущего инструмента для токарных станков с ЧПУ [Текст] / Л. Л. Либерман // Вестн. машиностр. – 1993. – № 2. – С. 31 – 38. Уральский ПИ.
- 93.Идентификатор процесса фрезерования по сигналу акустической эмиссии [Текст] // Trans. ASME. J. Eng.Ind. – 1992. – 114, № 1. – С. 8 – 14.
- 94.А.с. 1714461 СРСР. МКІ G 01 N 3/58. Устройство вибродиагностики режущего инструмента [Текст] / Г. Б. Светлаков, В. И. Малыгин. Высш. техн. уч. заведения Севмашвтуз. Заявка 4712960/28. Заявл. 03.07.89. Опубл. 23.02.92.
- 95.А.с. 1785832 СССР. МКИ В 23 В 25/06. Способ контроля износа режущего инструмента [Текст] / В. С. Фадеев, А. В. Конаков, В. И. Аникин и др. Заявка № 4740180/08. Заявл. 25.09.89. Опубл. 07.01.93. Бюл. № 1.
- 96.Tymchik Gr. S. The intelligent system for quality rating of machining material processing [Текст] / Gr. S. Tymchik, M. Klotchko // International conference of condition monitoring, Cambridge, UK, 2005. – 2005. – P. 21 – 23.
- 97.Махмудов, К. Г. Автоматизированные методы определения обрабатываемости металлов [Текст] / К. Г. Махмудов, В. А. Остафьев, А. А. Мирзаев. – К.: ВИПОЛ, 1995. – 91 с.
- 98.Преображенский, А. А. Магнитные материалы и элементы [Текст]: Учебн. для студ. вузов по спец. “Полупроводники и диэлектрики”. – 3-е изд.,

- перераб. и доп. / А. А. Преображенский, Е. Г. Биплард. – М.: Высш. шк. – 1986. – 352 с.
99. Загалеєв, М. Р. Диагностика РИ методом контролю термо-эдс [Текст] / М. Р. Загалеєв, М. Ю. Сарілов / Науч. – техн. творчество аспирантов и студентов: 27-я Науч. – техн. конф. аспирантов и студентов Комсомольска-на-Амуре гос. техн. ун-та, К-на-Ам., 18 – 28 апр. 1997 г.: тез. докл. – С. 8.
100. Скицюк, В. І. Двопараметричний відчутник вібрацій об'єкту [Текст] / В. І. Скицюк, М. М. Ключко, Т. Р. Ключко, Г. С. Тимчик // Вісник НТУУ «КПІ» серія приладобудування. – 2007. – Вип. 34. – С. 96 – 102.
101. Патент № 30279 України на корисну модель. Електромагнітно-акустичний відчутник [Текст] / В. І. Скицюк, М. М. Ключко, Т. Р. Ключко Заявка № 200709567 від 23.08.07. Опубл. 25.02.2008 р., Бюл. № 4.
102. Проектирование датчиков для измерения механических величин [Текст]; под ред. Е. П. Осадчего. – М.: Машиностроение, 1979. – 480 с., ил.
103. Волгов, В. А. Детали контуров радиоаппаратуры. Расчет и конструкция [Текст] / В. А. Волгов; под ред. В. И. Сидорова. – М. – Л.: Госуд. энергетич. изд-во, 1954. – 297 с.
104. Себко, В. П. Теоретические основы и практическое использование электромагнитных многопараметровых методов и устройств для контроля изделий [Текст] / В. П. Себко, Б. М. Горкунов: докл. [3-я Междунар. Научно-технич. конф. «Метрологія в електроніці». – 2000, Харків, 10 – 12 жовтня, 2000 г.] // Укр. метрол. ж. – 2000. – № 4. – С. 14 – 18.
105. Армєнський, Е. В. Измерение тока импульсного пучка заряженных частиц [Текст] / Е. В. Армєнський, В. М. Рыбин // Измерительная техника. – 1966. – № 2 – С. 13 – 17.
106. Афанасьєв, Н. Г. Интегратор тока пучка электронов [Текст] / Н. Г. Афанасьєв, А. В. Демьянов // ПТЭ. – 1962. – № 2. – С. 20.
107. Богданов, Г. Б. Основы теории и применения ферритов в технике измерения и контроля [Текст] / Г. Б. Богданов. – М.: Советское радио, 1967. – 339 с.
108. Калашникова, В. Н. Детектор ионизированных частиц [Текст] / В. Н. Калашникова, М. С. Козодаєв. – М.: Наука, 1966. – 408 с.
109. Ключко, М. М. Оцінка стану технологічного процесу виготовлення деталей динамічно настроєваних приладів [Текст]. Автореф. дисерт. на здоб. вченого ступеню канд. техн. наук / М. М. Ключко. – К.: НТУУ «КПІ», 2007 р.
110. Деклараційний патент України на корисну модель № 6505. МПК В23В25/06, G01N3/58. Система контролю стану різального інструмента [Текст] / В. І. Скицюк, М. М. Ключко, Т. Р. Ключко. Пріоритет 20040907437. 13.09.2004; Опубл. 16.05.2005. – Бюл. № 5.

111. Металлорежущие инструменты [Текст]: Учеб. для вузов по спец. «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» / Г. Н. Сахаров, Б.О.Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.: ил.
112. Измерительные системы фирмы Marposs [Текст] // Amer. Mach. – 2000. – 144. – № 8. – С. 281, 282. Marposs Corp.
113. Абанин, В. А. Тензорезисторные датчики силы [Текст] / В. А. Абанин, В. Н. Ромашкин // Приборы и системы управления. – 1999. – № 12. – С. 25–27.
114. Беспалов, В. О. Методика оптимізації геометричних розмірів чутливих елементів вимірювальних перетворювачів сили складної форми [Текст] / В. О. Беспалов, М. Д. Гераїмчук, О. К. Нікітін // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2006. – Вип. 31. – С. 79 – 85.
115. Павловский, М. А. Влияние погрешностей изготовления и сборки гироприборов на их точность [Текст] / М. А. Павловский. – К.: Изд-во Киевского ун-та, 1973. – 192 с.
116. Уразаев, З. Ф. Контроль точности расположения поверхностей основных деталей гироприборов [Текст] / З. Ф. Уразаев, А. Н. Монахов. – В сб. Гироскопическое приборостроение. – М.: Машиностроение, 1963.
117. Метод контроля износа режущего инструмента при точении [Текст] / Choudhury S. K., Jain V. K., Krishna S. Rama // Trans. ASME. J. Manuf. Sci. and Eng. – 2001. – 123, № 1. – С. 10 – 12. Department of Mechanical Engineering, Indian Instit. of technology, Kanpur, India.
118. Заявка 1083023 ЕПВ МКИ В 23 Q 15/007. Система мониторинга процесса резания [Текст] / Fjuishima Makoto, Otsubo Hisashi, Nakagawa Hideo. Kakino Yoshiaki, Mori Seiki Co., Ltd, Yasda Precision Tools K. K., 001193663 Приоритет 25727499 10.09.99 Японія. Osaka Kiko Co., Ltd., Yamazaki Mazak Corp., Mitsubishi Denki K. K. Опубл. 14.03.01.
119. Эльясберг, М. Е. К теории и расчету устойчивости процесса резания металла на станках [Текст] / М. Е. Эльясберг // Станки и инструменты. – 1971. – № 11. – С. 6 – 11.
120. Носсель, Ю. Я. Электрические поля постоянных токов [Текст] / Ю. Я. Носсель. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние. – 1986. – 160 с.
121. Говорков, А. Г. Теория электромагнитного поля в упражнениях и задачах [Текст] / А. Г. Говорков, С. Д. Купалян. – М.: Высш. школа, 1963. – 372 с.
122. Николаенко, В. М. Электрическая измерительная система для анализа распределения потенциалов и профилей поверхностей [Текст] / В. М. Николаенко, В. Г. Панов, М. И. Гросман // Станки и инструменты. – 1979. – № 11.

123. Заявка № 51-39715 Японія [Текст]. Заявка № 4-993. Заявл. 02.11.1972. Заявка № 47-109979. Опубл. 29.10.1976. Заявитель Хитати сейки К.К.
124. Гришаев, И. А. Измерение положения и тока пролетающего импульсного пучка заряженных частиц / И. А. Гришаев и др. // Приборы и техника экспериментов. – 1960. – № 4.
125. Общая радиотехника [Текст] / М. М. Могилевский, И. Д. Анохина, Н. И. Бревда. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк., 1985. – 287 с. – С. 215.
126. Патент UA30120 Україна. МПК 6 В 23 Q 17/22. Спосіб реєстрації присутності та торкання різального інструмента [Текст] / В. І. Скицюк, М. В. Скицюк. Заявка № 97126364. Заявл. 29.12.97. Опубл. 12.11.2000. Бюл. № 15.
127. Войтик, М. С. Помехи в источниках питания с бестрансформаторным входом [Текст] / М. С. Войтик // Полупроводниковая электроника в технике связи. – 1983. – Вып. 23. – С. 174 - 177.
128. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле [Текст]: Учебн. для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. – 8-е изд., перераб. и доп. / Л. А. Бессонов. – М.: Высш. шк., 1986. – 263 с.
129. Патент 4396322 США. МКІ В 23 Q 11/00, В 23 С 1/00. Устройство для подачи сигнала о контакте между инструментом и изделием в станках с ЧПУ [Текст]. Пріоритет № 218178. 22.12.1980. Toyota Koki k. k. Опубл. 02.08.1983.
130. Патент 4829677 США. МКІ G01B7/008. Device for supporting a stylus in a touch sensor [Текст] / Yuzuru; Tanaka (Higashi-Osaka, JP). Пріоритет 128694. 16.05.1989. Daishowa Seiki Co., Ltd. (Osaka, JP). Опубл. 4.12.1987.
131. Патент 2172224 Велика Британія [Текст].
132. Патент США 5001464 МКІ G08B 21/00. Contact detecting system in a machine tool [Текст] / Yuzuru; Tanaka (Higashi-Osaka, JP). Пріоритет 450552. 14.12.1989. Daishowa Seiki Co., Ltd. (Osaka, JP). Опубл. 19.05.1991.
133. Патент № 40137 України на корисну модель. МПК 7 G08B 21/00, B23Q 11/00. Пристрій контролю торкання різального інструмента до деталі при токарній обробці [Текст] / В. І. Скицюк, Т. Р. Ключко. Заявка u200812633. Опубл. 25.03.2009. Бюл. № 6. 2009 р.
134. Толмасский, И. С. Высокочастотные магнитные материалы [Текст] / И. С. Толмасский. – М.: Энергия, 1968. – 72 с., ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 651).
135. Курлин, М. В. Электрорадиоматериалы [Текст] / М. В. Курлин и др.. – Л.: Судостроение, 1969. – 339 с.

136. Индуктивные элементы радиоэлектронной аппаратуры [Текст]: Справочник / И. Н. Сидоров, М. Ф. Биннатов, Л. Г. Шведова. – М.: Радио и связь. – 1992. – 288 с.: ил. С. 26 – 27.
137. Патент 6059494 США. МКІ В 23 Q 17/24. Система мониторинга состояния режущего инструмента [Текст] / Susnjara Kenneth J., Thermwood Corp. Заявка 08/707863. Заявл. 9.09.96. Оpubл. 9.05.00.
138. Датчики касания для координатно-измерительных машин [Текст] // Mod. Mach. Shop. – 2000. – 72. – № 11. – С. 244 – 246.
139. Заявка 2298486 Велика Британія. МКІ G 01 В 21/22. Измерительный преобразователь перемещений и деформаций с использованием поверхностных акустических волн [Текст] / Gray D.R. ERA Patents Limited. Приоритет 95043006. Заявл. 3.03.95. Оpubл. 4.09.96.
140. А.с. 1589069 СССР, МКІ G 01 В 11/00. Анализатор виброакустических сигналов / Т. Р. Клочко, В. А. Остафьев, В. И. Скицюк, Г. С. Тымчик. № 4494254/24-28; Заявл. 17.10.88; Оpubл. 30.08.90, Бюл. № 32. – 5 с.
141. Клочко, Т. Р. Розробка алгоритмів функціонування лазерних гібридних акустооптичних аналізаторів стану процесу токарної обробки металів [Текст] / Т. Р. Клочко, Г. С. Тимчик, М. М. Клочко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – 1998. – № 4. – С. 33 – 37.
142. Клочко, Т. Р. Моделювання динаміки технологічного процесу для контролю якості токарної обробки деталей типу “вал” [Текст] / Т. Р. Клочко // Резание и инструмент в технологических системах. Харьков: ХГПУ. – 2000. – Вып. 57. – С. 115 – 121.
143. Zhong-min, Wang. Способ мониторинга износа режущего инструмента [Текст] / Wang Zhong-min, Wang Xin-yi // J. Beijing Inst. Technol. – 2001. – 10, № 1. – С. 101 – 107.
144. А.с. 500907 СССР. МКІ 2 В23В 25/06. Способ измерения удельной термо-э.д.с. на режущих кромках инструмента [Текст] / В. И. Денисенко. Заявка № 2-37342/25-8. Заявл. 26.06.74. Оpubл. 30.01.76. Бюл. № 4.
145. Hisao, Ogawa. Повышение стойкости РИ путем использования систем контроля их состояния [Текст] / Ogawa Hisao // Puranto enjinia = Plant. Eng. – 2001. – 33, № 2. – С. 65 – 70.
146. Скицюк, В. І. Методика визначення точності виготовлення деталей надточних приладів у процесі механообробки на CNC-верстатах [Текст] / В. І. Скицюк, М. М. Клочко, Т. Р. Клочко / Зб. тез доп. наук. – техн. конференції ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи, 24 – 25 квітня 2007 р. – К.: НТУУ “КПІ”. – 2007. – С. 131 – 132. В надзаг.: МОН України, НТУУ «КПІ» приладобудівний факультет.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

	<i>стор.</i>
АВГ	– активна вимірювальна головка 39
АЕ	– акустична емісія 28
АОМ	– акустооптичний модулятор 488
АНБ	– активна нульова база 39
АО	– абстрактний об'єкт 161
АС	– абстрактна сутність 45
АЧТД	– активний чутник торкання деталі 39
АЧТІ	– активний чутник торкання інструмента 39
ВАЕ	– віброакустична емісія 202
ВГ	– вимірювальна головка 40
ГВС	– гнучка виробнича система 486
ГЗС	– генератор змінного струму 322
ГП	– генератор поля 359
ГЦК	– головний центр керування 162
ЕМП	– електромагнетне поле 92
ЕРС	– електрорушійна сила 99
ЕХН	– емісія хвиль напруги 201
ЄЕВ	– єдиний елементарний відчутник 180
ЗП	– зона присутності 45
ККД	– коефіцієнт корисної дії 216
КРП	– контактна різниця потенціалів 268
ОГ	– опорний генератор 325
ОВ	– об'єкт вимірювання 142
ОКМ	– обертальний контактний механізм 423
ОЦ	– обробний центр 16
ПВГ	– пасивна вимірювальна головка 39
ПЗ	– панданна зона 45
ПНБ	– пасивна нульова база 39
ПРТ	– прилад реєстрації торкання 322
ПЧТД	– пасивний чутник торкання деталі 39
ПЧТІ	– пасивний чутник торкання інструмента 39
МОТС	– мастильно-охолоджувальне технологічне середовище 31
МРС	– магнетна рушійна сила 319
РІ	– різальний інструмент 28
РТК	– робототехнічний комплекс 486

СЕ	– силовий елемент	159
СКТ	– система контролю торкання	359
СЧТ	– система чутника торкання	44
ТЕРС	– термоелектрорушійна сила	100
ТКО	– температурний коефіцієнт опору	239
ТРС	– терморушійна сила	99
ТО	– технологічний об’єкт	63
ТОС	– технологічна обробна система «верстат-приспосовання-інструмент-деталь»	18
ТФ	– технологічний фантом	12
ЧЕ	– чутливий елемент	13
ЧПК	– числове програмне керування	12
ЧТІ	– чутник торкання інструмента	39
CNC	– computer numerical control	12

Наукове видання

Тимчик Григорій Семенович
Скицюк Володимир Іванович
Вайнтрауб Марк Абрамович
Клочко Тетяна Реджинальдівна

ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСІВ МЕХАНООБРОБКИ НАДТОЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

Дизайн обкладинки
М. Клочко

В авторській редакції
Надруковано з оригінал-макету замовника

Підп. до друку 20.07.2011 р. Формат. 60 x 84 1/16. Папір офсетний.
Гарнітура Times.
Спосіб друку - різнографія. Ум. друк. арк. 32,25. Ум. обл.-вид. арк. 49,88.
Наклад 300 прим. Зам. № .

НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка»
03056, Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15
Тел./факс (044) 454 96 41