

## ВІРТУАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯК ЗАСІБ НАВЧАННЯ

А.К. Смаглиук, А.Г. Панчук

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024,  
e-mail: public@nuing.edu.ua

*Розглянуто проблему опанування практичної роботи з сучасними системами керування технологічними процесами в машинобудуванні.*

*Обґрунтована необхідність використання комп'ютерних симуляторів CAD/CAM/CAE систем високого рівня складності та систем програмування різноманітних мікропроцесорів.*

*Запропоновані варіанти використання потужних симуляторів CNC-програмування та мікропроцесорних систем. Окремо досліджена можливість симулювання роботи координатно-виміральної машини як системи об'єктивного контролю з особливо широкими можливостями.*

**Ключові слова:** симулятор, система CAD/CAM/CAE, мікропроцесор, координатно-вимірвальна машина

*Рассмотрена проблема овладения практической работой с современными системами управления технологическими процессами в машиностроении.*

*Обоснована необходимость использования компьютерных симуляторов CAD/CAM/CAE систем высокого уровня сложности и систем программирования разнообразных микропроцессоров.*

*Предложены варианты использования мощных симуляторов CNC-программирования и микропроцессорных систем. Отдельно исследована возможность симуляции работы координатно-измерительной машины как системы объективного контроля с особенно широкими возможностями.*

**Ключевые слова:** симулятор, система CAD/CAM/CAE, микропроцессор, координатно-измерительная машина.

*The article considers the problem of practical work mastering that contains modern systems for technological process control in machine building.*

*The necessity has been grounded for the usage of computer simulators for high level complexity systems CAD/CAM/CAE and for programming systems of different microprocessors.*

*Variants for the usage of powerful simulators of CNC-programming and microprocessor systems have been offered. The possibility has been separately investigated for simulating of coordinate measuring machine operation as a system of objective control with particularly wide possibilities.*

**Key words:** simulator, CAD/CAM/CAE system, microprocessor, coordinate measuring machine.

У сучасних системах, призначених для виготовлення виробів, невід'ємною частиною є підсистема забезпечення якості продукції, що випускається в сучасному багатомоделному виробництві, тобто гнучкі системи автоматизованого контролю.

Так, в нафтогазовидобувній галузі застосовують різьбові з'єднання, виготовлені як за вітчизняними стандартами і технічними умовами, так і за відповідними зарубіжними стандартами, в тому числі за специфікаціями Американського нафтового інституту (API). Різьбові з'єднання, насамперед конічні, виконують на мвфтах і трубах бурових, насосно-компресорних, обсадних колон, що використовуються під час розвідкування та експлуатації свердловин, а також в обладнанні, що застосовується в цій галузі (насоси, вибійні двигуни тощо). Для забезпечення надійності проводиться 100% контроль таких різьбових з'єднань. З огляду на появу, останнім часом, великої кількості нових з'єднань (ТМК GF, ТМК PF, ТМК FMC, NewVAM та ін.) різних виконань і типорозмірів, виникає необхідність у швидкому проектуванні і виготовленні засобів та методик контролю цих з'єднань.

Зокрема, конічні різьбові калібри є основним засобом контролю різьбових поверхонь елементів бурових колон і обладнання, що використовується в процесі нафто- і газовидобутку. Від точності різьбових калібрів залежить герметичність з'єднань а отже надійність і безпека роботи. Специфіка роботи виробів з складнопрофільними поверхнями вимагає контролю їх геометричних параметрів не тільки в процесі виготовлення, але і в період експлуатації. Проблеми виникають під час вимірювання геометричних параметрів інших прецизійних виробів зі складнопрофільними поверхнями: зубчасті колеса різного профілю, залізничні шаблони, черв'ячні фрези і т.д. Ці вироби широко використовуються у виробничих цехах і лабораторіях машинобудівних підприємств, на підприємствах нафтогазового комплексу та металургії.

Швидкий розвиток числових систем керування та їх використання практично в усіх областях діяльності вимагає поглиблення знань та інтенсифікації ознайомлення працівників з принципами функціонування таких систем та здобуття навичок їх практичного застосування. Насамперед це стосується студентів машинобудівних спеціальностей. Гострота питання зу-

мовлена протиріччям між швидким розвитком гнучких автоматизованих виробництв, числового програмного керування, систем CAD/CAM/CAE високого рівня складності, що базуються на використанні мікропроцесорної техніки, та витратами часу для ознайомлення з новітніми інформаційними технологіями і матеріальною базою.

Широка номенклатура CAD/CAM/CAE систем, як універсальних (Cimatron, Pro/JUNIOR, CATIA, UNIGRAPHICS, Pro/ENGINEER), так і спеціалізованих призначених для підготовки керуючих програм для технологічного обладнання (CAM), таких як SmartCAM, Euclid тощо, вимагає визначення доцільності вибору тієї чи іншої системи, спеціальної підготовки працівників та розробки потужного навчального забезпечення. Аналогічна ситуація складається з різноманітними мікропроцесорами, що випускаються такими фірмами, як Microchip, Atmel, Philips, Intel, Philips, Dallas Semiconductor, Temic, Fujitsu, Toshiba, OKI, NEC, Scinex, Motorola, Infineon (Siemens), Texas Instruments, робота з якими потребує вибору специфічного програмного та апаратного забезпечення.

З огляду на літературні джерела, для поглибленого дослідження роботи засобів керування технологічними системами у сучасних умовах найбільш доцільним є використання їх комп'ютерних симуляторів [1, 2, 3, 4].

Симулятор – це засіб моделювання поведінки процесора цільової системи програмним способом. Симулятори уможливають "запуск" програми і дають можливість слідкувати за її виконання. Оскільки моделювання здійснюється програмним способом, програма, природно, виконується не в реальному масштабі часу.

Завдяки низькій вартості симуляторів і відсутності потреби в зовнішньому устаткуванні симулятори стали дуже популярними. Принагідно слід зауважити, що існує цілий клас помилок, які можуть бути виявлені тільки за допомогою симулятора, проте є і помилки, які на симуляторі виявити неможливо.

Практичні навички із розроблення програм для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) можна отримати на вільно поширюваних симуляторах-візуалізаторах NCPlot версії 1.2 (NCPlot Software, LLC, <http://www.ncplot.com>) та CNC Simulator версії 4.53 (<http://www.cncsimulator.com>).

Прорив в області підсистем забезпечення якості продукції відбувся набагато пізніше впровадження систем числового програмного керування технологічним обладнанням. Винайдення контактної вимірювальної давача на початку 70-х років минулого століття здійснив справжній прорив в області розробки координатних вимірювальних машин як промислового стандарту для 3D вимірювань (3 Dimensions – 3 виміри, англ.) [5].

Практично одночасно заговорили і про можливість застосування контактних вимірювань на металорізальних верстатах, проте ця ідея була прийнята найбільшими світовими ви-

робниками верстатів після вдосконалення існуючих на той час систем ЧПК лише всередині 80-х років.

На сучасній координатній вимірювальній машині (КВМ) можна обміряти практично будь-які складні поверхні й деталі, що до появи КВМ не завжди було можливим. Особливою рисою КВМ є об'єктивність контролю. Виданий КВМ протокол результатів вимірів підвищує відповідальність виробничого персоналу за випуск якісної продукції.

Однією з основних переваг КВМ є те, що на ній концентруються операції контролю. На сучасних КВМ з однієї установки деталі можна виміряти всі контрольовані параметри й розміри з п'яти її сторін. Ця властивість значно підвищує продуктивність і оперативність контролю, оскільки відпадає необхідність у транспортуванні деталі, міжконтрольному очікуванні, переустановці й вивірянні на різних приладах.

У разі застосування КВМ не потрібне виготовлення значної кількості спеціального вимірювального оснащення, що важливо при модернізації й оновленні продукції. КВМ дають можливість прискорити підготовку виробництва нового виробу, сприяють підвищенню якості дослідних зразків і дослідних партій виробів [6].

Однак, практичне застосування координатних вимірювальних машин суттєво гальмується рядом факторів: значною вартістю КВМ, жорсткими умовами їх монтажу та експлуатації, потребою у висококваліфікованому обслуговуючому персоналі. Розробка та використання за останні роки безконтактних КВМ, таких як лазерні сканери та лазерні трекери, ще гостріше поставили питання хоча би початкової підготовки до роботи на цьому високотехнологічному обладнанні.

Такі відомі програмні продукти для КВМ, як Unigraphics (зокрема UG/ShapeScan, TECHNOкоорд™, FARO Technologies, Geomagic, Metrologic Group) забезпечують можливість повної симуляції всього процесу вимірювання без використання реальної контактної вимірювальної машини, що дозволяє створити, налаштувати, переглянути план контролю в так званому offline (відключеному) режимі. У разі необхідності цю схему можна запустити на реальній машині з мінімальними змінами. Така функціональність корисна не тільки у навчальних цілях, але й у випадку великої зайнятості координатно-вимірювальної машини (вся основна робота зі створення плану контролю виконується без використання машини). Це також дозволяє уникнути пошкоджень вимірювальної машини, якщо в плані контролю оператором будуть допущені критичні помилки. Однак використання цих "важких" професійних програм у наших навчальних закладах суттєво обмежене з відомих причин.

Аналіз літературних даних та програмних продуктів показав, що однією з небагатьох програм для КВМ, що уможливорює порівняння у навчальному режимі об'ємної CAD-моделі виробу з його фактичними розмірами є система GeoKon (<http://www.labsapr.narod.ru/geocon.htm>).

Система ГеоКон призначена для геометричного контролю виробів складної форми. Контроль здійснюється шляхом порівняння точок обміру виробу з його віртуальною геометричною моделлю. Геометрична модель виробу проектується за допомогою САПР. У разі ручного проектування геометричну модель виробу можна створити за його кресленням за допомогою CAD – системи.

У випадку, коли геометрична модель і точки обміру задані в одній системі координат, з обчисленням відхилень не виникає особливих труднощів. Реально ж конструктор проектує виріб в одній системі координат, а оператор встановлює його на координатно-вимірну машину – в іншій. Відомі два прийоми, що забезпечують поєднання систем координат. Один полягає в тому, що в геометричній моделі і на виробі задаються базові точки (не менше трьох), за допомогою яких відбувається поєднання систем координат. Інший прийом пов'язаний з виготовленням спеціального пристрою для закріплення виробу на КВМ, який забезпечує орієнтацію виробу в системі координат геометричної моделі.

У системі ГеоКон застосоване рішення, що базується на комп'ютерній графіці та математичних методах. На екран дисплею виводяться зображення геометричної моделі і точок обміру. Оператор, переміщаючи і обертаючи геометричну модель за допомогою засобів інтерактивної графіки «грубо» поєднує геометричну модель з точками обміру. При цьому можна встановити вигляд, найбільш зручний для даної операції. Потім оператор запускає процедуру автоматичного суміщення, яка виконує цю операцію з високою точністю.

Після автоматичного суміщення систем координат може бути запущена процедура контролю для обчислення відхилень і обробки результатів, які виводяться на екран у вигляді наочної діаграми відхилень, текстової і цифрової інформації. Потім результати можуть бути виведені на принтер.

Суттєвими недоліками цього симулятора є робота тільки в демо-режимі (без запису результатів вимірювань у файл), а також необхідність у \*.sec файлах, що містять точки вимірювань, отримані на КВМ у ручному або автоматичному режимах, наприклад, поздовжній переріз, поперечний переріз, контур деталі. Серед них принаймні два повинні бути приблизно взаємно ортогональними, що добре передають форму поверхні деталі в двох напрямках. Ці перерізи називаються базовими і використовуються для автоматичного суміщення систем координат. На кожному з них має бути по 20-30 точок.

За наявності комп'ютерної моделі контрольованого виробу sec-файли можуть бути відредаговані вручну:

```
Messen
# 1 Punkt Ref. Sys 1
X -1.4040
Y 101.5560
```

```
Z 55.2080
Messen
# 2 Punkt Ref. Sys 1
X 1.5570
Y 101.5560
Z 57.4240
Messen
# 3 Punkt Ref. Sys 1
X 5.1449
Y 101.5560
Z 59.1240
...
```

При створенні файлів перерізів у відповідні координати вносяться похибки відносно моделі, які потім аналізуються програмою.

Проведені порівняльні дослідження свідчать, що для самостійного створення симуляторів КВМ можна з успіхом використати програмний продукт "ЛогоМиры" (<http://logoworlds.chat.ru/>, <http://logomult.narod.ru/>).

Лого – одна з найбільш доступних мов програмування для персональних комп'ютерів. Це – діалект ЛІСП, мови, що застосовується в складних дослідницьких проектах в області обчислювальної техніки і штучного інтелекту. Лого (англ. Logo) – мова програмування високого рівня, розроблена в 1967 році Сеймуром Паперт і Ідіт Харел в освітніх цілях. Об'єкти Лого – проекти, листи проекту, програмно керовані рухомі "черепашки", робоче поле, текстові вікна, кнопки, бігунки, форми, малюнки, звукові фрагменти, зовнішні мультимедіа об'єкти, що дають змогу імітувати складні об'єкти, в тому числі і КВМ.

Завдяки основним групам команд – управління рухом "черепашки" і управління системою – та розвиненим командам керування рухом "черепашки", до яких відносяться такі команди, як базові команди руху та графіки, команди циклу (повторення), команди процедур (підпрограм), команда вибору (розгалуження), рекурсивні команди, які можуть задаватися як в графічному, так і в текстовому режимах, можна фіксувати координати точок дотику імітатора контактної давача ("черепашки") до довільної кривої на екрані. Ці криві можуть бути як зображеннями "ідеальної", так і "реальної", обробленої, деталі. Математичні примітиви мови уможливають визначення відхилення "реальної" поверхні від "ідеальної".

Розроблені нами програми та наведені нижче фрагменти лого-програм "контакт" та "круг" імітують роботу координатної вимірної машини при вимірюванні координат довільної поверхні відносно встановленої прямої ("контакт") та при вимірюванні діаметра внутрішнього отвору ("круг").

```
это контакт
много_раз [к 1000] [если цп = 0 [вп 1]]
пиши у_коор
пиши х_коор
нов_у 0
нов_х х_коор + 10
```

У наведеному вище фрагменті "щуп" контактного давача – "черепашка" пересувається до моменту дотику кривої, яка імітує оброблену поверхню (колір якої відрізняється від кольору фону), при цьому значення координат точки дотику виводиться у текстовому вікні. Після цього давач пересувається на задану відстань вздовж осі, перпендикулярної напрямку вимірювання, і цикл повторюється. Так формується масив координат контрольованих точок деталі. Якщо необхідно замінити малюнок на конструкторське креслення цієї ж деталі, можна, повторивши процедуру замірів, отримати координати "ідеальної" деталі і визначити величину відхилень.

У фрагменті "круг" імітується стандартна процедура вимірювання діаметра отвору. "Щуп" контактного давача розміщується у довільному місці отвору і переміщується вгору паралельно вертикальній осі У до моменту дотику з лінією отвору; координата точки дотику УУ фіксується і запам'ятовується. Потім "щуп" рухається вертикально вниз до моменту дотику з лінією отвору. Так отримуються координати другої точки хорди УУ1. Після цього розраховується вертикальна координата середини хорди, яка є вертикальною координатою центра отвору, "щуп" переводиться на лінію, що проходить через центр вимірюваної циліндричної поверхні, а повторення аналогічних дій паралельно горизонтальній осі дає значення координат ХХ та ХХ1, за якими розраховується діаметр отвору ДД, значення якого виводиться на екран.

```

это круг
  пусть "УУ 0
  пусть "УУ1 0
  пусть "ХХ 0
  пусть "ХХ1 0
  пусть "ДД 0
  много раз [к 1000] [если цп = 0 [вп 1]]
  пусть "УУ у_коор
  пиши :УУ
  нд 1
  много раз [к 1000] [если цп = 0 [нд 1]]
  пусть "УУ1 у_коор
  пиши :УУ1
  вп 1
  нов_у (:УУ + :УУ1) / 2
  пр 90
  много раз [к 1000] [если цп = 0 [вп 1]]
  пусть "ХХ х_коор
  пиши :ХХ
  нд 1
  лв 180
  много раз [к 1000] [если цп = 0 [вп 1]]
  пусть "ХХ1 х_коор
  пиши :ХХ1
  нов_х (:ХХ + :ХХ1) / 2
  пусть "ДД :ХХ - :ХХ1
  пиши :ДД
  пр 90
  
```

Таким чином, можна констатувати, що симулятори координатних вимірювальних машин, придатні для навчального процесу, ще потребують подальшої розробки, на відміну від симуляторів верстатних систем ЧПК та симуляторів мікропроцесорних систем, однак існуючі мови програмування, зокрема Лого, дають змогу ознайомитись із принципами функціонування КВМ та програмно реалізовувати необхідні цикли вимірювань, візуалізуючи їх виконання. Логічне продовження досліджень та розробок - створення доступних симуляторів промислових, транспортних робіт та складських систем, що дозволить імітувати основні принципи функціонування гнучких автоматизованих систем.

### Література

- 1 Загірняк М.В. Віртуальні лабораторні системи і комплекси – нова перспектива наукового пошуку і підвищення якості підготовки фахівців з електромеханіки [Текст] / М.В.Загірняк, Д.И.Родькін, О.П.Чорний // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2009. – Вип. 2/2009 (6). – С. 2-7.
- 2 Кардашев Г. А. Виртуальная электроника. Компьютерное моделирование аналоговых устройств / Г. А. Кардашев. — М.: Горячая линия – Телеком, 2002. — 260 с. — (Массовая радиобиблиотека; 1251).
- 3 Смаглюк А.К. Використання симуляторів систем керування в навчальному процесі [Текст] / А.К. Смаглюк, А.Г. Панчук // Методика розвитку і саморозвитку педагогічної майстерності педагогів технічних вищих навчальних закладів України: матеріали Всеукр. наук.-метод. конф., Івано-Франківськ, 27 – 29 квітня 2009 р. – Івано-Франківськ: Факел, 2009. – С. 229–232.
- 4 Смаглюк А.К. Використання симуляторів мікропроцесорних систем в навчальному процесі [Текст] / А.К. Смаглюк // Наука – Практика – Освіта: матеріали V міжнародної наук. – практ. конф., Київ, 23 травня 2008 р. – К.: ЗАТ "ДОРАДО", 2009. С. 169–172.
- 5 Контактные измерительные системы для станков с ЧПУ. [Текст] / Технические характеристики. Н-2000-3022-08-А. Renishaw plc., 2001–2006. – 72 с.
- 6 Тихонравов А. В. Разработка информационно-измерительных и управляющих систем координатно-измерительных машин и измерительных роботов. [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.11.16/ Тихонравов Александр Владимирович; Моск. гос. унив. приборостроения и информатики. – М., 2006. – 17 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
12.10.10  
Рекомендована до друку професором  
Ю. Д. Петриною