

ПРОЕКТУВАННЯ ТРАЕКТОРІЙ РУХУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЕЛЕМЕНТІВ СУДНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Задача формоутворення складного геометричного обводу із яких складаються деякі конструктивні елементи суден, дуже часто виконується системами програмного відтворення рухів (СПВР) (серед яких верстати із числовим програмним керуванням (ЧПК)) [1], що виконують зварювальні, механообробні роботи, паяння, розкрій та інші технологічні операції, передбачає проходження робочим органом (РО) заданої просторової (чи площинної) траєкторії із необхідною точністю. У зв'язку з цим виникає потреба у здійсненні програмного руху РО СПВР за складними обводами, що у деяких випадках найдоцільніше описати пласкими дугами кривих другого порядку: колом, еліпсом, гіперболою чи параболою тому, що опис традиційними засобами (лінійна та кругова інтерполяція) не витримує підвищених вимог щодо збільшення точності проведених розрахунків, уникнення значної кількості похибок різного роду, великої кількості розбивань на графічні примітиви та інших факторів, які не дають змогу точно виконувати конкретне технологічне завдання.

Апроксимація обводу дугами кривих другого порядку знадобиться у випадку, коли геометрична модель містить велику кількість округлених ділянок. Виникаюча необхідність у такій делінеаризації викликана особливостями технологій (наприклад, різання металу) та проблемами із керуванням рухом інструмента на коротких відрізках, при яких вирізка складних обводів, що інтерполюються тільки відрізками прямих та дугами кіл, призводила до істотного погіршення якості фактичної траєкторії руху, внаслідок великої кількості ділянок розгонувальмування РО, викликаних декомпозицією профілю на графічні примітиви.

Для реалізації найвищої точності опису еліптичних, гіперболічних та параболічних профілів елементів судових конструкцій, що проектуються, програмне забезпечення (ПЗ) сучасних СПВР повинно містити ефективні алгоритми автоматичної інтерполяції (сформовані на підставі відповідних методів), що легко сполучаються із пристроями керування СПВР, які реалізують просторовий рух РО за спроектованими програмними траєкторіями.

Метою статті є розробка програмного продукту (ПП) автомати-

зованого проектування складних траєкторій руху при виготовленні елементів судових конструкцій, що описуються кривими другого порядку, а також вирішення на цій основі важливого технологічного завдання – підвищення точності проектування формоутворення різноманітних конструктивних профілів, що виконується СПВР.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідне вирішення таких завдань:

розробка обчислювальних процедур побудови складних геометричних обводів;

виконання програмної реалізації обчислювальних алгоритмів формоутворення;

створення інтерактивної системи отримання та обробки графічної інформації, використання якої дозволило б вирішити широкий спектр задач, що пов'язані зі створенням за допомогою ПЕОМ різноманітних геометричних моделей, у тому числі тривимірних геометричних моделей плоского типу.

Безпосередньо перед виконання роботи було проведено аналіз предметної галузі дослідження, яка включає огляд існуючих методів розв'язання траєкторних задач та розгляд різноманітних систем автоматизованого проектування і підготовки даних для створення складних геометричних поверхонь [2]. Насамперед, були піддані аналізу системи та засоби автоматизованого проектування формоутворення й підготовки керуючих програм до СПВР, що використовуються на профільних підприємствах СНД. Це системи від провідних пострадянських і західних розробників: CATIA, Unigraphics, Pro/Engineer, Duct, PowerMill, ProCAM, CADD5, Euclid, Anvill, КРЕДО, ГЕМА-3D, САП-УФА, АРТ, БАПТ, MODAPT, а також пакети Anvil, AutoCAD, "Компас" і багато інших.

Із проведеного аналізу видно, що сучасні ГІС дозволяють реалізувати будь-які закони керування, однак, властивий цифровим обчислювальним пристроям послідовний характер реалізації алгоритмів, ставить вимоги розробки проблемно-орієнтованого програмного забезпечення, заснованого на ефективних обчислювальних методах, при застосуванні яких забезпечуються висока швидкодія і найвища точність опису траєкторій.

Однією з головних умов, що ставиться перед САПР формоутворення деталей – це вирішення проблеми якості векторизації [3]. Інакше кажучи, відчувається потреба у використанні інтерактивних методів одержання векторної моделі, при застосуванні яких користувач задає на екрані монітора набір точок зображення і ряд інших параметрів, що дозволяють керувати процесом інтерполяції одержуваного геометричного обводу і, як наслідок цього, впливати на точність ре-

зультату.

При розгляді САПР з цієї позиції очевидний висновок, що найбільш складні проблеми при створенні САПР пов'язані саме з тими питаннями, які було сформульовано як завдання дослідження.

Слід зазначити, що найбільшими труднощами при реалізації інтерактивних систем є:

- використання методів аналітичної геометрії для опису поверхонь;
- застосування сучасних комп'ютерних бібліотек, що дозволяють маніпулювати із зображенням;

- розробка методів організації архітектури програм і графічного діалогу;

- реалізація спеціальних вимог, висунутих до інтерфейсу.

На підставі виконаного аналізу сформульовано мету роботи, досягненню якої присвячено подані дослідження.

Однією з основних функцій СПВР, що повинні бути реалізовані в процесі відпрацювання завдання, є перетворення впливів, що задають, які сформовані для окремих осей, з однієї системи координат (СК) в іншу [4]. Для багатокординатних верстатів із ЧПК – це перетворення заданих рухів із СК, пов'язаної з деталлю, до СК верстата; для промислових роботів (ПР) – з абсолютної СК (АСК) робота, жорстко прив'язаної до земної СК, у відносну (ВСК), пов'язану із суглобами робота і РО. На цій же стадії процесу відтворення рухів пристрій керування повинен сформувати координати проміжних точок траєкторії заданої точки об'єкта керування або проміжних положень вектора, що відповідає орієнтації РО або деталі. Ця задача вирішується на підставі інформації про координати початкової і кінцевої точок та у вигляді траєкторії або інформації про початковий і кінцевий напрямки вектора, що орієнтує. Це – процедура так званої інтерполяції в СПВР.

На другому етапі, тобто в процесі відпрацьовування впливів, що задають, мають бути реалізовані такі основні функції: знімання інформації про лінійне або кутове переміщення за окремими координатами виконавчих і РО об'єкта; формування керуючих впливів на виконавчі органи за окремими координатами руху об'єкта. Вирішення останньої задачі ґрунтується на інформації про задане і реальне положення об'єкта за окремими координатами; при цьому враховуються динамічні характеристики відтвореного руху, а також виконавчих і РО об'єкта.

Види впливів, що задають, залежать від призначення і режимів роботи СПВР. Через різноманіття режимів роботи СПВР вимоги до них різні. В одних випадках, наприклад, необхідно точне відпрацьовування сигналів, що задають, за окремими координатами руху РО, в інших – точне відтворення самої траєкторії, причому не тільки при русі

з постійною контурною швидкістю, але і з постійним контурним прискоренням.

При здійсненні всебічного аналізу можливостей застосування методу інтерполяції кривими другого порядку в СПВР, як ефективного способу скорочення витрат на проектування й виготовлення елементів судових конструкцій зі складним геометричним профілем, були розкриті такі питання:

розглянуто методи інтерполяції, що застосовуються, на предмет виявлення недоліків і задоволення технологічних вимог сучасного виробництва;

розглянуто здатності пристроїв, що зчитують, з метою встановлення статистичної залежності виникаючих помилок зчитування;

обґрунтовано доцільність застосування інтерполяції кривими другого порядку, ґрунтуючись на перевагах подібної апроксимації відповідних обводів обробки.

Кількість прямих відрізків, необхідних для опису кривої, визначаються тією вимогою, що похибка апроксимації не повинна перевищувати 15 – 20 % усього допуску, встановленого на неточність обробки деталі [5]. Знаходячи шляхи реалізації поставленої умови, розроблювачами систем ЧПК була висунута ідея щодо можливості застосування параболічної інтерполяції для опису складних геометричних обводів.

Для роботи зчитувального пристрою ЧПК характерна наявність однієї помилки на 1 млн. біт інформації. Наприклад, при допуску на точність 3,18 нм для обробки дуги кола радіусом 0,254 м (10 дюймів) при апроксимації прямими необхідно задати на носії 4500 кадрів, у той же час, при використанні параболічної інтерполяції – досить 90 кадрів, що в 50 разів менше. Крім того, параболічний інтерполятор дозволяє виконувати обробку прямолінійних і кругових обводів без зміни в апаратурних засобах СПВР, тобто відбувається автоматичне перемикання, в процесі підбору, найбільш оптимального вигляду інтерполяції, стосовно до конкретної ділянки.

При параболічній інтерполяції заданих гладких обводів деталей, що функціонують в умовах обтікання, виникає задача забезпечення у вузлових точках гладкості першого ступеня, тобто наявності загальних перших похідних. Деталі такої складної конфігурації, що оброблюються СПВР, описуються досить складними аналітичними рівняннями. Крім аналітичного опису профілю деталі або його окремих ділянок, звичайно, задаються координати граничних точок, а самі аналітичні рівняння можуть бути задані як у явній $y = f(x)$, так і в неявній формі $\varphi(y) = f(x)$.

Останнім часом все більше поширення знаходять методи інтерпо-

ляції за допомогою сплайнів та парабол третього ступеня. Однак, вони можуть дати непотрібні флуктуації обводу, тобто умови, коли знак кривизни на ділянці змінюється, що не завжди дає можливість їх застосування. Метод інтерполяції параболою другого ступеня досить точний і менш складний, ніж метод парабол більш високого ступеня. У ряді робіт пропонуються такі алгоритми [2], однак вони мають той недолік, що необхідно визначати аналітичні рівняння апроксимуючих парабол, що ускладнює формування обчислювальних алгоритмів.

Переваги використання інтерполяції кривими другого порядку проілюстровані нижче поданими рисунками. Так, якщо при круговій інтерполяції профілю кулачка (рис. 1) необхідні чотири кола, то при еліптичній – досить лише одного еліпса (рис. 2), у той час як при лінійній – взагалі, число точок розрахункової траєкторії є функцією від довжини кривої та її конфігурації (рис. 3).

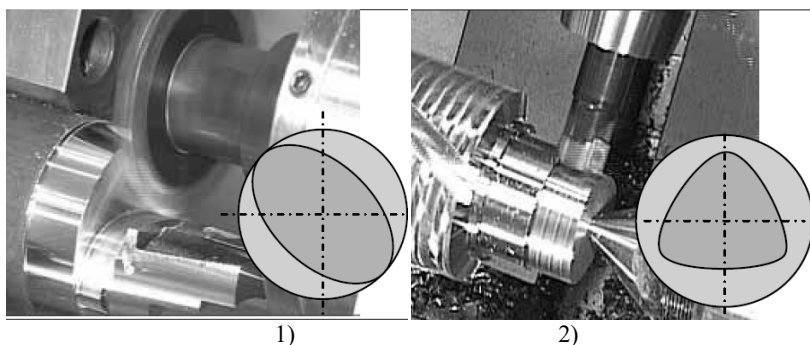


Рис. 1. Фрезерна обробка кулачків, профіль яких представляє:
1) – еліпс; 2) – набір парабол

Практичні дослідження методу інтерполяції кривими другого порядку для СПВР, що включає алгоритмізацію та програмну реалізацію методу, передбачають додавання до вже існуючого ПЗ СПВР, засобу тривимірного проектування, інтерполяції та аналізу, здатного функціонувати у розподіленій комп'ютерній мережі та задовольняти основним вимогам, котрі висовуються при розв'язанні траєкторних задач.

Наведений у [6] метод інтерполяції реалізовано у вигляді ПП автоматизованого проектування та інтерполяції дуги кола для СПВР (ПЗ "ARC"); розроблений у [6] метод інтерполяції дуги кривої другого порядку – реалізовано у вигляді ПЗ "SOCADI". Усі створені ПП повністю пройшли відповідні процедури реєстрації, як об'єкти авторського права [7, 8].

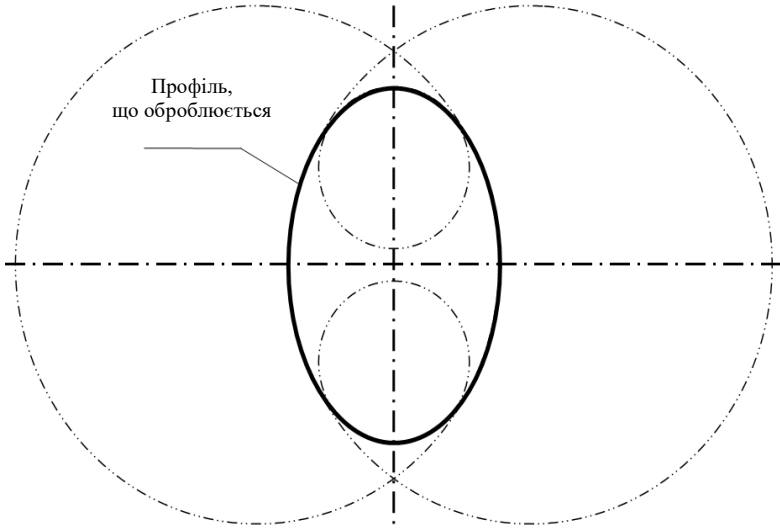


Рис. 2. Кругова інтерполяція еліптичного профілю

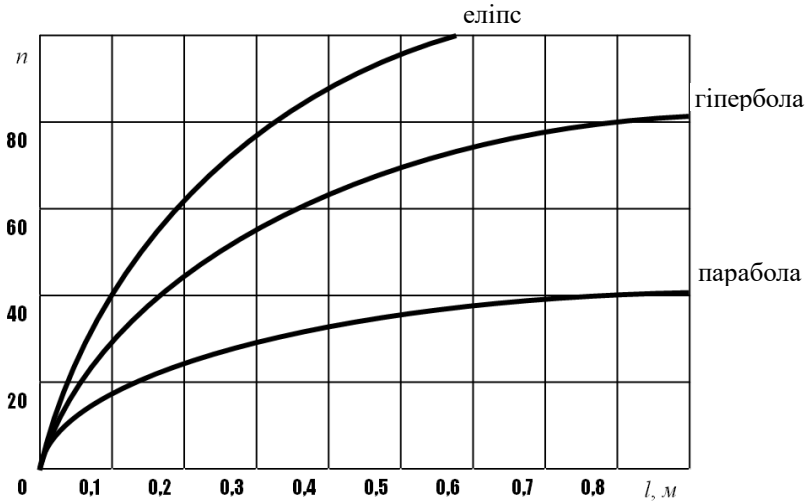


Рис. 3. Залежність кількості точок n від довжини кривої l та її конфігурації при лінійній інтерполяції

ПП доповнено необхідним сервісним математичним забезпеченням і реалізовано у вигляді інтерактивних ПЗ для ПК, що працюють в діалоговому режимі. ПП розроблено стосовно до реальних задач інтерполяції кривих другого порядку на різних ділянках зони обслуговування СПВР, що працюють у прямокутній СК. Дані ПП точно розраховують і наочно відображають у просторі траєкторію руху РО та її проєкції на кожну робочу площину. Інтерфейс ПП повністю відповідає сучасним пристроям введення інформації у СПВР: обвід руху РО відображається за чотирма основними проєкціями, надаючи усі загальноприйнятні точки огляду, до яких звикли конструктори і технологи, а елементи керування виконані згідно з діючими стандартами.

Алгоритм інтерполяції дуги кривої другого порядку (сформований на основі відповідного методу і по суті написаний "поверх" ПЗ "ARC", однак, з істотно більш гнучкою процедурою аналізу геометрії обводу), зведений до вигляду ПЗ "SOCADI". Скріпти програм написані із використанням компіляції текстового режиму програмної системи MATLAB. Програми повністю готові до використання, вони дозволяють виконувати інтерполяцію дуг кривих другого порядку і практично реалізувати програмне керування рухом за кожною прямокутною координатою переміщення РО СПВР.

За допомогою убудованого в MATLAB редактора графічних інтерфейсів "GUI", була виконана графічна обробка розрахованих результатів роботи ПЗ "ARC" і "SOCADI". При створенні графічних вікон відображення результатів були сформовані (за допомогою внутрішніх функцій "GUI"), вікна введення початкових даних (рис. 4).

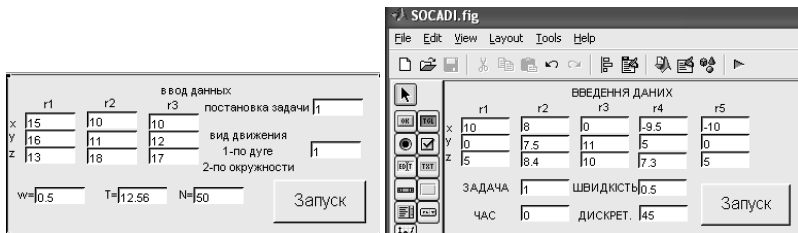


Рис. 4. Сформовані вікна уводу початкових даних ПЗ "ARC" та ПЗ "SOCADI"

Після заповнення усіх необхідних полів уводу технологічних даних, відбувається побудова аксонометричної проєкції дуги кривої другого порядку, що інтерполюється, в АСК (для неї сформоване основне вікно); проєкцій дуги на три декартових площини та вигляду дуги у ВСК. Наведену структуру інтерфейсу, з усіма необхідними зв'язками між вікнами і командами побудови зображень необхідних

проекцій, зведено, відповідно, у файли *Arc.fig* і *Socadi.fig*, що запускаються у режимі командного рядка.

На рис. 5 наведено наочні приклади графічної побудови траєкторії руху РО СПВР у вікні відображення результатів роботи ПЗ "ARC" і ПЗ "SOCADI".

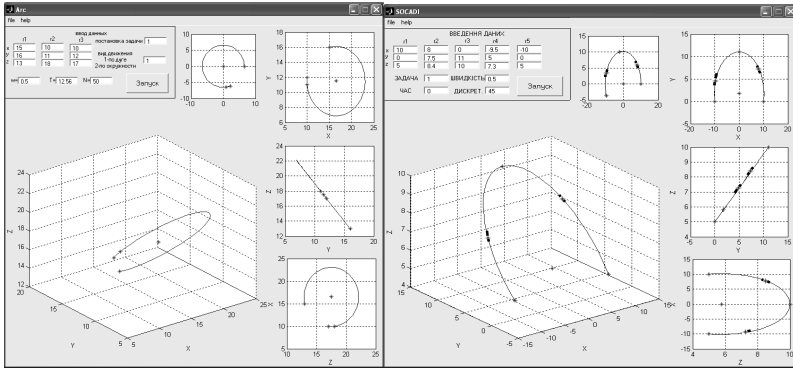


Рис. 5. Наочні приклади побудови траєкторії руху РО СПВР у вікні відображення графічних результатів роботи ПЗ "ARC" та ПЗ "SOCADI"

Слід зазначити, що під час перевірки та у процесі тестування даних програмних продуктів було розраховано й проаналізоване на вірність побудови: більш 80 різноманітних варіантів розташування вихідних точок – для ПЗ "ARC" і більш 240 – для ПЗ "SOCADI".

Таким чином, при вирішенні практичних задач дослідження, було розроблено зручні інтерактивні ПП, за допомогою яких СПВР виконуються інтерполяції дуг кривих другого порядку, стосовно до завдань автоматизації проектування складних траєкторій руху технологічного обладнання при виготовленні елементів конструкції суден.

Результати досліджень реалізовано у вигляді розробленого програмно-методичного комплексу, який створює основу для розробки інструментальних засобів автоматизованого проектування заданого технологічного процесу, що виконується СПВР разом із САПР.

Методи та моделі розв'язання завдань проектування реалізовані програмно. У процесі тестування та випробувань вони показали свою працездатність і ефективність на конкретних прикладах розв'язання завдань автоматизованого проектування та інтерполяції заданих складних геометричних обводів конструктивних елементів.

Створено інтерактивну графічну систему одержання зображення формоутворення, яка відрізняється від існуючих інтегрованих САПР-додатків побудови геометричних моделей обводів тим, що траєкторія

руху РО інтерполюється відразу кривою (без наближень), що гарантує підвищену точність розрахунків та скорочення термінів проектування.

При практичному застосуванні ПП вихідні дані можуть бути задані в ході розв'язання зворотної задачі кінематики або визначені інженером-технологом аналітично. Додатково у ПП передбачено необхідні коментарі відносно їх роботи, перевірки коректності завдання вихідних даних та умов фізичної реалізації сформованої траєкторії руху РО СПВР.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Великодний С.С. Аналіз динамічної точності дволанкового маніпулятора промислового робота / С.С. Великодний // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2005. – Вып. 130. – С. 82 – 85.

2. Невлюдов И.Ш. Обзор методов интерполяции геометрических контуров в составе автоматизированного проектирования сложных обрабатываемых профилей / И.Ш. Невлюдов // Технологии приборостроения. – 2008. – №1. – С. 3 – 9.

3. Петунин А.А. Автоматизация проектирования и изготовления малых архитектурных форм типа "решётка" / А.А. Петунин // Архитектон. – 2006. – № 16. – С. 32 – 38.

4. Бормалев С., Червонных С. Практическое применение EDS Unigraphics в авиационной промышленности / С. Бормалев, С. Червонных // Открытые системы. – 1997. – № 2. – С. 43 – 46.

5. Дихл Б. О подходах к выбору САМ/САМ-системы / Б. Дихл // CNC Machining Magazine. – 2001. – № 3. – С. 18 – 34.

6. Невлюдов И.Ш. Метод интерполяции геометрических контуров кривыми второго порядка в составе автоматизированного проектирования сложных профилей обработки / И.Ш. Невлюдов, С.С. Великодний // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Вып. 156. – Харьков, 2009. – С. 268 – 278.

7. Свід. про реєстр. авт. пр. на тв. № 25341 / Програмний засіб автоматизованого проектування та інтерполяції дуги кола для систем програмного відтворення рухів (ПЗ "ARC") / С.С. Великодний (Україна); зареєстр. 15.08.2008.

8. Свід. про реєстр. авт. пр. на тв. № 27746 / Програмний засіб автоматизованого проектування та інтерполяції дуги кривої другого порядку для систем програмного відтворення рухів (ПЗ "SOCADI") / С.С. Великодний (Україна); зареєстр. 20.02.2009.