

doi: 10.32620/oikit.2026.107.06

УДК 629.735: 658.51.4

І. М. Лисоченко, І. В. Бичков,
С. М. Рябіков, М. І. Бичков,
Г. С. Селезньова

Формування процесу інформаційного супроводу виготовлення деталей на обладнанні з ЧПУ в умовах сучасного виробництва

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

Історично з розробкою Гаспаром Монжем мови нарисної геометрії з'явилася основа для опису просторових об'єктів за допомогою площинних (двовимірних) проєкцій, що стало фундаментом формування креслення як основного документа для всіх виробів машинобудування. Бурхливий розвиток комп'ютерної техніки в останні десятиліття призвів до створення та впровадження на машинобудівних підприємствах CAD/CAM-систем, в основі яких лежить аналітична геометрія. Цьому процесу сприяли можливості нових систем розробляти об'єкти виробництва безпосередньо в тривимірному просторі, що виявилось надзвичайно привабливим для авіабудування та інших наукомістких галузей при проектуванні та передачі у виробництво складнофасонних об'єктів. Особливий ефект спостерігався, коли виготовлення об'єкта здійснювалося на обладнанні з ЧПК. Проте проблема полягає в тому, що крім геометричної форми необхідна інформація про технологічні та конструктивні особливості виробу. Раніше така інформація передавалася за допомогою певних правил виконання креслення та технічних умов, зазначених на ньому ж. З цієї причини більшість підприємств після розробки виробу в середовищі CAD/CAM організували формування відповідних креслень, оскільки можливості систем це дозволяли. Таким чином опис об'єктів виробництва здійснюється двома мовами, що на практиці призводить до численних проблем. Значно зростає трудомісткість супроводу об'єкта виробництва двома мовами. У представленій статті описано основні аналітичні моделі та їх зв'язки з об'єктом виробництва, обладнанням і пристосуваннями для здійснення переходу на мову аналітичної геометрії при супроводі виготовлення деталі на обладнанні з ЧПК.

Ключові слова: технологічне підготування виробництва; аналітичний еталон деталі; аналітичний портрет деталі; модель процесу виготовлення деталей; механічне оброблення; CAD/CAM системи; устаткування з ЧПК.

Вступ

Формування інформаційного простору забезпечення виробництва на обладнанні з ЧПУ на підприємствах машинобудування, крім еталонних моделей об'єкта виробництва, інструменту, пристосування, обладнання, моделей процесу виготовлення деталей, їх відповідних портретів для організації процедур контролю, передбачає необхідність виділення горизонтальних і вертикальних інформаційних потоків для організації раціонального виробничого процесу.

Стан питання

З середини минулого століття в цехах авіаційної, суднобудівної, автомобільної та інших галузей у відповідь на зростаючі потреби в підвищенні ефективності, точності та можливості виготовлення складнофасонних виробів почалося застосування обладнання з ЧПК. Це згодом вимагало зміни мови опису об'єкта виробництва — з мови нарисної геометрії на мову аналітичної геометрії, заснованої на математичному описі об'єкта за допомогою координат, сплайнних

кривих і поверхонь тощо. Така постановка задачі потребувала розробки нових форм передачі необхідної технологічної інформації [1].

З кінця XVIII століття виріб у нарисній геометрії описувався за допомогою його двовимірних проекцій — тобто креслення. За цією інформацією виготовлявся як сам виріб, так і, за потреби, відповідна оснастка. Наприклад, для виготовлення обтічника законцовки крила літака створювали дерев'яні або склопластикові моделі, за якими в певних перерізах формували шаблони, а потім — матриці. Такий підхід вимагав значних витрат часу — від кількох тижнів до місяців лише на виготовлення оснастки. Точність виробу залежала від точності креслення, кваліфікації робітників. Ці та багато інших факторів інформаційного забезпечення виготовлення авіаційних виробів мовою нарисної геометрії, зокрема плазово-шаблонний метод, вносили похибки від 0,1 до 1 мм. Крім того, виготовлення складнопрофільних поверхонь (наприклад, аеродинамічних обтічників законцовок крила) — дуже трудомісткий процес, а будь-яка зміна конструкції означала повну заміну оснастки, що займало тижні [2].

З появою CAD/CAM-систем об'єкт виробництва став описуватися аналітично — через координати контрольних полігонів, рівняння кривих (NURBS, B-spline) і поверхонь. Замість креслення з'явився аналітичний еталон деталі, який є єдиним джерелом інформації про об'єкт виробництва [1], базою якого є не двовимірна проекція, а еталонна геометрія об'єкта, побудована інструментами аналітичної геометрії CAD/CAM-систем.

Цілі та завдання

Метою цієї статті є практичне застосування аналітичного еталона для виконання технологічної підготовки виробництва (ТПВ) силового елемента конструкції ЛА та процесу його виготовлення на обладнанні з ЧПК.

На етапі конструкторської підготовки ЛА, крім розробки геометрії всіх деталей, що входять до вузлів та агрегатів, необхідно для кожної з них надати інформацію про вимоги до точності, шорсткості, покриття поверхні, допусків відхилень для забезпечення виконання деталлю своїх функціональних призначень. Для інформаційного супроводу технологічного процесу необхідно сформувати аналітичний еталон деталі (АЕд), який для силового кронштейна включає: аналітичний еталон геометрії (АЕг), аналітичний еталон шорсткості поверхонь (АЕш), аналітичний еталон покриттів (АЕп) та аналітичний еталон функціональної точності (АЕфт) (Рис. 1)

У такому вигляді розробники конструкції надають інформацію про еталон майбутнього об'єкта виробництва, і ці моделі описують статичний стан готового виробу [1]. На етапі технологічної підготовки виробництва необхідно описати способи і методи перетворення вихідного матеріалу, заготовок, комплектуючих з метою отримання об'єкта, що відповідає наведеним моделям стану. При розробці ТП якраз і проектується процес зміни об'єкта виробництва в часі, що повинно привести до формування докладної моделі всіх процесів зміни (наприклад, заготовки) для його опису і збереження в аналітичному еталоні виробу (АЕв). Очевидно, що моделі, які описують зміну об'єкта в часі, не можна віднести до статичних, оскільки вони належать до динамічного типу моделей і повинні мати відповідну форму подання інформації [3].

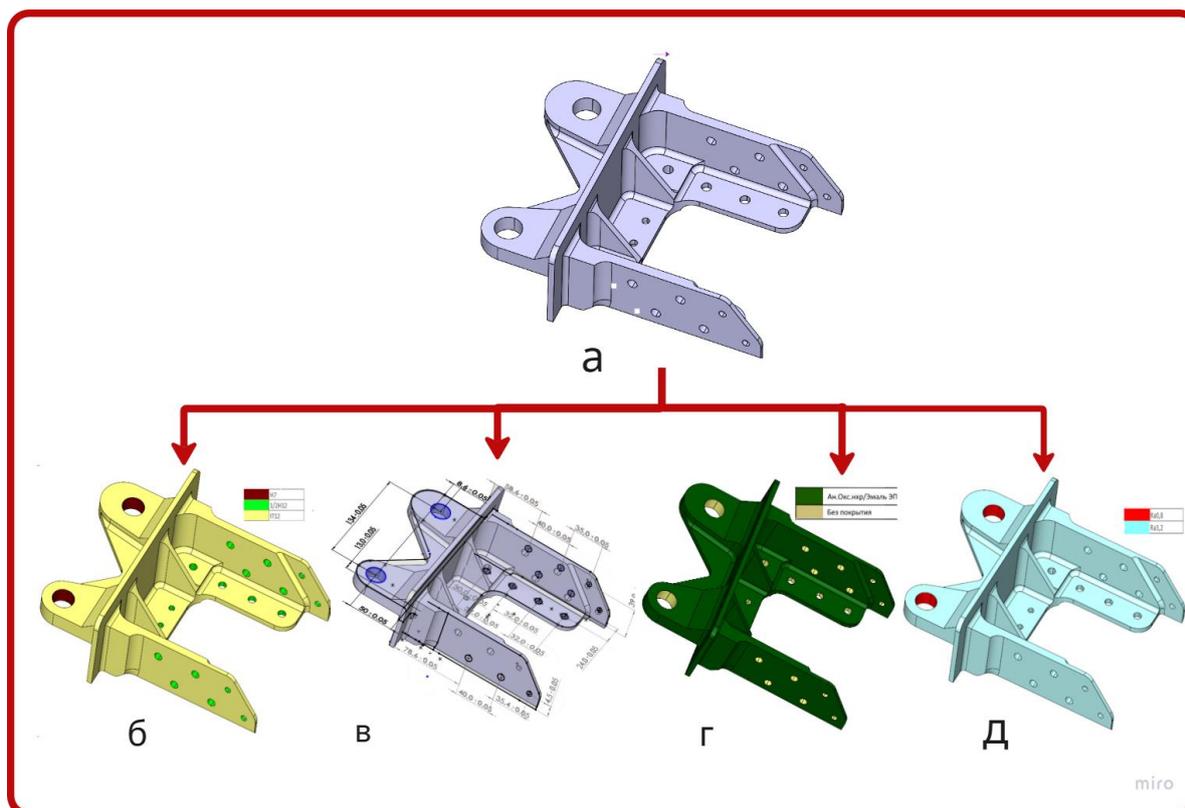


Рис. 1. Формування аналітичного еталону деталі на основі аналітичної еталонної моделі геометрії (а): б – еталонна модель допусків; в – еталонна модель функціональної точності; г – еталонна модель покриттів; д – еталонна модель шорсткості

Отримані результати

Технологічна підготовка виробництва включає проектування технологічного процесу та спеціального технологічного оснащення, виготовлення оснастки, розробку матеріальних і трудових норм, проведення дослідницьких та експериментальних робіт із новими технологіями й оснащенням, розробку планів-графіків ТПВ, впровадження запроєктованих процесів, нормалізацію та уніфікацію технологічного оснащення. У деяких випадках виникає потреба в реконструкції та технологічному переплануванні цехів та ділянок, підготовці кадрів нових професій [4].

У процесі досягнення поставленої мети в умовах досвідного виробництва було виявлено та реалізовано низку операцій з використанням аналітичних еталонів для ефективної технологічної підготовки та виготовлення виробу на верстатах з ЧПК, що детально показано на блок-схемі (Рис. 2).

Аналіз заходів технологічної підготовки дозволив дійти висновку про домінуюче значення процесів формоутворення, які можуть бути реалізовані шляхом вирішення прямих і зворотних задач. Вирішення прямої задачі формоутворення передбачає виготовлення деталі за інформацією її АЕд (Рис. 2, блок 5).

Дослідження реалізації такого завдання дозволило виявити значну сукупність процедур, які за своєю постановкою не можуть бути віднесені до прямих завдань [5]. При цьому спостерігається їх функціональний та

інформаційний зв'язок із зворотними задачами.

Технологічний процес повинен містити опис змін об'єкта виробництва в часі, що означає розробку моделей формоутворюючих процесів зміни заготовки до отримання деталі, виконання технологічних вимірювань для отримання її портрета та порівняння з АЕд в рамках процедур контролю.

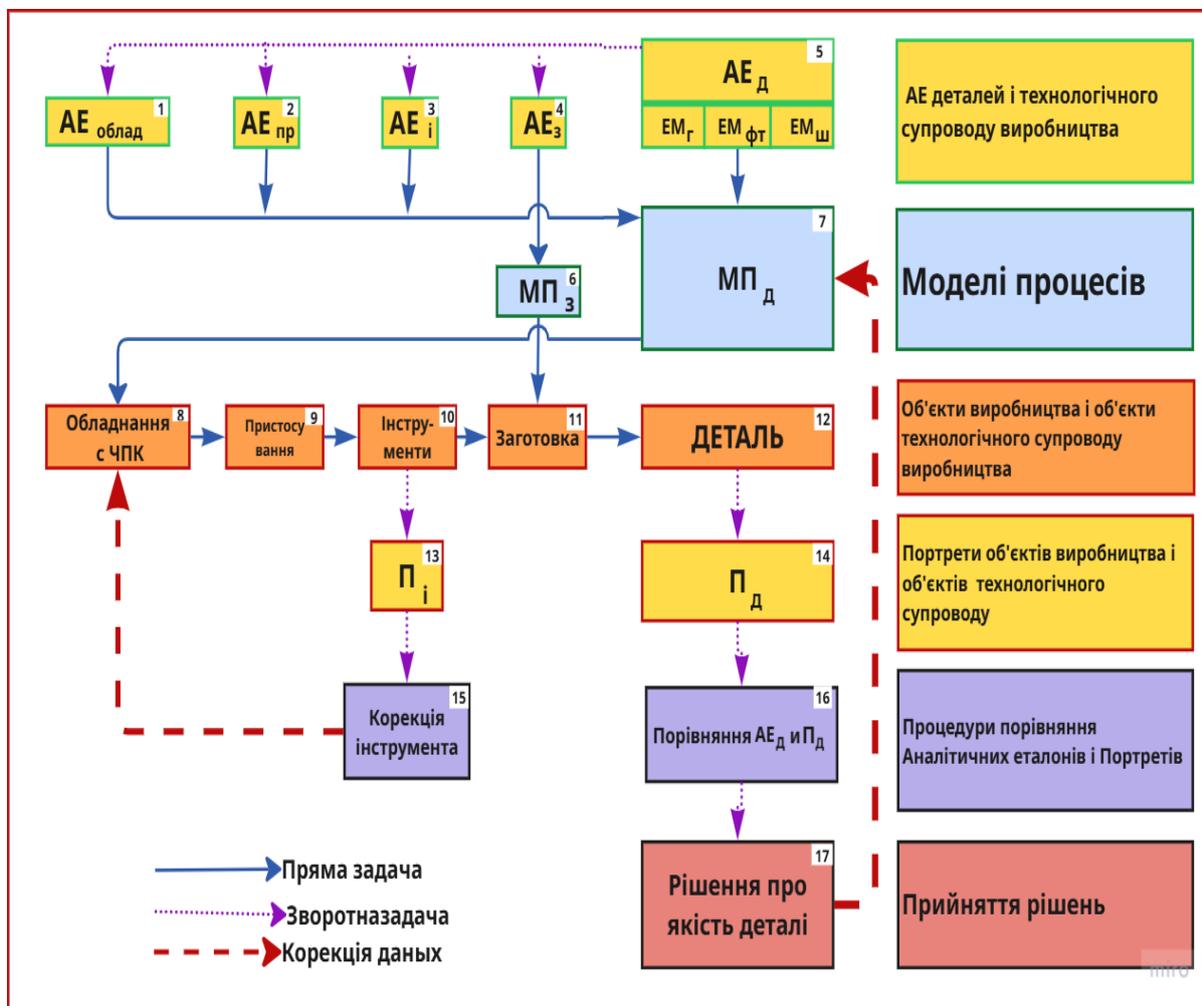


Рис. 2. Блок-схема інформаційного супроводу процесу ТПП і виготовлення деталі на обладнанні з ЧПУ

При проведенні технологічної підготовки за інформацією аналітичних еталонів деталі (АЕд) та інструменту (АЕі) реалізується побудова траєкторії інструменту і спільно з режимними параметрами формується модель процесу виготовлення деталі (МПд). У сучасних умовах це завдання вирішується з використанням середовища CAD/CAM-систем. Її змістовна частина відображається в технологічному процесі, а при використанні обладнання з ЧПУ МПд оформляється у вигляді послідовності керуючих програм (КП). При розрахунку КП моделі АЕоблад, АЕпр, АЕз, АЕі визначають геометрію зони переміщення інструменту і обмеження траєкторії в цій зоні. Ці моделі можуть бути імпортовані і з іншої CAD/CAM системи, що дозволяє спростити процедуру їх побудови та аналізу функціонування всієї системи формоутворення, скоротити трудомісткість ТПП.

Перший етап прямої задачі формоутворення зводиться до отримання заготовок за інформацією АЕз. Для реалізації цього завдання з використанням, наприклад, механічної обробки вибирається обладнання, інструмент, спосіб кріплення матеріалу в стані поставки (Рис. 3) розробляється модель процесу отримання заготовок (блок 6 – МПз). Закінчення виконання МПз означає вирішення прямої задачі формоутворення отримання заготовок (блок 11).

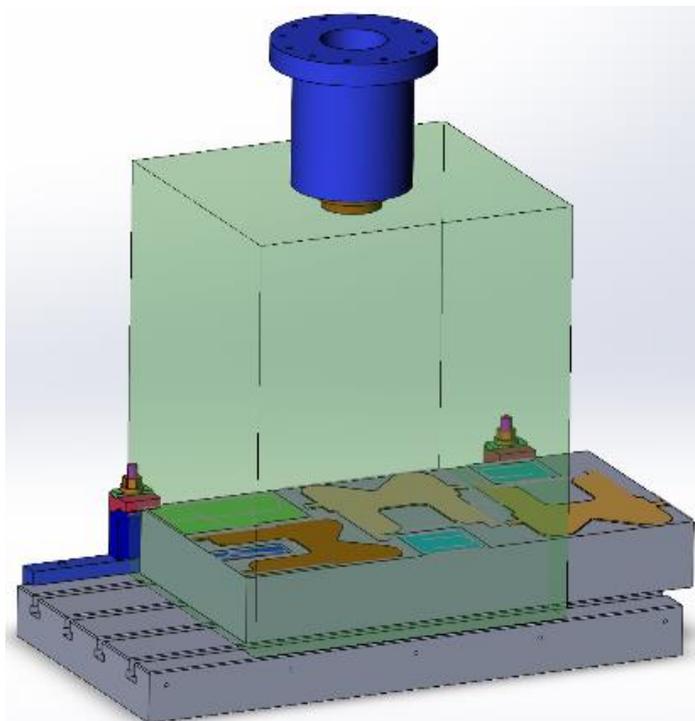


Рис. 3. Узгодження обладнання, способів кріплення матеріалу в стані поставки

Вибір формоутворюючого обладнання (Рис. 2, блок 1). При розробці ТП виготовлення деталі механічною обробкою (МПд) необхідна інформація про габарити робочої зони верстата, потужність головного приводу і частоти обертання шпинделя, діапазон швидкостей приводів подач залежно від провідного геометричного параметра (ширини столу – для верстатів фрезерно-свердлильно-розточувальної групи, максимального радіуса або висоти центрів для токарної групи тощо). Об'єднання всієї цієї інформації в один об'єкт призводить до формування аналітичного еталону одиниці обладнання (АЕоблад), який об'єднує геометричну модель з експлуатаційними характеристиками (Рис. 4).

З іншого боку, використання таких моделей для всього обладнання, що експлуатується на підприємстві, дозволяє реалізувати його вибір на етапах ТПП, що дозволяє обмежити ряд придатного до застосування обладнання за результатами процедури порівняння параметрів. Тому вибір робочих параметрів обладнання за результатами зіставлення їх з інформацією АЕз віднесено до зворотних завдань формоутворення. Розробка геометричних моделей верстатів, як правило, не вимагає багато часу, оскільки в багатьох CAD/CAM системах вже сформовані бази з моделями найбільш популярних схем верстатів.

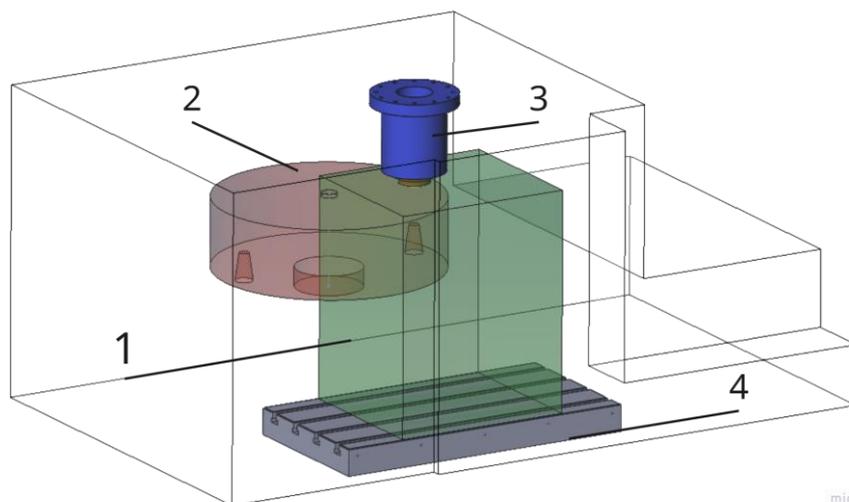
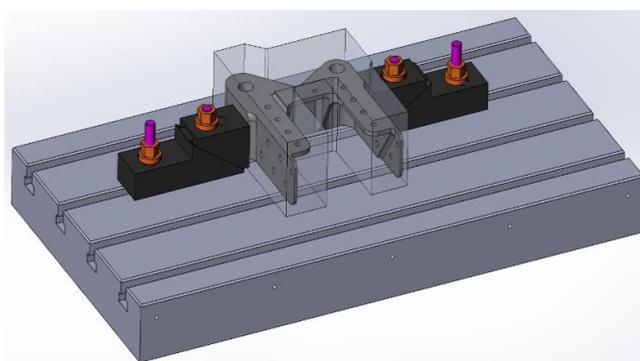


Рис. 4. Аналітичний еталон геометрії обладнання: 1 – модель робочої зони; 2 – модель магазину інструментів; 3 – модель шпинделя; 4 – модель столу

Вибір інструменту (Рис. 2, блок 3). Процес полягає в співставленні АЕд і АЕі для виявлення придатності останнього до виконання формоутворюючої операції. Оскільки виконання співставлення за процедурою відповідає контрольним операціям при порівнянні двох моделей (еталона і портрета), то вибір інструменту віднесений до зворотних завдань формоутворення. При вирішенні цієї задачі вихідною інформацією є моделі АЕз, АЕд і АЕоблад.

Вибір пристосування для кріплення заготовки (Рис. 2, блок 2) Аналітичний еталон пристосування (АЕпр) служить для опису базування і фіксації заготовки в процесі обробки. В результаті зіставлення АЕз і моделі пристосування (АЕпр) відбувається виявлення придатності останнього для усунення всіх ступенів свободи заготовки в процесі формоутворення. В результаті виконується аналіз можливих варіантів, здійснюється вибір раціонального оснащення для подальшого використання (Рис. 5).



а



б

Рис. 5. а – аналіз варіантів і вибір раціонального АЕпр, б – використання обраних пристосувань для установки заготовки

Отримання заготовки (Рис. 2, блок 4) Побудова аналітичного еталону заготовки (АЕз) виконується послідовним додаванням до АЕг знятого матеріалу, починаючи з останньої формуючої операції технологічного процесу і її остаточного переходу. Отримання моделі заготовки перед фінішною операцією здійснюється шляхом додавання до АЕг матеріалу, знятого на фінішних операціях, включаючи формування мікрорельєфу поверхні (Рис. 1). Таким же чином поступають в процесі розробки інших технологічних операцій – в зворотному порядку їх виконання при формоутворенні. Додаючи товщину знятого матеріалу на першій технологічній операції, отримуємо еталон заготовки для виконання першої формуючої операції. На підставі цієї інформації в середовищі CAD/CAM систем формується АЕз. Наведені міркування не дозволяють завдання отримання АЕз віднести до прямих завдань формоутворення, оскільки в процесі її вирішення всі операції виконуються в зворотному порядку і замість механічного видалення матеріалу відбувається його нарощування. Тому отримання АЕз за інформацією АЕг деталі віднесено до зворотних завдань формоутворення.

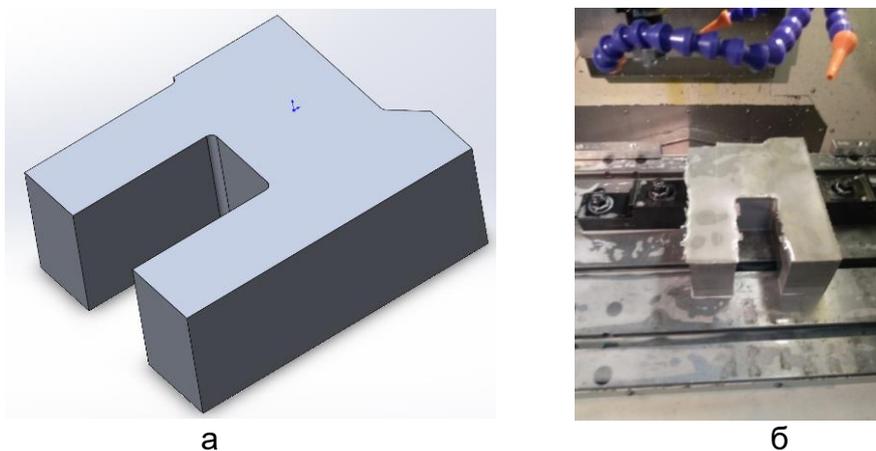


Рис. 6. а-Аналітичний еталон заготовки; б-встановлена заготовка

Створення маршрутно-супровідна карти. Кожен виріб у процесі свого виробництва проходить певний маршрут від заготівельних операцій до остаточного складання та випробувань виробу. Маршрутно-супровідна карта (МСК) – це короткий опис всіх технологічних операцій у послідовності їх виконання із зазначенням цехів або одиниць обладнання, в яких вони відбуваються. МСК використовується для супроводу партії виробів по всьому технологічному ланцюгу, фіксує виконання операцій, контроль якості, переміщення між ділянками, підписи виконавців і контролерів. Таким чином, для побудови МСК виготовлення деталі необхідне зіставлення інформації про виріб і формуючі можливості обладнання, інструменту, пристосувань з урахуванням планувань цехів. тобто АЕд, АЕпр, АЕоблад, АЕі та планування робочих місць цехів.

Виготовлення деталі. (Рис. 2, блок 4) Вирішення сформульованих зворотних завдань формоутворення дозволяє забезпечити інформаційний супровід самого процесу формоутворення і процедур контролю для прийняття обґрунтованого рішення про якість деталей. Це, в свою чергу, дозволяє приступити до розробки моделі процесу отримання деталі (Рис. 2, блок 7 – МПд)

для чого використовуються моделі АЕД, обладнання (АЕоблад – Рис. 2, блок 1), пристосувань (АЕпр – Рис. 2, блок 2) та інструменту(АЕі – Рис. 2, блок3).

Модель процесу (МП) починають формувати виходячи з опису відомого, статичного стану виробу (СВ) в певний момент часу (або певній фазі процесу):

При виборі способів і методів організації процесу застосовується досвід минулих аналогічних робіт з обов'язковим урахуванням змінених умов для оцінки ймовірності отримання позитивного результату. Якщо ця ймовірність недостатня для постановки даного завдання, необхідно залучення додаткової інформації про минулий досвід, знаходження способу найбільш доцільного проведення процесу в наступний стан об'єкта, що відповідає відомому, еталонному. Опис переходу з СВ_i в СВ_{i+1} є моделлю цього процесу, який визначається як

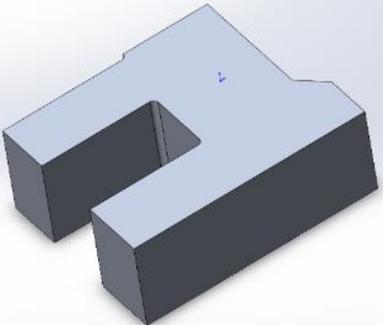
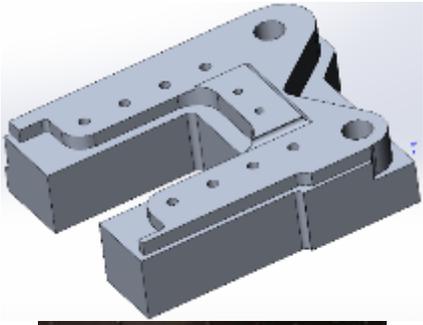
$$МП_i = СВ_{i+1} - СВ_i. \quad (1)$$

Якщо в якості обладнання обрано верстат з ЧПУ, то значна частина МП_д полягає в розробці керуючих програм (КП). При цьому необхідно забезпечити задану геометрію поверхонь, їх мікрорельєф, функціональну точність Рис. 2, блок 5.

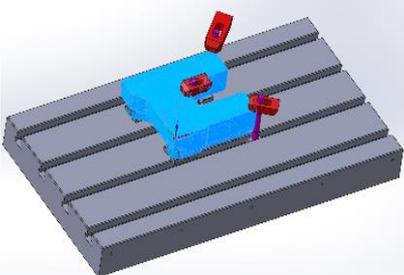
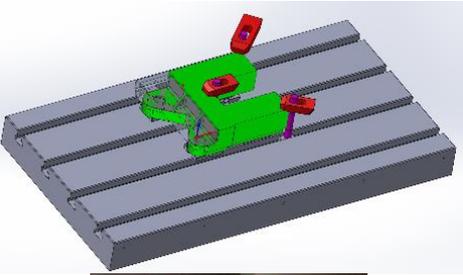
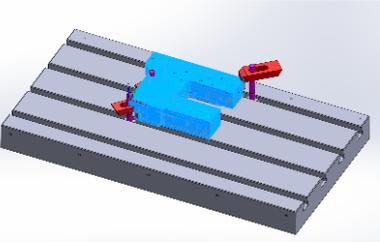
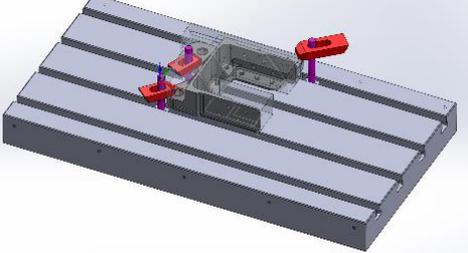
Модель процесу формується в середовищі CAD/CAM систем і генерацію необхідної документації, наприклад, технологічних карт можна адаптувати під стандарти підприємства. Трудомісткість виконання такої процедури незначна.

Таблиця 1

Модель процесу формоутворюючих операцій технологічного процесу і результат їх виконання.

Зміст переходів		Еталонні моделі та реальні зразки виробу, пристосування та обладнання	
		Початок операції (програми)	Кінець операції(програми)
06	Фрезерова-ти за програмою №1 Ф30R10	 	 

Продовження таблиці 1

Зміст переходів		Еталонні моделі та реальні зразки виробу, пристосування та обладнання	
		Початок операції (програми)	Кінець операції(програми)
07	Фрезерувати за програмою №2 Ф30R10	 	 
08	Фрезерувати уступи колодцев за програмою №7 Ф30R10	 	 

Виготовлення деталі виконувалося на обробному центрі SPINNER VC 450.

Після того як деталь виготовлена, слід вирішити зворотні завдання формоутворення з метою виконання контрольних операцій виготовленої деталі. На стадії виробництва виріб може відрізнятись від вимог АЕд. Це пов'язано з браком і відхиленнями від еталону. Для збереження інформації про виріб, що виготовляється, створюється його портрет.

Портрет – аналітична модель або їх сукупність, що описує стан конкретного

виробу або його систем за результатами процедури контролю. [6]. Оскільки портрет виробу формується в результаті контрольних операцій, то на всіх відповідальних етапах виробництва виробу повинна виконуватися умова забезпечення якості:

$$|П_i - АЕд_i| < \Delta_i \quad (2)$$

де Δ_i – допустиме відхилення стану i -го виробу

Невиконання цієї умови на етапі виготовлення виробу класифікується як виробничий брак з подальшим виконанням відповідних процедур. Порушення умови (2) на етапі випробувань призводить до доопрацювання виробу, а на етапі експлуатації до необхідності виконання ремонтних робіт або ж регламентних робіт, що запобігають подібним відхиленням

Застосування тактильного контролю на верстаті дає можливість скоротити ланцюжок процесів і мінімізувати допоміжні нецінні дії [7]. Загальна критика використання тактильних вимірювальних систем для забезпечення якості полягає в передбачуваній нижчій точності в порівнянні з координатними вимірювальними машинами[8]. Однак в [9] доведено, що тактильний контроль на верстаті може відповідати точності звичайних координатних вимірювальних машин.

За допомогою тактильної головки (BLUM TC50) визначаються координати точок на поверхні деталі для побудови портрета деталей (Пд) (Рис. 2, блок 14) в інформаційному просторі CAD/CAM системи. (Рис.7)

Для реалізації процедури контролю (Рис. 2, блок 16) необхідно виконати порівняння АЭд и Пд. Виконання цієї процедури дозволяє прийняти рішення про якість деталі (Рис. 2, блок 17).



Рис. 7. Застосування тактильної головки для визначення координат точок на поверхні оброблюваної деталі

Оскільки при обробці використовувалася система контролю геометрії інструменту, це дозволяло отримувати портрети інструменту (Пі) в процесі формоутворення (Рис. 2, блок 13), що давало змогу вносити корекцію при обробці на радіус інструменту. Для реалізації процедури вимірювання довжини і радіуса фрези використовувався контактний вимірювальний зонд Blum TC54-20 (Рис. 8).



Рис. 8. Контактний вимірювальний зонд Blum TC54-20 і його застосування для вимірювання діаметра фрези в процесі обробки

Висновки

Розроблено та представлено аналітичний еталон кронштейна (АЕд), який охоплює комплексну систему моделей: аналітичний еталон геометрії з вказівкою матеріалу, еталонну модель допусків, еталонну модель функціональної точності, еталонну модель покриття та еталонну модель шорсткості поверхні. Наявність цього набору моделей забезпечує повноцінну передачу необхідної інформації до виробничих підрозділів, усуваючи прогалини в традиційному документообігу.

На основі даних аналітичного еталона деталі (АЕд) створено аналітичний еталон заготовки (АЕз), що дало змогу обґрунтовано обрати обладнання, пристосування та інструмент. Далі сформовано відповідні аналітичні моделі для розробки моделі процесу виготовлення заготовки з плити (МПз) та моделі процесу виготовлення деталі (МПд) у середовищі CAD/CAM-систем. Завдяки наявності описаних еталонних моделей вдалося повноцінно підготувати виробництво кронштейна та надати оператору верстата з ЧПК весь необхідний інформаційний пакет.

Під час виготовлення кронштейна та після завершення окремих операцій проводилися вимірювання за допомогою тактильної головки BLUM TC50, що дозволило побудувати портрет деталі (Пд) або виконати контрольні процедури без зміни базування деталі. Такий підхід забезпечує безперервний моніторинг геометричних параметрів безпосередньо в робочій зоні верстата.

Для реалізації вимірювання довжини та радіуса фрези застосовувався

контактний зонд Blum TC54-20, що дало можливість отримувати актуальний портрет інструмента в процесі обробки та вносити відповідні корекції безпосередньо в модель процесу виготовлення деталі (МПД). Це забезпечує компенсацію зносу інструмента та підвищення стабільності розмірів.

Надання оператору верстата повного комплексу наведеної інформації дозволяє суттєво підвищити якість виготовлення та продуктивність обладнання. Водночас для широкого впровадження подібних процедур на підприємстві необхідно розробити та затвердити відповідний стандарт підприємства, який регламентував би формування, використання та оновлення аналітичних еталонів і моделей процесу.

Використання цієї інформації створює можливість вирішення багатьох завдань з обслуговування формоутворюючих систем, постачання та логістики інструментом і пристосуваннями, розробки матеріальних і трудових норм, проведення робіт з розробки планів-графіків ТПП, впровадження спроектованих технологічних процесів, стандартизації та уніфікації технологічного оснащення, модернізації обладнання.

Представлений підхід також дозволяє формувати завдання щодо застосування штучного інтелекту для автоматизації розробки технологічних процесів, чого явно не вистачає в інформаційних системах, що експлуатуються на підприємствах.

Перехід до аналітичних еталонів є не просто переходом від нарисної геометрії до аналітичної, що підвищує інформативність ТПП, але дозволяє досягти високої точності обробки, скоротити терміни ТПП і забезпечити технологічність при виробництві складнопрофільних деталей.

Список літератури

1. Формування елементів інформаційного простору для забезпечення механної обробки деталей в літакобудуванні / І. В. Бичков, І. М. Лисоченко, М. І. Бичков, С. М. Рябіков [та ін.] // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. Нац. аерокосм. ун-ту «ХАІ». - 2025. - Вип. 105. – С. 101-111.
2. Технологічна підготовка виробництва складних вузлів і агрегатів легких сільськогосподарських літаків/ І. М. Лисоченко, І. В. Бичков, С. М. Рябіков, М. І. Бичков [та ін.] // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. Нац. аерокосм. ун-ту «ХАІ». - 2025. - Вип. 106. - С. 71-83.
3. Бичков, І. В. Інформаційне супроводження технологічної підготовки виробництва на машинобудівних підприємствах / І. В. Бичков, Ю. В. Ващук // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. Нац. аерокосм. ун-ту ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». – Х., 2003. – Вип. 21. – С. 35–46.
4. Ніколенко, Є. Ю. Основи технології виробництва ракетно-космічних літальних апаратів : навч. посіб. / Є. Ю. Ніколенко, Ю. В. Ткачов. – Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2006. – 116 с.
5. Бичков, І. В. Інформаційні та технологічні системи супроводу життєвого циклу виробів авіаційної техніки [Текст] : монографія / І. В. Бичков, К. В. Майорова, М. І. Бичков [та ін.]. - Х. : ФОРМ Панов А. М., 2023. - 224 с.
6. Бичков, І. В. Стан виробу протягом його життєвого циклу / І. В. Бичков, Ю. В. Ващук // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. Нац. аерокосм. ун-ту ім. Н. Є. Жуковського «ХАІ». 2003. Вип. 18. С. 111-122.

7. Jin Y. Scale and Pose-Invariant Feature Quality Inspection for Freeform Geometries in Additive Manufacturing / Y. Jin, H. Pierson, H. Liao // J. Manuf. Sci. Eng. – 2019. – Vol. 141. – P. 121008..

8. Li D. On-machine surface measurement and applications for ultra-precision machining: a state-of-the-art review / D. Li, B. Wang, Z. Tong, L. Blunt, X. Jiang // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2019. – Vol. 104, iss. 1–4. – P. 831–847.

9. Krebs J. Precision Assessment of Tactile On-Machine Inspection for Milling Operations / J. Krebs, G. Mueller, L. Rödel, J. Prochnau, J. F. Strutz, T. Bauernhansl // Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2023 : 2. – Hannover : publish-Ing., 2023. – P. 437–446. doi: <https://doi.org/10.15488/15263>.

References

1. Formation of information space elements to enable machining of parts in aircraft manufacturing/ I. V. Bychkov, I. M. Lysochenko, M. I. Bychkov, S. M. Riabikov, [et al.] // Open Information and Computer Integrated Technologies: Collection of Scientific Papers of the National Aerospace University "KhAI". - 2025. - Iss. 105. - P. 101–111

2. Technological preparation of production for complex-shaped components and assemblies of light agricultural aircraft / I. M. Lysochenko, I. V. Bychkov, M. I. Bychkov, S. M. Riabikov, [et al.] // Open Information and Computer Integrated Technologies: Collection of Scientific Papers of the National Aerospace University "KhAI". - 2025. - Iss. 106. - P. 71–83.

3. Bychkov I. V. Information Support for Technological Preparation of Production at Machine-Building Enterprises / I. V. Bychkov, Yu. V. Vashchuk // Open Information and Computer Integrated Technologies: Collection of Scientific Papers of the National Aerospace University "KhAI"., 2003. – Iss. 21. – P. 35–46.

4. Nikolenko, Ye. Yu. Osnovy tekhnolohii vyrobnytstva raketno-kosmichnykh lital'nykh aparativ: navch. posib. / Ye. Yu. Nikolenko, Yu. V. Tkachov. – Dnipropetrovsk: RVV DNU, 2006. – 116 p.

5. Information and Technological Systems for Lifecycle Support of Aviation Products [Printed Equivalent of Electronic Edition]: Monograph / I. V. Bychkov, K. V. Maiorova, M. I. Bychkov [et al.]. - Kharkiv : FOP Panov A. M., 2023. – 224 p.

6. Bychkov, I. V. State of the product during its life cycle / I. V. Bychkov, Yu. V. Vashchuk // Open Information and Computer Integrated Technologies: Collection of Scientific Papers of the National Aerospace University "KhAI". – 2003. – Iss. 18. – P. 111–122.

7. Jin Y. Scale and Pose-Invariant Feature Quality Inspection for Freeform Geometries in Additive Manufacturing / Y. Jin, H. Pierson, H. Liao // J. Manuf. Sci. Eng. – 2019. – Vol. 141. – P. 121008.

8. Li D. On-machine surface measurement and applications for ultra-precision machining: a state-of-the-art review / D. Li, B. Wang, Z. Tong, L. Blunt, X. Jiang // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2019. – Vol. 104, iss. 1–4. – P. 831–847.

9. Krebs J. Precision Assessment of Tactile On-Machine Inspection for Milling Operations / J. Krebs, G. Mueller, L. Rödel, J. Prochnau, J. F. Strutz, T. Bauernhansl // Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2023 : 2. – Hannover : publish-Ing., 2023. – P. 437–446. doi: <https://doi.org/10.15488/15263>.

Надійшла до редакції 10.02.2026, розглянута на редколегії 17.02.2026

Formation of the information support process for the manufacture of parts on CNC equipment in modern production conditions

Historically, along with the development by Gaspard Monge the language of descriptive geometry, there also was established a basis for describing spatial objects using planar (two-dimensional) projections. This caused the framework for forming the technical drawing as the primary document for all mechanical engineering products. The rapid advancement of computer technology in recent decades has led to the development and implementation of CAD/CAM systems at manufacturing enterprises, with analytical geometry at their core. This process was facilitated by the capability of new systems to design production objects directly in three-dimensional space, which proved highly attractive for aircraft manufacturing and other high-tech industries in the development and transfer to production of complex-shaped objects. A particularly pronounced effect was observed when object fabrication was performed on CNC equipment. However, the challenge lies in the fact that, beyond geometric form, information about technological and structural features of the product is required. Previously, such information was conveyed through specific rules of drawing execution and technical specifications indicated on the drawing itself. For this reason, the majority of enterprises, after developing a product in a CAD/CAM environment, organized the generation of corresponding drawings, as the systems' capabilities readily supported this. Consequently, the description of production objects is performed using two languages, which in practice leads to numerous issues. The labor intensity of supporting the production object in two languages increases significantly. The presented article describes the main analytical models and their relationships with the production object, equipment, and fixtures, aimed at enabling the transition to the language of analytical geometry in the support of part manufacturing on CNC equipment.

Keywords: technological preparation of production; analytical standard of a part; analytical portrait of a part; part manufacturing process model; mechanical machining; CAD/CAM systems; CNC equipment.

Відомості про авторів:

Лисоченко Ігор Миколайович – аспірант кафедри технології виробництва літальних апаратів, Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна. Ел. пошта: i.m.lysochenko@khai.edu, телефон: +380 (67) 1202998, ORCID: 0000-0002-4407-0305

Бичков Ігор Валерійович – д. т. н., професор кафедри технології виробництва літальних апаратів, Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна. Ел. пошта: i.bychkov@khai.edu, телефон: +380 (93) 95495625, ORCID: 0000-0002-4819-5826.

Рябіков Сергій Миколайович – аспірант кафедри технології виробництва літальних апаратів, Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна. Ел. пошта: s.ryabikov1957@gmail.com, телефон: +380 (97) 8473306, ORCID: 0009-0007-9430-8354.

Бичков Микола Ігорович – к. т. н., старший викладач кафедри технології виробництва літальних апаратів, Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна. Електронна пошта:

m.bychkov@khai.edu, телефон: +380 (63) 2835380, ORCID: 0009-0008-1776-9568

Селезньова Ганна Сергіївна – старший викладач кафедри технології виробництва літальних апаратів, Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна. Електронна пошта: a.seleznova@khai.edu, телефон: +380 (68) 9644134, ORCID: 0000-0002-6523-222X.

About the authors:

Ihor LYSOCHENKO – postgraduate student at the Department of technology of aircrafts manufacturing, National aerospace university “Kharkiv aviation institute”, Kharkiv, Ukraine. Email: i.lysochenko@khai.edu, phone: +380(67)1202998, ORCID: 0000-0002-4407-0305.

Ihor BYCHKOV – Doctor of Technical Science, Professor at the Department of technology of aircrafts manufacturing, National aerospace university “Kharkiv aviation institute”, Kharkiv, Ukraine, Email: i.bychkov@khai.edu, phone: +380(93)95495625, ORCID: 0000-0002-4819-5826.

Serhiy RYABIKOV – postgraduate student at the Department of technology of aircrafts manufacturing, National aerospace university «Kharkiv aviation institute», Kharkiv, Ukraine. Email: s.ryabikov1957@gmail.com, phone: +380(97)8473306, ORCID: 0009-0007-9430-8354

Mykola BYCHKOV – Ph.D., Senior Lecturer at the Department of technology of aircrafts manufacturing, National aerospace university “Kharkiv aviation institute”, Kharkiv, Ukraine. Email: m.bychkov@khai.edu, phone: +380(63)2835380, ORCID: 0009-0008-1776-9568

Hanna SELEZNOVA – Senior Lecturer at the Department of technology of aircrafts manufacturing, National aerospace university «Kharkiv aviation institute», Kharkiv, Ukraine, Email: a.seleznova@khai.edu, phone:+380(68)9644134, ORCID: 0000-0002-6523-222X