

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет літакобудування

Кафедра технології виробництва літальних апаратів

Пояснювальна записка

ДО кваліфікаційної роботи
(тип кваліфікаційної роботи)
магістра
(освітній ступінь)

на тему

«Проектування цеху для механічної обробки великогабаритних
деталей авіабудівельного підприємства»

ХАІ.104.163.220.134. ПЗ

Виконав: здобувач (ка) 2 курсу групи №163

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
(код та найменування)

Спеціальність _____

134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка
(код та найменування)

Освітня програма Технології виробництва
та ремонту літальних апаратів
(найменування)

Галанська М. А.

(прізвище та ініціали здобувача)

Керівник: Бичков І. В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(прізвище та ініціали)

Харків – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ім. М.С. ЖУКОВСЬКОГО
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет _____ літакобудування _____
Кафедра _____ технології виробництва літальних апаратів _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Галузь знань _____ 13 «Механічна інженерія» _____
(код та найменування)
Спеціальність _____ 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка _____
(код та найменування)
Освітня програма _____ Технології виробництва та ремонту літальних апаратів _____
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедри 104
Катерина МАЙОРОВА

« _____ » _____ 20 _____ року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА СТУДЕНТА
Галанської Марини

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи «Проектування цеху для механічної обробки великогабаритних деталей авіабудівельного підприємства»

керівник кваліфікаційної роботи

Бичков Ігор Валерійович, д-р техн. наук, ст. наук. співроб., проф. каф. 104,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ _____ ” _____ 2022 року № _____

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати) _____

5. Перелік графічного матеріалу _____

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

Нормоконтроль _____ « ____ » _____ 20__ р.
 (підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання « ____ » _____ 20__ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка

Здобувач _____ Галанська М. А.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Ігор БИЧКОВ
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, восьми розділів, висновків, бібліографічного списку та додатку. Робота складається з 130 аркушів, до неї входять ілюстрації, таблиці, бібліографічний список та додаток.

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, сформувані мета і задачі роботи, наукова новизна та практична корисність, основні положення.

У першому розділі роботи представлений огляд і аналіз проблем формоутворення складнопрофільних виробів при технологічній підготовці авіаційного виробництва.

У другому розділі наведено особливості використання прямих та зворотних задач формоутворення, описані їхні методи формалізації та проведено вибір ефективного методу їх опису.

У третьому розділі досліджено систему моделювання процесу формоутворення та особливості її застосування, розглянуто опис складних систем. Описано моделювання роботи виробничої системи.

У четвертому розділі описано практичне використання методів рішення зворотних завдань формоутворення.

У п'ятому розділі описана технологічна підготовка виробництва. Наведено рішення прямих та зворотних завдань формоутворення при технологічній підготовці виробництва та моделювання оснащення та формотворчого обладнання

У шостому розділі наведено аналіз конструкції літака.

У сьомому розділі наведено аналіз об'єктів виробництва.

У восьмому розділі наведено аналіз ринкових можливостей, характеристика товару, аналіз можливих ризиків та розроблення ринкової стратегії проекту.

У дев'ятому розділі описана спеціальна частина. Практичне застосування отриманих результатів на верстатах з ЧПУ, аналіз процесів формоутворення на устаткуванні з ЧПУ після його модернізації.

В роботі описано етапи створення роботи виробничої дільниці механічного цеху при виготовленні крупногабаритних деталей та етап формоутворення та

моделювання роботи виробничої ділянки складального цеху при складанні панелі літака, а також наведено результати експерименту та рекомендацій щодо покращення завдань формоутворення поверхонь крупногабаритних деталей.

Ключові слова: числове програмне управління, система, технологічна підготовка виробництва, технологічний процес, керуюча програма, модель процесу, аналітичний еталон, аналітичний еталон виробу, життєвий цикл, база даних, інформаційна система, моделювання.

ABSTRACT

The master's thesis consists of an introduction, eight chapters, conclusions, a bibliography and an appendix. The work consists of 130 sheets, it includes illustrations, tables, a bibliographic list and an appendix.

In the introduction, the relevance of the problem is substantiated, the purpose and tasks of the work, scientific novelty and practical usefulness, and basic provisions are established.

The first section of the work presents an overview and analysis of the problems of forming complex-profiled products during the technological preparation of aircraft production.

In the second chapter, the features of using direct and inverse problems of shape formation are given, their formalization methods are described, and an effective method of their description is selected.

In the third chapter, the modeling system of the forming process and the features of its application are investigated, and the description of complex systems is considered. The modeling of the production system is described.

The fourth chapter describes the practical use of methods for solving inverse shaping problems.

The fifth chapter describes the technological preparation of production. The solution of direct and reverse problems of forming in the technological preparation of production and modeling of equipment and forming equipment is given

The sixth chapter provides an analysis of the aircraft design.

The seventh chapter provides an analysis of production facilities.

The eighth chapter provides an analysis of market opportunities, product characteristics, analysis of possible risks, and development of the market strategy of the project.

The ninth chapter describes a special part. Practical application of the obtained results on CNC machines, analysis of forming processes on CNC equipment after its modernization.

The paper describes the stages of creating the work of the production department of the mechanical shop in the manufacture of large-sized parts and the stage of forming and modeling the work of the production department of the assembly shop in the assembly of the aircraft panel, as well as the results of the experiment and recommendations for improving the tasks of forming the surfaces of large-sized parts are given.

Key words: numerical software control, system, technological preparation of production, technological process, control program, process model, analytical standard, analytical product standard, life cycle, database, information system, modeling.

ЗМІСТ

1. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ВИРОБІВ ПРИ ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ АВІАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	13
1.1 Технологічна підготовка виробництва формотворчих процесів в авіабудуванні.....	13
1.2 Методи формоутворення та їх класифікація у машинобудуванні.....	17
1.3 Первинне та копіююче формоутворення.....	23
1.4 Уявлення про формоутворення	26
1.5 Особливості формоутворення на обладнанні з ЧПУ	27
2. ПРЯМІ ТА ЗВОРОТНІ ЗАДАЧІ ФОРМОУТВОРЕННЯ.....	31
2.1 Дослідження інформаційного забезпечення прямого завдання формоутворення у коректній постановці.....	38
2.2 Оцінка трудомісткості опису об'єкта виробництва	39
2.3 Дослідження визначальних факторів процесу первинного формоутворення	39
2.4 Функціональна залежність формоутворення на устаткуванні з ЧПУ.....	44
3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ.....	47
3.1 Моделювання процесу складання.....	47
4. МЕТОДИ РІШЕННЯ ЗВОРОТНИХ ЗАВДАНЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ.....	50
4.1 Доповнення класу обернених завдань формоутворення	54
5. ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА.....	57
5.1 Вирішення прямих та зворотних завдань формоутворення при технологічній підготовці виробництва	57
5.2 Моделювання оснащення та формотворчого обладнання.....	60
6 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ЛІТАКА ТИПУ АН-140	63
6.1 Конструктивно-технологічний аналіз стабілізатора.....	63

6.2	Визначення навантажень, що діють на стабілізатор.....	65
6.3	ТУ на виготовлення стабілізатора	69
7	АНАЛІЗ ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА	70
7.1	Конструктивно-технологічний аналіз основних об'єктів виробництва в цеху 70	
7.2	Розробка класифікатора деталей цеху	70
7.3	Технологічна підготовка виробництва	71
7.3	Проектування цеху	76
7.3.2	Розрахунок кількості працюючих.....	78
8	АНАЛІЗ РИНКУ	82
8.1	Характеристика товару	82
8.2	Аналіз ринку	83
8.3	Ризики ринків країн СНД	83
8.4	Ринки країн далекого зарубіжжя	83
8.5	Фінансування проекту	84
8.6	Оплата праці цеху.....	84
8.7	Визначення прямої заробітної плати виробничих робітників	84
8.8	Розрахунок заробітної плати допоміжних робітників	85
8.9	Визначення витрат на заробітну плату ІТП та МОП	85
8.10	Основні фонди цеху та амортизація	86
8.11	Витрати на експлуатацію та утримання обладнання	88
8.12	Цехові витрати.....	90
8.13	Розрахунок собівартості виробництва.....	92
9.	СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ	96
9.1	Аналіз процесів формоутворення на устаткуванні з ЧПУ після його модернізації.....	96

9.2 Розв'язання прямої задачі формоутворення на станках з ЧПУ в умовах серійного авіаційного виробництва	102
9.3 Розв'язання задач формоутворення із застосуванням В-сплайн інтерполяції	109
9.4 Технологічний контроль як завершальна операція розв'язання зворотного завдання формоутворення	118
9.5 Розробка технологічних процесів із використанням аналітичних еталонів	125
ВИСНОВКИ	128
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	130

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

CAD	– computer aided design – комп'ютерно-орієнтоване конструювання
CAM	- computer aided manufacturing – комп'ютерно-орієнтована підготовка виробництва
NC	numerical control – числове програмне управління з апаратною реалізацією алгоритмів
CNC	computer numerical control – числове програмне управління з програмною реалізацією алгоритмів
ЧПУ	- числове програмне управління
ПЧПУ	- пристрій числового програмного управління
СЧПУ	- система числового програмного управління
ЦДА	цифровий диференціальний аналізатор
ТПП	технологічна підготовка виробництва
ТП	технологічний процес
КП	керуюча програма
МП	модель процесу
АЕ	- аналітичний еталон
АЕВ	аналітичний еталон виробу
ЖЦ	життєвий цикл
ЖЦВ	життєвий цикл виробу
БД	база даних
ІС	інформаційна система
УСП	універсальний складальний пристрій

ВСТУП

Авіаційна промисловість є одним із пріоритетних напрямів розвитку економіки країн. Конкуренція змушує виробників авіаційної техніки підвищувати якість виробів, скорочувати їхню собівартість та терміни виходу на ринок. Ці фактори диктують вимогу зменшення тривалості виробничих циклів та їх трудомісткості, які суттєво залежать від процедур підготовки та виконання формотворчих операцій складнопрофільних виробів. У зв'язку з цим виникає потреба у зміні підходів до теорії формоутворення. Пріоритет віддається процесам та методам, що поєднують у собі суперечливі властивості гнучкості та високої продуктивності, що дуже важливо в умовах нестабільної програми випуску продукції вітчизняної авіаційної промисловості. У сучасних умовах сформульовані вимоги реалізуються виключно на устаткуванні під контролем систем числового програмного управління. Скорочення часу формотворчих процесів досягається збільшенням контурної швидкості за дотримання точності позиціонування робочих органів, що диктує необхідність розробки нових підходів до моделювання процесів та методів управління ними. застосування аналітичних моделей об'єктів і процесу формоутворення при технологічній підготовці виробництва створюються умови для значного скорочення трудомісткості їх опису із забезпеченням необхідної інформативності.

В даний час літак є найшвидшим транспортним засобом. Він повинен відповідати низці вимог: надійності, технологічності, економічності, безпеці тощо. Для забезпечення відповідності літака вищезазначеним вимогам необхідна розробка безлічі конструкторської, технологічної та дослідницької документації. Як об'єкт виробництва, літак має низку специфічних особливостей, таких, як велика номенклатурність і багатодетальність планера, велика кількість матеріалів, що використовуються, складність просторових форм. Це призводить до необхідності розробки спеціальних процесів та пристроїв для виготовлення складових частин літака, характерних тільки для літакобудування.

При аналізі конструкції в роботі розглядається стабілізатор пасажирського літака.

При аналізі об'єктів виробництва складається класифікатор деталей цеху механообробки великогабаритних деталей, розробляється технологічний процес механічної обробки панелі, проводиться розрахунок режимів різання та норм часу обробки деталей. Також проводиться розрахунок та планування механічного цеху обробки великогабаритних деталей.

При аналізуванні ринку розраховуються витрати на виробництво та вартість продукції цеху.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, семи розділів та висновків. Повний обсяг складає 130 сторінок, в тому числі: 49 малюнків, 14 таблиць, бібліографічний список з 46 найменувань.

1. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ВИРОБІВ ПРИ ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ АВІАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

1.1 Технологічна підготовка виробництва формотворчих процесів в авіабудуванні

Сучасний етап розвитку авіабудування характеризується зростання складністю форми виробів і вимогами значного скорочення тривалості їх виробничих циклів при зниженні собівартості продукції. З іншого боку, програму випуску авіаційної техніки вітчизняними підприємствами можна охарактеризувати як нестабільну, що, безперечно, негативно впливає на обсяги партій запуску, на трудомісткість випуску виробів і їх виробництва.

Просторовий образ у мисленні конструктора не виникає самостійно у відриві від числових величин, що характеризують його, зв'язки розмірів і форм нерозривні при розробці конструкції виробу. Однією з основних завдань технології машинобудівного виробництва та авіабудування зокрема є зміна форм і розмірів заготовок відповідно до конструкторської документації, в якій відображені основні характеристики майбутнього виробу – його геометричні форми та матеріал. Тому основним напрямом технологічної підготовки виробництва є вивчення методів та засобів передачі форм та розмірів майбутнього об'єкта від його математичної моделі для реалізації виробництва серійного виробу.

Формування вихідної інформації для реалізації процесів формоутворення починається з етапу конструкторської підготовки виробництва, в рамках якого питання технологічності конструкції в умовах конкретного підприємства відіграють визначальну роль. При цьому технологія формоутворення, що надає вибір варіантів виготовлення деталей з вихідних матеріалів та заготовок, набуває особливого значення. Для здійснення ідей конструктора в серійному виробі необхідна оцінка технологічних можливостей підприємства щодо реалізації необхідних функціональних характеристик майбутнього об'єкта виробництва.

Результатом застосування технології формоутворення є матеріальний предмет заданої форми та розмірів, здатний їх зберігати протягом заданого часу експлуатації. Технологія формоутворення є визначальною не тільки в металообробній галузі, але і в різних галузях машинобудування при конструюванні машин для формоутворення як обмеження на можливості реалізації виробу.

Авіабудування, з досить складних просторових поверхонь об'єктів свого виробництва, завжди перебуває в піку вирішення проблем формоутворення складнопрофільних виробів. До середини ХХ ст. формоутворення в машинобудуванні відбувалося із застосуванням різання, обробки тиском та лиття, які, безперервно вдосконалюючись, зберігали практично незмінними вихідні принципи отримання необхідного виробу або деталі. На наступних стадіях розвитку машинобудування ці процеси не завжди забезпечували вирішення поставлених завдань, особливо у зв'язку із потребою високошвидкісної обробки високоміцних матеріалів та ускладненням форми виробів, що характерно для авіаційного виробництва. Використання нових фізичних методів розмірної обробки, що ґрунтуються на електрофізичних та електрохімічних процесах, при вирішенні певного класу завдань, дозволило досягти необхідного результату і навіть знизити трудомісткість формоутворення. Але далеко не всі методи формоутворення твердих тіл можуть бути застосовані в авіабудуванні, що багато в чому визначається їхньою здатністю забезпечити промисловий випуск виробів необхідної якості. Тому об'єктом розгляду в даному випадку є ті методи виготовлення об'єктів виробництва, які вже освоєні підприємствами або можуть стати такими в найближчій перспективі.

Основна відмінність складальних операцій в авіабудуванні від аналогічних робіт у машинобудуванні і те, що можуть виконуватися з одночасним формоутворенням окремих деталей чи вузлів. Це можливо лише для деталей малої жорсткості: обшивок авіаційних конструкцій, стрінгерів, нервюр, лонжеронів.

З середини ХХ століття розробляється та освоюється виробництвом обладнання з ЧПУ, в якому людина виключена із системи управління формоутворюючими рухами. Кожна така система розроблялася для певного фізичного принципу формування тіла та для кожного типу обладнання. З'явилися системи для токарної, фрезерної обробки, для координатно-розточувального та шліфувального обладнання. Нові фізичні принципи формоутворення зажадали розробки нових систем управління. Експлуатаційне обслуговування обладнання за такого широкого спектру типів систем управління є сьогодні серйозною проблемою для будь-якого машинобудівного підприємства. Відсутність загального підходу до численних приватних завдань формоутворення ускладнює вирішення назрілих комплексних проблем управління цими процесами, що гостро відчувається в період широкого використання розробниками та виробниками формоутворювального обладнання з ЧПУ.

Таким чином, виникає потреба у зміні підходів до теорії формоутворення. На передній план висунуто досить суперечливі вимоги: гнучкість до сприйняття змін форм об'єкта виробництва та висока продуктивність процесу формоутворення, що має знайти своє відображення у відповідних заходах технологічної підготовки виробництва.

Наведемо деякі визначення та тлумачення понять, що використовуються при постановці задач формоутворення.

Форма – зовнішні обриси, зовнішній вигляд, контури предмета. Форма та розміри є невід'ємними характеристиками будь-якого матеріального предмета. Вся матеріальна культура суспільства заснована на використанні твердих тіл певної форми, а способи їх виготовлення є найважливішою характеристикою цивілізації. Технологія формоутворення становить основу всіх напрямів сучасної технології, які у своїх назвах корінь «будувати»: будівництво, авіа- і ракетобудування, автомобілебудування, кораблебудування тощо. (Останні напрями об'єднуються загальним поняттям «машинобудування»).

Формоутворення – виготовлення заготовки чи виробу із твердих, рідких, порошкових чи волоконних матеріалів. Результатом застосування технології формоутворення є матеріальний предмет заданої форми та розмірів, здатний зберігати цю форму та розміри протягом заданого часу експлуатації. Мета формоутворення полягає в отриманні заданих геометричних параметрів (форми, розмірів, шорсткості поверхні) виробу відповідно до конструкторської документації, і, отже, на початку будь-якого технологічного процесу завжди знаходиться заготовка (матеріал), а в його кінці – виріб (деталь).

Формоутворення контуру літального апарату в авіабудуванні реалізується за допомогою складальних операцій з використанням відповідного оснащення, тому предмет технологія формоутворення необхідно доповнити дослідженнями *формоутворювальних складальних процесів*.

Таким чином, під формоутворенням, яке є основним завданням авіабудування, далі розуміємо зміну форм і розмірів заготовок до отримання деталей з їх збиранням для виготовлення літального апарату. відповідно до конструкторської документації.

Деталь – виріб, що виготовляється підприємством з однорідного за найменуванням і маркою матеріалу без застосування складальних операцій.

Креслення деталі – документ, що містить зображення деталі та інші дані, необхідні її виготовлення та контролю.

Таблиця координат точок поверхні задає форму та розміри деталі у вигляді кінцевого числа точок поверхні. Ці точки можуть використовуватися в процесі створення керуючих програм обладнання з ЧПУ.

Аналітичні рівняння задають форму деталі за допомогою математичних залежностей між координатами точок поверхні деталі і зазвичай використовуються для отримання табличного завдання поверхні або створення керуючих програм систем з ЧПУ.

Математичну модель форми та розмірів деталі представляють у вигляді креслення, таблиці, рівняння.

Технологічне обладнання – засоби технічного оснащення, в яких для виконання певної частини технологічного процесу розміщуються матеріали або заготовки, засоби впливу на них, а також технологічне оснащення.

Формоутворювальне обладнання – технологічне обладнання, що застосовується для зміни форми заготовки або надання її об'єктам, що збираються.

Допуск розмір – відхилення реального розміру деталі від еталонного, заданого математичної моделлю будь-якого виду.

1.2 Методи формоутворення та їх класифікація у машинобудуванні

Вирішення широкого спектра завдань формоутворення в машинобудуванні відбувається із застосуванням різних методів, вибір яких визначається критеріями: якість, продуктивність та економічність. Причому кожному історичному відрізку розвитку суспільства ці критерії незмінно присутні в оцінці ефективності використання різних методів формоутворення.

З давніх-давен, коли в якості обладнання використовувалося гончарне коло і токарний верстат, всі формоутворюючі рухи цих пристроїв здійснювалися виключно за рахунок фізичних зусиль виробника. У ході технічних еволюцій та революцій зусилля людини замінюються різними машинами та механізмами. Але людина ще дуже тривалий час залишалася основним джерелом інформації про форму об'єкта виробництва та технологію її отримання. Першими кроками зниження гостроти цієї проблеми є використання копіювальних верстатів, коли людина в процесі формоутворення перестає бути джерелом інформації для переміщення робочих органів обладнання. Удосконалення копіювальних верстатів призвело до використання електродвигунів, що порушило питання про системи управління ними з відповідним математичним апаратом опису їх функціонування. В результаті були розроблені та почали експлуатуватися слідчі приводи, які перетворюють малопотужні електричні сигнали датчиків у пропорційні швидкості обертання електродвигуна. Від якості приводу, зрештою, залежить продуктивність верстата і точність обробки деталей на ньому.

Використання копіїв з приводів, що стежать, дозволило усунути людину з процесу завдання положень керуючих органів обладнання. Точність процесу формоутворення обмежувалася точністю копіра та властивостями системи керування приводом, що вимагало прийняття нових рішень.

З початку 50-х років ХХ століття велися роботи зі створення верстатів із програмним управлінням. Їх основною особливістю є завдання геометрії об'єкта виробництва у вигляді послідовності чисел, занесених у програмо-носій. Така керуюча програма не має фізичного зв'язку з розмірами оброблюваної деталі, як це має місце у шаблонах, копірах, кулачках та інших носіях аналогової інформації, що застосовуються в традиційних копіювальних верстатах. Тому освоєння машинобудуванням формотворчого обладнання з ЧПУ сприяло виключенню людини з процесів управління формоутворюючими рухами та усунуло фізичні моделі форми об'єктів виробництва, що призвело до значного скорочення трудомісткості підготовки таких процесів. Сам факт використання ЧПУ не гарантує необхідної якості та точності формоутворення. Для реалізації широких можливостей цього обладнання потрібне спеціальне програмне та апаратне забезпечення.

Процес формоутворення в сучасних умовах характеризується таким критерієм, як ступінь безпосередньої участі людини при реалізації цієї процедури в умовах машинобудівного виробництва. Багато процесів включають людину, як важливу ланку між інформацією про об'єкт виробництва та відповідним формотворчим обладнанням, що дозволило весь виробничий процес, заснований на цьому принципі позначити як людино-орієнтований. Робочий-верстатник за інформацією креслення переміщає органи обладнання, що реалізують відповідні формоутворюючі функції. Тому людина є важливою складовою процесу формоутворення, який панував у машинобудуванні останні 200 років та має довгий перелік переваг. Такий спосіб не може гарантувати точність відтворення форм та розмірів деталей при заміні виконавця робіт, що особливо критично для виготовлення деталей складних форм. Це означає, що технологічні процеси формоутворення знаходяться у безпосередній залежності

від майстерності окремих виконавців через наявність у них недокументованих процедур через відсутність ефективної системи їх формалізації. Якщо формоутворюючі рухи робочих органів здійснюються за допомогою копирів та кулачків, то це виключає людину з безпосереднього процесу формоутворення, залишаючи за ним функцію контролю та організації процесу формоутворення на робочому місці. Але виготовлення кулачків, матеріальних носіїв форм і розмірів засноване на використанні принципів людино-орієнтованого виробництва. Такий спосіб формоутворення передбачає неоднозначність одержаного результату, що суперечить принципам організації серійного машинобудівного виробництва.

Людино-орієнтований підхід, не конкретизує види діяльності в процесі формоутворення. Людина бере участь у дуже багатьох етапах процесу формоутворення як:

- джерела енергії формоутворювальних рухів;
- джерела інформації про об'єкт виробництва;
- керуючого ланки всіма формотворчими рухами (або деякими з них) обладнання на базі інформації креслярської документації або власних уявлень про об'єкт виробництва;
- розробника та виробника копіра для використання його при формоутворенні у серійному виробництві.

Важливість та актуальність багатьох проблем формоутворення при серійному виробництві та його підготовці змушує звернути увагу на низку досліджень цього напрямку.

У процесі виготовлення деталі завжди є відмінність форм виробу та заготовки, і саме в цьому полягає головний зміст будь-якого процесу формоутворення. Відмінність форми мовою загальних понять є відмінність інформаційна. Інформація взагалі має деякі відомості. Відомості про форму матеріального об'єкта належать до геометричної інформації. Тому саме інформаційні перетворення потоку матеріалів вважаються найважливішими для аналізу формоутворення. Йдеться про перетворення форми відповідно до

геометричної інформації готової деталі або її фрагмента. Ототожнення деталі з геометричною інформацією, що описує її форму, призведе до неправильних висновків під час аналізу загальних тенденцій формоутворення.

Виникнення машинобудівного виробництва, як і формоутворення машинобудуванні, нерозривно пов'язані з механічною обробкою. До середини ХХ століття формоутворення у машинобудуванні здійснювалося переважно механічною обробкою. Тому моделювання процесів формоутворення та їхній математичний опис ототожнювалися багатьма авторами з питаннями механічної обробки деталей та проектуванням різального інструменту.

Процес різання відбувається шляхом впровадження в оброблювану заготовку клиноподібного твердого тіла – інструменту в зоні дотику робочих поверхонь інструменту і шару заготовки, що зрізається. В результаті відбувається пластична деформація і по лінії зрізу – руйнування металу, що призводить до утворення стружки і відокремлення її від заготовки. Для здійснення процесу різання необхідно, щоб заготовка та інструмент переміщалися один щодо одного. Метод механічної обробки поверхні характеризують властивості обробного інструменту та його переміщення щодо заготовки в процесі формоутворення. Таким чином, формоутворення механічною обробкою є процесом деформації матеріалу заготовки в зоні контакту її з інструментом і переміщення цієї зони в просторі для виготовлення деталі необхідної геометрії.

Ілюстрацію корисності такого представлення покажемо на приватних процесах механічної обробки: точіння, фрезерування, різання ножицями, тиском та слюсарним інструментом (шабрування, тирса, зачистка тощо).

Точіння – видалення шару матеріалу з поверхні заготовки, що обертається поступально переміщається різальним інструментом. Зона обробки формується вибором інструменту – різця, швидкістю обертання заготовки та переміщення різця вздовж заготовки. Отримання необхідної форми здійснюється переміщенням цієї зони у просторі як нормалі до осі заготовки, і паралельно їй.

Фрезерування – найбільш продуктивний процес обробки плоских та фасонних поверхонь. Зона обробки формується вибором фрези та швидкістю її обертання, що дозволяє задати необхідну інформацію для протікання процесу різання при фрезеруванні. Отримання необхідної форми виробів здійснюється переміщенням цієї зони у просторі та видаленням шару матеріалу з поверхні заготовки. При цьому швидкості переміщення інструменту повинні задовольняти вимогам процесу різання, що відбувається, що означає необхідність дотримання відповідних обмежень.

Різання ножицями – процес зсуву однієї частини заготовки щодо іншої під дією та у напрямку сил, прикладених до заготовки з боку ножиць. Зона обробки – клин, утворений торцевими сторонами, що переміщуються паралельно один до одного пластин (ножиці, гільйотина). Переміщення зони обробки відбувається шляхом зміни взаємного положення заготовки та інструменту у процесі формоутворення.

Серед процесів отримання різних деталей та металевих напівфабрикатів *обробка металів тиском* є найефективнішим. Зона обробки, в якій відбувається пластична деформація металу, включає заготовку і відповідний інструмент, що переміщається. Процес може здійснюватися при нагріванні заготовки, що деформується (гаряча деформація), а також при кімнатній температурі (холодна деформація). Приватний процес формоутворення гарячої пластичної деформацією – вільне кування. Зона обробки формується заготівлею і бойками молота або преса, що переміщаються назустріч. Необхідна форма деталі забезпечується зміною положення зони обробки щодо заготовки.

Обробка слюсарним інструментом полягає у видаленні шару матеріалу заготовки поступальним рухом ручного різучого інструменту або обертальним рухом механізованого ручного різального інструменту абразивного кола. Зона обробки формується вибором заготовки, відповідного інструменту та взаємним їх переміщенням. Необхідна форма деталі забезпечується зміною положення зони обробки щодо заготовки.

Особливе місце у формоутворенні займають *складальні процеси*, в яких зміна форми відбувається шляхом складання, з'єднання різних деталей та вузлів. Складальні процеси можуть істотно впливати на трудомісткість формоутворення всього виробу. У авіабудуванні складальні процеси становлять 45 – 55 % загальної трудомісткості виготовлення літака. Незалежно від виду з'єднання, що застосовується в конструкції літака (клепка, зварювання, склеювання, паяння і т.д.), складання являє собою сукупність операцій із встановлення деталей у складальне положення та з'єднання їх у вузли, панелі, агрегати та літак в цілому з допомогою застосування спеціальних формотворчих процесів у локальній зоні. Отже, складальні процеси є більш складними процесами, що містять у собі процеси зміни форм або положень окремих елементів для з'єднання деталей.

З іншого боку, проведення складальних робіт з одночасним формоутворенням можливе лише для деталей малої жорсткості, що притаманно авіабудування. Обшивка конструкцій літака, стрінгери, нервюри до складання мають малу жорсткість. Для їх складання в панелі, вузли та агрегати застосовуються спеціальні складальні пристрої – стапелі, в яких відбувається складання з одночасним перетворенням форми складальних одиниць. Панелі та обшивки, які в нього встановлюються, повинні вигнути так, що притиснуться до рубильників стапеля.

Таким чином, при стапельному складанні вузли, що мають циліндричну або конічну форми, можуть бути зібрані точно з плоских заготовок. Якщо це неможливо, то панелі та агрегати повинні бути складені з таких частин поверхні, що кожна частина відповідає цій умові. Відповідне розташування рубильників у стапелі забезпечує формоутворення об'єкта виробництва з необхідною точністю.

Зазвичай і широко використовується класифікація методів формоутворення за видами застосовуваних фізичних процесів: лиття, обробка тиском, механообробка і т.д. Такий поділ методів формоутворення склався історично і викликаний утилітарними міркуваннями – різні фізичні механізми формоутворення вимагають істотно різнятися технологічних процесів і обладнання.

Процеси першої групи можна розділити на такі підгрупи: механічна обробка, променева обробка, термічна обробка, електрична обробка, хімічна обробка. До процесів другої групи належать складальні процеси, променева обробка, термічна обробка. Необхідна форма моделі в цих процесах на реальному виробі утворюється розміром пошаровим нарощуванням матеріалу або поверхнями частин виробу. Процеси третьої групи можна розділити такі підгрупи: обробка металів тиском, лиття.

Таким чином, більшість процесів формоутворення реалізовані із застосуванням у зоні обробки інструментів, що функціонують на різних фізичних принципах, що переміщуються у просторі щодо заготовки.

1.3 Первинне та копіююче формоутворення

Протікання процесу формоутворення нерозривно з потребою у відповідному формоутворюючому оснащенні, з послідовністю взаємодії заготовки та інструменту, з методами перетворення інформації про об'єкт виробництва. В одних випадках відбувається безпосередньо зміна форми заготовки відповідно до геометричної інформації про деталі.

В інших ситуаціях спочатку відбувається виготовлення технологічного оснащення – спеціального проміжного носія форм та розмірів. Геометрична модель оснащення формується при її конструюванні, що включають перетворення вихідної геометричної інформації об'єкта. Виготовлення оснастки передувє власне формоутворення деталі і виконується на етапах технологічної підготовки виробництва. Таке формоутворювальне оснащення може бути використане тільки для виготовлення деталі заданої геометрії. Зміна форми заготовки відбувається у процесі виконання конкретної технологічної операції з використанням цієї оснастки. Матеріал заготовки копіює форму оснастки, в чому полягає процес формоутворення деталі. Оснащення (штампи, ливарні форми, кулачки, копіри тощо) виступає як проміжний носій форм і розмірів майбутньої деталі.

У загальному випадку двом основним способам перенесення форм і розмірів відповідають два різні способи реалізації цього процесу:

- первинне формоутворення - виготовлення деталі або технологічного оснащення за заданою моделлю геометрії з використанням універсальних інструментальних засобів;
- копіювальне формоутворення - виготовлення деталі з використанням форми технологічного оснащення або спеціалізованих інструментальних засобів.

Так, наприклад, при підготовці до реалізації процесів лиття спочатку проводиться перетворення геометрії деталі з метою отримання геометричної інформації про ливарну форму для її виготовлення. Технологічна оснастка є матеріальним об'єктом з певними формами та розмірами. До виготовлення оснастки форма та розміри майбутніх деталей подаються у вигляді геометричної інформації, тому таке отримання ливарної форми віднесено до первинного формоутворення. Потім відбувається копіювання форми оснастки матеріалом заготовки – заливання форми. Це приклад реалізації копіюючого формоутворення.

У технології об'ємного штампування перетворення інформації відбувається під час проектування штампу. Виготовлення штампу за цією інформацією – первинне формоутворення. Перенесення та фіксація форми оснастки на матеріалі заготовки відбувається при виконанні процесу штампування – копіювальне формоутворення.

При обробці на металорізальних верстатах перенесення геометричної інформації відбувається за допомогою інструменту, який своїми поверхнями формує деталь. Порівняно зі штампуванням – це тривалий процес, але він дозволяє виконувати дуже велику різноманітність геометричних форм завдяки можливості керувати процесом формоутворення, що дуже важливо для забезпечення гнучкості виробництва.

З застосовуваних у літакобудуванні методів складання до технології первинного формоутворення відносяться:

- складання по кресленню з базуванням по поверхнях посадкових місць деталей, що зчленовуються;
- складання по базових лініях, нанесених на поверхнях деталей, одну з яких приймають як основну (базову) для складання виробу або складання по розмітці.

Складання по кресленню – процес, при якому одну з деталей приймають за базову і до неї в певній послідовності приєднують інші деталі, що входять у вузол, що збирається. Цей метод застосовується при складанні виробів із жорстких деталей, що зберігають під дією власної ваги свої форми та розміри. При цьому деталі, що входять у виріб, поділяють на кілька складальних груп, кожна з яких збирають по базовій деталі, що входить в дану групу. Розміри готового виробу забезпечуються системою допусків та посадок, прийнятої в машинобудуванні. Складання по кресленню проводиться без застосування спеціальних складальних пристроїв з використанням універсального слюсарно-складального інструменту.

Останнім часом в авіації для складання окремих вузлів використовують гнучкі складально-монтажні автоматизовані виробництва, які успішно експлуатуються в приладобудуванні, автомобілебудуванні. Прикладом використання копіювальних технологій є стапельне складання, коли форма об'єкта виробництва визначається формоутворюючими елементами оснастки.

Слід зазначити, що й класифікація ступеня участі людини у формоутворенні відбиває технічний і інформаційний рівень цих процесів, а класифікація методів формоутворення за способами на матеріал заготовки – реалізовані фізичні процеси, то поділ методів формоутворення як первинного і копіюючого відбиває потреби технологічної підготовки. Такий підхід є відображенням способів та засобів зміни форм та розмірів заготовок відповідно до конструкторської документації.

Таким чином, пропонований поділ формоутворення на первинне та копіююче стосується не фізичних принципів реалізації зміни форми, а способу отримання об'єкта виробництва залежно від наявних форм заготовки, формоутворювальної оснастки, інструменту та обладнання при встановленій необхідній партії деталей.

1.4 Уявлення про формоутворення

У літературних джерелах знайшли відображення уявлення про завдання формоутворення. Сучасна вимірювальна техніка пропонує безліч засобів вимірювання та приладів, що їх реалізують. Однак існуючі протиріччя між метрологією та технологією не дозволяють однозначно описати та ідентифікувати форму об'єкта, що спричиняє певні проблеми при виконанні операцій технологічного контролю. Метрологія займається питаннями забезпечення передачі розміру. Причому розмір метрологами розуміється як відносна величина відповідності певній одиниці виміру. Передача форми дуже важлива для технологів, але, як правило, не знаходиться в зоні уваги метрологів. Тому однозначність ідентифікації форми ставитися до однієї з основних умов постановки зворотного завдання формоутворення.

Застосування контрольних-вимірювальних машин не повністю вирішує завдання контролю складно профільних поверхонь при серійному виробництві. Далеко не завжди є технічна можливість встановлення додаткового обладнання в технологічні ланцюжки, що функціонують, без внесення значних змін у хід виробничого процесу. Вартість такого обладнання може у кілька разів перевищувати вартість верстатів для формоутворення, що істотно впливає на темпи придбання такого вимірювального обладнання для виробничих підрозділів.

При виконанні контрольних операцій необхідно безліч значень координат точок реальної поверхні деталі, отриманих за допомогою контрольних-вимірювальних машин, зіставити з безліччю значень координат точок, що відповідають еталонній моделі тієї ж поверхні. Похибка форми кола

розглядається за допомогою понять овальності та огранювання. Для кожної форми поверхні доведеться вводити свої поняття та критерії точності поверхні. Таким чином, метою технологічних вимірювань є розміри, чого явно замало більшості завдань формоутворення сучасного машинобудування.

1.5 Особливості формоутворення на обладнанні з ЧПУ

На сучасному етапі багато процесів формоутворення складнопрофільних деталей в авіабудуванні орієнтовані на обладнання з ЧПК. Позиціонування кожної точки робочого простору в ньому засноване на поданні у вигляді системи незалежних координат, а переміщення вздовж кожної з них забезпечується завдяки наявності координатної пари, що перетворює пристрої відносного руху двох елементів.

За допомогою точки, що переміщається в системі декарт координат, можна отримати будь-яку просторову форму. Реальні інструменти (наприклад, різець, фреза) впливають на заготівлю не точково, а в межах деякої поверхні, яка називається слідом інструменту. Це накладає обмеження на функціональні можливості відповідного обладнання. Крім того, свободу формотворчих переміщень цих пристроїв обмежують канали, якими до них підводиться енергія (наприклад, механічна передача до фрезерної головки руху від головного приводу). Тому на практиці універсальні формоутворюючі машини включають більше трьох одновимірних координат. Відносне розміщення в просторі одновимірних перетворювачів надає вирішальний вплив на експлуатаційні характеристики формоутворювальної машини машинобудування, що особливо актуально для металорізальних верстатів.

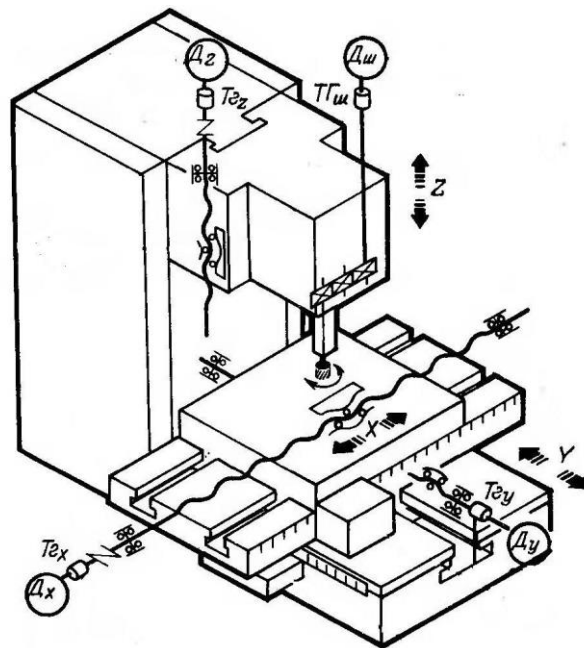


Рисунок 1 – Схема переміщень координатних осей верстата D_x - двигун коорд. X, D_y - двигун коорд. Y, D_z - двигун коорд. Z, $D_{ш}$ - двигун шпинделя, T_gx - тахогенератор координати X, T_gy - тахогенератор координати Y, T_gz - тахогенератор координати Z, $T_gш$ - тахогенератор шпинделя

Початок експлуатації верстатів із ЧПУ належить до кінця п'ятдесятих років минулого століття. Етап освоєння обладнання з ЧПУ промисловістю завершився на початку 60-х та виявив основні переваги: зниження вимог до кваліфікації оператора-верстатника, оскільки функції формоутворення виконується без його участі; скорочення технологічного оснащення та часу на її виготовлення, скорочення технологічного та допоміжного часу. Наступний етап характеризується збільшенням впровадження верстатів із ЧПУ у різні галузі промисловості. У верстатах застосовується привід, датчики зворотного зв'язку, поворотні різцетримачі, револьверні головки тощо. Для підвищення крутильної жорсткості необхідно прагнути можливо коротких кінематичних ланцюгів.

У 80-ті роки розширюється номенклатура верстатів, вводиться автоматична зміна інструменту. У цей період виявляється, що моральне старіння пристроїв ЧПУ настає швидше, ніж верстатів. Практично УЧПУ суттєво змінюються кожні 3-4 роки, тоді як конструкція верстатів за цей час лише незначно модифікується

і терміни їхнього морального старіння у 2-2,5 рази більші. Тому зміна параметрів ЧПУ дозволяє створити з урахуванням одного верстата різне технологічне устаткування.

З початку 80-х відбуваються процеси наближення обчислювальних засобів до сфери виробництва як у частині управління окремими верстатами, так і в частині планування виробничого процесу. Багатоопераційні верстати оснащують швидкодіючими пристроями зміни інструменту та інструментальним магазином великої ємності.

У процесі розвитку систем ЧПК та розширення їх використання у формоутворенні участь людини безпосередньо у обробці та передачі інформації зменшується. Реалізація процесів формоутворення в машинобудуванні виключно на обладнанні з ЧПК вимагає значних змін їхнього інформаційного супроводу. Складність такої постановки завдання вказують на необхідність її вирішення на кілька етапів.

На першому з них потрібно виконати процедури збору вихідних даних, необхідних для отримання необхідної форми. До вихідної інформації для розрахунку керуючої програми відноситься: креслення або аналітична модель геометрії деталі, обрані моделі обладнання, моделі заготовки, інструменту та технологічних пристроїв, режими різання тощо.

Другий етап – отримання керуючої програми руху інструменту або еталонної моделі технологічного процесу. У систему ЧПУ ця модель, як правило, надходить мовою високого рівня і розробляється з використанням CAD/CAM-систем.

Третій етап – перетворення керуючої програми завдання виконавчим органам устаткування. У сучасних УЧПУ типу CNC використовуються виключно алгоритми інтерполяції із багаторозрядними приростами.

Четвертий етап – порівняння геометрії виготовленої деталі із її еталоном. Цим завершується процес формоутворення. Поточний контроль заготовок і

складнопрофільних деталей, що обробляються, може виконуватися на верстаті або вимірювальній машині.

При використанні обладнання з ЧПУ точність формоутворення та якість одержуваних поверхонь залежить від:

- швидкісних характеристик стежать приводів;
- рівності та сталості коефіцієнтів посилення приводів подач за різними координатами, а також їх зміни при зміні подач;
- зазорів у кінематичних ланцюгах верстата;
- коливання приводів, що веде до погіршення якості обробки;
- внутрішньокрокової похибки датчиків зворотного зв'язку, що призводить до появи деталей хвиль;
- алгоритмів керування швидкостями подач.

Навіть досить загальний розгляд процесу інформаційного та математичного забезпечення виробничих процесів та формоутворення на устаткуванні з ЧПК показує його залежність від багатьох факторів: функціонуючої інформаційної системи підприємства, підготовки матеріального забезпечення, розрахунку КП, підготовки інструменту, оснащення, якості алгоритмів системи управління органами руху.

2. ПРЯМІ ТА ЗВОРОТНІ ЗАДАЧІ ФОРМОУТВОРЕННЯ

Первинне формоутворення представлено як результат двох фізичних процесів: організації локальної зони формоутворення та її переміщення у координатному просторі устаткування.

Процеси формоутворення можна розділити на дві основні групи: процеси первинного формоутворення та процеси копіюючого формоутворення (рис. 2).

До процесів первинного формоутворення відносимо процеси, в яких на базі стандартних (незмінних) форм інструменту та заготовки отримано форми об'єкта виробництва відповідно до його моделі. До процесів копіюючого формоутворення віднесено процеси, при яких деталь копіює форму оснастки. Ці процеси, як правило, використовуються у разі окупності оснастки у порівнянні з процесами первинного формоутворення.

Первинне формоутворення відбувається внаслідок взаємодії заготовки (матеріалу) та інструменту. Інструмент взаємодіє з тілом заготовки та змінює її форму. Ці зміни відбуваються не у всьому обсязі заготовки, а виключно у зоні обробки. Тому при розгляді процесів формоутворення є доцільним використання поняття зони формоутворення. Зона формоутворення – це частина простору, у якій під впливом фізичних процесів відбувається переміщення матеріалу, що викликає зміну початкової форми заготовки. Для пояснення формулювання цього поняття наведемо приклади зон формоутворення для різних типів процесів.

При *формоутворенні за допомогою процесу різання* зона формоутворення 4 представляє частину заготовки 3, в якій під впливом ріжучого клину 2 відбувається її пластична деформація, що призводить до видалення матеріалу у вигляді стружки 1 (рис 2).

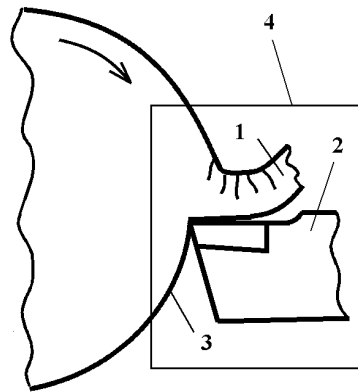


Рисунок 2 – Процес формоутворення різанням, де:

1 - стружка; 2- інструмент; 3 – заготівля; 4 – зона формоутворення

Зона формоутворення в процесі виборчого лазерного спікання (рис. 3) 4 створюється променем лазера 3 на поверхні вихідного порошкового матеріалу 1, нанесеного на заготівлю 6. Вихідний матеріал – порошкоподібні поліаміди, полікарбонати, полістирол, сплави нікелю та бронзи та ін. заготівлю, поміщену на рухому платформу 5. У зоні формоутворення відбувається вибіркове спікання порошкової маси. Переміщення зони формоутворення здійснюється зміною положення лазерного дзеркала скануючого 2 і опусканням рухомої платформи.

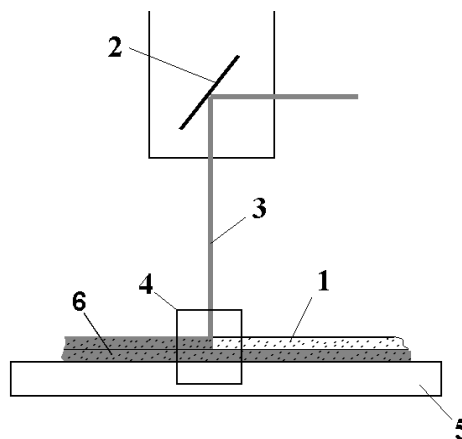


Рисунок 3 – Зона формоутворення виборчого лазерного спікання, де:
1 – порошок, що спекається; 2 – лазерна оптика; 3 – промінь лазера; 4 – зона формоутворення; 5 – рухома платформа; 6 – заготовка

Зона формоутворення при тривимірному глибокому друку показана на рис. 4. На заготовлю, встановлену на рухомий платформі 5, разом з рідкою сполучною речовиною 3, наноситься шар керамічного порошку 1. Зона формоутворення 4 являє собою частину простору, в якому під впливом сполучного відбувається прилипання частинок один до одного. Подача сполучного здійснюється друкуючою головкою 2 шляхом сканування перерізу деталі на заданій висоті. Після нанесення сполучного шар керамічного порошку відбувається переміщення платформи 5 вниз на товщину шару. Закріплення, вирощеної таким чином деталі, проводиться наступним тепловим обробленням.

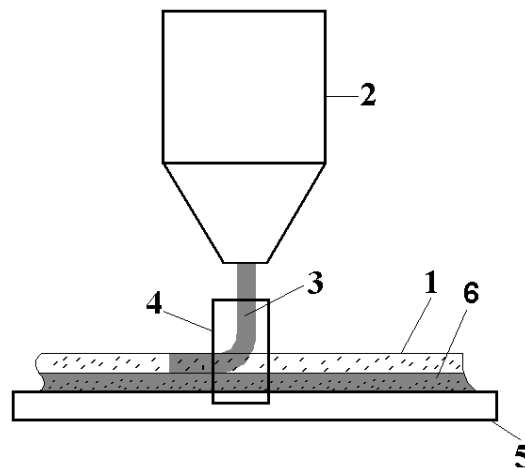


Рисунок 4 – Процес тривимірного друку, де:

1 – керамічний порошок; 2 - друкуюча скануюча головка; 3 – рідка сполучна речовина; 4 – зона формоутворення; 5 – рухома платформа; 6 – заготовля

Наведені приклади різних фізичних типів процесів формоутворення наочно демонструють, що зміни форми заготовки відбувається у локальній зоні – зоні формоутворення. Фізичні процеси, що відбуваються в локальній зоні формоутворення, докладно досліджуються у роботах з теорії різання, електрофізичної, електрохімічної, термічної, лазерної обробки.

Іншою складовою процесу формоутворення є переміщення у просторі самої зони формоутворення. Це переміщення здійснюється позиціонуючими органами

формоутворювального обладнання, яке траєкторія визначається геометрією поверхонь деталі, заготовки, інструменту та особливостями фізичних процесів у зоні формоутворення.

Таким чином, реалізацію первинного формоутворення в загальному вигляді можна представити двома фізичними процесами :

- організації локальної зони формоутворення;
- переміщення локальної зони формоутворення у просторі з метою отримання поверхні деталі.

Обладнання первинного формоутворення необхідно реалізувати узагальнене уявлення процесу первинного формоутворення і тому воно повинно мати принаймні дві системи – систему організації зони формоутворення та систему переміщення цієї зони.

Таким чином, розробка технологічного процесу формоутворення машинобудуванні полягає в описі параметрів локальної зони формоутворення і траєкторії переміщення зони формоутворення в координатах заготовки.

Фізичні процеси, які у зоні формоутворення, є предметом розгляду технології формоутворення. Ці процеси розглядають і досліджують у межах окремих наукових напрямів та отримані результати у вигляді залежностей можуть бути використані у конкретних видах обладнання, типах застосовуваних інструментів для матеріалів заготовок. Доцільність такого підходу підтверджується і тим, що сьогодні виробники формоутворюючих інструментів з різними фізичними принципами функціонування надають всю необхідну інформацію про їх експлуатаційні характеристики як розробникам обладнання, так і розробникам CAD/CAM систем для внесення корекції в КП.

Первинне формоутворення є основою всього машинобудування і авіабудування зокрема. Цей факт підтверджується і тим, що форма оснащення копіювальних технологій виготовляється методами первинного формоутворення. Розробка технологічного процесу первинного формоутворення полягає в описі вирішення прямої та зворотної задачі формоутворення.

Під *прямим завданням первинного формоутворення* розумітимемо перетворення заготовки в деталь за відповідною еталонною математичною моделлю (креслення, таблиця або аналітична модель) на заданому формоутворювальному обладнанні за допомогою вибраного інструменту стандартної форми.

Зворотнє завдання технології формоутворення – отримання математичної моделі (аналітичної, табличної чи креслення), що описує реальну форму деталі (вироби) з порівняння її з еталоном до виконання операцій контролю.

Первинне формоутворення в загальному машинобудуванні здійснювалося донедавна в основному за допомогою токарного верстата, зона формоутворення при цьому утворюється різальним клином різця і заготівлею, що обертається. Переміщення цієї зони здійснюється поздовжньою та поперечною подачами в рамках прямої задачі формоутворення. У процесі первинного формоутворення для доказу, що об'єкт виробництва, що виготовляється, відповідає формі, заданій кресленням, виконується рішення зворотної задачі. Проводяться вимірювання базових розмірів, використовуючи шкільні вимірювальні прилади, основним з яких є штангенциркуль. Робочий у процесі первинного формоутворення проводить вимірювання об'єкта, що виготовляється, і вводить необхідні корективи для отримання необхідної відповідності деталі та моделі, що являє собою послідовність рішень прямої та зворотної завдань формоутворення.

У кораблебудуванні та літакобудуванні, де основні форми виробів є багатопараметричними поверхнями загального виду, представлення цих складнопрофільних поверхонь засобами нарисної геометрії досить складно, не кажучи вже про проблему нанесення розмірів цих багатопараметричних поверхонь. Тому в якості моделі геометрії ці області машинобудування використовують плази, що є системою координатних перерізів в натуральну величину. Таким чином, при плазово-шаблонному методі виробництва перенесення форми з плазу на деталь проводиться за допомогою шаблонів, які грають у цьому методі роль спеціалізованого вимірювального інструменту.

Перенесення форм і розмірів з плазу на деталь здійснюється за допомогою безмірного вимірювального інструменту – шаблону.

На етапі безпосереднього отримання форми з допомогою відповідного устаткування й інструмента вирішується *пряме* завдання формоутворення, але в етапі докази відповідності портрета деталі її моделі з допомогою контрольно-вимірювальної машини – *зворотна*.

У процесі вирішення прямої задачі формоутворення відбувається перетворення заготовки в деталь згідно з її моделлю на заданому формоутворювальному обладнанні за допомогою вибраного інструменту стандартних форм. Така постановка прямої задачі формоутворення є, зазвичай, некоректною, оскільки вона не має єдиного рішення. На будь-якому обладнанні можна отримати ту саму деталь, використовуючи різний інструмент або різні траєкторії його переміщення. Отже, для отримання єдиного розв'язання задачі необхідно доповнити її постановку, а саме: уточнити формоутворювальне обладнання та параметри вибраного інструменту; послідовність обробки заготовки, вибрати стратегію та режими обробки. При реалізації будь-якого технологічного процесу є можливість його зміна, наприклад, з метою зменшення часу обробки. Отже, постановка прямої завдання формоутворення некоректна, оскільки, зазвичай, порушується друга умова коректності – відсутність єдності рішень.

Завершенням процесу формоутворення є контрольна операція, що дозволяє встановити ступінь відповідності виготовленої деталі її еталону. Але порівняти еталон (креслення, таблицю чи аналітичний вираз координат поверхні) з реальним об'єктом неможливо. Необхідно висловити порівнюваний реальний об'єкт у тих термінах, тобто. побудувати модель об'єкта чи його портрет. Вихідними для такої моделі є результати вимірювання координат точок на поверхні реального об'єкта в тій же системі координат, що і модель еталона. Формування геометричної моделі деталі, що має поверхні, відмінні від площі і найпростіших тіл обертання, можливе лише приблизно. Тому таку загальну постановку оберненої задачі формоутворення необхідно віднести до

некоректної. Для зміни її постановки на коректну необхідно сформулювати додаткові умови, надавши при цьому необхідну інформацію.

Приклад розробки технологічного процесу виготовлення зубчастого колеса. Практично кожен перехід може бути виконаний з використанням альтернативних варіантів, що відбувається в процесі серійного виробництва. Наприклад, токарний верстат 1К62 може бути замінений іншими, аналогічними верстатами (1М61П, 1ББ16П). Для виконання 33-ї операції (свердління) як пристрій використовується УСП, яке може бути замінене кондуктором.

Таблиця 1 – Формотворчі технологічні операції

№ опер.	№ перех	Зміст переходів	Обладнання	Пристосував.	Інструмент
5	1	Встановити заготовлю в трикулачковий патрон			
5	2	Підрізати торець	1К62	трикулачковий патрон.	Різець 2103-0009 Т15К6 І ДСТУ 18879
.....					
6	2	Точити по верху Ø54 на прохід	1К62	Центр	Різець 2103-0009 Т15К6 І ДСТУ 18879
.....					
33	2	Свердлими отвір Ø4	2Н118	УСП	Свердло Р6М5 2300-7545 ДСТУ 10902
34	1	Встановити, закріпити, зняти	1К62	оправлення	
34	2	Точити по верху по зубах Ø51 _{-0,4}	1К62	оправлення	Різець прохідний 2103-0009 Т15К6 І ДСТУ 18879

Багатоваріантність рішень дозволяє з безлічі можливих вибирати, у якому сенсі, раціональне рішення - наприклад, найбільш економічне або рішення з мінімальним часом реалізації операції. Так, рішення щодо зміни маршрутних ТП приймають лише на рівні відділу головного технолога, а корекція технологічних операцій на робочих місцях – до технологічних бюро цехів.

2.1 Дослідження інформаційного забезпечення прямого завдання формоутворення у коректній постановці

Мова нарисної геометрії є загальновизнаним засобом спілкування конструкторів, технологів та інших фахівців. Але успішний розвиток аналітичної геометрії спричинив впровадження CAD/CAM-систем на всіх авіабудівних підприємствах. Точність опису геометрії об'єктів доповнюється у яких наочною конструкції шляхом її візуалізації. Опис геометрії об'єкта виробництва одночасно з використанням двох мов (нарисної та аналітичної геометрії) не сприяє однозначності передачі інформації всім учасникам виробничого процесу та вказує на некоректність постановки завдання формоутворення.

З іншого боку, інформація про об'єкт виробництва, що надається конструкторами, має помітні відмінності від вимог до неї технологів або служб виробничого відділу, головного механіка, постачання, транспортних підрозділах. Кожна категорія цих користувачів висуває свої, специфічні вимоги до інформації про об'єкт виробництва та способи її подання. Для більшості учасників виробничого процесу інформація, що надається конструкторами, надмірна, але для деяких категорій (як правило, технологічним підрозділам) її недостатньо. Така неоднозначна постановка завдання не може призвести до єдиного її вирішення. Надання повної та докладної інформації про об'єкт виробництва всім учасникам виробничого процесу негативно позначається на часі пошуку необхідних даних за відведений нормами час (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Це призводить до невиконання ними своїх функціональних обов'язків, що свідчить про некоректність постановки завдання.

Частка режимів розгону та гальмування при обробці заготовки на обладнанні з ЧПУ виявляється дуже значною для великої номенклатури літакових деталей, що дає підставу зарахувати ці режими до основних. Коректна постановка завдання формоутворення має на увазі наявність простого алгоритму знаходження всіх основних характеристик такого руху при виконанні інтерполяційних розрахунків. Час реалізації цих процедур має перевищувати 25% тривалості часу циклу управління, що забезпечило дуже широке застосування лінійного закону зміни швидкості.

2.2 Оцінка трудомісткості опису об'єкта виробництва

Дослідження практичного досвіду роботи з конструкторською креслярською документацією дозволяє виявити цілу низку суперечливих фактів при вирішенні завдань формоутворення.

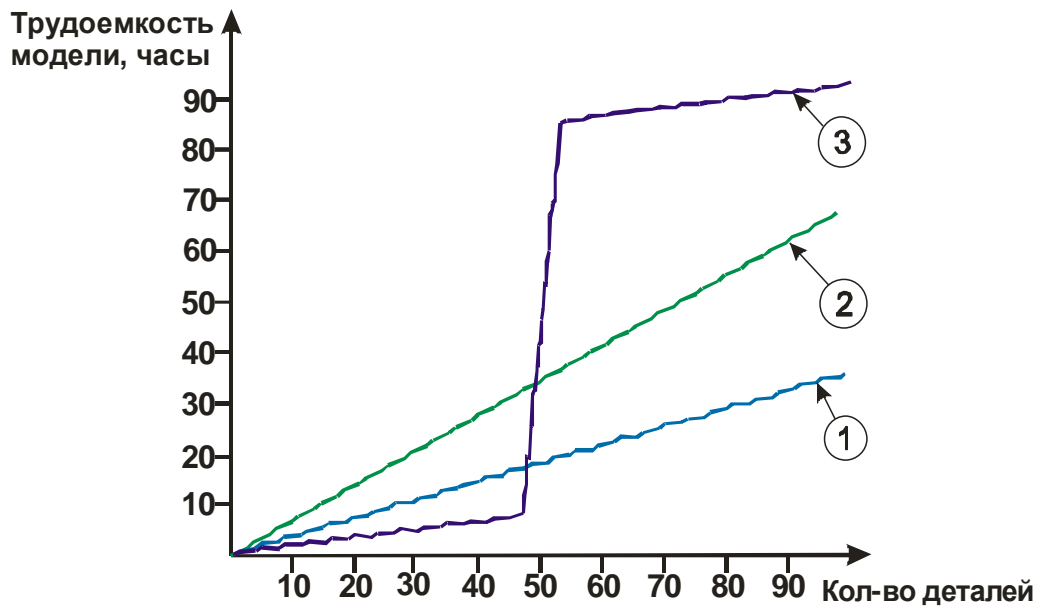


Рисунок 5 – Трудомісткість опису виробу

2.3 Дослідження визначальних факторів процесу первинного формоутворення

Процеси первинного формоутворення відносяться до керованих процесів. Розробка технологічного процесу чи моделі процесу первинного

формоутворення в машинобудуванні полягає в описі параметрів локальної зони формоутворення та траєкторії її переміщення (див. рис. 5). Оскільки фізичні процеси, що відбуваються в зоні формоутворення, не є предметом досліджень технології формоутворення та використовуються залежності, рекомендовані розробниками обладнання, то моделювання процесу на етапі технологічної підготовки виробництва полягає в описі результатів переміщення зони формоутворення в координатах заготовки.

Постановка прямого завдання формоутворення в людино-орієнтованому виробництві обумовлена залежністю результатів цього процесу від індивідуальних та професійних особливостей виконавця. Виконання людиною функції перетворення геометричної інформації з мови нарисної геометрії на мову логіки управління органами верстата в режимі реального часу потребує високої кваліфікації. При цьому ймовірність помилок є дуже високою. Реалізація переміщень людиною зони формоутворення на універсальному обладнанні для отримання поверхні точної складнопрофільної деталі є практично нездійсненним завданням при серійному її виробництві. Тому при людино-орієнтованому виробництві немає підстав робити заяву про коректну постановку прямого завдання формоутворення через незадоволення всім трьома умовам.

Формоутворення на обладнанні з ЧПУ дозволяє усунути людину з ланцюжка вироблення керуючих впливів на робочі органи обладнання в режимі реального часу, що різко збільшує ймовірність вирішення завдання. Крім того, СЧПУ дозволяє реалізувати точність та повторюваність формоутворюючих рухів обладнання, що забезпечує єдність розв'язання цього завдання та задоволення другої умови коректності прямої задачі формоутворення. Сам факт використання обладнання із СЧПУ ще не гарантує приведення всіх завдань формоутворення до їхньої коректної постановки, але створює для цього необхідні умови.

Існують певні відмінності системи координат, що використовується при побудові моделі деталі, та фізичної системи координат формотворчого обладнання. Декартова система координат утворена трьома площинами, що

перетинаються під прямим кутом, а осі мають загальну точку початку відліку. Модель фізичної системи координат верстата являє собою три осі, що не перетинаються в просторі. У системі координат верстата за допомогою спеціальних процедур та пристроїв обмежуються граничні переміщення по кожній координаті. При цьому положення робочих органів верстата визначаються базовими точками, що вибираються з урахуванням конструктивних особливостей окремих вузлів верстата. Так, для шпинделя фрезерного або свердлильного верстата, базова точка N є перетином торця шпинделя з віссю його обертання (рис. 6). Базова точка столу F ідентифікується, наприклад, отвором певного діаметра.

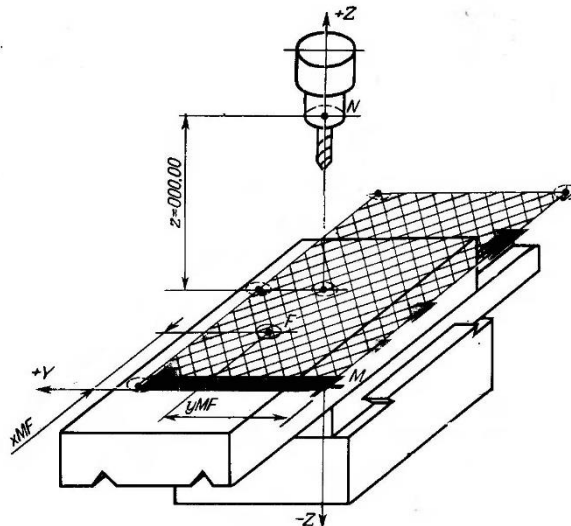


Рисунок 6 – Система координат свердлувального або фрезерного верстата

Початок системи координат зазвичай поєднують з базовою точкою вузла, що несе заготовку. Точка M прийнята за початок відліку системи координат верстата, називається нульовою точкою верстата або нулем верстата. Наявність даних про зону обробки дозволяє оцінити можливості верстата розробки керуючої програми. Якщо зона виявляється менше габаритів заготовки, це вказує на невиконання першої умови коректної постановки завдання.

Система координат інструменту призначена для завдання його ріжучої частини щодо державки. Початок системи координат інструменту розташовують у базовій точці T інструментального блоку, яка часто поєднується з базовою точкою елемента верстата, що несе інструмент, наприклад, з точкою N (рис. 7). Точка інструменту P використовується як розрахункова при пошуку траєкторії зони формоутворення. Вершина інструмента, що обертається лежить на осі обертання і тому якщо її прийняти за розрахункову точку, то для її завдання достатньо вказати значення W_z .

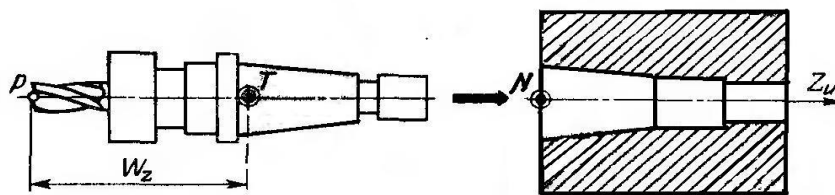


Рисунок 7 – Схема базування інструменту

Таким чином, при обробці деталі на верстаті з ЧПУ можна виділити три координатні системи. Перша – система координат верстата $XMYZ$, що має початок відліку в точці M – нуль верстата (рис. 8).

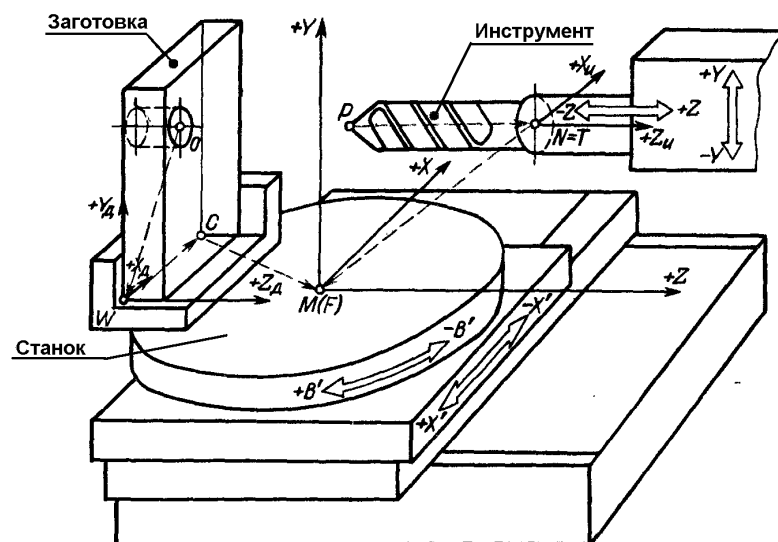


Рисунок 8 – Зв'язок системи координат верстата, деталі та інструменту

Система координат деталі – це система, у якій визначено всі розміри деталі та дані координати всіх опорних точок її контуру. Керуюча програма розробляється у системі координат. Вона вибирається технологом-програмістом відповідно до координатної системи верстата, в якій визначаються положення деталі в пристрої, розміщення опорних елементів пристрою, вказується так звана точка (0). Вона є першою точкою обробки деталі по КП. Часто точку (0) називають нулем програми. Перед початком обробки точка Р інструменту має бути поєднана з цією точкою.

Координати вихідної точки (0) перетворюються на систему координат верстата із системи координат деталі через базову точку пристосування або деталі (0 на деталі). Такий зв'язок систем координат деталі, верстата та інструменту дозволяє витримати задану точність при переінсталяцією заготовки та враховувати діапазон переміщення робочих органів верстата при розрахунку траєкторії інструменту у процесі підготовки КП. Тому дуже важливо, щоб системи координат заготовки та деталі в ході формотворчих процесів залишалися незмінними. Це накладає додаткові вимоги для вибору координат. Коректна постановка прямої задачі формоутворення нерозривно пов'язана з вибором систем координат заготовки та обладнання, неправильні рішення цього завдання призводять до порушення будь-якої з трьох умов (або одразу всіх).

Моделювання процесу формоутворення відбувається у координатах заготовки. Розрахунок траєкторій переміщення зони формоутворення для обладнання з ЧПУ визначається КП, яка розробляється в середовищі CAD/CAM-систем. Вихідна інформація: аналітичний еталон деталі (D), матеріал заготовки, аналітична модель інструменту та тип обладнання. Наприклад, при обробці фрезеруванням завдання первинного формоутворення є знаходженням сліду руху зони формоутворення в матеріалі заготовки. Переміщення зони формоутворення на КП задається окремими порціями, кадрами. Прийmemo, кожен кадр КП може містити інформацію про лінійному чи круговому переміщенні.

У процесі обробки відбувається зношування інструменту, що призводить до необхідності періодичного його заточування. Виконання цієї процедури викликає зміну геометрії інструменту, наприклад, фрези зменшуються діаметр і довжина. При трикоординатній обробці зменшення довжини інструменту коригується шляхом встановлення вершини (розрахункової точки інструменту) на нуль програми. Зменшення діаметра фрези може призвести до відхилень портрета деталі від її аналітичного еталона більше допустимих, що означає порушення першої умови коректної постановки задачі формоутворення. У разі можливий розрахунок нової КП для змінених параметрів геометрії інструмента. Таке розв'язання задачі призводить до тривалих затримок виробничого процесу. Для коректної постановки завдання формоутворення в СЧПУ потрібна функція корекції геометрії інструменту.

Базування заготовки та її закріплення відбуваються шляхом обмеження можливих переміщень у просторі.

У наведеному прикладі процес формоутворення розбитий на два етапи. Перший – чорнова обробка, яка виконується циліндричною фрезою. На етапі чистової обробки як інструмент обрана циліндрична фреза зі сферичною головкою.

Конструктивне виконання пристосувань є одним із параметрів процесу первинного формоутворення деталі. Використання різних типів притисків, упорів, прихватів, ложементів та подібних пристроїв призводить до накладання обмежень на траєкторію формоутворювальних та допоміжних рухів робочого інструменту. Тому вибір конструкції пристосування та способу кріплення заготовки є важливими моментами при вирішенні прямої задачі формоутворення та коректна постановка її неможлива без урахування цього фактору.

2.4 Функціональна залежність формоутворення на устаткуванні з ЧПУ

Вибір методів формоутворення відбувається за обов'язкової участі таких критеріїв як якість, продуктивність та економічність. Виконаний вище аналіз

дозволив дійти висновку у тому, що з первинному формоутворенні за умов серійного авіаційного виробництва згадані критерії безпосередньо залежить від: величини контурної швидкості подачі і рівня її сталості, точності інтерполяції по контуру, точності виходу кінцевої точки. Тому сьогодні обов'язковою вимогою є істотне збільшення швидкостей подачі при забезпеченні необхідної точності формоутворення для обладнання з ЧПУ, а саме:

- збільшення швидкостей подачі до 1000 мм/с;
- підвищення точності інтерполяції за контуром, що вимагає підвищення точності позиціонування з управління не менше $1 d$;
- забезпечення сталості контурної швидкості (відхилення $\pm 10\%$);
- забезпечення виходу в кінцеву точку ділянки без помилки за положенням (відхилення $\pm 1 d$) і плавно за швидкістю (відхилення $\pm 10\%$).

Рекомендовані значення параметрів можна прийняти вимоги до процесів формоутворення на авіабудівних підприємствах, що дозволяє віднести їх до умов коректної постановки завдань. Швидкість переміщення зони формоутворення є одночасно параметром і технологічним, і системи управління рухом.

Обмеження розмірів будь-якої деталі своїми габаритами та суттєве збільшення подачі не дозволяють організувати процес формоутворення виключно із заданою, постійною швидкістю. Обов'язково виникають ділянки розгону та гальмування (рис. 9).

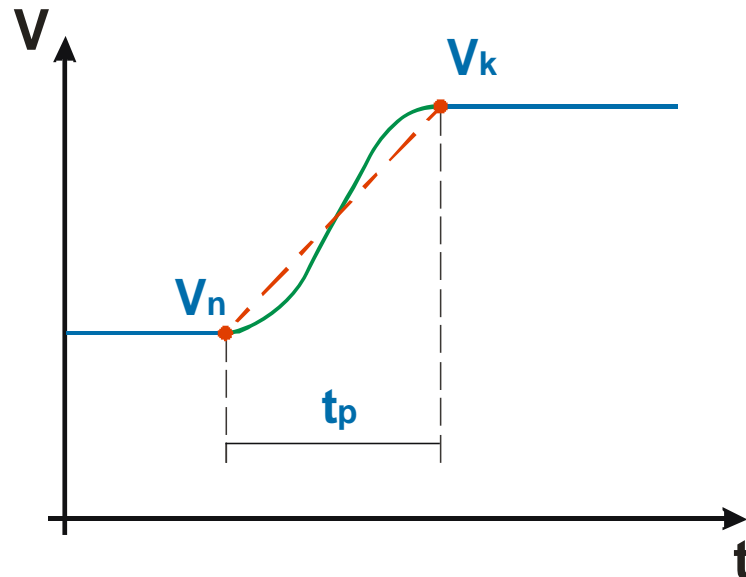


Рисунок 9 – Графік розгону

Виконання контрольних операцій для складнопрофільних деталей рекомендується проводити за допомогою контрольно-вимірювальних машин. Практична реалізація такого підходу вимагає зміни послідовності виконання технологічних операцій та пов'язаних із цим переміщенням заготовок робочими місцями, тобто. суттєвої зміни маршрутного техпроцесу для великої номенклатури деталей у бік збільшення його трудомісткості із включенням до нього одиниць обладнання з обмеженою пропускнуою спроможністю. Крім того, використання контрольно-вимірювальних машин вимагає виконання додаткових процедур базування деталі, що неминуче позначиться на точності вимірювань .

3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ

Моделі властивостей поверхні деталі (покриття; твердість поверхні, шорсткість, допуск відхилень) при побудові об'єкта виробництва в середовищі CAD/CAM-систем доцільно виконувати на базі моделей поверхні (surface), що дозволяє ефективно використовувати можливості експлуатованих підприємствами програмних продуктів.

Необхідність нанесення на поверхню деталі шару стороннього матеріалу (покриття) викликає потребу у відображенні цієї інформації у вигляді відповідної моделі.

При проведенні технологічної підготовки виробництва реалізується розробка маршрутного та поопераційного технологічного процесу, уточнення конструкторської документації, розробка конструкторської та технологічної документації оснастки та її виготовлення. Усі ці етапи нерозривно пов'язані з використанням різних процесів формоутворення. Проблема полягає у виробленні механізмів інформаційного супроводу цих процесів та у застосуванні для цього ефективних інструментальних засобів.

Протягом життєвого циклу серійного виробу авіаційного виробництва відбуваються зміни форми об'єкта виробництва та експлуатації, що має бути описано відповідними моделями. Сукупність цих моделей, яка описує стан виробу (СВ) всіх стадіях його життєвого циклу що у хронологічній послідовності, об'єднано поняттям аналітичний еталон виробу.

Таким чином, якщо життєвий цикл виробу визначається послідовністю процесів від початку запуску виробу у виробництво до його утилізації.

3.1 Моделювання процесу складання

Складання являє собою сукупність операцій із встановлення деталей у складальне положення та з'єднання їх у вузли, панелі, агрегати та літак в цілому. При цьому складальний пристрій забезпечує необхідне розташування, фіксацію і з'єднання складальних одиниць і деталей, що входять до них, із заданою

точністю і необхідною жорсткістю збирається конструкції. Для складальних робіт в авіабудуванні характерне використання деталей малої жорсткості – обшивок, стрінгерів, нервюр. Базування при цьому виконується на зовнішній поверхні обшивки. Цей метод базування знаходить широке застосування у складальних роботах, оскільки забезпечує високу точність складання (не більше 0,4 мм). Складальною базою є робочі поверхні рубильників стапеля, які моделюють у просторі окремі фрагменти теоретичного контуру обводів планера. У цьому випадку складальний пристрій - стапель, одночасно виконує і формотворчу функцію. Деформація панелей та обшивок забезпечує прилягання до рубильників стапеля з копіюванням їх форми після закінчення збирання.

Розробники конструкції надають інформацію про зразок майбутнього об'єкта виробництва як аналітичного зразка складання. На етапі технологічної підготовки виробництва необхідно описати способи та методи перетворення деталей, складальних одиниць, покупних комплектуючих з метою отримання об'єкта, що відповідає аналітичному зразку.

Модель процесу починають формувати виходячи з опису відомого, статичного стану виробу у певний момент часу

Встановлення зав'язків між геометрією деталей, складом, конструкцією складання та моделями допусків, шорсткості, покриття, твердості, форми із збереженням цієї інформації надає можливість розробникам використовувати цю інформацію як вихідну при проектуванні ТП.

Процеси безпосереднього виконання технологічного процесу контролю деталі в умовах виробництва. У цих процедурах, крім підготовки самої деталі і всього вимірювального комплексу для проведення технологічного процесу автоматизованого контролю деталі зі складною поверхнею, необхідно особливу увагу приділити форматам запису результатів контролю та способам їх фіксації. На завершення необхідно виконати процедури обробки результатів вимірювань, за результатами яких можна отримати аналітичний портрет реальної деталі.

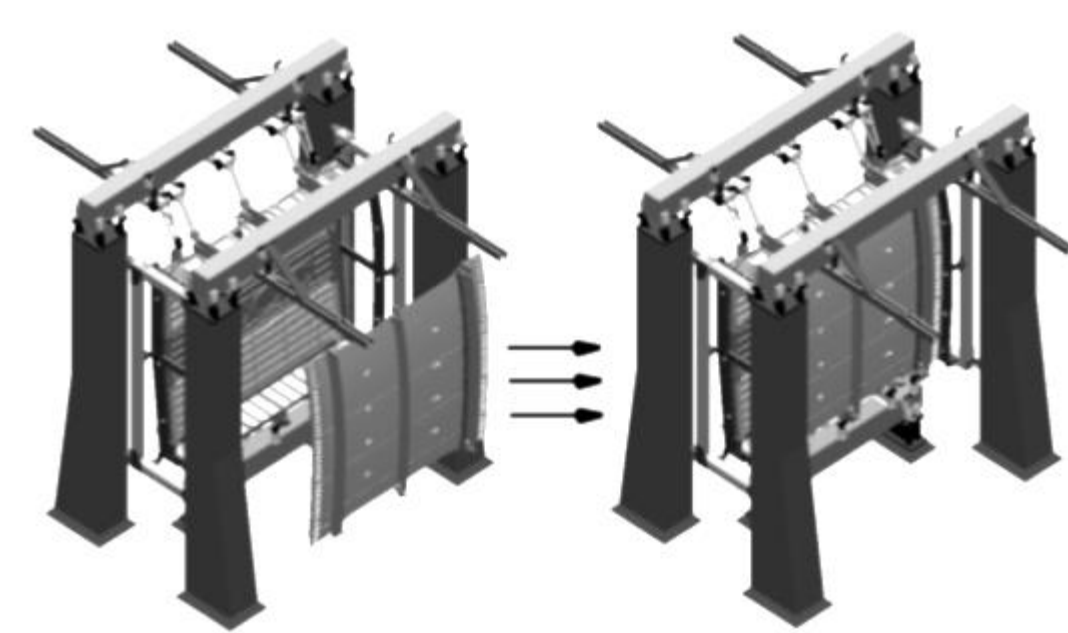


Рисунок 10 – МП установки нижньої панелі у стапелі кладання
центроплану

4. МЕТОДИ РІШЕННЯ ЗВОРОТНИХ ЗАВДАНЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ

Аналіз параметрів координатних систем фрезерного обладнання з ЧПК та координатно-вимірювальних машин показав, що порядок їх похибок збігається. Звідси випливає принципову можливість застосування координатно-позиціонуючих систем експлуатованих фрезерних верстатів як координатно-вимірювальних систем на вирішення зворотної завдання формоутворення з метою виконання технологічного контролю, що доводить можливість існування рішення поставленої задачі.

При видаленні матеріалу похибка формоутворення значною мірою залежить від зусилля різання, що викликає згинання інструменту, вібрації тощо. Похибка ненавантаженої координатно-позиціонуючої системи фрезерного верстата в процесі вимірювання значно менша, тому похибка вимірювання буде значно меншою за похибку формоутворення, що підтверджується результатами вимірювань. Процес знаходження координат реальної поверхні полягає у визначенні по двох заданих третьої координати, що забезпечується використанням системи обладнання з ЧПУ та тактильної головки.



Рисунок 11 – Сканування поверхні деталі

Для забезпечення єдності вимірювань необхідно здійснювати метрологічну атестацію координатно-позиціонуючої системи верстата з ЧПК як координатно-

вимірювальної за допомогою її перевірки метрологічними службами. Звернімо увагу, що висновок про придатність до експлуатації особливо точних верстатів дається на підставі, виготовлених на ньому еталонних деталей, що мають форму: кола, ромба, квадрата. Вимоги до точності відтворення розмірів при цих випробуваннях верстата зазвичай такі: похибка радіуса кола дорівнює 0,15 мм; ромба - 0,1 мм; квадрата - 0,05 мм.

Похибка спрацьовування контакту для використаного обладнання складала $\Delta_k = 0,005$ мм.

Якщо приладова похибка між метрологічною атестацією координатно-позиціонуючої системи є постійною, то очевидно, що загальну похибку можна зменшити за рахунок застосування ефективніших методів вимірювання та обробки їх результатів.

Координатно-вимірювальні машини з тактильними головками, як і координатно-позиціонуючі системи фрезерних верстатів фіксують координати деякої точки інструменту, а не вимірюваної поверхні. Тому для отримання координат вимірюваної поверхні доводиться робити припущення про взаємне положення зафіксованої точки інструменту і точки дотику інструменту з поверхнею. Ці припущення про взаємне положення фіксованої точки інструменту і точки дотику поверхні і породжують похибку методу вимірювань

Оперативний контроль на робочому місці

Використанням САД-систем при виконанні контрольних операцій складнопрофільних виробів або відповідного оснащення, у тому числі і складальної, при підготовці запуску їх у серійне виробництво на етапі підготовки виробництва Для технологічного поопераційного контролю під час серійного виготовлення складнопрофільних об'єктів така постановка завдання не завжди забезпечує необхідний результат. Час вирішення зворотного завдання має істотно збільшувати час виробничого циклу деталі чи перевищувати час формотворчих процесів, що у умовах промислового серійного виробництва означає порушення першої умови коректності постановки завдання (відсутність

її рішення). Спроба розв'язання задачі шляхом інтеграції CAD/CAM-системи у програмне забезпечення СЧПУ вимагатиме від оператора високої інженерної кваліфікації для ефективного використання такої системи. Обсяг необхідних знань за межі функціональних обов'язків оператора верстата з ЧПУ. Існування такого протиріччя може призвести до порушення всіх трьох умов коректності постановки завдання через відсутність кваліфікованих виконавців робіт.

Оскільки коректна постановка прямого завдання формоутворення можлива лише з використанням обладнання з ЧПУ, то й вирішення зворотного завдання доцільно формулювати з урахуванням цього факту. Відновлення координат поверхні об'єкта виробництва зручно виконувати, блокувавши один із ступенів свободи вимірнувального пристрою, визначаючи, таким чином, координати точок, розташованих в одній площині. Тому для коректної постановки зворотного завдання формоутворення

Для коректної постановки зворотного завдання СЧПУ необхідно мати математичний апарат, реалізований як відповідного програмного модуля, що забезпечить побудову аналітичного портрета виробу. Виконання контрольних операцій на обладнанні з ЧПУ пов'язане з необхідністю встановлення в шпindel верстата (3) тактильного датчика (6) та за його допомогою визначити координати точок деталі (5) у вибраній площині.

Подібні проблеми виникають і при вирішенні прямої задачі формоутворення. Некоректність постановки прямої задачі формоутворення складнопрофільної поверхні з використанням КП, що представляє собою послідовність лінійних і кругових кадрів, довжина яких становить всього кілька дискрет. Такий підхід передбачає розробку нових КП із подальшим їх впровадженням у виробництво. На деяких авіаційних підприємствах архів таких програм обчислюється тисячами, тому розробка нових КП означає дуже значні трудовитрати.

Таким чином, для отримання задовільного результату обробки поверхні, габарити якої перевищують робочу зону верстата, необхідно провести наступні дії:

- розбити процес обробки на кілька операцій, змістом кожної з яких є обробка частини поверхні з розмірами менше розмірів робочої зони верстата, але з обов'язковим перекриттям цих зон;
- вибрати базові поверхні для встановлення деталі на верстаті для кожної технологічної операції;
- після виконання чергової операції виконати координатні вимірювання в області перекриття робочих зон з наступним положенням заготовки, потім перевстановити деталь по наступній базі та провести координатні вимірювання обробленої частини у зоні перекриття;
- виконати процедуру суміщення двох моделей засобами САД-системи з метою отримання величин корекції системи координат аналітичного еталона заготовки в новому положенні.

Для перевірки вищевикладеного підходу до обробки поверхонь з переінсталяцією був проведений експеримент на верстаті, розміри робочої зони якого були меншими за габаритні розміри оброблюваної поверхні. Деталь є частиною спинки сидіння і виготовляється литтям пластмаси в прес-форму. Для виготовлення деталей прес-форми використовувався верстат 6М13ГН1.

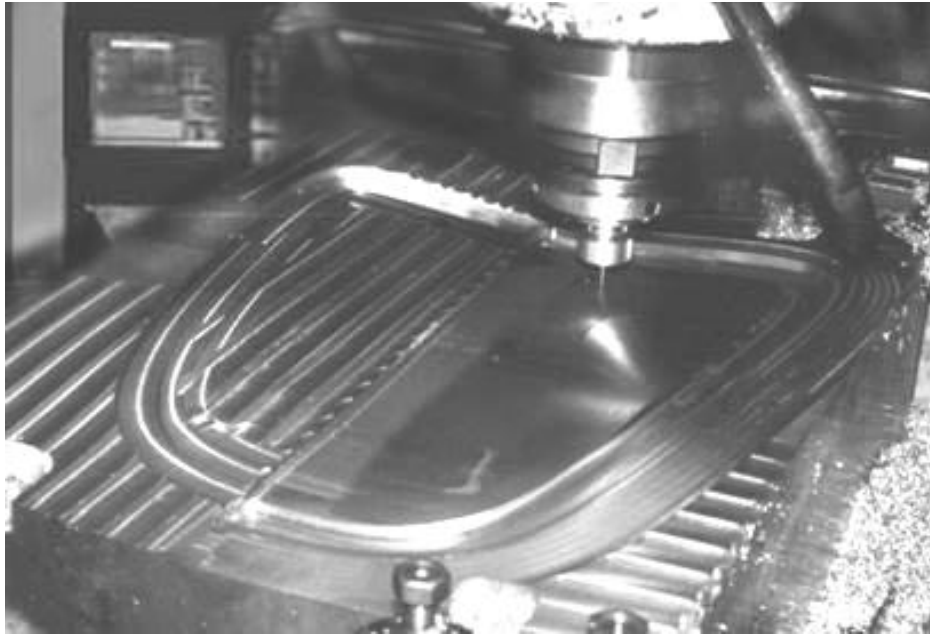


Рисунок 12 – Сканування зони перекриття після переїнсталяції

Отримана після обробки поверхня не мала характерного уступу в місці стикування першої та другої частин поверхні. Відхилення обробленої частини від аналітичного зразка за результатами координатних вимірів не перевищувало 0,01 мм, що відповідає вимогам точності передачі форм та розмірів для цього завдання.

Таким чином, застосування процедури корекції положення аналітичного еталона щодо координатної системи верстата з урахуванням неточності позиціонування по вибраній базі деталі дозволяє уникнути похибки форми деталі при переїнсталяції заготовки, що дозволяє розширити можливості устаткування, що експлуатується з ЧПУ.

4.1 Доповнення класу обернених завдань формоутворення

На стадії виробництва геометрія заготовки змінюється на всіх формотворчих операціях і переходах до моменту отримання готової деталі, форма та розміри якої можуть відрізнитися від її аналітичного зразка. Проведення такого заходу передбачає необхідність виконання цілого комплексу

процедур, що об'єднаний одним загальним поняттям – зворотнє завдання формоутворення.

Зворотнє завдання технології формоутворення – отримання математичної моделі. Як показує практика, клас зворотних завдань формоутворення в машинобудуванні набагато ширший за коло завдань технологічного контролю. Оскільки дати пряме визначення обернених завдань формоутворення досить складно, то визначимо обернені задачі як задачі, що не є прямими, і наведемо приклади деяких з них.

Вибір формоутворювального обладнання. Рішення прямої задачі формоутворення передбачає отримання деталі за її моделлю і на етапах технологічної підготовки виробництва здійснюється розбиття її на приватні завдання, які не можна за методами рішення віднести до прямих. На підприємствах за результатами накопичення та обробки інформації про одиниці обладнання, що експлуатуються, розроблено рекомендації щодо доцільних значень потужності головного приводу, діапазону частот обертання шпинделя, діапазонів швидкостей приводу в залежності від провідного геометричного параметра (ширини столу – для верстатів фрезерно-свердлильно-розточувальної групи, максимального радіуса чи висоти центрів для токарної групи). Використання цих даних дозволяє обмежити коло придатного для застосування обладнання, що сприяє знаходженню одного рішення задачі. Тому вибір робочих властивостей устаткування за результатами зіставлення їх із інформацією аналітичного зразка об'єкта (заготовки) виробництва то, можливо віднесено до зворотним завданням формоутворення.

Вибір інструменту. Процес відбувається в результаті порівняння АЕ деталі та портрета інструменту для виявлення придатності останнього до виконання формотворчої операції. Оскільки виконання зіставлення за процедурою відповідає контрольним операціям при порівнянні двох моделей (еталона та портрета), то процедуру підбору інструменту можна віднести до обернених завдань формоутворення.

Вибір пристосування для кріплення заготовки. В результаті зіставлення АЕ заготовки та АЕ пристосування відбувається виявлення придатності останнього для усунення всіх ступенів свободи заготовки у процесі формоутворення. Це дозволяє відхилити багато можливих варіантів та вибрати один раціональний, тому завдання може бути віднесене до зворотних завдань формоутворення.

Вибір та розміщення обладнання в цеху. Визначальним елементом у процесі організації виробництва є закріплення операцій формоутворення деталі за конкретними робочими місцями та забезпечення ритмічного переміщення заготовок. Отже, завдання вибору та розміщення обладнання в цеху може бути розбите на два завдання – вибір обладнання та його розміщення. Завдання вибору та розміщення обладнання в цеху відноситься до зворотних завдань формоутворення, оскільки сама процедура полягає у зіставленні геометрії робочої зони обладнання та заготовки деталі, а також планувань цехів та робочих місць.

Розробка маршрутних технологій. Кожен виріб у процесі свого виробництва проходить деякий маршрут від заготівельних операцій до остаточного складання та випробування виробу. Маршрутна технологія – це короткий опис усіх технологічних операцій у послідовності їх виконання із зазначенням цехів, у яких відбуваються. Таким чином, для побудови маршрутного технологічного процесу необхідне зіставлення інформації про формоутворюючі можливості обладнання, інструменту, пристроїв з урахуванням планувань цехів. Очевидно, що завдання побудови маршрутного ТП може бути віднесене до обернених завдань, оскільки складові її процедури належать до цього класу завдань.

5. ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

5.1 Вирішення прямих та зворотних завдань формоутворення при технологічній підготовці виробництва

Основним видом діяльності машинобудівного підприємства є випуск готових виробів, яке основою служить технологічна підготовка виробництва. Вона включає відпрацювання технологічності конструкції, розробку технологічних процесів, проектування та виготовлення засобів технологічного оснащення, розробку матеріальних і трудових норм, проведення дослідницьких та експериментальних робіт за новими технологіями, розробку планів-графіків технологічної підготовки виробництва, впровадження запроєктованих технологічних процесів, нормалізацію та уніфікацію технологічне оснащення. У деяких випадках виникає потреба у модернізації обладнання, підготовці кадрів, робітників нових професій.

Аналіз заходів технологічної підготовки авіаційного виробництва дозволив дійти висновку про домінуюче значення процесів формоутворення, які можуть бути реалізовані шляхом вирішення прямих та зворотних завдань. Проблема полягає у відсутності механізму їх коректної постановки при виконанні підготовки виробництва в умовах промислових підприємств, інформаційному супроводі цих процесів, наявності та ефективному застосуванні економічно виправданих інструментальних засобів.

Вибір технологом конкретного варіанту із довідника визначається багатьма факторами. На цей процес впливають:

- загальна постановка завдання у масштабах підприємства – стандарти підприємства та виробничі інструкції;
- зміна зовнішніх (кон'юнктура ринку, номенклатури матеріалів, виробів та їх цін, що поставляються) та внутрішніх (технологічних можливостей підприємства) факторів;
- вимоги сертифікаційних органів;
- кваліфікація виконавців.

Постановка завдання має надавати декларація про існування різних варіантів ТП. При цьому два багатоланкових ТП будуть відноситися до різних варіантів, якщо вони відрізняються хоча б однією ланкою (наприклад, переходом). Тому, змінюючи значення параметрів у будь-якій ланці загального ТП, ми створюємо новий варіант процесу. Пошук прийняттого ТП здійснюється шляхом вибору наявних у розпорядженні розробника (технолога), тим самим формується необхідна послідовність ланок для вирішення поставленого завдання.

Багатоваріантність таких процесів передбачає одночасне існування кількох ТП, здатних забезпечити вирішення поставленого завдання. Зберігання кількох варіантів у межах ІВ підприємства, порівняння між собою (навіть двох варіантів) викликає великі труднощі.

Коректна постановка прямих та зворотних завдань формоутворення пред'являє суворі вимоги до підприємства, яка:

- повинна вирішувати основне завдання – зберігання інформації про об'єкти виробництва, формотворчі та інші виробничі процеси, надавати її користувачам, учасникам цих процесів;
- не повинна виконувати функції пошуку будь-яких оптимальних рішень, що стосується завдань окремих підрозділів підприємства;
- має бути відокремлена від інформаційних систем підрозділів, а передача інформації між ними має бути організована за спеціальними інтерфейсами.

Отже, коректна постановка завдань формоутворення потребує розмежування інформаційних потоків. Ця вимога може бути реалізована використанням дворівневої структури (рис. 13).

Процеси формоутворення на серійному підприємстві належать до виробничих. Усі виробничі процеси на авіабудівних підприємствах здійснюються виключно на підставі документів, які сьогодні сприймаються лише у паперовому їх поданні та мають необхідний правовий статус. Дані комп'ютерних ІС немає, зазвичай, статусу офіційних документів, тому вони можуть забезпечити організацію і супровід виробничого процесу. Тому однією з

основних вимог до комп'ютерної ІС підприємства має стати надання офіційним електронним документам статусу правових. Документи є правовими електронними офіційними документами, якщо:

- можна довести, що вони є справжніми документами;
- можна довести, що вони дійсно складені або надіслані саме тією особою, яка вказана як автор;
- можна довести, що їх було складено чи надіслано у вказаний час;
- вони є надійними, тому що їх змісту можна довіряти повністю і подають точну інформацію про операції, дії або факти, що в них містяться;
- вони є цілісними, які містять виправлень;
- вони можуть бути знайдені, отримані, представлені та інтерпретовані.

Найбільш важливою якістю таких офіційних документів є незмінність їхнього інформаційного змісту. Для придбання даними або документом до ІС статус офіційного електронного документа вони повинні пройти процедури: класифікації, реєстрації та захисту від змін. Визначення того, яка інформація має стати в системі офіційним документом, має ґрунтуватися на аналізі законодавчих та регулюючих вимог, стандартів підприємства, вимог бухгалтерського та податкового обліку, на оцінці ризиків недокументованості процесів.

Технологічна підготовка виробництва формотворчих процесів на всіх авіабудівних підприємствах реалізується з використанням САД/САМ-систем.

Процедура переходу від розв'язання неоднозначних задач формоутворення до єдиного з використанням наведених вище моделей вимагає прийняття рішень на різних рівнях ієрархічної системи управління виробництвом. Тому в умовах авіабудівного підприємства зміна некоректної постановки завдання формоутворення на коректну відбувається на відповідних ієрархічних рівнях управління виробництвом. Так, рішення щодо маршрутних технологій приймають лише на рівні відділу головного технолога, а рішення про технологічні операції на робочих місцях – технологічних бюро цехів.

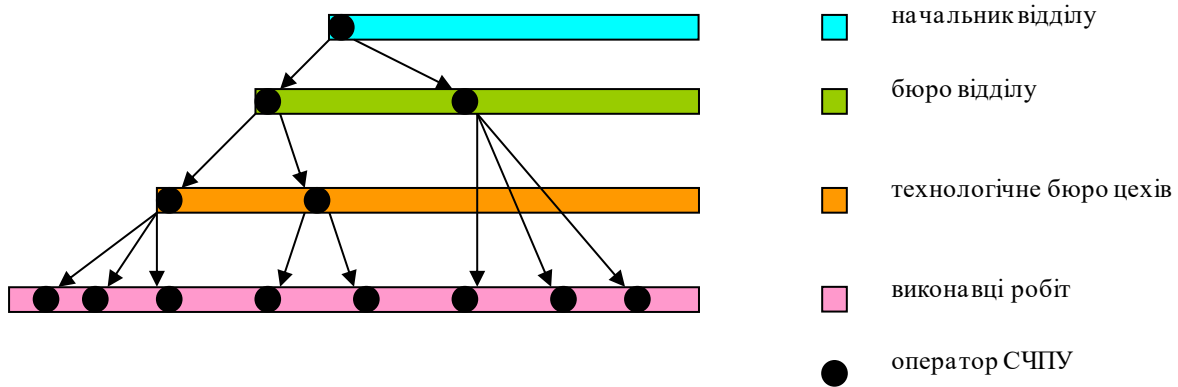


Рисунок 13 – Дерево підпорядкованості під час вирішення завдань формоутворення

Усі рішення про процеси формоутворення деталей (виробів) приймаються на етапах технічної підготовки, коли розробляється вся інформація про майбутній об'єкт виробництва. У колективі, що у проекті, відбувається обмін інформацією відповідно до ієрархії підпорядкованості (рис. 13). Коректна постановка завдань формоутворення повинна забезпечити умову прийняття єдиного рішення, реалізувати процедуру зрозумілим і зрозумілим чином, інформувати про прийняті рішення всіх учасників проекту. Без обов'язкової відповідальності за виконання ухвалених процедур реалізувати ці проголошені правила неможливо. Тому ухвалення такої постановки завдання невіддільне від відповідальності всіх учасників проекту. І коректність постановки завдання формоутворення будь-якому машинобудівному підприємстві нерозривно пов'язані з коректністю побудови ІС підприємства.

Стверджується так само те, що немає такої галузі інформації, яка не мала б виконавця, який за неї відповідає. Причому відповідальних виконавців за інформацію щонайменше одного.

5.2 Моделювання оснащення та формотворчого обладнання

Формування майбутнього об'єкта виробництва на етапі конструкторської підготовки полягає у розробці його моделі. Вибір системи координат у процесі

моделювання залишається за розробником виробу, причому однією з найважливіших умов цього вибору є коректність постановки завдання формоутворення. За виконання технологічної підготовки виробництва питання відповідності еталонної конструкторської системи координат і системи координат реального формотворчого устаткування ставати дуже актуальним.

В авіабудуванні розробка конструкції нового виробу починається із затвердження геометрії теоретичного контуру літака (рис. 14). Під час розробки конструкції дотримуються основного правила – всі силові елементи та обшивка не повинні перетинати теоретичний контур. З цього погляду процес конструювання літака полягає у заповненні об'єму поздовжнім і поперечним силовим набором для кріплення обшивки, форма якої в процесі експлуатації повинна відповідати теоретичному контуру. Оскільки теоретичний контур літака має досить складну форму, то для того, щоб поставлене завдання було вирішено (перша умова коректної постановки завдання формоутворення), це рішення було однозначним (друга умова коректності) і відтворюваним за подальшого серійного виробництва (третья умова коректності) – прийнято угоду, за яким теоретичний контур фактично є системою координат для виконання всіх побудов конструкції літака.

Пріоритетним завданням технологічної підготовки авіаційного виробництва є формування у реальному просторі теоретичного контуру літального апарату як оснащення для збирання окремих його агрегатів. У людино-орієнтованому виробництві це завдання вирішується з використанням плазово-шаблонного методу. З початком експлуатації CAD / CAM-систем широко використовується аналітичне моделювання об'єктів виробництва. Тому з'явилася можливість виконувати багато етапів технологічної підготовки виробництва з використанням цих систем.



Рисунок 14 – Теоретичний контур літака Ан-140

Стапель проектується як складальний пристрій для кожного конкретного агрегату з формуювальною функцією, в якому з умов точності визначаються максимальні відстані між його рубильниками.

Застосування сучасних технологій та високоточного обладнання при виготовленні деталей дозволяє відмовитись від традиційного оснащення для виробництва певної номенклатури агрегатів літака. Попереднє складання агрегатів виконується у спрощених складальних пристосуваннях, потім подається на клепальний автомат для остаточного з'єднання заклепувальними швами. Розробка КІ для клепального автомата в цьому випадку виконується за інформацією АЕ виробу, що збирається, що знижує трудомісткість підготовки виробництва.

6 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ЛІТАКА ТИПУ АН-140

6.1 Конструктивно-технологічний аналіз стабілізатора

Розроблений агрегат – стабілізатор літака типу АН-140, який використовується для перевезення пасажирів, багажу, пошти, вантажів на регіональних та ближніх магістральних авіалініях та має можливість експлуатації як на ЗПС зі штучним покриттям, так і на ґрунтових ЗПС.

Планер є цільний металевий моноплан з високо розташованим крилом, однокільовим вертикальним оперенням. Горизонтальне оперення розташоване на фюзеляжі у хвостовій частині. Стабілізатор стикується з фюзеляжем по шпангоутам 38 і 40. Пояси лонжеронів стикуються з кронштейном шпангоуту фюзеляжу болтовими з'єднаннями з затяжкою, що тарується.

Стабілізатор складається із двох симетричних консолей. Кожна консоль складається з носової, кесонної (міжлонжеронної) та хвостової частин.

Носова частина виконана з двох секцій знімних шкарпеток, що обігриваються. До складу секції носка входять поздовжні пояси, які служать для кріплення носка до поясів переднього лонжерону та поперечного набору. Нервюри встановлені по торцях секцій шкарпетки та приклепані до лонжерону. Діафрагми через накладки приклепуються до внутрішньої обшивки секцій носіння. Стик секцій шкарпетки виконаний по нервюрі 2 шкарпетки, що знаходиться напроти нервюрі 7 стабілізатора.

Кесонна частина стабілізатора складається з поздовжнього (лонжерони, стрінгери) та поперечного (нервюри) наборів. Лонжерони стабілізатора – балочної конструкції, клепані. Вони складаються з верхнього та нижнього поясів, стінки та стійок. На задньому лонжероні встановлені кронштейни навішування керма висоти. Нервюри стабілізатора складаються з поясів, стінок, стійок і компенсаторів кріплення панелей, середня з яких розташована між стрінгери 1-3 і є знімною. Знімна панель кріпиться болтами з анкерними гайками. На знімній панелі між нервюрами 2-3 встановлена фара, нижня панель

стабілізатора цільна. Усі панелі – клепаної конструкції, складаються з обшивки та набору стрінгерів.

Хвостова частина стабілізатора складається з набору діафрагм та панелей обшивки. Діафрагми кріпляться до заднього лонжерона стабілізатора за допомогою книжок.

Вузли навішування керма висоти кріпляться до двох лонжеронів по нервюрах №3, №7, №12, №16. У стабілізаторі розташований електромеханізм (ЕМУ) доступу до качалок і тяги керування триммером-сервокомпенсатором (рис. 15). На рисунку 16 наведено схему членування стабілізатора.

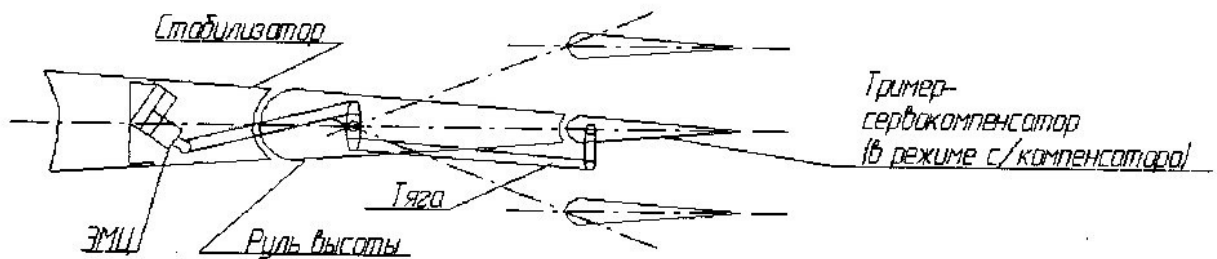


Рисунок 15 – Хвостова частина

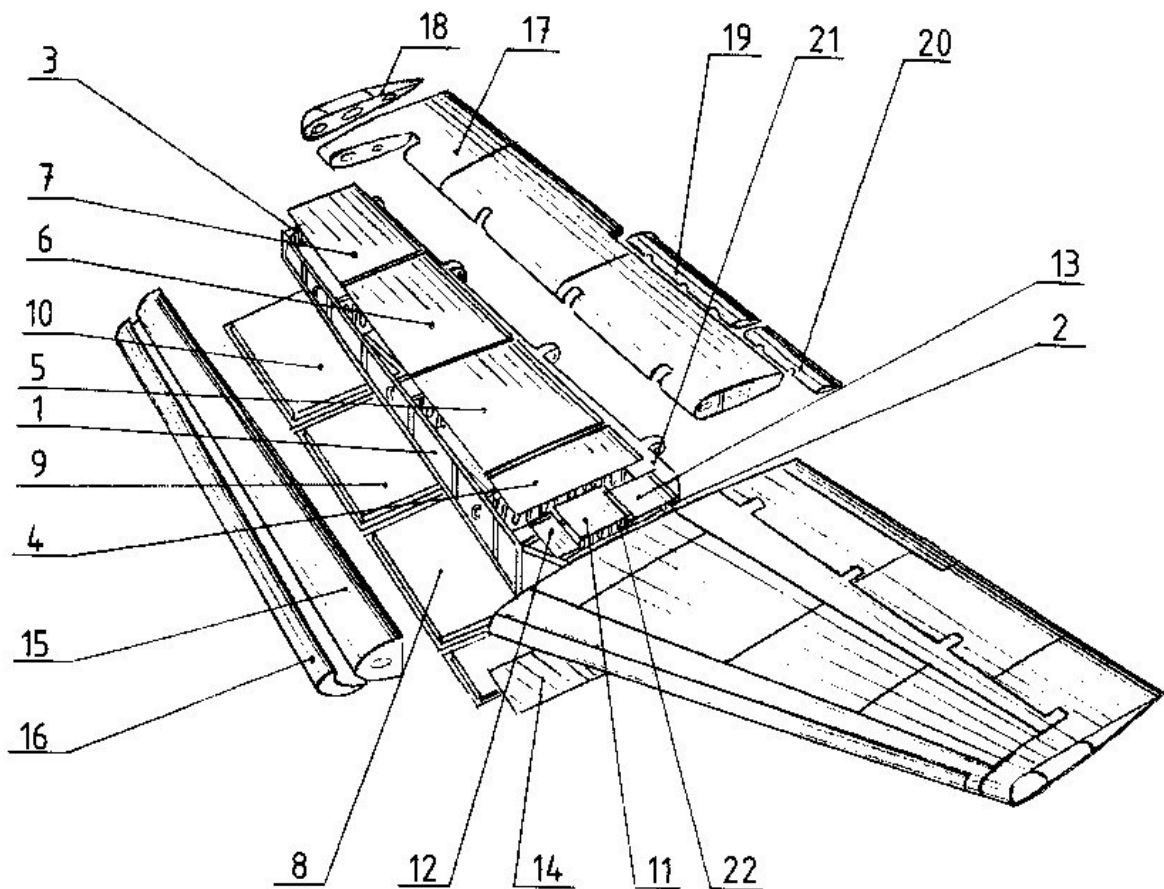


Рисунок 16 – Схема членування стабілізатора, де:

1 – лонжерон; 2 – коренева нервюра; 3 – торцева нервюра; 4 – верхня панель; 5 – верхня панель; 6 – верхня панель; 7 – верхня панель; 8 – нижня панель; 9 – нижня панель; 10 – нижня панель; 11 – знімна верхня панель стабілізатора; 12 – знімна верхня панель стабілізатора; 13 – знімна нижня панель стабілізатора; 14 – носок стабілізатора; 15 – дефлектор; 16 – Кермо висоти; 17 – обтічник РВ; 18 – сервокомпенсатор РВ; 19 – тример РВ; 20 – вузли навішування

6.2 Визначення навантажень, що діють на стабілізатор

6.2.1 Визначення повітряних навантажень

Відповідно до норм міцності, навантаження, що діють на стабілізатор, визначають за такими розрахунковими випадками:

- врівноважуюче навантаження;

- маневрене навантаження, внаслідок відхилення РВ;
- навантаження при польоті у неспокійному повітрі.

Врівноважуюче навантаження $P_{ур}$ за такою формулою (1):

$$P_{ур}^{\partial} = m_z \cdot \frac{p \cdot v^2}{2} \cdot \frac{b_{САХ}^{го}}{L_{го}} \cdot S_k, \quad (1)$$

де $m_z = 0,08$ за статистикою;

$\frac{p \cdot v^2}{2}$ - Швидкісний напір;

$b_{САХ}^{го}$ - 2030мм;

$L_{го}$ - плече горизонтального оперення; $L_{го} = 8842$ мм;

S_k - Площа крила; $S_k = 55$ м².

Зробимо розрахунок за формулою (1.2)

$$P_{ур}^{\partial} = 0,08 \cdot \frac{0,467 \cdot 180^2}{2} \cdot \frac{2030}{8842} \times 55 = 7642,5(\text{Н})$$

Розрахункове врівноважуюче навантаження

$$P_{ур}^{\partial} = n_3 \cdot f \cdot P_{ур}^{\partial}, \quad (2)$$

де $f = 1,5$ і $n_3 = 2,5$ тоді

$$P_{ур}^{\partial} = 2,5 \cdot 1,5 \cdot 7642,5 = 28659(\text{Н})$$

1. Маневрене навантаження, внаслідок відхилення

$$P_{МАН}^{\partial} = P_{ур}^{\partial} + \Delta P_{ур}^{\partial}, \quad (3)$$

$$\Delta P_{ур}^{\partial} = \pm k_1 \cdot \frac{G}{S_{кр}} \cdot S_{го}, \quad (4)$$

де $k_1 = 0,2$ за $M < 0,85$.

Приймаємо найнебезпечніший випадок, тобто коли $\Delta P_{ур}^{\partial}$.

$$\Delta P_{МАН}^{\partial} = 0,2 \cdot \frac{19150}{55} \cdot 16,5 = 1128,48(\text{Н})$$

$$P_{МАН}^{\partial} = 7642,4 + 1128,48 = 8770,9(\text{Н}),$$

Визначимо розрахункове навантаження

$$P_{\text{МАН}}^p = n^3 \cdot f \cdot P_{\text{МАН}}^{\text{э}} \quad (5)$$

де $f = 1,5$ і $n^3 = 2,5$ тоді

$$P_{\text{МАН}}^p = 2,5 \cdot 1,5 \cdot 8770,9 = 32890,8(\text{Н}).$$

2. Навантаження при польоті в неспокійному повітрі $P_{\text{НВ}}^{\text{э}}$:

$$P_{\text{НВ}}^{\text{э}} = P_{\text{ур}} + P_{\text{НВ}} = 0,8 \cdot P_{\text{ур}}^{\text{э}} + 1,5 \cdot C \cdot V_{0\text{max}} \cdot S_{\text{го}} \quad (6)$$

де $C = 0,899$ - коефіцієнт стисливого повітря.

$$V_{0\text{max}} = \sqrt{\frac{0,8 \cdot p \cdot V_{\text{max}}^2}{2 \cdot S}} = \sqrt{\frac{0,8 \cdot 0,467 \cdot 180^2}{2 \cdot 1,225}} = 70,29(\text{М/с}).$$

Підставляючи отримані величини формулу 1.5, маємо:

$$P_{\text{НВ}}^{\text{э}} = 0,8 \cdot 7642,4 + 1,5 \cdot 0,899 \cdot 70,29 \cdot 16,5 = 7677,89(\text{Н})$$

Визначимо розрахункове навантаження:

$$P_{\text{НВ}}^p = n^3 \cdot f \cdot P_{\text{МАН}}^{\text{э}} \quad (7)$$

$$P_{\text{НВ}}^p = 2,5 \cdot 1,5 \cdot 7677,9 = 28792,2(\text{Н}).$$

З розрахунків видно, що найбільшим є маневрене навантаження, тому в подальших розрахунках як розрахункове навантаження будемо використовувати отримане значення маневреного навантаження, що дорівнює:

$$P^p = 32890,8(\text{Н})$$

6.2.2 Визначення зовнішніх навантажень

Розподіл розрахункового навантаження між стабілізатором та кермом висоти визначається пропорційно до їх площ.

$$S_{\text{СТ}} = 4,194\text{м}^2;$$

$$S_{\text{РВ}} = 2,689\text{м}^2;$$

$$\begin{cases} \frac{P_{\text{СТ}}^p}{P_{\text{РВ}}^p} = \frac{S_{\text{СТ}}}{S_{\text{РВ}}} \\ P_{\text{го}}^p = P_{\text{СТ}}^p + P_{\text{РВ}}^p \end{cases} \quad (8)$$

$$P_{CT}^P = P_{го}^P \cdot \frac{S_{CT}}{S_{CT} + S_{PB}} = 32890,8 \cdot \frac{4,194}{4,194 + 2,689} = 20041,3(\text{H})$$

$$P_p^P = P_{CT}^P \cdot \frac{S_{PB}}{S_{CT} + S_{PB}} = 32890,8 \cdot \frac{2,689}{4,194 + 2,689} = 12849,5(\text{H})$$

Питоме навантаження визначається:

$$\overline{P}_{CT} = \frac{P_{CT}}{S_{CT}} = \frac{20041,3}{4,194} = 4778,56(\text{H}/\text{м}^2) = 487,11(\text{кг}/\text{м}^2);$$

$$\overline{P}_p = \frac{P_p}{S_{PB}} = \frac{12849,5}{2,689} = 4778,56(\text{H} / \text{м}^2) = 487,11 (\text{кг} / \text{м}^2).$$

Розподіл навантажень по хорді згідно з рекомендаціями норм міцності

По розмаху навантаження на стабілізатор розподіляється пропорційно хордам стабілізатора, а навантаження на кермо пропорційно хордам керма.

$$q_{0CT} = \overline{P}_{CT} \cdot B_{0CT}$$

(9)

$$q_{KCT} = \overline{P}_{CT} \cdot B_{KCT},$$

Де B_{0CT} і B_{KCT} – коренева та кінцева хорди стабілізатора.

Тоді за формулами (8) знаходимо:

$$q_{0CT} = 487,11 \cdot 1,537 = 748,95(\text{кг}/\text{м});$$

$$q_{KCT} = 487,11 \cdot 0,198 = 583,56(\text{кг}/\text{м});$$

З урахуванням розподілу навантаження по хорді маємо:

$$q_{0CT} = 0,18 \cdot B_{0CT} \cdot 2 \cdot h + \frac{0,51 \cdot h \cdot B_{0CT}}{2} = 748,95(\text{кг}/\text{м}),$$

$$q_{KCT} = 0,18 \cdot B_{0CT} \cdot 2 \cdot h + \frac{0,35 \cdot h \cdot B_{0CT}}{2} = 583,56(\text{кг}/\text{м}),$$

Звідси знайдемо величину h – інтенсивність зовнішнього навантаження.

$$h_{\text{КОРН}} = 792,5(\text{кг/м}^2);$$

$$h_{\text{КОНЦ}} = 910,4(\text{кг/м}^2).$$

6.3 ТУ на виготовлення стабілізатора

1. Геометричні розміри та теоретичний контур повинні відповідати кресленням.
2. Невказані граничні відхилення розмірів, форми та розташування поверхонь за ОСТ 100022.
3. Допуск на зміщення осей лонжеронів, нервюр 1,2,5,9,13 щодо їхнього теоретичного положення ± 1 мм; нервюр типових ± 2 мм.
4. ПО середнім вузлам навішування РВ (нервюри 5,9) допускається відхилення осі обертання від прямої, що проходить через крайні вузли навішування $\pm 0,5$ мм.
5. Деталі БЧ виготовляти за шаблонами із плаза.
6. Шорсткість оброблюваних поверхонь подітий. БЧ \sqrt{Ra} 6.3.
7. Покриття деталей ОСТ 1 90055.
8. БЧ деталі маркувати та таврувати за інструкцією.
9. Металізація за ОСТ 101025.
10. Кліпати за інструкцією ПП 249.
11. Обробку отворів та встановлення болтів виконувати за РТМ 1.4.1941.
12. Знімні шкарпетки панелі (між стрінгери 1 і 3) встановлювати герметиці У-30МЕС-5М, забезпечивши їхню знімність.
13. Кроки заклепок та болтів типові:
 - для однорядного заклепувального шва 30 мм;
 - для дворядного заклепувального шва 40 мм у шаховому порядку;
 - для болтового шва 25 мм.

7 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА

7.1 Конструктивно-технологічний аналіз основних об'єктів виробництва в цеху

У цьому розділі проводиться проектування цеху механообробки великогабаритних деталей на верстатах з ЧПУ.

Проектований цех належить до групи механообробних цехів літакобудівного підприємства. Залежно від типу літака, що випускається, а також від величини програми випуску, кількість механічних цехів на підприємстві може бути різною. Однак можна виділити найбільш характерні для будь-якого виробництва, такі як:

- цехи виготовлення великогабаритних деталей (панелі, балки, рейки та ін.);
- цехи виготовлення дрібних та середніх деталей (кронштейни, фітинги та ін.);
- цехи виготовлення деталей систем управління та шасі (тяги, качалки, циліндри штоки);
- цехи панелей;
- цехи нормалей та стандартних виробів;
- допоміжні цехи.

Задано програму випуску $N_{\text{вип}} = 30$ деталей на рік.

Виробляються деталі літак типу Ан-140.

Надалі розглядатимемо проєктований цех, як окрему виробничу одиницю. Насамперед потрібно визначити номенклатуру оброблюваних деталей, необхідну кількість деталей однією машиною і річну програму. При подальшому розрахунку необхідно визначити трудомісткість робіт, розрахувати кількість обладнання та робочих цеху. На базі існуючого виробництва розробляємо класифікатор деталей, що обробляються в цеху.

7.2 Розробка класифікатора деталей цеху

Основою комплексного проектування технологічних процесів, створення оснастки та обладнання є класифікація деталей.

При проектуванні механічного цеху необхідно керуватися такими основними принципами:

1. Номенклатура оброблюваних деталей розбивається за конструктивно-технологічними ознаками класи.
2. Для кожного класу складаються відомості з ескізами представників та розробляються типові техпроцеси, придатні для обробки будь-якої деталі цього класу.

3. Унікальні техпроцеси розробляються індивідуально особливо складні деталі.
4. Класифікація деталей та групування їх за характером технологічного маршруту дозволяє застосовувати потоковий метод виробництва та організувати багатомономенклатурні поточкові лінії.

В основу класифікації деталей цеху покладено конструктивні та технологічні ознаки. Розподіл деталей на класи зроблено за найбільш стабільною ознакою – конструктивною формою. У процесі класифікації деталей цеху враховують такі основні фактори:

- матеріал заготівлі;
- Вид заготівлі;
- Конфігурація деталей;
- габаритні розміри;
- Спільність технологічного процесу.

Виходячи з цього, всі деталі, що виготовляються в цеху, що проектується, діляться на класи. Класифікатор дає наочне уявлення про номенклатуру деталей, що обробляються в цеху, в ньому дано конструктивно-технологічні характеристики деталей, що дає можливість розробити типовий техпроцес стосовно представника кожного класу.

Розроблений класифікатор представлений у графічній частині проекту.

7.3 Технологічна підготовка виробництва

У даному дипломному проекті розглянуто технологічну підготовку виробництва типового представника великогабаритних деталей, що обробляються на верстатах з ЧПК – панель.

7.3.1 Конструктивно-технологічний аналіз панелі.

При обробці деталей складних просторових форм застосування верстатів з ЧПУ дозволяють значно знизити трудомісткість фрезерування та свердління приблизно в 20-25 разів, а також підвищити продуктивність та точність виготовлення деталей.

Найбільш ефективним є використання в літакобудуванні верстатів з ЧПУ при обробці деталей складних просторових форм. Типовим представником може бути панель центроплана нижня.

Панель центроплана нижня являє собою деталь складної форми, що виготовляється з алюмінієвого сплаву 1161Т, маса 24,3 кг.

Основною технологічною операцією виготовлення панелі є фрезерна обробка на верстаті з ЧПУ ФП-7, після фрезерної проводиться слюсарна доробка.

Сплав 1161Т відноситься до групи сплавів системи, що деформуються, алюміній – цинк – магній – мідь. Сплав більш чутливий до повторних навантажень, до концентрації напруг і дії гострих надрізів, до перепаду жорсткості, тому необхідне ретельне відпрацювання конструктивних форм.

З метою підвищення малоциклової втоми та корозійної стійкості застосовують багатоступінчастий режим старіння.

7.3.2 Вибір виду та розмірів заготовки

Вибір виду заготівлі, з якої має виготовлятися деталь, визначається багатьма чинниками. Основними є програма випуску виробів, що характеризує тип виробництва вимоги до механічних властивостей деталі, коефіцієнт використання матеріалу та інші.

Розроблювана деталь – панель. Програма випуску 30 літаків – дрібносерійне виробництво. З огляду на це вибираємо заготівлю. Економічні вигідніше використовувати поковку, хоча в порівнянні зі штампуванням КІМ (КІМ = 0,3) буде трохи нижче.

Необхідно розрахувати припуск на обробку шляхом підсумовування по всіх операціях для кожної поверхні деталі.

Односторонній проміжний припуск обчислюють за формулою [4], мкм:

$$Z = [R_z + h + (\bar{\rho}_\alpha + \bar{\varepsilon}_\delta)] + \delta \quad (10)$$

де Z – номінальний проміжний припуск;

R_z - висота мікронерівностей (величина шорсткості);

h – глибина дефектного шару, отриманого попередньому переході;

$\bar{\rho}_\alpha$ - Векторна сума просторових відхилень взаємозалежних поверхонь оброблюваної заготовки, що вийшла на попередньому переході;

$\bar{\varepsilon}_\delta$ - похибка установки (базування) при обробці, що виконується;

δ - Допуск на операційний розмір попередньої обробки.

При збігу настановної та конструктивної баз $\bar{\varepsilon}_\delta = 0$. Величина $\bar{\rho}_\alpha$

Виключається з формули у разі обробки плаваючим інструментом.

Розрахунок операційних припусків починаємо з останньої операції обробки та за етапами техпроцесу підсумовуємо припуски, отримуючи розміри заготівлі. Результати заносимо до таблиць 2 та 3.

Розрахунок ведемо від максимальних (габаритних) розмірів деталі: 3062 × 357 × 45мм.

Для розрахунку використовуємо дані таблиць 11, 24, 32 довідника [2].

Таблиця 2 – Розрахунок припуску для розміру 45 мм

Технологічний перехід обробки	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий операційний розмір, мм	Прийнятий розмір заготовки, мм
	Rz	h	δ			
Поковка	1000		1600		54,81	55
Чорнове фрезерування	250	240	1000		49,61	
Отримане фрезерування	125	120	390		46,63	
Чистове фрезерування	40	40	100		45,36	
Шліфування					45	

Таблиця 3 – Розрахунок припуску для розміру 357 мм.

Технологічний перехід обробки	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий операційний розмір, мм	Прийнятий розмір заготовки, мм
	Rz	h	δ			
Поковка	1000		2500		370,41	375
Чорнове фрезерування	250	240	1 6 0 0	7000	363,41	
Отримане фрезерування	125	120	630	4180	359,23	
Чистове фрезерування	40	40	1 6 0	1750	357,48	
Шліфування				480	357	

При призначенні припуску розміром 3062 мм слід врахувати технологічний припуск на приторцовку центрплана – по 3 мм із боку. Виходячи з цієї вимоги, призначаємо розмір заготовки 3100 мм.

Отже, панель виготовляється із поковки розміром 3350 × 375 × 50мм.

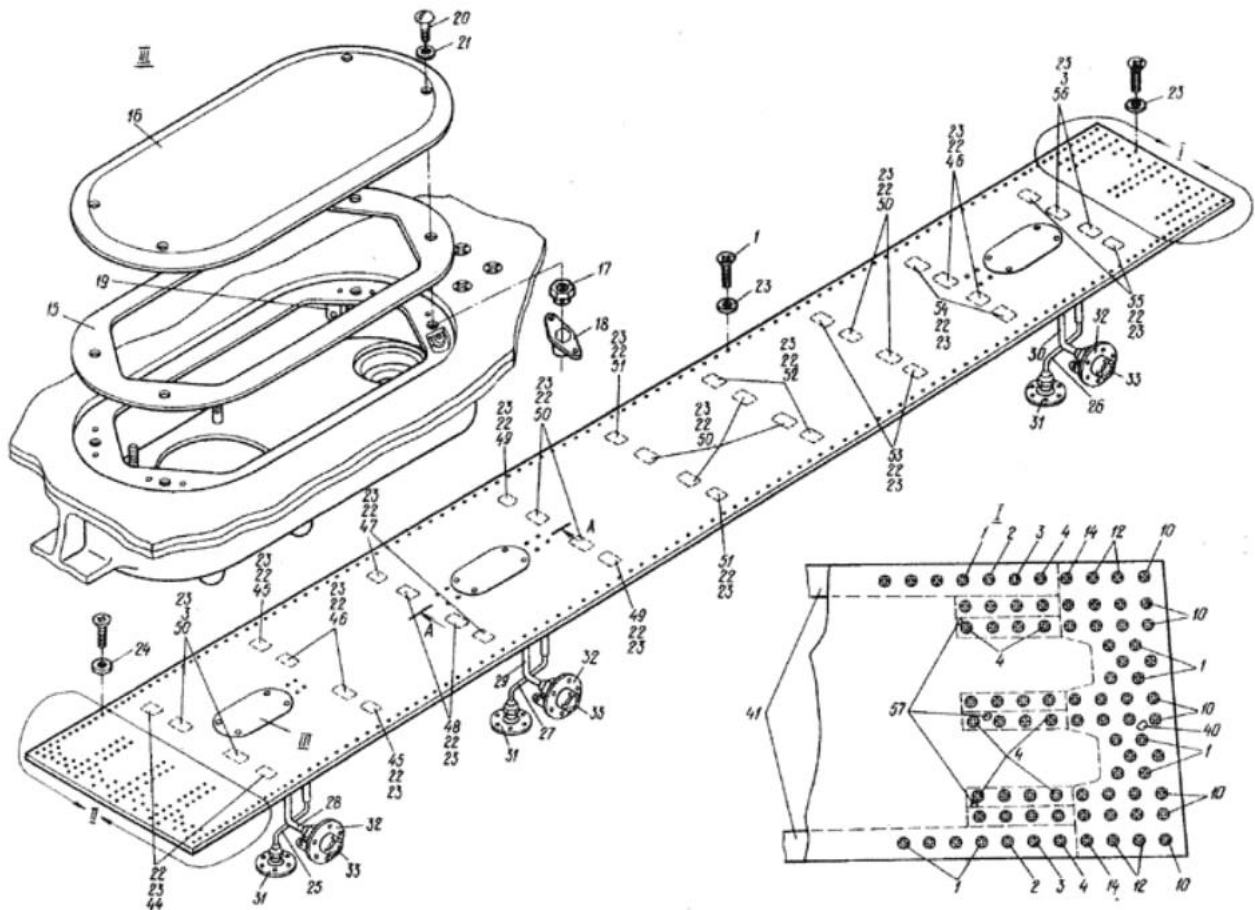


Рисунок 17 – Заготовка панелі

7.3.3 Упорядкування технологічного маршруту виготовлення деталі

Укрупнений технологічний процес обробки панелі представлений у таблиці 4.

Таблиця 4 – Укрупнений технологічний процес обробки панелі

№ опер.	найменування операції	зміст операції	Устаткування	Оснащення
1	Контрольна	Перевірити розміри заготовлі та техдокументацію	Стіл контрольний	Лінійка, штангенциркуль
2	Розмічувальна	Розмітити контур з викопування	Плита розмічувальна	Керн, молоток, штангенрейсмас
3	Фрезерна з ЧПУ	Фрезерувати поверхню	Верт. Фрезерний верстат з ЧПУ ФП-7	Фреза $\varnothing 200$

Продовження таблиці 4

№ опер.	найменування операції	зміст операції	Устаткування	Оснащення
4	Слюсарна	Притупити гострі кромки	Слюсарний верстат	Напиллок обертовий
5	Фрезерна з ЧПУ	Фрезерувати поверхню 2	Верт. Фрезерний верстат з ЧПУ ФП-7	Фреза \varnothing 200
6	Фрезерна з ЧПУ	Фрезерувати заготовку за програмами 0-2	Верт. Фрезерний верстат з ЧПУ ФП-7	Фреза кінцева \varnothing 40
7	Слюсарна	Притупити гострі кромки	Слюсарний верстат	Напиллок обертовий
8	Фрезерна з ЧПУ	Фрезерувати заготовку за програмами 3-15	Верт. Фрезерний верстат з ЧПУ ФП-7	Фреза кінцева \varnothing 40 \varnothing 18
9	Слюсарна	Зачистити оброблені поверхні	Слюсарний верстат	ПМ, напиллок, шліф. шкірка
10	Маркувальна	Маркувати панель	Слюсарний верстат	Молоток набір букв
11	Контрольна	Контролювати розміри деталі та якість поверхонь	Стіл контрольний	Лінійка, штангенциркуль, зразки цероговатості
12	Гнучка	Зробити згинання панелі в місцях потовщень під колодязі	Прес РУЄ-250	Шаблон КШСН
13	Контрольна	Контролювати ТК панелі	Стіл контрольний	Шаблон КШСН, щуп
14	Свердлильна	Свердлити по 5 відп. У торцях панелі	Монтажна плита	СМ, свердло \varnothing 30
15	Слюсарна	Притупити гострі кромки	Слюсарний верстат	Напиллок обертовий
16	Розмічувальна	Розмітити осі стикувальних отворів	Плита розмічувальна	Керн, молоток, штангенрейсмас

Продовження таблиці 4

№ опер.	найменування операції	зміст операції	Устаткування	Оснащення
17	Фрезерна з ЧПУ	Фрезерувати панель за програмами 16,17	Верт. Фрезерний верстат з ЧПУ ФП-7	Фреза кінцева Ø 22
18	Слюсарна	Притупити гострі кромки	Слюсарний верстат	Напилек обертовий
19	Контрольна	Контролювати розміри та розташування колодязів	Стіл контрольний	Лінійка, штангенциркуль, викоп .
20	Зміцнення	Зміцнити поверхню панелі дробоструминним способом	ДОК-1	
21	Контроль БТК	Перевірити розміри, товщини, шорсткість, притуплення країв	Стіл контрольний	Штангенциркуль, товщинометр, зразки шорсткості
22	Контроль маси		Ваги ВНЦ-10	

7.3 Проектування цеху

7.3.1 Розрахунок кількості основного виробничого устаткування

При розрахунку кількості верстатів необхідно мати дані про верстатоемність виготовлення деталей T_c , тобто про час, витрачений на виготовлення деталей і вираженому у годинах роботи устаткування.

Сумарну річну станкоемність з обробки деталей визначають за формулою

$$\sum T_{c_j} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{шт.-к_{i,j}} N_i}{60} \quad (11)$$

де $t_{шт.-к_{i,j}}$ – штучно-калькуляційний час виконання j -ї операції виготовлення i -ї деталі, хв;

N_i - річний обсяг випуску -х деталей, шт ;

n - кількість різних деталей, що обробляються на верстатах даного типу розміру;
 m - кількість операцій обробки - деталі на верстатах даного типу розміру.

Визначимо річну верстатомісткість по кожній моделі верстата T_c .

Для зручності виконання подальших розрахунків усі результати занесемо до таблиці 5

Розрахункова кількість верстатів C_p визначають за формулою

$$C_p = \frac{\sum T_c}{\Phi_{д.о}}, \quad (12)$$

де $\sum T_c$ – сумарна річна станкоємність обробки річної кількості деталей, виготовлених на верстатах даного типорозміру, год;

$\Phi_{д.о}$ - дійсний (розрахунковий) річний фонд часу роботи обладнання (верстата), ч. При однозмінному режимі роботи цеху з урахуванням втрат часу на планово-попереджувальний ремонт $\Phi_{д.о} = 2030$ ч.

Прийнята для ділянки кількість верстатів $C_{пр}$ визначимо округленням отриманого розрахункового значення C_p до більшого цілого найближчого числа.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 5.

Коефіцієнт завантаження верстатів K_z обчислюємо за формулою

$$K_z = \frac{C_p}{C_{пр}}, \quad (13)$$

Таблиця 5 – Коефіцієнт завантаження верстатів

Модель обладнання	Верстатомісткість, T_c	Розрахункова кількість верстатів, C_p	Прийнята кількість верстатів, $C_{пр}$	Коефіцієнт завантаження, K_z
6Н13П	45330,8	22,33	23	0,97
МА655 С5	23877,5	11,76	12	0,98
ФП-17М	23671,3	11,66	12	0,97
ФП-7СМН2	9591,6	4,72	5	0,94
2Н12	3741,23	1,84	2	0,92

Середній коефіцієнт завантаження обладнання $K_{з.ср}$ усієї ділянки обчислюємо за формулою

$$K_{з.ср} = \frac{\sum C_{pi}}{\sum C_{прi}} = \frac{52,31}{54} = 0,97.$$

$C_{пр}$ - Кількість слюсарних верстатів:

$$T_c = 7366,7; C_{пр} = 3,6; C_{сп} = 4.$$

7.3.2 Розрахунок кількості працюючих

Розрахунок виробничих робітників

Кількість виробничих робочих-верстатників визначимо на підставі прийнятої кількості обладнання за такою формулою

$$P = \frac{\Phi_{д.о.} \cdot C_{пр} \cdot K_{з.ср}}{\Phi_{д.р} \cdot K_M} \quad (14)$$

де $\Phi_{д.о.}$ - дійсний (розрахунковий) річний фонд часу роботи устаткування (верстата), год;

$C_{пр}$ - кількість прийнятих верстатів, прим.;

$K_{з.ср}$ - Середній коефіцієнт завантаження обладнання;

$\Phi_{д.р}$ - дійсний (розрахунковий) річний фонд часу робітника, год;

K_M - Коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування (приймаємо від 1,05 до 1.1).

У нашому випадку $\Phi_{д.о.} = 2030$ ч, $\Phi_{д.р.} = 1800$ ч.

Отримаємо:

$$P = \frac{2030 \cdot 54 \cdot 0,97}{1800 \cdot 1,1} = 53,7 \approx 54 \text{ робочих}$$

Розрахунок кількості допоміжних робітників

Загальну кількість допоміжних робочих визначаємо у відсотках кількості виробничих робочих, використовуючи таб. 7.5 та таб. 7.6 [7]:

Налагоджувачі обладнання: 2 чол.

Слюсарі з обслуговування обладнання: 2 чол.

Верстатник з ремонту обладнання : 1 чол.

Слюсарі з ремонту обладнання: 2 чол.

Верстатники з ремонту пристроїв та інструменту: 2 чол.

Слюсарі з ремонту пристроїв та інструменту: 2 чол.

Електромонтер: 1 чол.

Комірник: 1 чол.

Транспортувальники: 2 чол.

Контролер: 1 чол.
 Підсобні робітники: 5 чол.
 Кранівники: 2 чол.
 Прибиральники: 3 чол.
 Загальна кількість: 26 чол.

7.3.3 Попереднє визначення площ ділянки та цеху

Площі цеху за функціональним призначенням класифікують на виробничі та допоміжні.

До виробничих площ відносяться площі, які безпосередньо призначені для здійснення технологічного процесу. Це площі, зайняті обладнанням, робочими місцями та випробувальними пристроями, майданчиками для міжопераційного складування деталей, заготовок та напівфабрикатів, проходами та проїздами між рядами верстатів (немагістральними), місцями майстра та контролера ділянки.

При укрупненому розрахунку виробничої площі норматив питомої площі на одиницю обладнання диференціюється за об'єктами виготовлення, габаритами обладнання та видами виробництва цехів.

При попередньому опрацюванні планувальної схеми виробничу площу F ділянки (цеху) визначають за питомим показником $F_{уд}$ виробничої площі, що припадає на один верстат:

$$F = F_{уд} \cdot C_{пр}, \quad (15)$$

Питому виробничу площу $F_{уд}$ нашого варіанту візьмемо з таблиці 1 [6], ($F_{уд} = 40 \text{ м}^2/\text{од.}$).

$$F = 40 \cdot 54 = 2160 \text{ м}^2.$$

До допоміжних відносяться площі, які займають ділянки для ремонту обладнання та оснащення, майстерні з ремонту пристроїв, інструменту; заточними відділеннями; приміщеннями для чергових слюсарів, електромонтерів тощо; приміщеннями для приготування мастильно-охолоджувальної рідини (СОЖ), для контролю, для цехових енергетичних та санітарно-технічних установок.

Порахуємо допоміжні площі для цеху, що проектується.

Нормативи до розрахунку площ допоміжних приміщень взято з таблиці 2 [6].

Служба механіка цеху:

верстатна ділянка: $N = 0,04 \cdot 54 = 2,16 \approx 3$ (ст.); $F = 3 \cdot 10 = 30$ (м²);

комора матеріалів та запасних частин: $F = 54 \cdot 0,05 = 2,7$ (м²);

комора мастильних матеріалів: $F = 54 \cdot 0,05 = 2,7$ (м²);

Інструментальне господарство:

майстерня ПРИН: $N = 0,03 \cdot 54 = 1,62 \approx 2$ (ст.); $F = 2 \cdot 18 = 36$ (м²);

заточувальна майстерня: $N = 0,04 \cdot 54 = 2,16 \approx 3$ (ст.); $F = 3 \cdot 10 = 30$ (м²);

інструментально-роздавальна комора: $F = 54 \cdot 0,4 = 21,6$ (м²);

комора абразивів: $F = 54 \cdot 0,3 = 16,2$ (м²);

склад пристроїв: $F = 54 \cdot 0,3 = 16,21$ (м²);

архів креслень: $F = 11$ (м²);

комора господарських матеріалів: $F = 54 \cdot 0,1 = 5,4$ (м²);

ізолятор шлюбу: $F = 10$ (м²);

площі контрольних ділянок (вважаємо, що в нашому цеху 2 контролери):
 $F = 6 \cdot 2 = 12$ (м²);

матеріальні комори (МАСК, ПРОСК, СГД): $F = 2160 \cdot 0,12 = 260$ (м²);

7.3.4 Розробка технічного рішення компонування корпусу та цеху з розміщенням у ньому ділянок

У компонувавальному плані цехи пов'язують виробничі та допоміжні відділення цеху, враховують його розташування щодо інших цехів. На план наносять магістральні та цехові проїзди та проходи; вибирають ширину прольоту, крок колон, довжину прольоту, висоту корпусу до підкранових колій або нижнього пояса ферм; намічають вантажопідйомність та кількість кранових засобів, призначених для обслуговування виробництва; викреслюють вертикальні розрізи будівель, щоб показати обрану висоту виробничого цеху(корпусу) і транспортні засоби.

Відповідно до рекомендацій [6] вибираємо уніфіковані габаритні схеми промислових будівель. Даний корпус має сітку колон з шириною прольоту 18 м та кроком колон 12 м, висота від підлоги до низу несучих конструкцій – 10,8 м. Розміри корпусу 72 × 144 м. З одного боку корпусу зроблено прибудову, в якій розміщуються конторсько-побутові приміщення. Крок колон прибудови 6 × 6 м, тому крайній ряд колон основного корпусу має крок 6 м. Корпусні проїзди проходять вздовж кожного прольоту. Ширина цехових проїздів становить 3 м, що цілком достатньо проїзду електрокар. Вантажі на електрокари завантажуються за допомогою мостових кранів.

У графічній частині зображено планування цеху.

При розміщенні обладнання повинні бути дотримані норми технологічного проектування, що регламентують ширину проходів та проїздів (немагістральних), відстані між верстатами та верстатами від стін та колон. Ці норми беремо в таблиці 6 [6].

Схема цеху наведена у додатку.

8 АНАЛІЗ РИНКУ

8.1 Характеристика товару

Пасажирський літак Ан-140 призначений для перевезення від 40 до 52 пасажирів на місцевих авіалініях завдовжки від 2000 до 2500 км.

Літак Ан-140 – середній літак, який зможе виконувати пасажирські та вантажопасажирські перевезення, та експлуатуватися на коротких злітно-посадкових та ґрунтових аеродромах.

У конструкції літака закладено низку параметрів, які роблять цей літак незамінним для України:

- експлуатація на коротких ЗПС та ґрунтових аеродромах;
- можливість виконувати пасажирські та вантажопасажирські перевезення;
- відповідність вимогам міжнародних норм;
- рівень комфорту реактивних лайнерів;
- невисока ціна;
- низький рівень витрат на техобслуговування та експлуатацію;
- автономна експлуатація;
- компактність;
- хвостовий багажник збільшеного обсягу та підпільного хвостового відсіку;
- можливість застосування вітчизняного та зарубіжного обладнання та двигунів.

Літак Ан-140 має такі варіанти виконання:

- пасажирський літак на 46 та 52 місць;
- вантажний;
- адміністративний;
- спеціального виконання (льодової та рибної розвідки, геологорозвідувальний, патрульний і тощо).

8.2 Аналіз ринку

У процесі виробництва вироби стикаються із проблемою різних вимог покупців. Тому виділяють певну частину споживачів, які висувають однорідні вимоги до виробу.

Вибір стратегії сегментації залежить від наступних факторів:

- від виду своєї продукції;
- від становища підприємства над ринком;
- від фінансового стану підприємства та його виробничих потужностей.

8.3 Ризики ринків країн СНД

Переваги:

- КБ ім. Антонова відоме на ринку СНД;
- традиційність зв'язків;
- система технічного обслуговування добре налагоджена.

Недоліки:

- загальна економічна криза;
- введення прикордонних бар'єрів.

8.4 Ринки країн далекого зарубіжжя

Переваги:

- великі розміри ринків;
- мала конкуренція цього типу літаків;
- стабільніше політичне та економічне становище.

Недоліки:

- проблема налагодження контактів через проблеми всередині СНД (політичної та економічної нестабільності);
- складність з післяпродажним обслуговуванням.

При дослідженні ринку повітряних сполучень спостерігаються тенденції збільшення місткості літака, причому місткості як пасажирської, і вантажний.

8.5 Фінансування проекту

Держава є основним джерелом матеріально-технічного постачання підприємства.

8.6 Оплата праці цеху

Найбільш прогресивною формою оплати нині є погодинно-змінною. Вона дає високу якість робіт і створює умови підвищення продуктивності праці шляхом збільшення обсягу робіт чи зменшення чисельності персоналу чи збереження обсягу робіт.

Обов'язковою умовою ефективності роботи з погодинною оплатою праці є наявність нормованих завдань, розрахованих за технічно обґрунтованими нормами, які є вихідною базою для преміювання.

В основу систем оплати ІТП та МОП покладено рахунково-складську систему. Розмір окладу залежить від складності та відповідальності виконуваних робіт.

Посадові оклади інженерів-технологів залежать від кваліфікації. Посадові оклади начальника цеху, старших і змінних майстрів залежить від групи цеху та ділянки, яка визначається типом виробництва складністю продукції, що випускається, і чисельності працюючих.

8.7 Визначення прямої заробітної плати виробничих робітників

Пряма заробітна плата (ПЗП) визначається за формулою

$$\text{ПЗП} = T \cdot \bar{e} \left(1 + \frac{\bar{k}_{\text{шт}} + \bar{k}_{\text{ут}}}{100\%}\right), \quad (16)$$

де T – річна трудомісткість робіт i -того робочого, осіб/рік.;

$$T = \sum t_j \cdot N_{\text{зап}} = 113579,13; \quad (17)$$

$e = 2,65$ грн/год. – середня ставка на відрядні роботи;

$k_{\text{шт}}$ та $k_{\text{ут}}$ – середні за цехом нормативи доплат за умови та інтенсивність праці, %; $\bar{k}_{\text{ут}} = 4\%$, $\bar{k}_{\text{шт}} = 12\%$ [14].

$$\text{ПЗП} = 113579,13 \cdot 2,65 \left(1 + \frac{16}{100}\right) = 233200,66 \text{ грн.}$$

Розрахуємо додаткову заробітну плату за формулою

$$\text{ДЗП} = \text{ПЗП} (K_{\text{год}} + K_{\text{дн}} + K_{\text{міс}}) / 100; \quad (18)$$

де $K_{\text{год}}, K_{\text{дн}}, K_{\text{міс}}$ – прийняті нормативи часових, денних та місячних доплат, %.

$$\text{ДЗП} = 233200,66 \cdot \left(\frac{10+3+16}{100} \right) = 67628,19 \text{ грн.}$$

Повна заробітна плата виробничих робітників становить

$$P_{\text{повн}} = \text{ПЗП} + \text{ДЗП} = 233200,66 + 67628,19 = 300828,19 \text{ грн.}$$

8.8 Розрахунок заробітної плати допоміжних робітників

Заробітна плата допоміжних робітників зумовлюється за статтями смети витрат на утримання та експлуатацію обладнання та смети цехових витрат.

У всіх допоміжних робочих 3-й кваліфікаційний розряд, що за умов роботи забезпечити середню тарифну ставку $\bar{C}_{\text{год}} = 10 \text{ грн./год.}$

Визначимо пряму заробітну плату

$$\text{ПЗП} = n \cdot \bar{C}_{\text{год}} \cdot \bar{\Phi}_{\text{д}} \left(1 + \frac{k_{\text{шт}} + k_{\text{ут}}}{100\%} \right), \quad (19)$$

де $\bar{C}_{\text{год}}$ – часова ставка за загінними роботами, грн./чол. × рік;

n – кількість допоміжних робітників біля цеху;

$\bar{\Phi}_{\text{д}}$ – дійсний фонд роботи робітників, певний за формулою (20)

$$\text{ПЗП} = 18 \cdot 10 \cdot 1810 \left(1 + \frac{10}{100} \right) = 358380 \text{ грн.}$$

Розрахуємо додаткову заробітну плату за формулою (21)

$$\text{ДЗП} = 358380 \cdot \left(\frac{10+12+10}{100} \right) = 114681,6 \text{ грн.}$$

Повна заробітна плата виробничих робітників становить

$$P_{\text{повн}} \text{ЗП} = 358380 + 114681,6 = 473061,6 \text{ грн.}$$

8.9 Визначення витрат на заробітну плату ІТП та МОП

Пряма заробітна плата цих категорій розраховується за формулою

$$\text{ПЗП}_i = n_i \cdot \Phi_{\text{д}} \cdot O_i \cdot (1 + K_{\text{ут}}/100), \quad (22)$$

де n_i – чисельність працівників на i -й посаді, чол.;

$\Phi_{\text{д}}$ – річний дійсний фонд години, міс.;

O_i – ставка працівника на i -й посаді, грн.;

K_{UT} , – норматив доплат за умови праці.

Додаткова заробітна плата керівників, фахівців, службовців та МОП розраховується за формулою (23). Розрахунок зведемо до таблиці 6.

Таблиця 6 – Розрахунок заробітної плати ІТП та МОП

№п/п	Найменування професії	Кількість рік.	Ставка грн.	$\Phi_{дміс.}$	$K_{UT}, \%$	ПЗП, грн.	$K_{год.}, \%$	$K_{дн.}, \%$	$K_{міс.}, \%$	ДЗП, грн.	$\Pi_{овн.ЗП}, \text{грн.}$
1	Начальник цеху	1	3725	11,5	12	47978	10	12	10	15352,96	63330,96
2	Зам. начальника цеху з виробництва	1	3350	11,5	12	43148	10	12	10	13807,36	56955,36
3	Зам. начальника цеху з підготовки виробництва	1	3350	11,5	12	43148	10	12	10	13807,36	56955,36
4	Старший майстер	1	3100	11,5	12	39928	10	12	12	13575,52	53503,52
5	Змінний майстер	1	2900	11,5	12	37352	10	12	12	11952,64	49304,64
6	Контрольний майстер	1	2900	11,5	12	37352	10	12	12	11952,64	49304,64
7	Начальник техбюро	1	3350	11,5	12	43148	10	12	10	13807,36	56955,36
8	Технолог	1	2875	11,5	12	37030	10	12	10	11849,6	48879,6
9	Начальник ПДБ	1	3350	11,5	12	43148	10	12	10	13807,36	56955,36
10	Нормувальник	1	2850	11,5	12	36708	10	12	12	12480,72	49188,72
11	Начальник БТЗ	1	3350	11,5	12	43148	10	12	10	13807,36	56955,36
12	Начальник БТК	1	3350	11,5	12	43148	10	12	10	13807,36	56955,36
13	Нарядник	1	2200	11,5	12	28336	10	12	12	9634,24	37970,24
14	Табельник	1	2200	11,5	12	28336	10	12	12	9634,24	37970,24
	Разом	14	-	-	-	55190 8	-	-	-	179276,7 2	731184,7 2

8.10 Основні фонди цеху та амортизація

До основних фондів підприємства належать: будівлі, споруди, силові машини, робоче обладнання та цехові транспортні засоби, вимірювальні та

регулюючі прилади, цінний універсальний інструмент та пристрій, цінний виробничий та господарський інвентар.

Первісну вартість будівлі розраховують

$$C_{зд} = V_k \cdot C_k + V_n \cdot C_n, \quad (24)$$

де V_k, V_n – обсяги, займані у виробничому корпусі та прибудові до нього;

C_k, C_n - Вартість 1 м^3 , $C_k = 200$ грн./ м^3 , $C_n = 170$ грн./ м^3 .

$$C_{зд} = 15667,2 \cdot 200 + 388 \cdot 170 = 3199400 \text{ грн.}$$

Первісну вартість робочого обладнання та підйомно-транспортних засобів обчислюють

$$C_{об} = 1,1 \sum_{i=1}^m n_i c_i (1 + k_{тр}), \quad (3.7) \quad _ _$$

де n_i – прийнято кількість обладнання, шт.;

$k_{тр}$ – коефіцієнт, що враховує витрати на транспортування та монтаж обладнання ($k_{тр} = 0,1$);

m – кількість видів основного обладнання, встановленого у цеху.

Коефіцієнт $k = 1,1$ враховує балансову вартість підйомно-транспортних засобів, додаткового та допоміжного обладнання.

Первісну вартість вимірювальних та регулюючих приладів можна прийняти для цехів стапельної складання 10 % від балансової вартості робочого обладнання. Балансову вартість цінного виробничого та господарського інвентарю можна взяти 2 % від балансової вартості робочого обладнання цеху.

Результати розрахунку зведемо до таблиці 7.

Таблиця 7 – Розрахунок основних фондів цеху та амортизації

Найменування	Вартість, грн.	Норма аморти. відрахувань, %	Аморти. відрахувань
Забудови	385440	5	19272
Обладнання	645 831	15	96975
Інструмент	96875	15	24218
Інвентар	19375	25	2906
Разом	1147521	-	143271

8.11 Витрати на експлуатацію та утримання обладнання

Кошторис витрат на утримання та експлуатацію обладнання складається з ряду статей. Склад статей витрат на утримання та експлуатацію обладнання поданих у таблиці 3.3. Результати розрахунку занесені до цієї таблиці.

1. Стаття перша враховує амортизаційні відрахування на робоче обладнання та цехові транспортні засоби, вимірювальні та регулюючі прилади. Загальну суму амортизаційних відрахувань за перерахованими основними фондами цеху визначаються за формулою

$$A_{\text{год}} = \sum (H_{ai}/100)C_b, \quad (25)$$

де H_{ai} – норма амортизаційних відрахувань за i -м видом основних фондів;
 C_b – балансова вартість основних фондів.

$$A_{\text{год}} = 3443,25 \text{ грн.}$$

2. Стаття друга враховує витрати на експлуатацію обладнання:

а) плата за допоміжні матеріали

$$C = n_{об} \cdot 20 = 39 \cdot 20 = 780 \text{ грн.} \quad (26)$$

б) зарплата слюсарів, наладчикам, електрикам, допоміжним робочим

$$C = 18 \cdot 2190 \cdot 12 = 473040 \text{ грн.}$$

в) відрахування на соціальне страхування 37 % від річного фонду зарплати допоміжним робочим

$$C_{\text{страх.}} = 473040 \cdot 0,37 = 175024,8 \text{ грн.}$$

г) оплата палива та енергії

$$C_{\text{ТЕ}} = 26778 \text{ грн.}$$

3. Стаття третя враховує витрати на ремонт виробничого обладнання:

а) допоміжні матеріали

$$C_{\text{доп.}} = 1515,03 \text{ грн.}$$

б) заробітна плата слюсарів ПРИН і ремонтникам

$$C_{\text{ЗП}} = 12 \cdot \text{СЗП} \cdot \text{к}$$

де СЗП – середня заробітна плата ремонтникам;

к = 8 – кількість робітників.

$$C_{\text{ЗП}} = 80064 \text{ грн.}$$

в) відрахування на соціальне страхування 37% $C_{ПЗП}$

$$C_{ЗП} = 29629,68 \text{ грн.}$$

4. Стаття четверта враховує витрати цеху на внутрішньозаводське переміщення вантажів, доставку матеріалів, напівфабрикатів із заводських складів та інших цехів; доставку до робочих місць матеріалів, деталей та інструментів; вивезення з цеху готової продукції, напівфабрикатів, відходів:

а) витрати

$$C_{\text{витр}} = 12 \cdot C_{ЗП_{\text{витр}}} \cdot k = 12 \cdot 634,26 \cdot 2 = 15222,24 \text{ грн.}$$

б) соціальне страхування

$$C_{ЗП} = 15222,24 \cdot 0,37 = 5632,23 \text{ грн.}$$

5. Стаття п'ята враховує витрати на відшкодування знесення та відновлення інструментів та пристроїв загального призначення:

а) $C_{\text{витр}} = 3068 \text{ грн.}$

б) $C_{ПЗП} = 2 \cdot 364,26 \cdot 12 = 8742,24 \text{ грн.}$

в) соціальне страхування

$$C_{\text{страх.}} = 8742,24 \cdot 0,375 = 3278,24 \text{ грн}$$

6. Інші витрати 5% від попередніх статей.

Таблиця 8 – Витрати на експлуатацію та утримання обладнання

Найменування статей витрат	Дод. матер.	Зарплата	Відрах. соц. фондам	Паливо, енергія	Аморт. відр.	Послуги інших цехів	Σ
Амортизація обладнання ТЗ	—	—	—	—	3443,25	—	3443,25
Експлуатаційні ТЗ	780	473040	175024,8	26778	—	—	675622,8
Поточний ремонт обладнання	1515,03	80064	29623,68	—	—	—	111202,71
Утримання ТЗ	—	15222,24	5632,23	—	—	—	20854,47
Відновлення інструменту	3068	8742,24	3278,24	—	—	—	15088,48

Продовження таблиці 8

Найменування статей витрат	Дод. матер.	Зарплата	Відрах. соц. фондам	Паливо, енергія	Аморт. відр.	Послуги інших цехів	Σ
Інші	–	–	–	–	–	41310,59	41310,59
Разом	5363,03	577068,48	213558,95	26778	3443,25	24548,2	867522,3

8.12 Цехові витрати

Кошторис витрат на управління цехом складається з декількох статей. Стаття перша враховує витрати на утримання управлінського персоналу цеху:

1. Стаття перша враховує витрати на утримання управлінського персоналу цеху:

а) заробітна плата ПЗП = 263718 грн.

б) відрахування на соціальне страхування $C_{\text{страх}} = 97575,66$ грн.

Заробітна плата працівників техбюро тут не враховується.

2. Стаття друга враховує витрати на зарплату та відрахування на соціальне страхування працівників техбюро та допоміжних робітників, не пов'язаних з експлуатацією та обслуговуванням обладнання (заготівельників, контролерів, комірників).

а) ПЗП = 228942 грн.

б) $C_{\text{страх}} = 84708,5$ грн.

3. Стаття третя враховує амортизаційні відрахування за будівельними спорудами тощо .

$$C_{\text{ам. буд.}} = 159970 \text{ грн.}$$

4. Стаття четверта враховує витрати цеху на утримання будівель, споруд, інвентарю.

Витрати на опалення, вентиляцію, освітлення будівель можуть бути прийняті у розмірі 10 % від вартості будівництва цеху:

$$C = 319940 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання будівель у чистоті:

а) Витрати матеріали – 1 % вартості будівлі цеху

$$C_m = 31994 \text{ грн.}$$

б) заробітна плата та відрахування на соціальне страхування прибиральників цеху

$$\text{ПЗП} = 79640 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{страх}} = 31994 \text{ грн.}$$

5. Стаття п'ята враховує витрати на поточний ремонт будівель та споруд і приймається 3 % вартості будівлі цеху

$$C = 95982 \text{ грн.}$$

6. Стаття шостої враховує витрати на випробування, досліди та дослідження

$$C = P_{\text{роб}} \cdot 50 = 77 \cdot 50 = 3850 \text{ грн.}$$

7. Стаття сьома враховує витрати на охорону праці та промислову санітарію.

Ці витрати можуть бути прийняті у розмірі 15 грн. на одного працюючого у складальних цехах.

$$C = P_{\text{роб}} \cdot 15 = 77 \cdot 15 = 1155 \text{ грн.}$$

8. Стаття восьма враховує витрати на відшкодування зносу інвентарю

$$C = P_{\text{роб}} \cdot 10 = 77 \cdot 10 = 770 \text{ грн.}$$

9. Стаття дев'ята враховує загально цільові витрати на канцелярські, тощо. Їх приймаємо у розмірі 5 % від суми попередніх статей цехових витрат.

$$C_{\text{проч}} = 0,05 \cdot C_{\text{заг.}} = 55202,67 \text{ грн.}$$

Усі розрахункові дані зведені до таблиці 9.

Таблиця 9 – Цехові витрати

	Дод. матер.	Зарплата	Відрахування соц. фондів	Паливо енергія	Аморт. відр.	Послуги інших цехів	Σ
Утримання АЦП	–	263718	97575,66	–	–	–	361293,66

Продовження таблиці 9

	Дод . мате р.	Зарплат а	Відрахува ння соц . фондам	Палив о енергі я	Аморт . відр .	Послуги інших цехів	Σ
Утримання іншого персоналу	–	228942	84708,5	–	–	–	313650,5
Амортизаційн і відрахування	–	–	–	–	159970	–	159970
Утримання будівель	31994	26281,4 4	79640	29466, 8	–	–	167382,24
Ремонт	–	–	–	–	–	–	95982
Охорона праці	–	–	–	–	–	–	1155
Раціональне виробництво	–	–	–	–	–	–	3850
Відшкодуванн я зносу інвентарю	–	–	–	–	–	–	770
Інші витрати	–	–	–	–	–	55202,67	55202,67
Разом	31994	518941, 44	261924,16	29466, 8	159970	55202,67	1159256,0 7

8.13 Розрахунок собівартості виробництва

При розробці плану по собівартості продукції здійснюються розрахунки річної смети витрат на виробництво та калькуляцію собівартості виробів.

Смета витрат на виробництво цеху відображає всі витрати цеху на річну програму їх розподіляють на 2 розряди:

- 1) за економічними елементами;
- 2) за калькуляційними статтями витрат.

Усі виробничі витрати поділяються на прямі та непрямі. Прямі витрати – витрати, що розраховуються на одиницю конкретного виробу. Непрямі витрати цеху – це витрати, які неможливо розраховувати на конкретні вироби.

Після складання річної смети витрат на виробництво, обмежимо собівартість виробу.

Зробимо розрахунок статей калькуляційних витрат:

1. Витрати на покупні вироби та напівфабрикати розраховуються так само, як і витрати на основні матеріали. Куплені вироби та напівфабрикати, використovanі у цеху представлені у таблиці 10.

Таблиця 10 – Витрати на покупні вироби та напівфабрикати

№ п/п	Найменування матеріалів	Одиниця виміру	Норма на виріб	Оптова ціна за кг (л), грн.	Загальна ціна, грн
1	Герметик ВІТЕФІНТ	кг	10	48	480
2	Герметик УЗОМЕС5М	кг	5,5	56	308
3	Бензин	л	2,5	11,9	29,75
4	Ацетон технічний	л	4,2	15,9	66,78
5	Клей ВК-27	кг	5,2	37,8	196,56
6	Масило ЦИАТЦМ201	кг	1,2	36	43,2
7	Грунт ЕП-0215	кг	8,42	36	303,12
8	Емаль	л	1,8	42	75,6
Разом					1503,1

Загальні витрати складають

$$1503,01 \cdot 28 = 40581,27 \text{ грн.}$$

2. Пряма заробітна плата виробничих робітників. До цієї статті включають пряму заробітну плату:

$$\text{ПЗП} = 1476832,5 \text{ грн.}$$

3. Додаткова заробітна плата

$$\text{ДЗП} = 472586,4 \text{ грн.}$$

4. Відрахування із зарплати виробничих робітників

Відрахування на соцстрахування із зарплати виробничих робітників становить 37,5 % від фонду оплати праці виробничих робітників. Фонд оплати праці основних робітників (ФОП):

$$\text{ФОТ}_{\text{оп}} = 1949418,9 \text{ грн.}$$

$$0,375 \cdot \text{ФОТ}_{\text{оп}} = 0,375 \cdot 1949418,9 = 968431,2 \text{ грн.}$$

5. Витрати на підготовку та освоєння виробництва.

До витрат на підготовку та освоєння виробництва відносяться витрати на підготовку та освоєння нових видів продукції та нових технологічних процесів. Приймаємо їх рівними 10 % від фонду оплати праці виробничих робітників:

$$0,1 \cdot \Phi OT_{\text{оп}} = 0,1 \cdot 1949418,9 = 194941,89 \text{ грн.}$$

6. Знос інструменту та пристроїв цільового призначення (спецоснащення).

Знос спецоснастки, що списується на собівартість виробу за два роки.

$$P_{\text{ос}j} = \frac{Z_{\text{со}j}}{2 \cdot N_{\text{зап}j}} \quad (3.10)$$

де $Z_{\text{со}j}$ – витрати на спецоснащення, використовуване на виготовлення виробу.

$$P_{\text{ос}j} = \frac{15088,48}{2 \cdot 27} = 279,42 \text{ грн.}$$

7. Витрати з утримання та експлуатації обладнання.

Ця стаття є комплексною. Результати її розрахунку наведені у таблиці, вони складають 867522,3 грн.

8. Витрати на управління цехом.

Ця стаття комплексна та результати її розрахунку зведені до таблиці, вони складають 1159256,07 грн.

9. Загальнозаводські витрати.

Приймаємо загальнозаводські витрати рівними 80 % від фонду оплати праці виробничих робітників:

$$0,8 \cdot \Phi OT_{\text{оп}} = 0,8 \cdot 1949418,9 = 1559535,12 \text{ грн.}$$

10. Витрати на медичне страхування складають 2,6 % від фонду оплати праці виробничих робітників:

$$0,026 \cdot \Phi OT_{\text{оп}} = 0,026 \cdot 1949418,9 = 50684,89 \text{ грн.}$$

11. Витрати на обов'язкове страхування майна. Складають 6,5 % від фонду оплати праці виробничих робітників:

$$0,065 \cdot \Phi OT_{\text{оп}} = 0,065 \cdot 1949418,9 = 126712,23 \text{ грн.}$$

12. Позавиробничі витрати приймаємо 2,5 % від суми виробничих витрат (вище за перераховані 11 статей):

$$0,025 \cdot 6405698,63 = 160142,47 \text{ грн.}$$

Результати за статтями калькуляції та розрахунок ціни виробу подань у таблиці 11.

Таблиця 11 – Розрахунок ціни виробу

№ п/п	Статті витрат	Величина витрат на одиницю виробу, грн.	Величина витрат на рік, грн.
1	Матеріали, закупні вироби та напівфабрикати	1503,01	40581,27
2	Повна заробітна плата виробничих робітників	1476832,5	39874477,5
3	Відрахування до соціальних фондів	968431,2	26147642,4
4	Підготовка та освоєння виробництва	194941,89	5263431,03
5	Знос інструменту та приладів	279,42	7544,34
6	Витрати з утримання та експлуатації обладнання	867522,3	23423102,1
7	Цехові витрати	1159256,07	31299913,89
8	Загальнозаводські витрати	1559535,12	42107448,24
9	Витрати на медичне страхування	50684,89	1368492,03
10	Страхування майна	126712,23	3421230,21
11	Позавиробничі витрати	160142,47	4323846,58
12	Повна собівартість	6565841,1	177277709,7

9. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

У цьому розділі викладено досвід виконання завдань технологічної підготовки виробництва складнопрофільних деталей з керуванням обладнанням від СЧПУ під час вирішення завдань формоутворення.

9.1 Аналіз процесів формоутворення на устаткуванні з ЧПУ після його модернізації

Проведений аналіз формоутворювальних ТП на авіаційних підприємствах показав, що робочі подачі на верстатах з ЧПУ при виготовленні значної номенклатури деталей з легкообробних металів (типу Д16) знаходяться в межах 150...400 мм/хв, хоча паспортні характеристики обладнання дозволяють обробляти на подачах до 1500 мм /хв. Причина такого використання можливостей обладнання полягає в експлуатації застарілих систем ЧПУ, які не забезпечують необхідну точність позиціонування та стійкість управління приводами подач навіть за незначного збільшення швидкостей переміщень у межах робочих характеристик. Тому одним із перспективних напрямів удосконалення процесів формоутворення на обладнанні з ЧПК в умовах серійного авіаційного виробництва є збільшення контурної швидкості при забезпеченні необхідної точності позиціонування робочих органів обладнання.

Для оцінки можливостей модернізованого обладнання за умов серійного авіаційного виробництва було обрано вертикально-фрезерний верстат ФП-7СМН5. Програмне керування верстатом реалізовано за допомогою СЧПУ, обробка виконувалася за трьома координатами згідно з КП, записаною на перфострічці. При цьому забезпечувався програмний вибір та зміна інструменту, перемикання діапазонів обертів шпинделя, затискач та розжим координатних осей. Подачі (переміщення столу, повзуна та фрезерної головки) здійснюються від електродвигунів постійного струму серії ПБСТ з тиристорним керуванням. У перехідних процесах двигун допускає чотириразове навантаження струмом.

У процесі модернізації верстата ФП-7СМН5 було виконано заміну СЧПУ типу CNC, у математичному забезпеченні якої використано розроблені алгоритми кругової та лінійної інтерполяції, S-подібний закон зміни швидкості. Була проведена заміна індуктивних вимірювальних перетворювачів типу трансформатор, що обертається, на дискретні оптичні. Зовнішній вигляд системи ЧПУ показано на 18.



Рисунок 18 – Модернізований верстат ФП-7СМН5 з ЧПУ

Взаємозв'язок системи управління зі верстатом та оператором зображено на структурній схемі ЧПУ (рис. 19), основними структурними блоками якої є:

- підсистема ЧПУ верхнього рівня, що забезпечує можливість введення та редагування КП, вибору режиму роботи верстата, введення та редагування параметрів СЧПУ, побудована на базі РС . До складу верхнього рівня входить пульт оператора, що забезпечує інтерфейс СЧПУ з оператором. Функціональні складові пульта оператора можна розділити на пристрої виведення інформації - монітор, елементи індикації та введення - клавіатура, екранні форми. КП, крім введення з клавіатури, можуть бути завантажені через мережу або з будь-якого стандартного зовнішнього носія інформації;
- підсистема ЧПУ нижнього рівня, яка безпосередньо керує автоматикою

верстата та електроприводами за допомогою програмно-апаратних модулів вводу-виводу. Система ЧПУ нижнього рівня розміщена в електрошафі приводів. Основні модулі нижнього рівня: блок живлення; ІТО-05 – чотириканальний модуль обробки сигналів зворотного зв'язку оптичних вимірювальних перетворювачів; 32-канальний модуль вхідних дискретних сигналів ІМДЕ-802; 32-канальний модуль вихідних сигналів ІМДА-803; модуль ІМС-01 інтерфейсів; модуль ІТУ-05 – чотириканальний ЦАП; контролер нижнього рівня.

Апробація розроблених алгоритмів S-подібного закону зміни швидкостей, а також кругової та лінійної інтерполяції виконувалася при виготовленні кришки люка-лаза, оскільки саме ці види інтерполяції використовуються на підприємствах при розробці КП. Важливою умовою тестування було використання раніше розробленого КП для ВПП. Тому в розглянутому завданні КП була незмінною, вихідною інформацією. Але така постановка прямого завдання формоутворення виявилася некоректною. У СЧПУ, що експлуатуються, керуючі програми використовують поширений формат НЗЗ, в якому всі переміщення задаються з точністю до другого десяткового знака. Сьогодні всі КП розробляються виключно з використанням САД/САМ-систем, у яких точність розрахунків становить щонайменше три десяткові знаки. Тому після розробки КП з точністю до третього знака її перетворять на формат системи НЗЗ з точністю до другого десяткового знака (ціна дискрети 0,01 мм).

За результатами попередньої підготовки до виконання такої КП у СЧПУ з переходом на дискретність 0,001 мм з'ясувалося, що на деяких ділянках кругової інтерполяції спостерігається різницю між радіусами на початку та в кінці дуги кола. Максимальна величина відхилень проєкцій радіусу на координатні осі становила дев'ять дискрет, а помилка радіальна до 12 дискрет.

Задана в такий спосіб вихідна інформація до виконання кругової інтерполяції призводить до порушення умов коректності постановки завдання формоутворення, оскільки завдання немає рішення (порушено перше умова). Не може бути побудована дуга кола, у якого радіуси на її початку і в кінці мають

різні значення. Причиною цієї ситуації є невідповідність формату N33 КП формату ISO. Для вирішення задачі необхідно змінити її постановку на коректну.

Правильною, з погляду коректності постановки завдання, було б розробка нової КП з точністю до третього десяткового знака. Але при виконанні модернізації обладнання було поставлено умову, що система СЧПУ має сприймати КП у форматі N33, оскільки за роки експлуатації обладнання на ньому налагоджено кілька сотень таких програм.

При круговій інтерполяції повинна виконуватися умова рівності радіусів спочатку і наприкінці дуги, тому прийнятним рішенням є рух по дузі кола з початковим радіусом, а в останньому кроці інтерполяції здійснити вихід в кінцеву точку з радіусом $R_{до}$ (рис. 19). Але прийняття такого алгоритму реалізації кругової інтерполяції може призвести до різкої зміни величини швидкості та її напрямку на останній ділянці інтерполяції (рис. 20), що є порушенням третьої умови коректної постановки задачі та за певних значень параметрів це може виявитися у порушенні технологічних вимог процесу формоутворення.

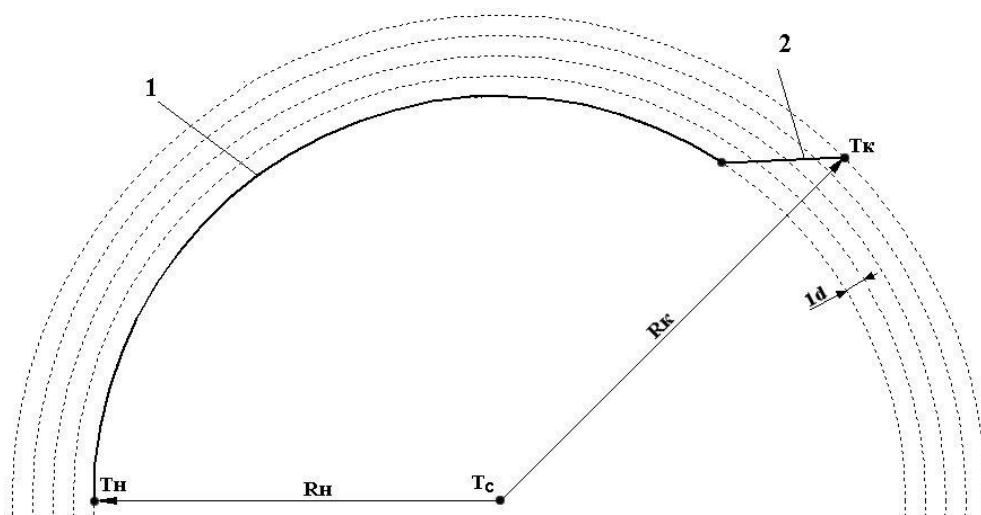


Рисунок 19 – Кругова інтерполяція зі збільшенням дискретності СЧПУ проти вихідної, де:

T_c – точка центру кола; T_n, T_k – Початкова і кінцева точки траєкторії кола; R_n, R_k – радіус у початковій і кінцевій точках; 1 – інтерполяційна траєкторія; 2 – останнє тактове збільшення, (вихід у кінцеву точку)

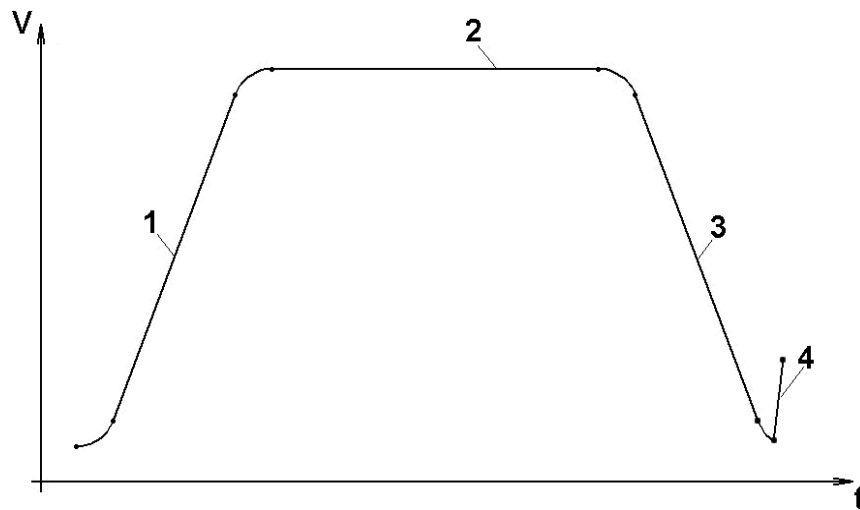


Рисунок 20 – Графік швидкості під час відпрацювання одиночного кадру кругової інтерполяції, де:

1 – ділянка розгону; 2 – ділянка із постійною швидкістю; 3 - ділянка гальмування; 4 - сплеск швидкості при виході в кінцеву точку

Проведений аналіз дозволив обґрунтувати необхідність зміни постановки завдання. Виконання кругової інтерполяції при різних значеннях радіусів на початку та в кінці дуги кола на величину більше однієї дискрети здійснюється за таким алгоритмом (рис. 21).

Переміщення з початкової точки кадру в кінцеву відбувається за сімейством дуг концентричних кіл, радіуси яких відрізняються на одну дискрету. Перехід з однієї дуги на іншу виконується за умовою досягнення значення збільшення радіуса величини однієї дискрети (рис 21).

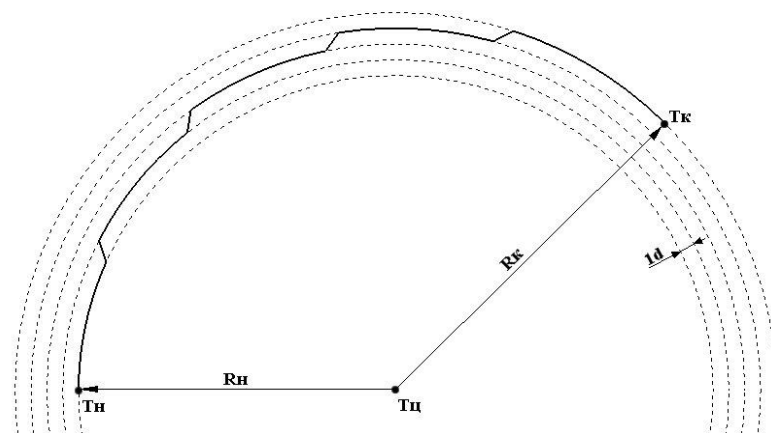


Рисунок 21 – Кругова інтерполяція при зміні постановки задачі

Переміщення сімейством дуг концентричних кіл можна лише умовно назвати кругової інтерполяцією, але оскільки точність верстата становить $\pm 0,1$ мм, а величина однієї дискрети дорівнює $0,001$ мм, то відхилення лежать у межах допусків виготовлення деталей. Виконання описаних заходів дозволило виготовити люк на модернізованому верстаті (рис. 22).

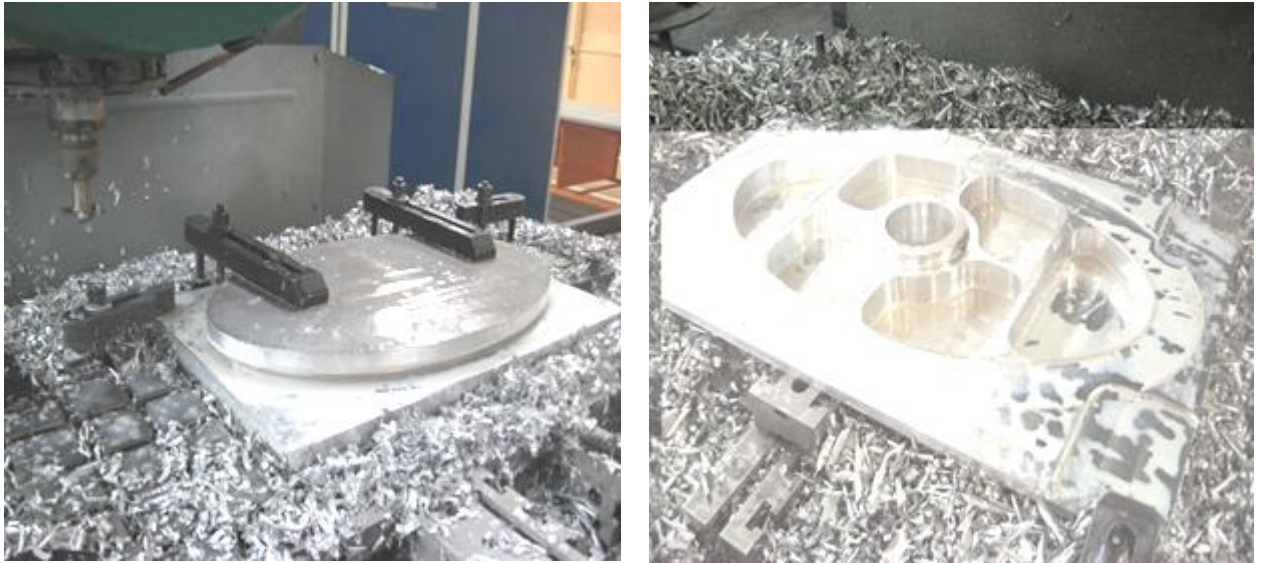


Рисунок 22 – Процес виготовлення кришки люка-лаза на модернізованому верстаті ФП-7СМН5

Оцінка можливостей модернізованого верстата виконувалася шляхом порівняння виготовлення кришки люка-лаза спочатку за вихідною програмою, що управляє, а потім за прискореною (рис. 23) без зміни траєкторії руху інструменту. Таблиця демонструє деякі технологічні параметри їхнього порівняння.

Час виготовлення деталі за прискореною програмою зменшено у 2,4 рази. Таким чином, виконана модернізація дозволила значно скоротити трудомісткість формотворчих операцій.

Таблиця 12 – Результати тестування

Параметри	Початкова КП	Прискорена КП	Порівняння
Максимальна робоча подача, мм/хв.	250	800	$\frac{Fy_m}{Fu_m} = 3,2$
Максимальна швидкість холостого ходу, мм/хв.	1000	2000	$\frac{Fy_xx}{Fu_xx} = 2$
Час обробки деталі за 19 програмами	580 хв. 11 с.	217 хв. 10 с.	$\frac{\sum T_{исх}}{\sum T_{уск}} = 2,4$

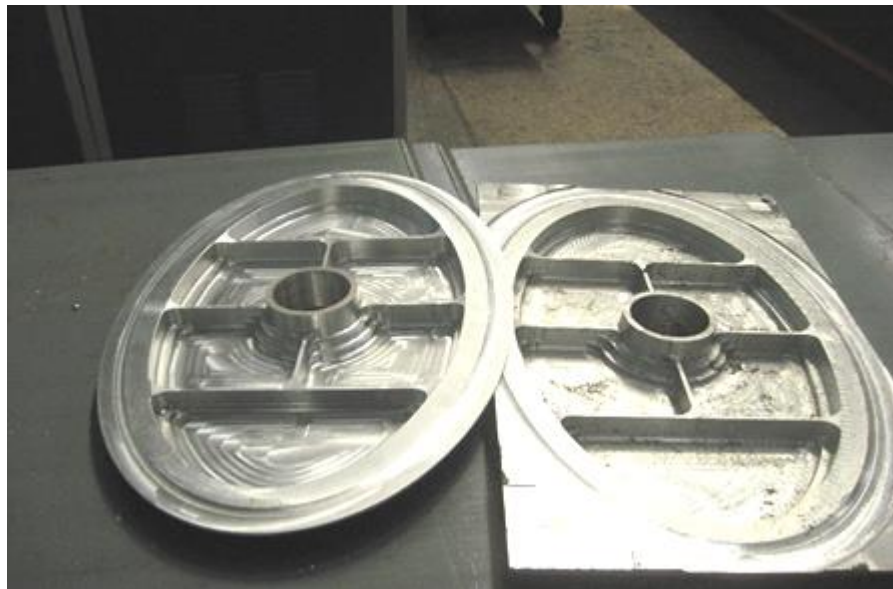


Рисунок 23 – Кришка люка, виготовлена за вихідною (ліворуч) КП та ця ж деталь перед фінішними операціями по прискореній КП (праворуч)

9.2 Розв'язання прямої задачі формоутворення на станках з ЧПУ в умовах серійного авіаційного виробництва

Освоєння виробництвом модернізованого обладнання відбувалося у процесі виготовлення серійного кронштейну. При цьому керуюча програма та інструмент не повинні змінюватися, що забезпечує можливість використання впроваджених раніше керуючих програм. На початковій стадії передбачалося виготовлення кронштейну із заготовки, отриманої литтям із технологічного

алюмінієвого сплаву. (рис. 24). Технологічний процес складається з 33 операцій, серед яких можна виділити шість основних формоутворюючих: операція 06 - попередня (чорнова) обробка лицьової сторони за керуючою програмою №1, 2 та 6; операція 09 – попередня (чорнова) обробка зворотної сторони за КП № 7 – №10; операція 19 – напівчистова обробка лицьової сторони за КП №11 та 12; операція 20 – напівчистова обробка зворотної сторони за КП №13, 14, 15 та 16; операція 22 – остаточна обробка лицьової сторони за КП №17, 18 та 19; операція 23 - остаточна обробка зворотної сторони по КП №20, 21, 22, 23, 24, 25 та 26.

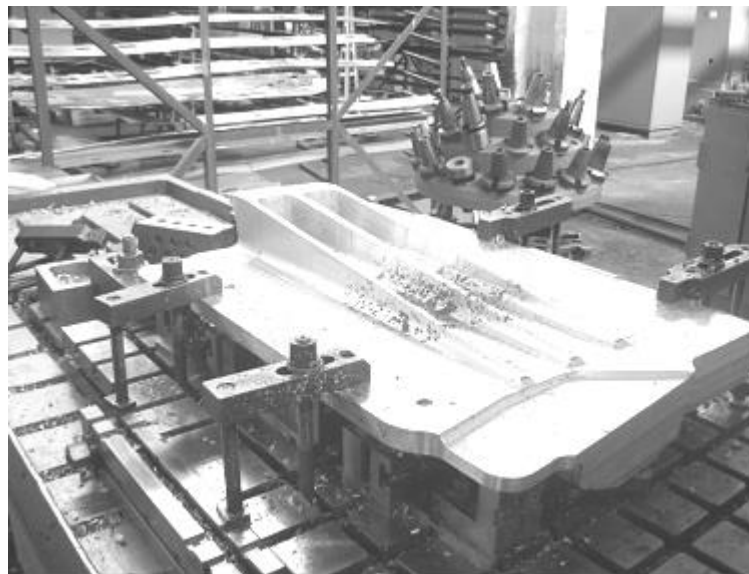


Рисунок 24 – Виготовлення кронштейну з технологічної заготовки

Заготовка фіксується за допомогою УСП, яке збирається для кожної операції (рис.25).

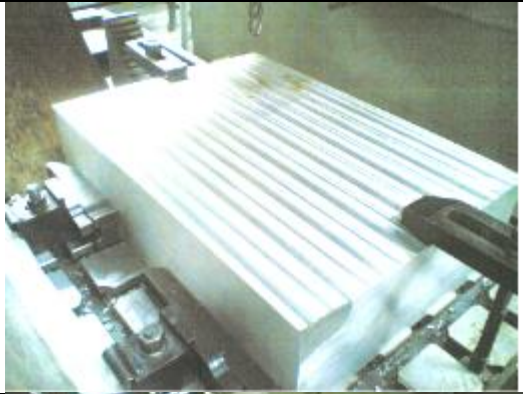









Рисунок 25 – УСП для кріплення заготовки у процесі формоутворення

Таблиця 13 дає коротку інформацію про деякі формотворчі технологічні операції, що виконуються за КП. Для кожного переходу показано заготівлю перед початком обробки, її кріплення в УСП. На другому малюнку кожного рядка наведено ту саму інформацію, але вже після завершення переходу. Такий графічний супровід дозволяє наочно подати формоутворення авіаційної деталі в умовах серійного виробництва, що доповнює технологічний процес виготовлення цієї деталі та сприяє швидкому сприйняттю оператором основного змісту кожного технологічного переходу.

Для отримання об'єктивної картини проводилося виготовлення двох кронштейнів. Один з них виготовлявся за вихідною керуючою програмою у повній відповідності до розробленого технологічного процесу, другий виготовлявся по КП з максимальною робочою подачею до 1500 мм/хв, а максимальна швидкість холостого ходу зростає до 2400 мм/хв.

Таблиця 13 – Формотворчі операції технологічного процесу

Номер операції	Зміст переходів	Початок програми	Кінець програми
06	Фрезерувати задалегідь за КП №1 Ф30 R 10		
06	Фрезерувати задалегідь за програмою №2 Ф30 R 10		
09	Фрезерувати задалегідь уступи колодязів за КП №7 Ф30 R 10		
20	Фрезерувати скоси за КП №14 (одержавна обробка) Ф30 R 10		

Закінчення таблиці 13

Номер	Зміст переходів	Початок програми	Кінець програми
23	Фрезерувати R 50 за КП №22 Ф30 R 10		

Таблиця дає деякі результати освоєння модернізованого устаткування виробництвом.

Таблиця 14 – Результати виготовлення серійної деталі

Параметри	Початкова КП	Прискорена КП	Порівняння
Максимальна робоча подача, мм/хв.	250	1500	$\frac{F_{y_m}}{F_{u_m}} = 6$
Максимальна швидкість холостого ходу, мм/хв.	1000	2400	$\frac{F_{y_xx}}{F_{u_xx}} = 2,4$
Час обробки деталі за 25 програмами	2273 хв 10 с	709 хв	$\frac{\sum T_{исх}}{\sum T_{уск}} = 3,2$

Час формотворчих операцій під час виготовлення деталі з прискореними подачами зменшено в 3,2 рази.

На завершальному етапі освоєння обладнання було виготовлено серійний кронштейн із заготовки матеріалу 1933 (рис. 26). Твердість алюмінієвого сплаву 1933 після термічної обробки помітно перевершує твердість ливарних заготовок, тому були внесені деякі корективи швидкостей подач у бік їхнього зменшення. Час виконання формотворчих програм при цьому становив 904 хвилини, що говорить про зменшення трудомісткості в 2,5 рази порівняно з вихідною.



Рисунок 26 – Процес виготовлення серійного кронштейну

Контрольно-вимірювальні операції, виконані БТК цеху, показали перевищення товщини ребр кронштейна у його основи 0,3 мм. У кутах колодязів спостерігається підрізання поверхні деталі 0,1 мм (рис. 27). Це означає, що наміченої мети не досягнуто і постановку прямої задачі формоутворення не можна вважати коректною. Тому в такій постановці завдання формоутворення не можна передавати до цеху для виготовлення серійних деталей.



Рисунок 27 – Підрізання поверхні деталі у кутах колодязів

Аналіз процесу формоутворення показав, що на прискорених режимах при чистовій обробці знімання матеріалу досягав 4 мм при висоті оброблюваних

ребер від 10 мм до 90 мм. Тому фреза відгинається від вертикалі у тих місцях, де висота ребра досягає значної величини, що призводить до виникнення необроблених зон біля основи ребра. Результат свідчить про некоректність постановки завдання формоутворення. Можливі такі варіанти зменшення деформації фрези: зниження швидкості подачі, зменшення довжини інструменту, збільшення діаметра інструменту, зменшення знімання матеріалу на чистових операціях. Зниження швидкості подачі призводить до збільшення технологічного часу, що суперечить основним умовам поставленого завдання. Збільшення діаметра фрези не можливе через підрізання контуру деталі в окремих місцях такою фрезою. Прийнятним виявився варіант зменшення довжини інструменту при виконанні остаточного фрезерування ребр та колодязів (рис. 28). Це забезпечило виготовлення серійної деталі на модернізованому устаткуванні з виконанням усіх умов контрольно-вимірювальних операцій БТК цеху та зменшенням трудомісткості у 2,5 рази порівняно з вихідною.

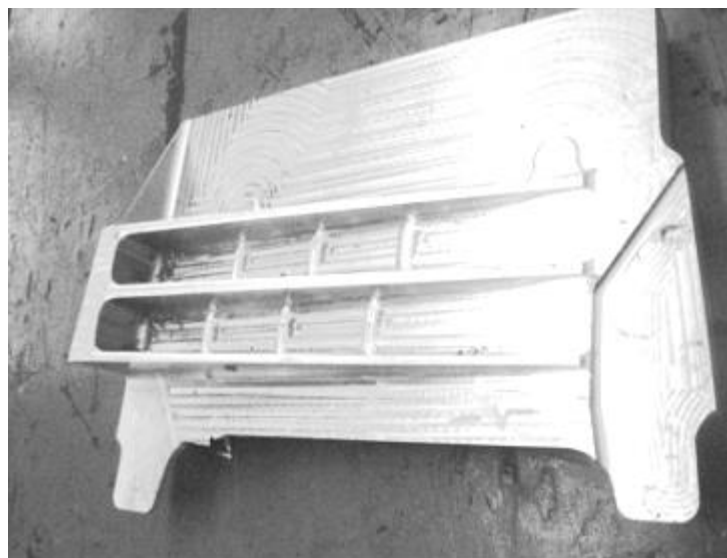


Рисунок 28 – Серійний виріб – кронштейн, виготовлений на модернізованому обладнанні

Подальше збільшення робочих подач при формоутворенні можливе за значного зростання оборотів шпинделя, що дозволить реалізувати перехід на високошвидкісну обробку. Але в цьому випадку, як і абзацом вище, постановку завдання доведеться змінити, оскільки технологія високошвидкісної обробки призводить до суттєвих змін режимних параметрів інструментального господарства, що не дозволить використовувати раніше розроблені КП.

9.3 Розв'язання задач формоутворення із застосуванням В-сплайн інтерполяції

Підтримка сталості контурної швидкості в заданих межах є обов'язковою вимогою до системи ЧПУ та однією з умов коректної постановки прямого завдання формоутворення. Алгоритми лінійно-кругової інтерполяції мають цю якість.

Принципово B -сплайн крива – шматково-поліноміальна зі змінною кривизною, в якій координати обчислюються через параметр. Постійний крок обчислень за параметром не може гарантувати отримання сталості контурної швидкості при зміні кривизни контуру в широких межах.

Помітно, що крапки на траєкторії рис. 29 розташовані рівномірно, ніж на рисунку, що свідчить про стабільнішу контурну швидкість.

Це підтверджується на рис. 30 та рис. 31 на яких наведені графіки зміни контурної швидкості та відхилення контурної швидкості від заданої в процентах. Приватний метод дозволив зменшити величину відхилень у 3 рази та відхилення контурної швидкості не перевищують допустимих значень.

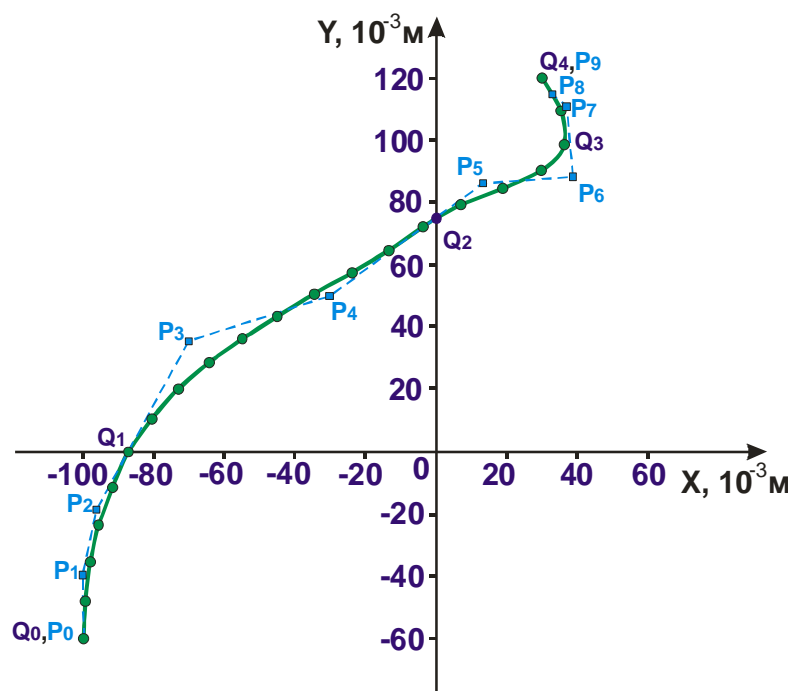


Рисунок 29 – Приклад побудови B -сплайн кривої по точках \vec{Q}_k **Ошибка!**

Источник ссылки не найден. за приватним методом B -сплайн інтерполяції

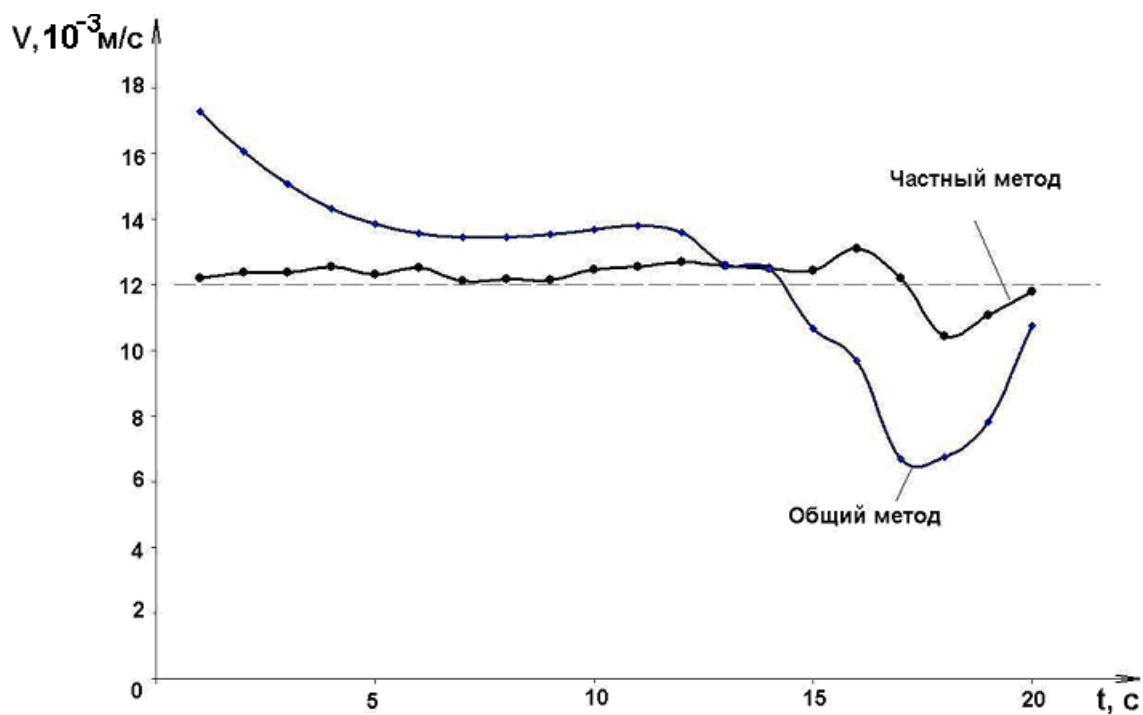


Рисунок 30 – Графіки зміни контурної швидкості

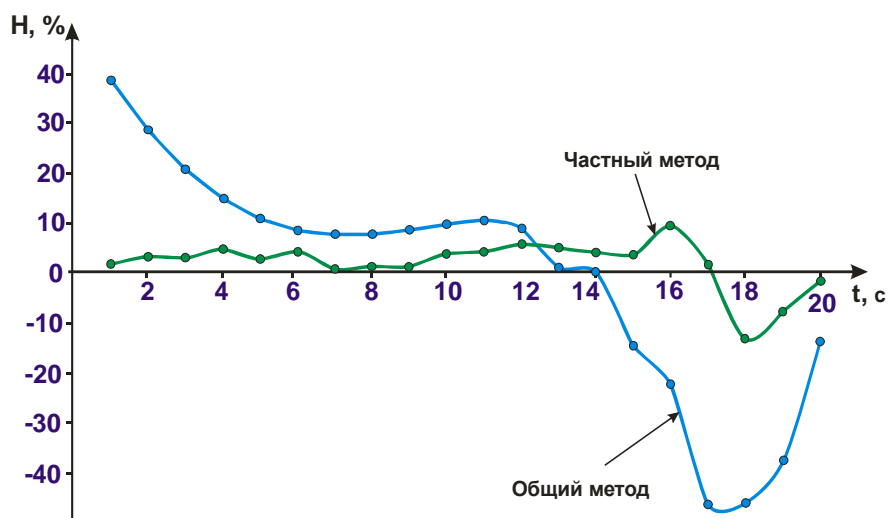


Рисунок 31 – Графіки відхилення контурної швидкості від заданої %

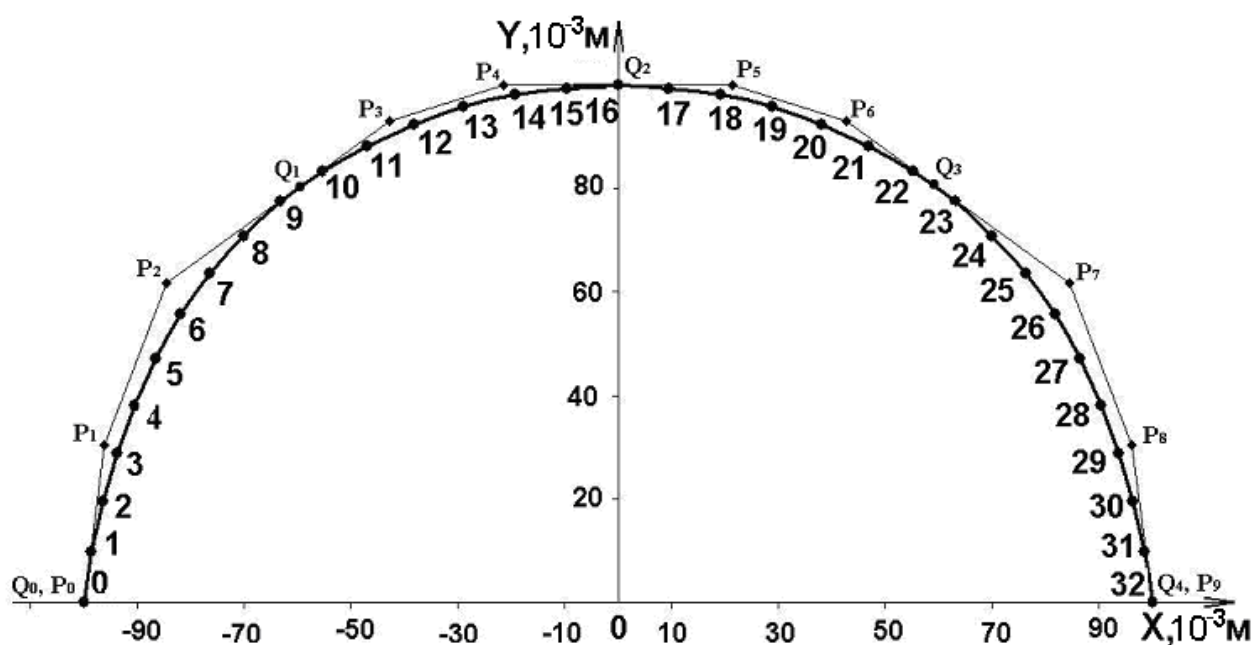


Рисунок 32 – Сплайн із постійною кривизною (приватний метод)

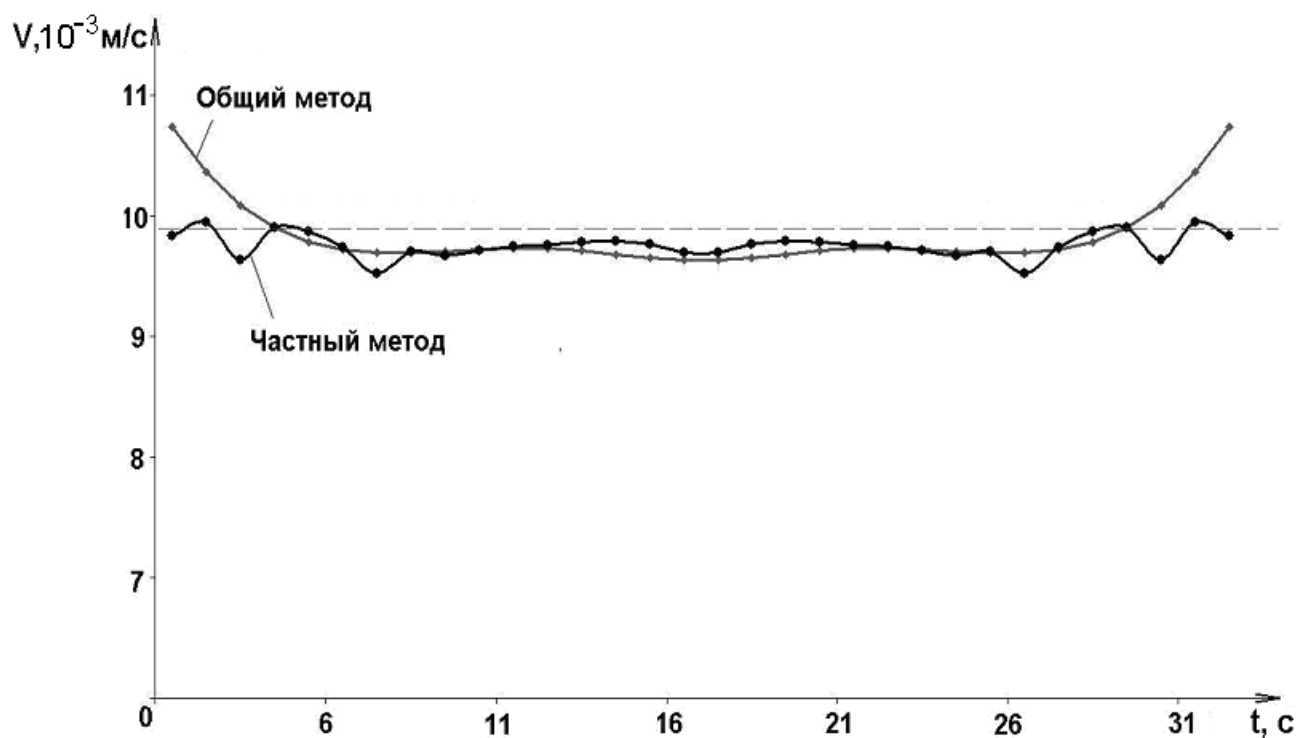


Рисунок 33 – Графік контурної швидкості прикладу 2

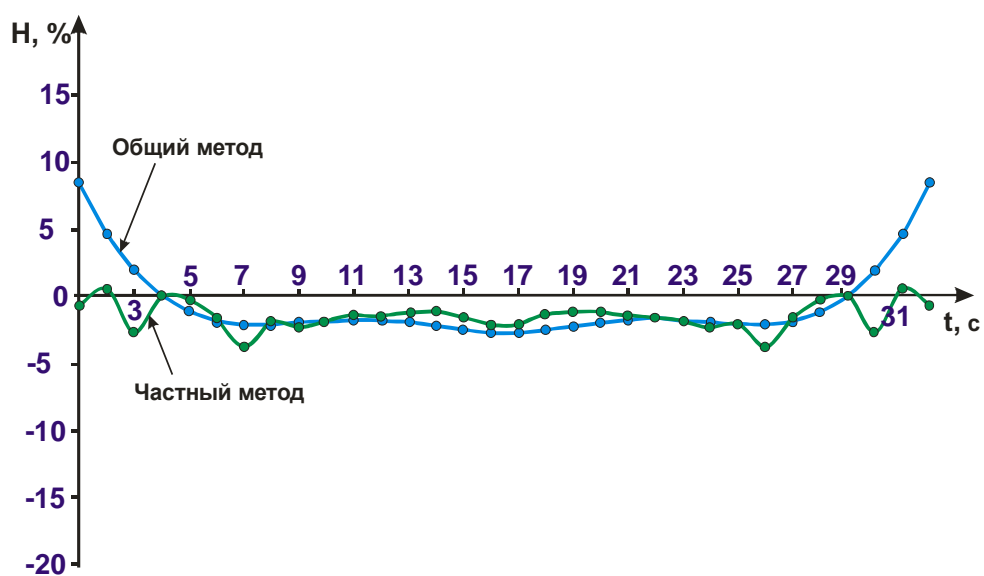


Рисунок 34 – Графік відхилень контурної швидкості від заданої прикладу 2

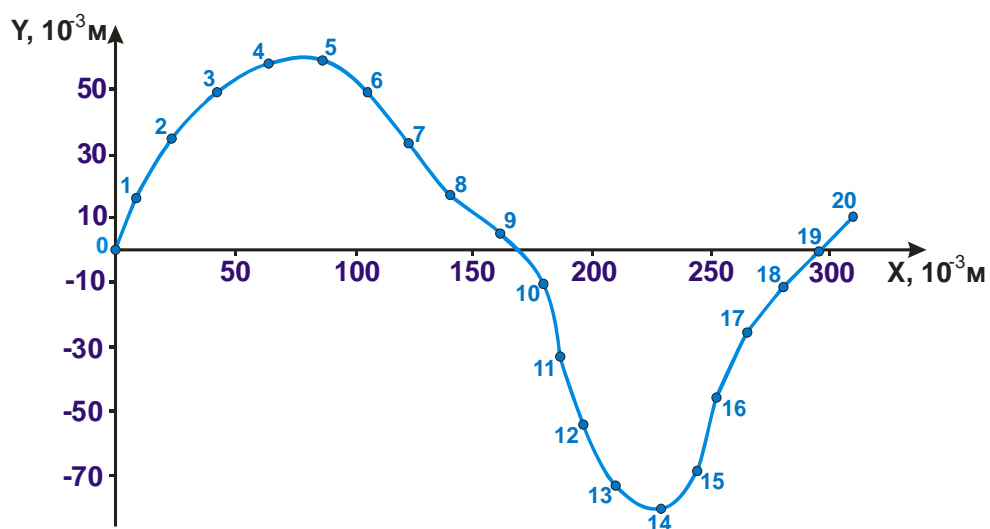


Рисунок 35 – Інтерполяційна крива прикладу 3, побудована приватним методом

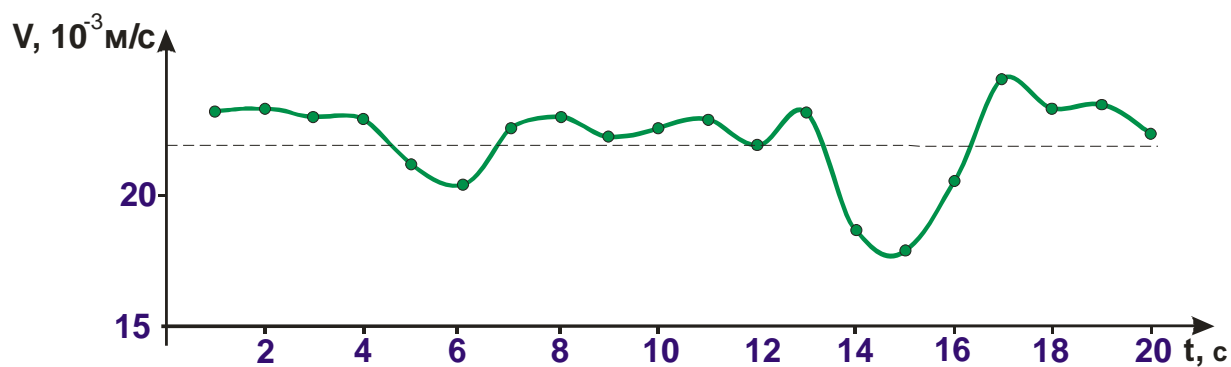


Рисунок 36 – Графік контурної швидкості прикладу 3

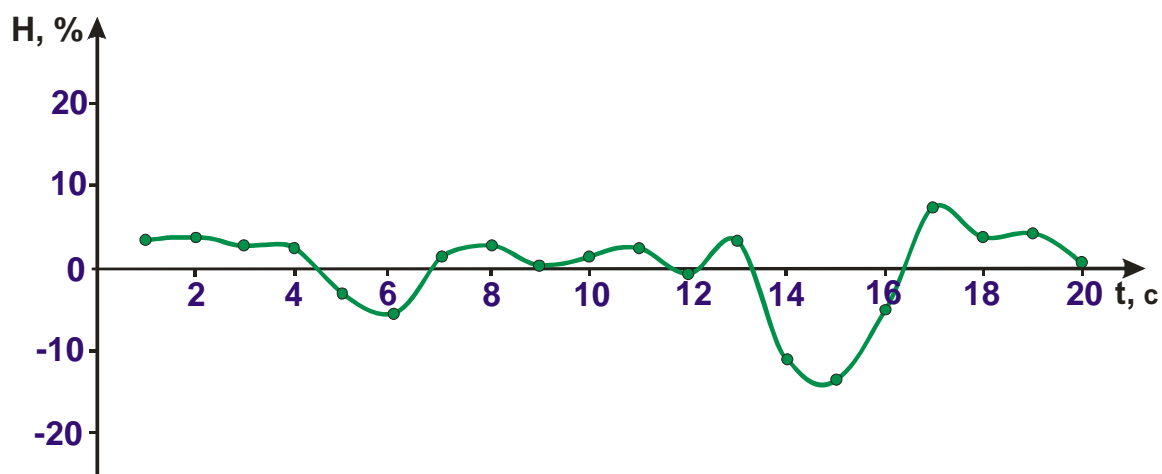


Рисунок 37 – Графік відхилення контурної швидкості від заданої (%) прикладу

Додаткова перевірка на інших прикладах (сідлоподібні криві, криві типу синусоїди та інших.) показала, що використання приватного методу дуже перспективне. До того ж, шлях підвищення точності досить прозорий – збільшенням числа точок масиву. Зростання розрахункового часу при інтерполяції може бути компенсоване вибором дворівневої системи ЧПУ та виконанням усіх попередніх розрахунків на верхньому рівні до початку руху по КП.

Перевірка показала, що для систем, що задаються в системах ЧПУ, коригування кроку при використанні описаного алгоритму не потрібно.

На рис. 38 точками відзначені посекундні збільшення контуру кривої. Максимальні відхилення довжини ділянок прирощень від заданого кроку інтерполяції становлять -0.45 мм (-2.87%) ÷ $+0.29$ мм ($+1.8\%$) Виняток – вихід у кінцеву точку кривої, він виконується залишками переміщень осями.

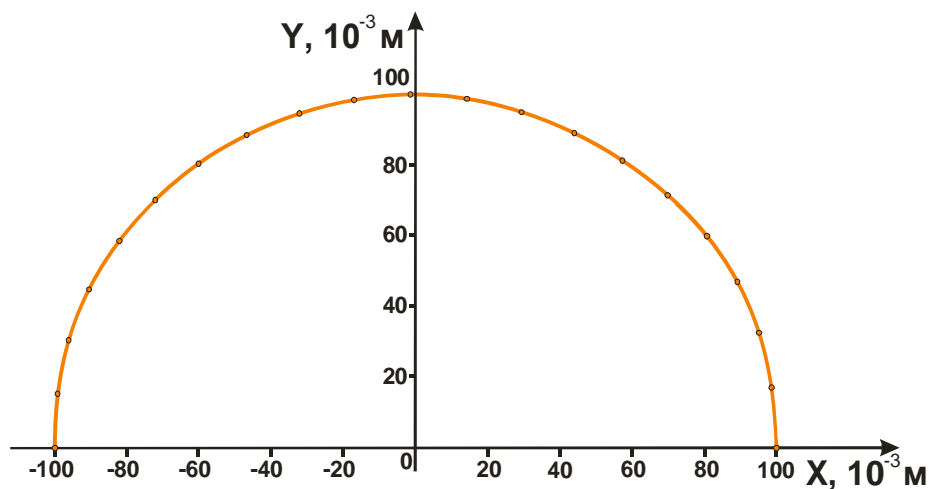


Рисунок 37 – Сплайн із постійною кривизною

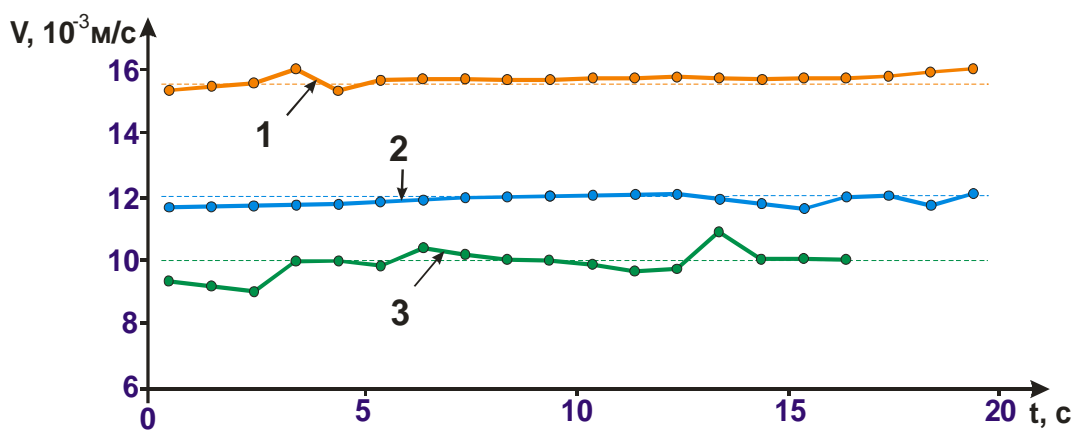


Рисунок 38 – Графіки швидкості при відпрацюванні

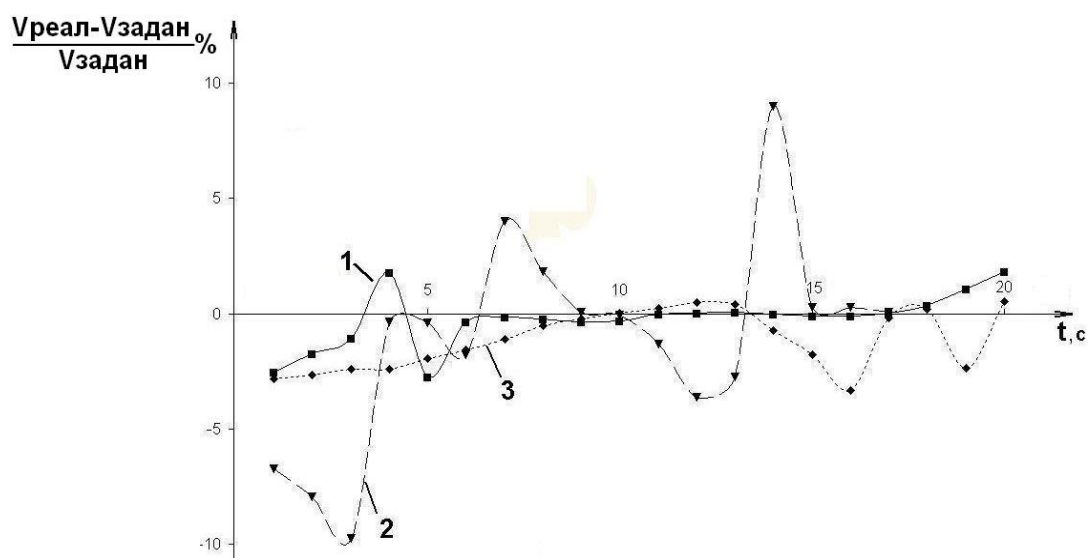


Рисунок 39 – Графіки відхилення швидкості від заданої (в %) 1-сплайну **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 2-сплайну **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 3-сплайну **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

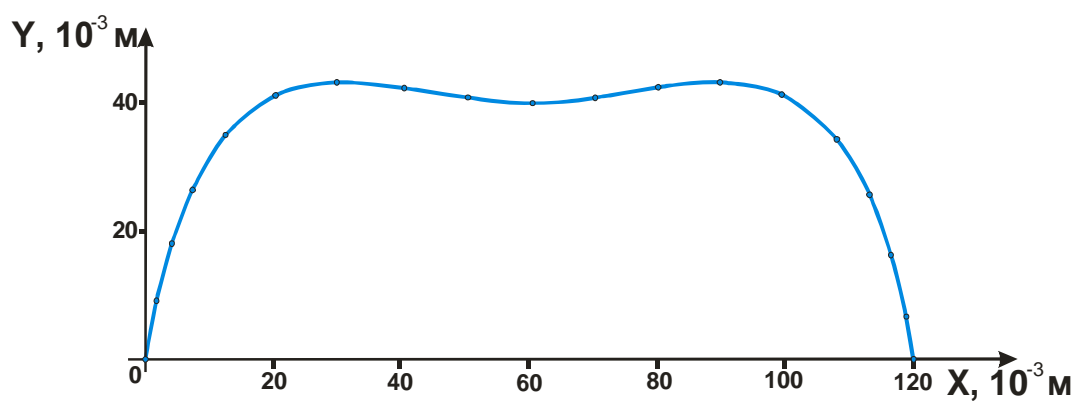


Рисунок 40 – Сплайн зі слабо вираженою сідловиною

Посекундні ділянки переміщення по контуру позначені точками, задані допустимі відхилення кроку $\Delta H_{don} = \pm 1$ мм. Дійсні максимальні відхилення становлять -0.97 мм \div $+0.91$ мм. Корекція кроку за параметром знадобилася на 4-му, 5-му, 15-му, 16-му і 17-му кроках, скрізь по одному циклу. Крок 18-ий - вихід у кінцеву точку, виконується по залишковим переміщенням по осях. У повній відповідності з викладеними раніше міркуваннями на 4-му і 5-ти кроках, де відбувається перехід від двокоординатного руху до однокоординатного, була потрібна корекція кроку $h(U)$ у бік збільшення, на кроках 15-17 у бік зменшення. На 14-му кроці – початок переходу від переважного однокоординатного руху до двокоординатного – значення $\Delta l = 10.91$ мм (зростання по відношенню до попереднього на 1.18 мм), але лежить у допустимих межах. Якщо посилити допуск на відхилення (наприклад, $\Delta H_{don} = \pm 0.5$ мм), то буде потрібно корекція кроку $h(U)$ ще на 1-му, 2-му, 3-му і 14-му кроках. Зазначимо також, що після корекції величини Δl дуже близькі до H_z (відмінність не більше ± 0.04 мм). На **Ошибка! Источник ссылки не найден.** та **Ошибка! Источник ссылки не найден.** наведено графіки контурної швидкості та її відхилення від заданої.

Приклад 3. Сплайн з ділянками кривизною, що повільно і швидко змінюється (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Заданий крок інтерполяції контуром $H_z = 12$ мм, допустиме відхилення ± 0.61 мм (5%). Справжні максимальні відхилення становлять -0.4 мм \div $+0.061$ мм ($-3.3\% \div +0.5\%$). Корекція кроку за параметром виконувалася на 17 \div 20 кроках, скрізь знадобився лише один цикл. Крок 21-ий - вихід у кінцеву точку.

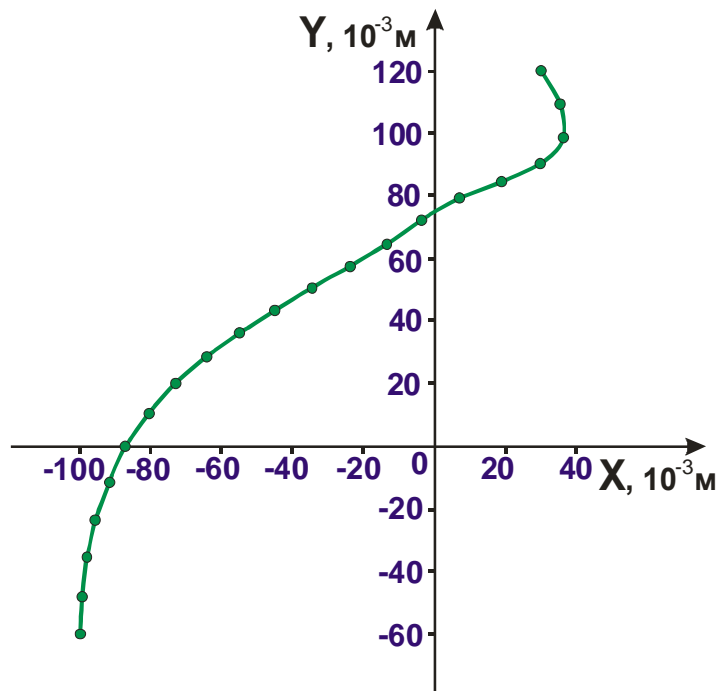


Рисунок 41 – Сплайн з ділянками кривизною, що повільно і швидко змінюється

На рисунках наведено графіки контурної швидкості та її відхилення від заданої в (%). Можна констатувати, що тут контурна швидкість практично залишається постійною по всій довжині сплайну.

Зазначимо, що у розглянутих прикладах крок інтерполяції у 10-15 разів перевищує максимальну величину кроку, що реально задається у ЧПУ. Не важко переконатися, що якщо взяти $H_z = 1$ мм, то на будь-якій ділянці наведених кривих довжина потактових прирощень становитиме (1 ± 0.01) мм без корекції кроку за параметром. Зменшення кроку зменшує і величину відхилення Δl від H_z , оскільки прогнозована величина кроку по контуру тим точніше, чим менше крок інтерполяції, що задається.

Запропонований метод побудови B -сплайн інтерполяції досить ефективно забезпечує стабільність контурної швидкості, що відповідає умовам коректної постановки прямої задачі формоутворення.

9.4 Технологічний контроль як завершальна операція розв'язання зворотного завдання формоутворення

Операції технологічного контролю завершують вирішення зворотного завдання формоутворення будь-якого об'єкта виробництва. У ході виконання цієї процедури відбувається порівняння двох моделей, аналітичного зразка та портрета деталі. Тому на першому етапі необхідно одержати дані для побудови аналітичного портрета деталі. Дослідження особливостей виконання технологічного контролю безпосередньо на верстаті з ЧПУ проводилося на деталях, які мали поверхні, що збігалися з теоретичною поверхнею виробу.

Зовнішній вигляд кронштейна * 005 представлений на рис. 42. Технологічний контроль цієї деталі здійснюється поверхнею Б, що має контур А, показаний на рис. 43. Контур деталі А є просторовою лінією.

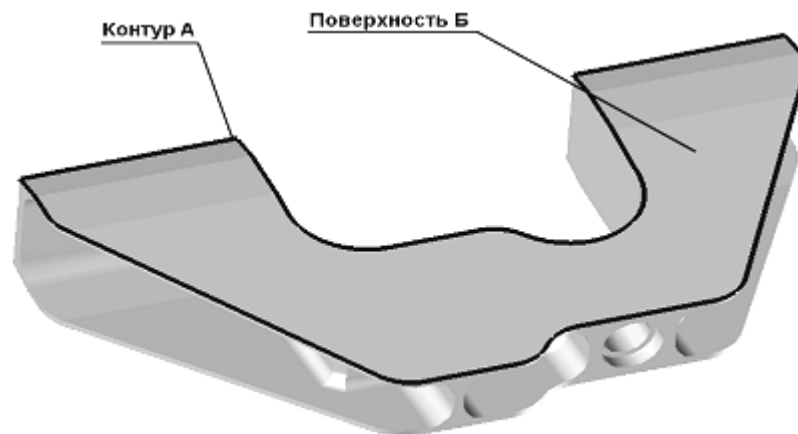


Рисунок 42 – Кронштейн *.005 та його контрольована поверхня

Для виконання технологічних вимірювань безпосередньо на фрезерному верстаті ФП-17М із ЧПУ в шпindelь закріплювався щуп із тактильною сферичною голівкою. Фактично контроль координат точок поверхні, як зазначалося вище, реалізований через контроль положень центру сферичної тактильної голівки, тобто. за допомогою еквідистантної області допусків.

Процедура підготовки технологічного контролю включає побудову АЕ еквідистантної області допусків. Контур поверхні Б і побудований контур,

еквідистантний до контуру А, а також розрахункові положення сферичної тактильної головки наведені на рис. 42 та рис. 43, на якому для детального розгляду представлена область В.

На рис. 43 межі полів допусків для контуру А показані штриховою лінією. Ідеальне (розрахункове) положення центрів тактильної голівки показано на **Ошибка! Источник ссылки не найден.** 43, поз. 0. Центри лежать на еквідистантній поверхні до контуру А (суцільна тонка лінія). Для точок контуру А, що у полі допуску, і відповідне їм положення центрів тактильної головки зображено на рис 44, поз. 1.

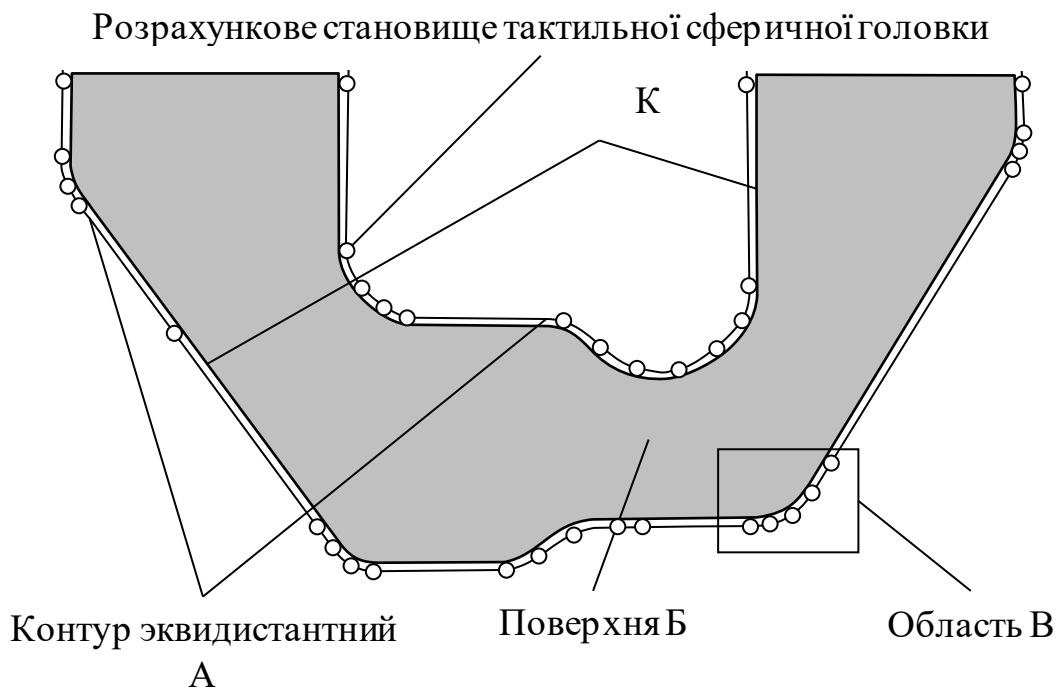


Рисунок 43 – Положення контуру еквідистантного А щодо контуру аналітичного еталона кронштейна

Для точок контуру А, що знаходяться поза полем допуску, відповідне їм положення центрів тактильної головки показано на рис. 44, поз. 2.

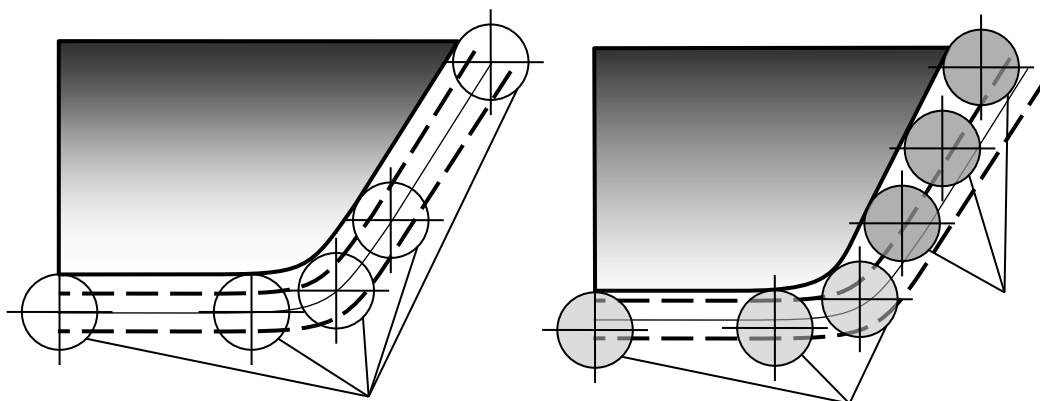


Рисунок 44 – Область В – точки ідеальні (0), у полі (1) і поза полем (2) допуску

Директивне допустиме відхилення поверхні деталі від АЕ дорівнює 0,2 мм. Після побудови еквідистантних областей допустимих розмірів деталі було проведено вимірювання координат центрів тактильної головки щупа при скануванні зовнішнього периметра (контур А) та поверхні деталі (поверхня Б). Результати вимірювань положень центрів дозволили побудувати аналітичний портрет деталі у системі координат аналітичного зразка (рис. 45).

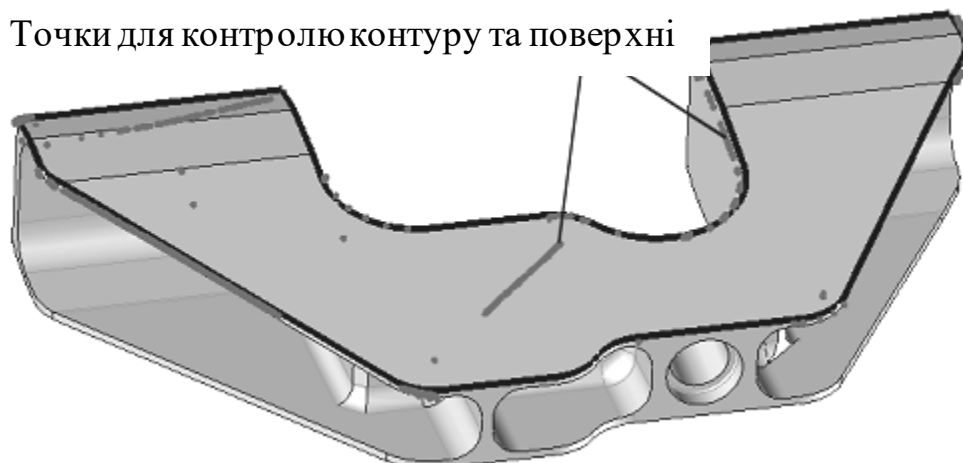


Рисунок 45 – Положення центрів тактильної головки

Результати відхилень цих двох моделей поверхні кронштейна наведено на діаграмі (рис. 46).

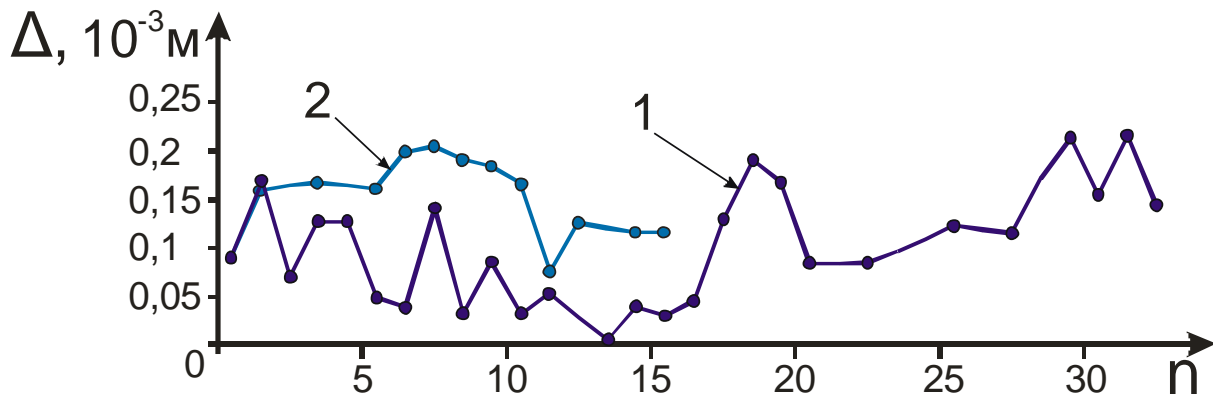


Рисунок 46 – Діаграма відхилень вимірних точок від еталонних, де:
1- відхилення на контурі А, 2 - відхилення на контурі Б

При обробці результатів контролю виявилось, що два положення центру голівки при дотику контуру А і одне при дотику до поверхні Б виходять за межі допустимих еквідистантних областей. Порядкові номери точок, що не пройшли контроль на контурі А – 30а, 32а; лежить на поверхні Б – 5б. У зв'язку з цим було визначено найкоротші відстані між розрахунковими точками дотику та відновленими за результатами вимірювань. Δ

Відхилення у точці 30а дорівнює 0,2125, у точці 32а – 0,2150, у точці 5б – 0,205. Слід зауважити, що при візуальному контролі за допомогою шаблонів такі відхилення практично не можуть бути зафіксовані, оскільки точність виготовлення 0,1 шаблону.

Таким чином, точність технічного контролю безпосередньо на верстаті ФП-17М за допомогою його системи позиціонування знаходиться в межах директивних вимог до точності виготовлення деталей.

Потім було виконано технологічний контроль кронштейна *1.00 (рис. 47). Ця деталь геометрично схожа на розглянуту вище деталь – кронштейн *.005 (див. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Основна відмінність кронштейна *1.00 від кронштейна *.005 полягає у формі контуру А, який разом із контрольованою поверхнею Б показано на рис. 47.

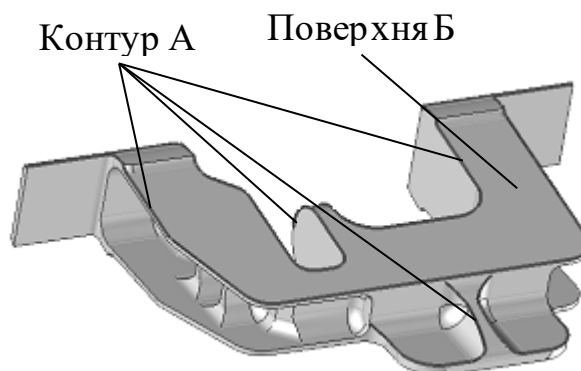


Рисунок 47 – Зовнішній вигляд та контрольовані ділянки кронштейна
*1.00

Також, як і вище, була побудована поверхня, еквідистантна до контрольованої, та визначено розрахункове положення контрольованих точок, для безпосереднього проведення вимірювань з метою отримання портрета для його відповідності АЕ деталі (рис. 48, а, б).

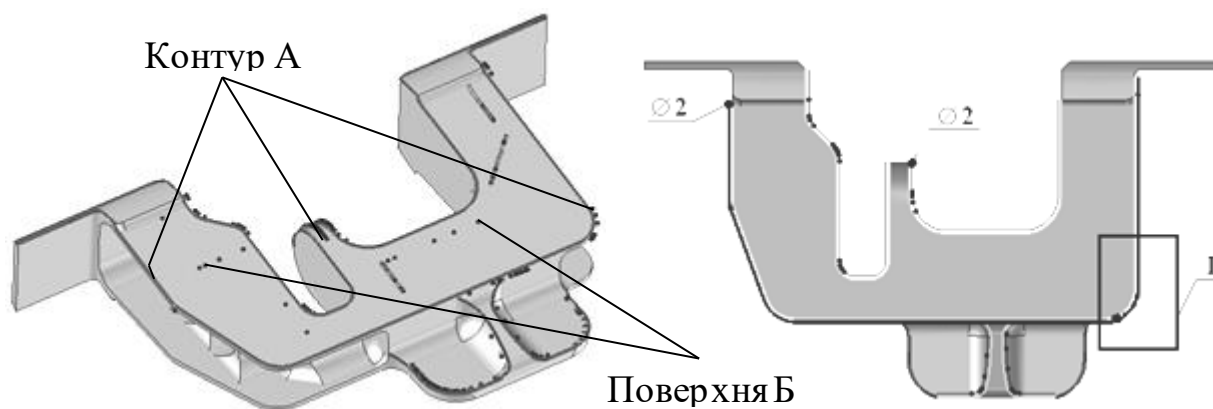


Рисунок 48 – Розрахункове положення контрольованих точок на
контурі А та поверхні Б

У процесі підготовки технологічного контролю кронштейн *1.00, відповідно до заданих допусків, було побудовано еквідистантну область

допустимих положень центру тактильної сферичної головки щупа (область еквідистантних допусків) у координатах АЕ деталі. Укрупнене зображення перерізу цієї області у зоні І (диврис. 48, б, поз. І) показано на рис. 49.

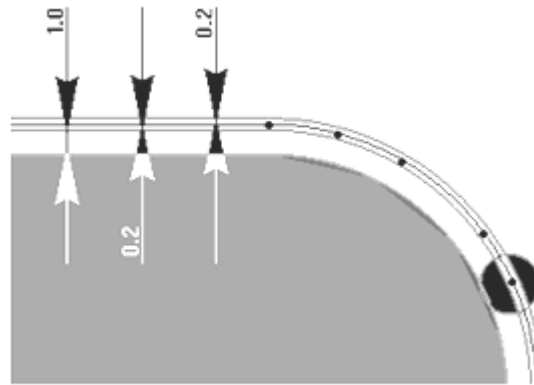


Рисунок 49 – Еквідистантна область допустимих положень центрів сферичної тактильної головки області І

Опорна еквідистантна поверхня будується на відстані радіуса тактильної сферичної головки ($r = 1$ мм. Потім, згідно з допуском на виготовлення $\Delta = 0,2$ мм, будуються межі області допустимих положень центру головки вимірювального щупа, як еквідистанти до опорної поверхні. Контроль здійснюється перевіркою належності центру тактильної головки в момент торкання контрольованої поверхні області допустимих положень.

Для технологічної підготовки контролю поверхонь загального виду безпосередньо на фрезерному верстаті необхідно за допомогою CAD/CAM системи в координатах АЕ вибрати представницьке безліч точок контролю поверхні, побудувати область еквідистантного допуску положень центру вимірювальної сферичної голівки та підготувати програму сканування для контролю деталі у цих точках. При цьому процедура порівняння еталона та портрета виконувалася у вибраній площині.

До позитивних властивостей такої організації технологічного контролю слід віднести те, що вимірювання та обробка поверхні проводиться з однієї установки, що важливо при можливому доопрацюванні деталі, так як усувається похибка переустановки при можливому доопрацюванні деталі за результатами контролю.

Проведені дослідження довели можливість проведення технологічних вимірювань складнопрофільних деталей безпосередньо на формоутворювальному обладнанні з ЧПК. При цьому необхідно врахувати, що з одного боку фрезерний верстат не відноситься до стандартизованих засобів вимірів, а з іншого його координатна система та система позиціонування фрези стандартизовані вимірювальними системами верстата. Перевірка точності цих систем обумовлена паспортом верстата і, отже, може використовуватися як вимірювальний засіб. Тому фрезерний верстат може бути використаний як координатно-вимірювальна машина для вимірювання виготовлених деталей, але при виконанні заходів щодо перевірки його технологічної точності.

При виготовленні деталей зі складнопрофільними поверхнями контроль за допомогою обладнання з ЧПУ, на відміну контролю відповідності шаблонів, дозволяє отримати чисельне значення координат, що забезпечує можливість отримання портрета виготовленої деталі і, у свою чергу, гарантує можливість виконання процедури порівняння з АЕ. Ця об'єктивна інформація є дуже важливою для аналізу формотворчих процесів у ході серійного виробництва. Можливість зробити вимірювання в будь-яких точках контрольованої поверхні із заздалегідь заданими координатами за програмою для верстата з ЧПУ дозволяє виключити так звані помилки оператора, що сприяє отриманню однозначності результату, а в самій постановці завдання забезпечується виконання другої умови коректності.

Таким чином, вирішено обернену задачу формоутворення відповідності виготовлених складнопрофільних деталей їх аналітичним еталонам у коректній її постановці.

9.5 Розробка технологічних процесів із використанням аналітичних еталонів

Присутність на ринку наукомісткої продукції авіаційного виробництва багато в чому визначається здатністю підприємства оперативно модифікувати вироби, що випускаються, і паралельно організувати випуск нових. Інформаційна система підприємства має забезпечити реалізацію цих можливостей без суттєвого зростання витрат підприємства. У сучасних умовах завдання може бути вирішене внесенням змін до процедур ТПП з використанням комп'ютерних інформаційних технологій.

Період випуску літальних апаратів великими серіями у вітчизняній авіаційній промисловості минув. Сьогодні практично кожен літак (або поодинокі партія) виробляється під індивідуальні вимоги замовника або з урахуванням їх, що має сприйматися як процес нововведення (інновації). Особлива увага має бути приділена сприйнятливості ІС підприємств до нововведень, наявності механізмів, що дозволяють змінювати структуру служб та виробництв залежно від інноваційних процесів, здатність ІС багаторазово використовувати дані про об'єкт виробництва під час виконання ТПП, що дозволить оперативно надавати виконавцям робіт необхідні дані.

Виконання ТПП передбачає використання відповідних бланків ТП, в яких є обов'язкове посилання на номер креслення, що передбачає надання інформації про геометрію складання або деталі, що виготовляється. Але, як показує практика, застосування конструкторських креслень на робочих місцях у виробничих підрозділах не забезпечує надання необхідної інформації за передбачений нормами час у зручному для сприйняття вигляді. Виконавцю робіт потрібні не тільки геометричні описи виробу, але й інформація про оснащення, інструмент тощо. для уявлення про зміст операції, яку потрібно виконати. Тому кожна технологічна операція потребує виборчого, фрагментарного представлення геометричної інформації про об'єкт виробництва, обладнання, оснащення, інструмент та їх взаємодію. Оскільки геометричні моделі цих

об'єктів сьогодні широко використовуються при проектуванні виробів, раціональним є орієнтація на цю інформацію при проектуванні технологічних операцій, що підвищує використання наявної інформації. Конкретизація переліку моделей, інструментальних засобів та способів подання інформації визначається розв'язуваною задачею. При формуванні геометричного супроводу технологічної операції слід суворо дотримуватись умов коректної постановки завдання. Виконавець робіт повинен отримати всю необхідну геометричну інформацію для її виконання з технологічного процесу, що дозволить стати єдиним джерелом інформації для організації виробничого процесу.

Такий підхід забезпечує багаторазовість використання наявної інформації, що дозволяє економити ресурси підприємства під час розробки ТП.

При підготовці виробництва використовувалися можливості CAD/CAM-систем для моделювання технологічних процесів, що забезпечило зниження трудомісткості розробки у 2 – 3 рази та дозволило невеликому колективу випустити партію досвідчених двигунів.

Як один із прикладів реалізації запропонованого підходу представлені результати виконання технологічної підготовки виробництва при розробці ТП складання 2-ї нервюри та встановлення її на центроплан літака.

Розробка ТП складання 2-ї нервюри та встановлення її на центроплан виконувалася з використанням модулів підготовки виробництва системи, яка має інтерфейс із CAD / CAM -системами, де й відбувалося робота з АЕ деталей та складання. Для оформлення ТП використовувався модуль, який забезпечує:

- єдність конструкторської та технологічної інформації;
- створення єдиних довідників технологічного оснащення, видів робіт, видів операцій тощо;
- організацію роботи кількох технологів над одним ТП;
- облік змін та доповнень ТП;
- позначку даних про візування та перевірки ТП;
- пошук ТП з різних атрибутів та можливість копіювання даних;

- отримання різноманітних звітів за технологічними даними виробів підприємства та ТП у вигляді файлів MS Word ;
- представлення ТП як анімації чи набору слайдів.

В результаті для кожної складальної операції була отримана відповідна модель процесу, що демонструє взаємне розташування деталей, що збираються, і вузлів з подальшим їх кріпленням, в результаті якого збирається виріб.

Спосіб подання ТП багато в чому визначається технічними можливостями підрозділів та кваліфікацією користувачів. У складальному цеху крила прийнятним виявився варіант доповнення текстового опису складальної операції відповідної графічної інформації. Такий підхід дозволив скоротити трудомісткість розробки ТП у 2 – 2,5 рази при забезпеченні наочності та інформативності результату, що задовольнила технологів та робітників цеху.

ВИСНОВКИ

Сучасний етап розвитку авіабудування характеризується збільшеною складністю форми виробів та вимогами значного скорочення тривалості їх виробничих циклів при зниженні собівартості продукції. У питаннях формоутворення реальних поверхонь деталей на обладнанні з ЧПУ в першу чергу має значення точність обробки та її продуктивність. При проектуванні процесу формоутворення деталей в умовах їх промислового виробництва необхідно враховувати проблеми виникнення вібрацій, що призводить до різкого зниження якості обробки та для його забезпечення обмежується продуктивність верстата. Тому необхідно запропонувати методи управління процесом формоутворення на вирішення цих проблем.

Було проведено розрахунок сприйняття повітряних навантажень і розраховані геометричні параметри шарів панелі.

Також було розроблено класифікатор деталей, складено типовий технологічний процес виготовлення деталі механічною обробкою на верстатах з ЧПУ згідно з класифікатором. Було проведено розрахунок площ та компонування цеху.

Були розраховані такі економічні параметри як оплата праці в цеху, визначені витрати на зарплати виробничих робітників, допоміжних робітників, інженерно-технічних робітників. Розраховані фонди цеху, витрати на утримання та експлуатацію обладнання, доцільні цехові витрати, визначено собівартість продукції, що випускається у цеху та наведено технічно-економічні показники цеху.

У спеціальній частині зменшено трудомісткість виконання контрольних операцій з одночасним підвищенням точності вимірювальних процедур, надано рекомендації щодо вирішення зворотних завдань формоутворення при виконанні оперативного технологічного контролю на обладнанні з ЧПУ.

Проведений комплекс робіт з технологічної підготовки виробництва з використанням інформаційної системи показав, що трудомісткість моделювання

процесу складання великогабаритних деталей та окремих його вузлів на основі наявних аналітичних еталонів, а також аналітичних моделей формоутворювального обладнання, оснастки, інструменту значно знижується (в 2-2,5 рази) за рахунок багаторазового використання аналітичних моделей, забезпечуючи при цьому наочність процесів, що відбуваються.

Розроблено дворівневу систему ЧПУ04, програмне забезпечення якої використовує розроблені методи вирішення завдань формоутворення, що дозволило збільшити швидкості робочих подач у 2,4 – 2,5 разів при виготовленні серійних складнопрофільних деталей.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. А.Д. Ендогур «Стільникові конструкції». Москва, машинобудування, 1986р.
2. Технологія виробництва літальних апаратів (курсове проектування). За заг. ред. В. Г. Кононенко - Київ: Видавниче об'єднання «Вища школа», 1974. - 224с.
3. А.А. Євсєєв «Розрахунок на міцність крила великого подовження» ХАІ 1985
4. А.Д. Арсон, А.М. Тимченко «Проектування тришарових конструкцій із стільниковим заповнювачем». Навчальний посібник.
5. Г. І. Житомирський "Конструкція літаків". Москва, машинобудування, 1991
6. О. А. Гребенніков "Конструкція літаків". Москва, машинобудування, 1984
7. Авіаційні матеріали. Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. Харків, 1973р.
8. Набатов А.С. Проектування технологічних процесів у виробництві літальних апаратів та двигунів: Навч. Посібник з курсового та диплом. Проектування – Харків, ХАІ, 1987 р., 98 с.
9. "Економічне проектування виробничого підрозділу підприємства", Уч. посібник Харків, ХАІ, 1999 р.
10. Гавва Ст Н., Сафронов Я.В. "Техніко-економічне обґрунтування підприємницьких проектів", Уч. посібник Харків, ХАІ, 1995 р.
11. Кобрин В.М., Кузнецова Н.В., Кирієнко П.Г. «Охорона праці галузі» Уч. посібник Харків, ХАІ, 2003 р.
12. Тихомиров В.А, Основи проектування літакобудівних заводів та цехів - М.: Машинобудування, 1975 р.
13. «Методика прогнозування соціально-економічних наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру, заподіяні пожежами»

14. Юдін Є. Я. «Охорона праці машинобудуванні», Москва, 1983 р.
15. «Технологія машинобудування» за редакцією А.Л. Абібова, Москва, 1970 р.
16. Григор'єв Ст.П., Ганиханов Ш.Ф. «Пристаювання для збирання вузлів та агрегатів літаків та гелікоптерів», Москва, 1977 р.
17. 3D-моделирование инструмента формообразования и съема припуска при обработке резанием / А. И. Грабченко, Е. Б. Кондоусова, А. В. Кривошея и др. – Х.: НТУ «ХПИ», 2001. – 304 с.
18. Adaptive interpolation scheme for NURBS curves with the integration of machining dynamics / X. Liu, F. Ahmad, K. Yamazaki, M. Mori // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2005. – No. 45. – P. 433 – 444.
19. Akima H. A method of univariate interpolation that has the accuracy of a third-degree polynomial / H. A. Akima // ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS). – 1991. – Vol. 17. – No. 3. – P. 341 – 366.
20. Akima H.A. Method of Bivariate Interpolation and Smooth Surface Fitting for Irregularly Distributed Data Points / H. A. Akima // ACM Transactions on Mathematical Software. – 1978. – Vol. 4. – No. 2. – P. 148 – 159.
21. Ashley S. Manufacturing Firms Face the Future / S. Ashley // Mechanical Engineering. – 1997. – Vol/ 119. – P. 70 – 74.
22. Fast real-time NURBS path interpolation for CNC machine tools / W.T. Lei, M.P. Sung, L.Y. Lin, J.J. Huang // Intern. J. Machine tools and Manufacture. – 2007. – Vol. 47. – P. 1530 – 1541.
23. Groover M. P. CAD/CAM Computer-Aided Design and Manufacturing / M.P. Groover, E.W. Zimmers // NJ: Englewood Cliffs. – 1984. – P. 227 – 228.
24. MoReq2 Specification: Model Requirements for the management of electronic records, update and extension / European Commission, Bruxelles-Luxembourg: CECA-CEE-CEEA. – 2008. – 235 р. Також доступен в <http://www.DLM-Network.org> и <http://www.moreq2.eu/downloads.htm>
25. Tiller W. Knot-removal algorithms for NURBS curves and surfaces / W. Tiller // CAD. – 1992. – Vol. 24. – No. 8. – P. 445 – 453.

26. Анализ модифицированного кругового интерполятора / Ю. А. Раисов, И. В. Бычков, Н. И. Бычков, Н. В. Олещук // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №3. – С. 76 – 78.
27. Анхимюк В. Л. Теория автоматического управления / В. Л. Анхимюк, О. Ф. Опейко, Н.Н. Михеев. – Мн.: Дизайн ПРО. – 2000. – 351 с.
28. Бабушкин А. И. Методы сборки самолетных конструкций / А. И. Бабушкин. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
29. Берман А. М. Анализ развития машинного программирования для станков с ЧПУ / А. М. Берман. – М.: НИИмаш, 1984. – 72 с.
30. Богуслаев В. А. Комплексная система подготовки и организации производства на серийном предприятии / В. А. Богуслаев, В. И. Омельченко. – Днепропетровск: Січ, 1993. – 356 с.
31. Бойцов В. В. Рекомендации по технологичности самолетных конструкций / В. В. Бойцов. – М.: Оборонгиз, 1963. – Кн. I. – 500 с.
32. Бут Е. Н. Зона формообразования в процессах формирования поверхности детали / Е. Н. Бут, И. В. Бычков, А. К. Мялица // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4(55). – Х., 2008. – С 35 – 39.
33. Бут Е.Н. Прямая и обратные задачи формообразования / Е. Н. Бут, И. В. Бычков // Авіаційно-космічна техніка і технологія: тез. доп. наук. конф. 25 – 27 травня 2005 р. – Харків, 2005. – С. 60.
34. Бычков И. В. Прямая и обратная задачи формообразования / И. В. Бычков, А. К. Мялица, С. А. Третьяков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 14. – Х., 2002. – С. 9 – 14.
35. Бычков И. В. Решение прямой задачи формообразования на оборудовании с ЧПУ в условиях авиационного предприятия / И. В. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб.

науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 50. – Х., 2011. – С. 47 – 53.

36. Бычков И. В. Решение прямых и обратных задач формообразования – основа технологической подготовки производства / И. В. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 49. – Х., 2011. – С. 116 – 123.

37. Бычков И. В. Формообразование и его информационное сопровождение в условиях производственного предприятия / И. В. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 47. – Х., 2010. – С. 84 – 91.

38. Бычков И.В. Корректная постановка задач формообразования для оборудования с ЧПУ / И. В. Бычков // Технологические системы. – 2011. – №2. – С. 22– 28.

39. Бычков И. В. Анализ формообразующих процессов на оборудовании с ЧПУ и изменение условий постановки прямой задачи / И.В. Бычков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2(66). – Х., 2011. – С. 134 – 140.

40. Гавриш А. П. Автоматизация технологической подготовки машиностроительного производства / А. П. Гавриш, А. И. Ефремов. – К.: Техніка, 1982. – 216 с.

41. Гжиров Р. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ / Р. И. Гжиров, П. П. Серебrenицкий. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.

42. Григорьев В. П. Технология самолетостроения / В. П. Григорьев. – М.: Оборонгиз, 1960. – 542 с.

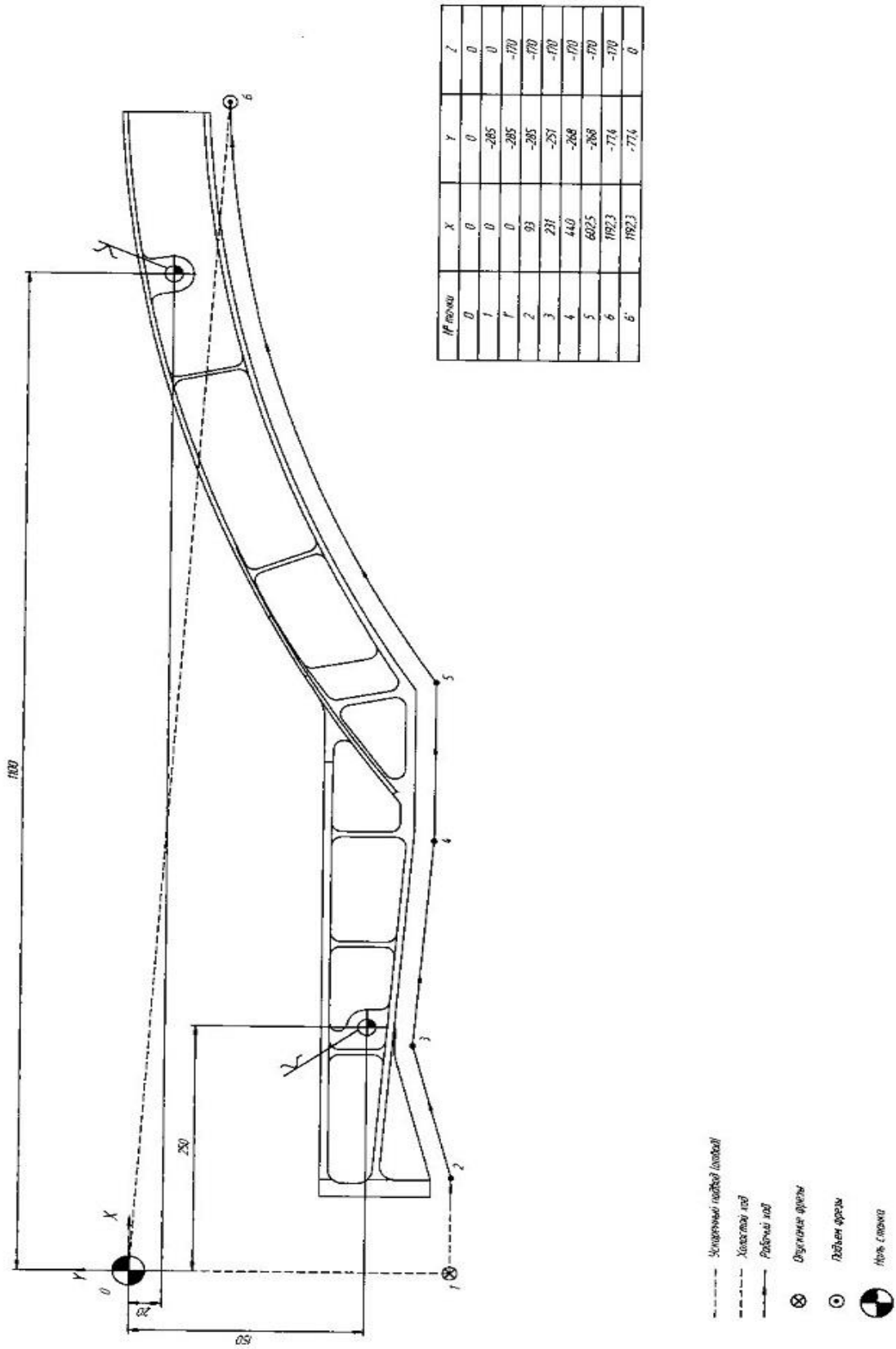
43. Дубова Н. Словарь терминов по PDM / Н. Дубова, И. Островская // Открытые системы. – 1997. – №3. – С. 62 – 67.

44. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления / Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, А. И. ГРАБЧЕНКО, С. И. ЧЕРНЫШЕВ и др. – Х.: Модель Всесвіту, 2002. – 140 с.

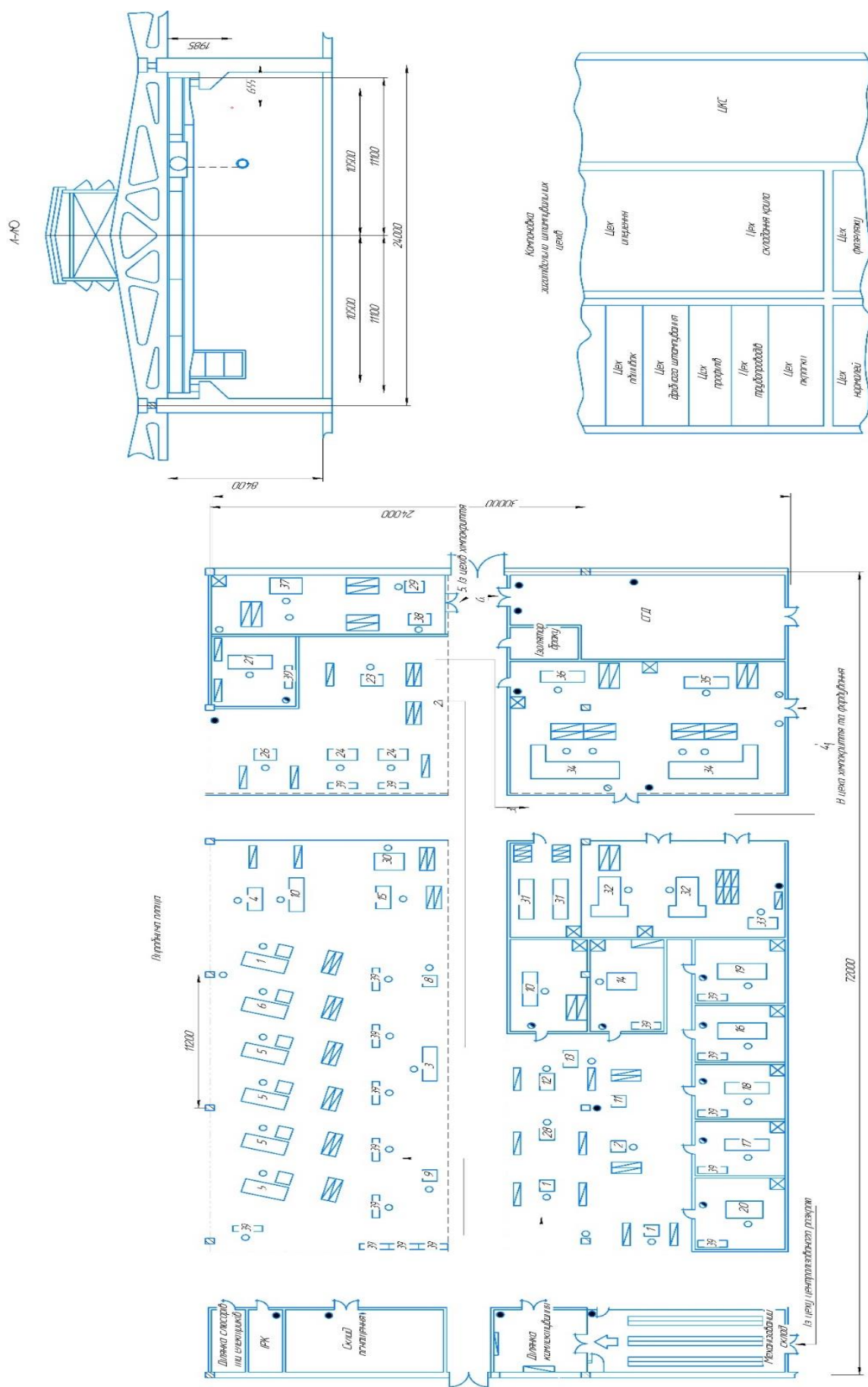
45. Математика и САПР: в 2-х кн. / П. Жермен-Лакур, П.Л. Жорж, Ф. Пистр, П. Безье. – М.: Мир. – 1989. – Кн. 2 – 264 с.

46. Мялица А. К. Корректные и некорректные постановки задач формообразования / А. К. Мялица, Е. Н. Бут, И. В. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 39. – Х., 2008. – С. 6 – 13.

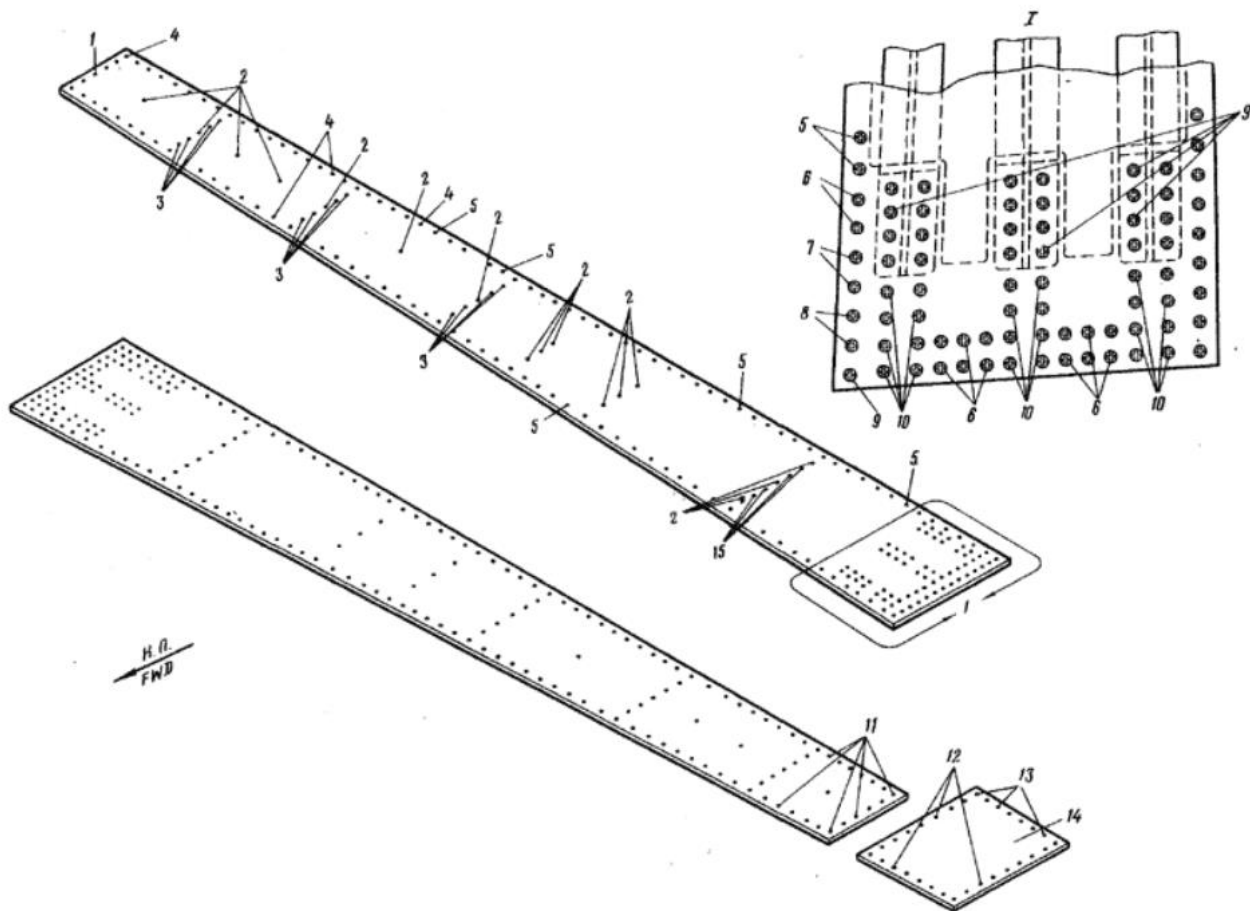
ДОДАТКИ



Розрахунково-технологічна картка



Планування цеху



Панель