

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет АКТ

Кафедра КІТАМ

**ЗВІТ З ВИРОБНИЧОЇ ПРАКТИКИ**

на тему: «Розробка діючого прототипу малогабаритного фрезерного  
верстата»

Виконав:  
ст.гр. АКТАКІТ-17-1  
Брадул А.А.

\_\_\_\_\_  
(ПІБ)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник виробничої практики  
Замірець О.М.

(ПІБ)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник атестаційної роботи  
Разумов-Фризюк

Є.А.

(ПІБ)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Оцінка: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Комісія:

Євсєєв В. В.

(ПІБ)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Демська Н. П.

(ПІБ)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Яшков І. О.

(ПІБ)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Харків 2021

## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	3
Вступ.....	4
1 Інформація про базу практики .....	6
2 Аналіз технічного завдання .....	11
2.1 Аналіз фрезерної технології .....	11
2.2 Огляд аналогів.....	20
2.3 Аналіз кінематик .....	26
Висновки .....	29
Перелік джерел посилання .....	30

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУ – автоматизованих систем управління;

ДП НДТІП – Державне підприємство Науково-дослідний технологічний інститут;

НДР – науково-дослідна робота;

ПЗ – програмне забезпечення;

ТП – технологічний процес;

ЧПК – числове програмне керування.

## ВСТУП

Однією з форм навчального процесу, яка спрямована на формування висококваліфікованих спеціалістів у сучасних умовах, є виробнича практика.

Практика сприяє формуванню навичок з прийняття самостійних організаційно-технічних та організаційно-управлінських рішень у конкретних виробничих умовах на підприємствах та організаціях. При цьому треба усвідомлювати, що коло питань розглядається у галузі наукових знань та практичних вмінь використання інформаційних технологій, супроводження інформаційних систем, розробки відповідних рішень та їх впровадження у реальних системах.

Виробнича практика проводилась на державному підприємстві Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування // «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідницький інститут авіаційної промисловості».

Метою виробничої практики є ознайомлення з основами організації підприємства і ТП виготовлення виробів. Поглиблення знань у галузі автоматизації, програмного забезпечення, інтелектуальних комп'ютерно-інтегрованих технологій, архітектури і програмування промислових контролерів, програмно-технічних комплексів АСУ ТП і технічних засобів автоматизації, розробки програмного забезпечення. Систематизація, закріплення і розширення теоретичних і практичних знань зі спеціальності і застосування їх під час вирішення виробничих завдань.

Мета роботи – розробка конструкції та виготовлення діючого прототипу малогабаритного фрезерного верстата.

Об'єкт розробки – малогабаритні фрезерні верстати з ЧПК.

Предмет розробки – технологія фрезерної обробки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести вибір кінематичної схеми верстата;

- розробка структурної схеми верстата;
- розробка та виготовлення механічної частини верстата;
- розробка та виготовлення електричної частини верстата;
- налаштування програмного забезпечення;
- проведення експериментальних досліджень

Звіт з виробничої практики виконано згідно з [1], [2].

## 1 ІНФОРМАЦІЯ ПРО БАЗУ ПРАКТИКИ

Державне підприємство Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування є головною організацією космічної галузі зі створення та ведення державних галузевих нормативно-технічних документів (стандарти, інструкції). Підприємство є розробником новітніх та високих технологій космічного приладобудування, має в своєму складі експериментально-дослідницьку базу та вимірювальні, випробувальні унікальні спеціалізовані стенди, що дають можливість в замкнутому циклі виконувати наукові дослідження, проектування та виробництво дослідних зразків та установчих партій.

Підприємство Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування засновано на державній власності і, згідно з Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25.03.99 р. № 236-р, підпорядковано Державному космічному агентству України.

ДП НДТІП було створено в 1965 році в складі Міністерства загального машинобудування СРСР для організації приладового виробництва, розробки та впровадження нових технологій, матеріалів, засобів технологічного оснащення, механізації та автоматизації процесів виготовлення ракетно-космічної техніки та товарів народного споживання.

Науково-технічний досвід, аналіз сучасного етапу приладобудування і шляхів його розвитку визначили для ДП НДТІП основні напрями науково-технічної та господарської діяльності:

- технології, матеріали та вироби ракетно-космічної техніки;
- технології та вироби машино-тракторних агрегатів;
- технології та вироби бронетанкової техніки;
- вироби народногосподарського призначення.

ДП НДТІП має ліцензію ДКА України на проведення робіт із ракетно-космічної діяльності та ліцензію Міністерства фінансів України на право робіт з дорогоцінними металами, ліцензію Міністерства оборони України на право виконання робіт з військовою технікою.

ДП НДТІП є єдиною в Україні науковою установою із створення технологій фотоелектричних перетворювачів, сонячних батарей, кремнієвих мікроелектронних датчиків, радіаційних стійких мікро-кабелів та елементної бази.

У напрямку створення і використання космічної техніки та технології виконуються роботи із створення та виготовлення сонячних батарей, КПА БДЖ для КА МС-2-8, датчик орієнтації (ДОК) та КПА ДОК, нагрівальних елементів і датчиків температури аміачних двигунів КА МС-2-8. У 2018 р. планується продовження виконання робіт з ДП «КБ Південне».

ДП НДТІП вперше в Україні створило сонячні батареї з підвищеною енергетикою на основі арсенід-галієвих фотоперетворювачів та апаратури для їх контролю для супутників «EgyptSat-1» та МС-2-8.

В рамках імпортозаміщення комплектуючих виробів для ракетно-космічної техніки розроблені і виготовлені дослідні зразки датчиків абсолютного тиску і датчики надлишкового тиску.

ДП НДТІП прийняло участь у Міжнародному науковому експерименті «ALICE» зі створення детекторних модулів внутрішньої трекової системи для досліджень у галузі фізики високих енергій.

ДП НДТІП приймає участь у спільній роботі з країнами ЄС у вирішенні питань із концентраторної наземної фотоелектричної енергетики відповідно проекту «APOLLON».

Враховуючи наявну тенденцію в світовому тракторобудуванні до розширення застосування електронних систем керування машино-тракторними агрегатами (МТА) та їх вузлами в перспективних зразках, в ДП НДТІП створено науково-технічний напрямок із розробки сучасних систем керування, систем контролю та діагностики, приладів обліку матеріальних

витрат та інших. За останні 18 років у співпраці з провідними підприємствами України, здійснена розробка 53 різноманітних приладів і пристроїв і організовано їх виробництво на дослідному виробництві ДП НДТІП. Розроблена продукція постачається у серійне виробництво для ПАТ «ХТЗ», ПАТ «Борекс», ЗАТ «Автонавантажувач», ВО «ПМЗ», ДП «Завод імені Малишева», Білоцерківський комбайновий завод та інші. Налагоджені постійні зв'язки з конструкторськими підрозділами цих підприємств. За рахунок застосування мікропроцесорної техніки за своїм технічним рівнем розробки відповідають світовому рівню.

Підприємство бере активну участь у розробці сучасних електронних блоків, приладів і датчиків нового покоління для бронетанкової техніки, в основу яких покладено цифрові методи обробки інформаційних і керуючих сигналів, що забезпечує не тільки підвищену надійність вимірювальних і керуючих приладів а й значно розширює їх функції, в тому числі забезпечує програмну фільтрацію сигналів, корекцію похибок, самодіагностику з можливістю виявлення несправностей.

Науково-технічна продукція, що виготовляється підприємством за договорами з підприємствами-замовниками, направляється замовникам або залишається на відповідальне збереження на підприємстві, про що робиться запис в акті на приймання (передачу) продукції. Продукція реалізується за договірними цінами.

Продукція:

- фотоелектричні перетворювачі, сонячні батареї, датчики;
- вимірювальні прилади для бронетанкової та автотракторної техніки.

НДТІП в складі Національного космічного агентства України (НКАУ), являється Головною організацією по технології, матеріалознавству та стандартизації приладобудування для ракетно - космічної, військової та народногосподарської техніки.

Маючи потужною дослідну та виробничу базу, маючи в своєму складі висококваліфікованих спеціалістів, НДТІП проводить розробки, виготовляє і



реалізує свою продукцію не тільки в Україні, а й в країнах ближнього і дальнього зарубіжжя. Позитивною специфікою та унікальністю підприємства є комплексний підхід до вирішення проблем приладобудування: від розробок до постановки на виробництво та створення засобів технологічного оснащення.

НДТІП організовано в 1965 році в складі Міністерства загального машинобудування СРСР для рішення задач організації виробництва приладів, створення нових технологій, матеріалів та засобів технологічного оснащення, механізації та автоматизації процесів виготовлення ракетно-космічної техніки та товарів народного споживання.

Розробки НДТІП знайшли своє втілення в створенні ракетно - космічної техніки СРСР, зараз використовуються в розробках України, при цьому інститут в Національному космічному агентстві України являється Головною організацією, яка визначає технологічну політику в приладобудуванні ракетно-космічної техніки, та інших гілок приладобудування.

Для вирішення зазначених задач була створена та оснащена сучасним дослідним, випробувальним і виробничим обладнанням база для розробки технологій по таким напрямкам:

- мікроелектроніка;
- плати друкованого монтажу;
- металокераміка;
- збирання та монтаж апаратури;
- вхідний і діагностичний контроль елементної бази [3].

Та зокрема, дуже зацікавила робота відділу з розробки у сфері мікроелектроніки та автоматизації.

Даний відділ має бібліотеку з нормативно-технічною документацією, що необхідна для виконання даної роботи. Робота з пошуку необхідних матеріалів та інформації проводилась у співпраці з провідними науковцями ДП. Також даний відділ має безліч інноваційних розробок в галузі

мікроелектроніки. Так наприклад розробки для космічних систем, плати друкованого монтажу та обладнання для автоматизації виробництва. Під час проходження практики на підприємстві ДП НДТІП отримала практичні навички та теоретичні знання в сфері автоматизованих систем, безпосередньо про верстати з числовим програмним керуванням, малогабаритний прототип якого розробляється в дипломному проекті.

## 2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 2.1 Аналіз фрезерної технології

Фрезерування – це високопродуктивний і поширений метод обробки поверхонь, який заснований на роботі фрези. Технологія методу обробки поверхні матеріалу характеризується головним обертальним рухом інструменту і зазвичай поступальним рухом подачі. Також рухом подачі може бути обертальний рух заготовки навколо осі обертового столу або барабану.

Для стандартних схем фрезерування рух подачі здійснює стіл із закріпленою на ньому заготовкою. Традиційне фрезерування застосовують при обробці горизонтальних, вертикальних і похилих площин, пазів і канавок різного профілю, виготовленні зубчатих коліс.

У сучасних фрезерних верстатах використовують комбінації рухів – поступальних і кутових як заготовки, так і фрези. Такі схеми дозволяють здійснювати фрезерування об'ємного рельєфу, через така технологія має назву 3D-фрезерування.

Фрезерування застосовують при роботі з м'якими сплавами, листами ПВХ, композитними панелями, а також з деревом та оргсклом. Цей метод використовується для виготовлення деталей, нанесення різьблення та орнаментів і багато інших операцій. За необхідністю, наприклад, гравіювання на площині оргскла, як правило, використовують фрезерування [4].

Обробка матеріалу за допомогою верстата, яким керує програма має такі переваги:

- економія фінансів та часу;
- підвищує продуктивність;
- знижує кількість браку;
- досягати більшої точності;

- дозволяє робити вироби зі складною геометрією поверхні в промислових обсягах;
- завдяки великому вибору варіантів обробки та обладнання, вирішуються практично будь-які завдання і здійснюється обробка будь-якої складності.

Обробка матеріалу за допомогою фрезерування застосовується на 2-5 вісьових верстатах.

За двома координатами маємо можливість здійснювати:

- шліфовку;
- виборку;
- різання;
- гравіювання;
- розсвердлення.

За трьома координатами маємо можливість поділити обробку на:

- чорнову;
- чистову.

Чорнова обробка використовується для виготовлення приблизного ескізу на матеріалі, якого ми потребуємо, зазвичай для цього використовується фреза більшого діаметру, ніж в чистовій обробці.

Чистова обробка є фінальним етапом, який дозволяє досягти необхідного результату. Виконана робота безпосередньо залежить від обраної фрези та технології і методу обробки.

За допомогою четвертої координати здійснюється обертання матеріалу, який оброблюється. За рахунок додаткової модифікації - установки поворотної осі, фрезерні верстати з ЧПУ здатні виконувати 4-х вісьову обробку. Обробка на верстаті з ЧПУ, з використанням поворотною вісю це в загальному випадку безперервна обробка, як симетричних, так і несиметричних моделей. На відміну від звичайної 3-х вісьової обробки 3D моделі, де деталь повинна кріпитися з одного боку, до столу верстата з ЧПУ, 4-х вісьове фрезерування дає можливість обробляти виріб з усіх боків

безперервно, без додаткових операцій з перестановки деталі на робочому столі. Це дозволяє отримувати вироби складної форми. Виготовлення балясин, капітелей, колон, стовпів, ніжок столів і стільців, шахових фігур, а так-же різних статуєток, каблучок або ж іншої ювелірної та рекламно-сувенірної продукції, приклади такої обробки є найбільш затребуваними на ринку.

Обробка за п'ятьма вісями - це використання ЧПУ для переміщення деталі або ріжучого інструменту по п'яти різних осях одночасно. Така обробка дозволяє виготовляти дуже складні деталі, і саме тому вона особливо популярна, наприклад, в аерокосмічній галузі або машинобудуванні. П'ятивісьова обробка максимально наближена до принципу - одна обробка за одну установку, що скорочує час виконання і підвищує ефективність. Вона надає зручність доступу до складних частин геометрії виробу. Оптимізується час циклу обробки, це досягається шляхом нахилу інструменту / столу, в результаті чого підтримується оптимальне положення і траєкторія різання.

Незалежно від кількості координат будь-яка фрезерна обробка виконується за допомогою ріжучого інструменту - фрези. Вони бувають:

- конусні спіральні;
- конусні;
- кінцеві;
- кінцеві спіральні сферичні;
- кінцеві однозаходні;
- з прямими ніжками;
- по алюмінію;
- профільні;
- для згинання композитних панелей;
- фрези з видаленням стружки донизу;
- компресійні;
- стружколоми;
- риб'ячий хвіст;

- гравери;
- кукурудза;
- зенкера;
- для створення різьблення;
- твердосплавні свердла [5].

Фрези конусні спіральні призначені для роботи з 3D об'єктами. За рахунок своєї сферичної форми, в момент обертання, деталі виходять з меншою шорсткістю. Великим попитом конусні фрези для ЧПУ користуються для різьблення по дереву. Геометрія твердосплавних конусної фрези дає більш високий запас міцності, при невеликих габаритах сфери і навіть при невеликому нахилі уможливорює промальовувати складні об'єкти. Відведення стружки у такого виду фрез на порядок краще звичайних конусних прямих. Відведення стружки у такого виду фрез на порядок краще звичайних конусних прямих.

Конусні фрези доцільно використовувати для отримання кінцевих 3D рельєфів. Єдиний параметр, при якому вони значно поступаються спіральним конусним фрезам - гірше відведення стружки від заготовки. Різання, що проходить на мінімальних глибинах рельєфу, не потребує відсмоктування стружки і пилу від верстата, але якщо є потреба в заглибленні в матеріал, то це може стати причиною підвищених температур різання та виникнення потреби в видаленні стружки під час обробки будь-якими способами.

Кінцеві фрези призначені для обробки дерева, кольорових металів і пластмас. Найбільш часто застосовується для попередньої чорнової обробки 3D рельєфів. Кількість зубів і глибина канавок забезпечує більш сильне подрібнення стружки при фрезеруванні, що покращує якість оброблюваної поверхні і забезпечує більш гладкий зріз. Підходять для фрезерування, розкрою, чорновий вибірки і т.д. Дозволяють виробляти вертикальне врізання, більш стабільні, ніж однозахідні фрези. Вибір довжини фрези і нарізки ножів залежить від глибини рельєфу, так як чорнову обробку в основному роблять пошарово, немає необхідності у великій довжині нарізки

ножів. Але якщо виникає необхідність обробити візерунок великої висоти з численними кутами, краще використовувати фрезу з великою довжиною нарізки ножів для ефективного видалення стружки. Фрези кінцеві спіральні з діаметром хвостовика 4 мм застосовують, коли виникає необхідність в фрезах невеликого діаметра, наприклад: розпил різних матеріалів, наявність дрібних елементів рельєфу, куди не може зайти чорнова фреза більшого діаметра. Фрези з хвостовиком 6 мм найбільш часто застосовуються для чорнкової обробки рельєфів. З хвостовиком 8 мм, застосовують, як правило, на верстатах професійного рівня при великих масштабах та швидкості обробки.

Двухзахідна спіральна сферична фреза дозволяє отримати поверхню з меншою шорсткістю завдяки сферичній формі при обертанні. Ця фреза застосовується для нанесення U-подібного гравіювання по дереву, пластику і м'яких металах, а також використовується при чистовій 3D обробці. Фрези з короткими ножами, як правило, застосовуються для гравіювання і чорнкової пошарової обробки рельєфів, вони мають високу міцність при бічних навантаженнях і дозволяють тримати високу швидкість обробки. Сферичні фрези також добре застосовувати для вирізання заготовок, тому що зріз виходить більш гладким і без смуг. При чистовій обробці сферичною фрезою твердих сортів дерева, поверхня виходить дуже гладкою і не вимагає значного доопрацювання.

Фрези кінцеві однозахідні - це найкращий варіант серед твердосплавних фрез для розкрою м'яких або в'язких матеріалів. Однозахідними фрезами користуються при обробці пластику, алюмінію, композиту, акрилу, оргскла, капролона, м'яких кольорових металів. Данну фрезу також використовують для розкрою фанери і ДСП. Маючи форму подібну до спіралі, фрези відмінно відводять стружку від оброблюваної деталі, що впливає на якість фінального результату. Для кращого відведення стружки, поверхня канавки таких фрез полірують. Через особливості своєї конструкції твердосплавні однозахідні фрези, потребують додаткової фіксації

оброблюваних деталей, що б під час різання не відбувалося зміщення, тобто підриву заготовки.

Фрези з прямими ножами - одна з найбільш популярних фрез для обробки полімерних матеріалів. Такий вид інструменту найчастіше використовується для порізки МДФ, фанери, ДСП. За рахунок своєї геометрії ріжучих елементів, твердосплавні фрези з прямими ножами володіють високими ріжучими характеристиками, хорошими притискними властивостями, що дозволяє використовувати їх без додаткової фіксації заготовки, так як стружка відводиться в паз, а сила впливу спрямована горизонтально, що виключає зсув деталі по вертикалі. При різанні такою фрезою ламінованого МДФ та інших ламінованих поверхонь, різ даної фрези не робить сколів, що ідеально підходить при виготовленні стільниць і фасадів для кухні, ванних кімнат. Вони займають перші місця серед твердосплавних фрез для розкрою плитних матеріалів.

Фрези по алюмінію є одними з найпопулярніших видів фрез для обробки матеріалів. Їх застосовують для різання, створення пазів і канавок. Так як алюміній дуже затребуваний в усіх сферах промисловості, машинобудуванні, при виготовленні декоративних виробів, будівництві і т.д. Алюміній не простий в обробці, так як може бути різних марок і відповідно властивостей, зокрема в'язкість на пряму впливає на вибір фрези для роботи з ним. Найпопулярніші фрези для алюмінію 1-, 2- і 3-х західні. Однозахідні фрези виконані так, що канавка для відведення стружки має найбільший простір серед вище перерахованих, тим самим краще за інших справляється з в'язким алюмінієм. Але в цьому є і свої мінуси, так як ніж тільки один, відповідно така фреза швидше затупляється і міцність такої конструкції нижче, фреза піддається деформації при тривалому використанні. Інші фрези по алюмінію міцніші, менше схильні до зниження гостроти ножів за рахунок рівномірного розподілу навантаження, але при обробці м'яких металів стружка відводиться гірше, за рахунок менших канавок, тим самим налипаючи на фрезу і погіршуючи якість обробки. У таких випадках



використовують МОР і зменшують швидкість обробки. Так само стружкові канавки полірують для того щоб стружка менше налипала на їх поверхню. Сфера застосування фрез по алюмінію не обмежується тільки одним матеріалом. Такими фрезами можна працювати по дюралю, латуні, дереву і використовувати для м'яких кольорових металів.

Профільні фрези є незамінними для цілого ряду робіт по дереву. Завдяки ним, можна забезпечити потрібний перетин профілю за один прохід фрези. Тобто, цей же результат можна досягти і іншими фрезами за значно більший проміжок часу, а іноді просто неможливо отримати перетин профільної фрези, не використавши при цьому, кілька стандартних фрез. Ними можна за один прохід отримувати цілі багатоскладові карнизи, профілювати складні межі виробів, проводити пазування виробів.

Фрези для згинання композиту застосовується при роботі з композитними панелями. Такий матеріал використовується в облицюванні будівель, дизайнерських рішень в інтер'єрі, а також часто зустрічаються в зовнішній рекламі. Щоб отримати результат і точні лінії вигину, обов'язково знадобиться фреза по композиту, так як від паза для формування виробу, залежить точність майбутньої конструкції. Фрези профільні для композиту бувають різної форми: V-подібною, U-подібною і прямокутною, а також мають два основних параметри, це кут заточування і діаметр майданчика.

Спіральні фрези для ЧПК верстатів з видаленням стружки вниз застосовуються для розкрою листових матеріалів ДСП, МДФ, фанери, пластику і т.д. Завдяки нахилу в ліву сторону різальних кромek забезпечується відведення стружки вниз і притиснення заготовки до робочої поверхні верстата. Напрямок сили різання вниз забезпечує відсутність сколів на верхньому краї зрізу, що актуально при роботі з ламінованими поверхнями. Фрези з видаленням стружки вниз найбільш ефективно використовувати для обробки тонких матеріалів, коли можливо прорізати елементи за один прохід, так як паз після першого проходу буде забитий стружкою.

Компресійні фрези для ЧПК верстатів використовуються для розкрою листових матеріалів. Головною перевагою таких фрез є відсутність відколів на нижній і верхній межі заготовки. Такий ефект досягається завдяки різноспрямованим ножем. У нижній частині фреза має нахил ріжучих кромek в праву сторону, у верхній частині - в ліву. Така будова та розташування ножів забезпечує напрям сили різання до центру фрези, при цьому заготовка залишається в стабільному стані, практично повністю відсутній ефект відриву або притиснення заготовки. Компресійні фрези застосовують, коли є можливість прорізати заготовку за один прохід. Якщо треба обробляти заготовку за кілька проходів необхідно забезпечити додаткові заходи з видалення стружки із зони різку.

Фреза твердосплавна стружколомом призначена для швидкісної, чорнової обробки. Геометрія фрези виконана таким чином, що під час фрезерування, стружколом маючи спеціальні зарубки які подрібнюють стружку, відводять її від поверхні деталі. Маючи більшу кількість ножів і спеціальних насічок, такі фрези служать довше ніж звичайні кінцеві, а також працюють тихіше і створюють менше вібрацій. При використанні стружколомів загального призначення для чорнової обробки, розкрою матеріалів, на торцях залишаються нерівності від його зарубок, тому існують стружколоми для чистової обробки. Маючи спеціальну геометрію вони не дряпають матеріал при фрезеруванні.

Твердосплавна фреза типу риби́чий хвіст застосовується для роботи з пластиком, деревом, фанерою, текстолітом та іншими листовими матеріалами. Маючи конусоподібний різець, даний вид фрез добре підходить для фрезерування пазів і шпильок. Так само може застосовуватися в роботі як фреза по алюмінію і як фреза по воску. Завдяки своїй конструктивній особливості, фреза «риби́чий хвіст» відмінно підходить для розкрою листових матеріалів. Маючи форму заточки різців у вигляді риби́чого хвоста, такі фрези запобігають появі відколів і нерівності при розкрою, на зворотному боці оброблюваної поверхні заготовки. Завдяки її геометрії лез,

дані фрези менше схильні до наявності вібрацій, що дозволяє використовувати більш високу швидкість обробки, без погіршення якості різання.

Гравер твердосплавний застосовується для обробки невисоких 3D елементів і нанесення на поверхню матеріалу гравіювання, наприклад: малюнка, тексту або візерунка. Потрібно враховувати твердість граверу по металу, так як зазвичай таким інструментом обробляють м'якші метали. Серед граверів по металу існують: гравера по латуні, гравера по алюмінію, гравера по нержавійці, гравера по дюрану.

Фреза твердосплавна типу кукурудза використовуються для фрезерування твердих, абразивних виробів. Вона призначена для різання листових матеріалів таких як: вуглепластик, склотекстоліт, МДФ, фанера, текстоліт і інші тверді матеріали. Маючи на торці заточку вигляді «риб'ячий хвіст» дана фреза дозволяє добре врізатися в матеріал. Фреза кукурудза може мати напрямок видалення стружки з робочої області вгору і вниз, так звана притискна фреза - підійде для обробки матеріалу з покриттям верхнього шару, притискаючи заготівлю до столу, без необхідності додаткової її фіксації притисками.

Фрези для створення різьблення застосовуються при нарізанні ліво- або правобічної як внутрішньої, так і зовнішньої різьби. Маючи таку форму, фрези для нарізання різьби, можна використовувати на високій швидкості, так як переважна більшість є твердосплавними, що істотно впливає на їх міцність. В порівнянні з мітчиками, фрези для створення різьблення, можуть працювати з більш твердими металами, нарізаючи при цьому більш точні витки, з мінімальними похибками, роблячи їх незамінною оснащенням до ЧПК верстатів.

Зенкер твердосплавний - високоміцне оснащення, з гострими гранями, що застосовується для усунення задирок і розсвердлювання отворів, після більш грубих робіт, а також зняття фасок. У переважній більшості використовується для обробки твердих і кольорових металів. Його

конструктивна особливість, наявність великої кількості різальних крайок і зубів, дозволяє: збільшити діаметр наявного отвору, прорізати паз для кріпильних елементів, досягти точного діаметру та згладити нерівності. Зенкер по металу - це інструмент вимагає високої точності, тому що застосовується вже до готових отворів і відхилення від своєї осі неприпустимі, через це слід приділити належну увагу до позиціонування інструменту.

При використанні твердосплавних свердел, обробка матеріалів займає набагато менше часу, що вигідно виділяє на тлі звичайних інструментів, так як міцність таких виробів дозволяє витримувати більш високі навантаження. Основні моменти використання твердосплавних свердел: кріплення свердла має бути жорстким і надійним, потрібно уникати надмірних осьових навантажень, швидкість обертання повинна перебувати приблизно на одному рівні. Застосування такого обробного інструменту має високу популярність при роботі з металами, в тому числі з складно робочою сплавами, при обробці мармуру і композитних матеріалів, використовуються для роботи з текстолітом, алюмінієм, пластиком і т.д.

## **2.2. Огляд аналогів**

Для створення прототипу верстата з ЧПК були розглянуті конструкції існуючих ЧПК фрезерних верстатів різних технічних характеристик та виробників, а саме 5-ти координатний MSF1224-5x, 3-кординатний 6P13Ф3 та виготовлений майстрами за для власного використання верстата. Зазвичай останній варіант є менш надійним ніж попередні два.

Фрезерний 5-ти координатний верстат з ЧПК MSF1224-5x зображений на рис. 2.1



Рисунок 2.1 – Верстат MSF1224-5x

Основні технічні характеристики верстата MSF1224-5x для порівняння з аналогами наведені у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики верстата

Характеристика	Значення
Робоча область, мм	1200*2400*400 мм
Шпиндель	10 кВт
Робоча швидкість	до 15000 мм/хв
Швидкість холостого ходу	до 30000 мм/хв
Стіл з Т-образними пазами	+
Маса	1800 кг
Гарантія	1 рік
Навантаження на стіл	450 кг
Щуп вісі z	+

Фрезерний п'ятикоординатний верстат з ЧПК MSF1224-5x це верстат середнього розміру для високошвидкісної 5-ти осьової обробки різних матеріалів, починаючи від пінополістиролу, дерева, пластику, закінчуючи композитами і кольоровими металами. Фрезерний верстат має потужну раму з нерухомим порталом і рух робочим столом. Верстат має площу обробки 1850 \* 3100 \* 950 мм.

У стандартній комплектації верстат поставляється з шпинделем HSD, потужністю 10 кВт і автоматичною зміною інструменту revolverного типу на 8 позицій. Для забезпечення високошвидкісної обробки і плавності руху використовується сучасна система управління OSAI NC, здатна виробляти обробку зі швидкістю 20м /хв. Кріплення інструменту HSK 63F - забезпечує високу точність. Автозаміна інструменту карусельного типу дозволяє провести зміну інструменту за 8 секунд.

MSF1224-5x - це надсучасний 5ти-осьовий обробний центр з повною 5-осьовий інтерполяцією. Верстат спеціально розроблений для виготовлення прес-форм та інших 3Д форм.

Стандартний робочий стіл 1220 \* 2440 дозволяє обробляти габаритні деталі по всіх 5ти осях, а відкрита конструкція верстата дозволяє обробляти деталі набагато довше робочого столу.

Пятіосевой фрезерний верстат з ЧПУ MSF1224-5x може використовуватися для виготовлення прес-форм, 3Д форм з деревини; 3Д форм з пінопласту, композитів, обробки виробів виготовлених способом вакуумного формування, виготовлення пластмас, обробки GRP, виготовлення реквізиту, моделювання, контурної обробки твердих поверхонь [6].

Фрезерний 3-кординатний верстат 6P13Ф3 зображений на рис.2.2.



Рисунок 2.2 – Верстат 6P13Ф3

Основні технічні характеристики верстата 6P13Ф3 для порівняння з аналогами наведені у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики верстата

Характеристика	Значення
Робоча область, мм	1000*400*420 мм
Шпиндель	7.5 кВт
Робоча швидкість	до 4800 мм/хв
Швидкість холостого ходу	до 4800 мм/хв
Стіл з Т-образними пазами	-
Маса	4450
Гарантія	-
Навантаження на стіл	300 кг
Щуп вісі z	-

Фрезерний верстат з ЧПК 6P13Ф3 використовується для обробки деталей складного профілю (прес-форми, штампи та інше) зі сталі, чавуну, легких і твердих сплавів, а також кольорових металів в рамках дрібносерійного і середнього виробництва. Обробка може виконуватися кінцевими і торцевими фрезами, свердлами, зенкерами, які встановлюють в шпинделі. Верстат має можливість проводити різну обробку (фрезерування, свердління, зенкування, розгортання) за одну установку деталі.

Верстат дозволяє обробляти вироби в режимі програмного управління одночасно за трьома координатами: поздовжньої і поперечної (переміщення столу і салазок з оброблюваної деталлю) і вертикальної (переміщення повзуна з інструментом). За рахунок робочої області на верстаті можна обробляти заготовки розміром до 1000\*400\*420 мм. Даний верстат в зв'язку з його масою є досить жорстким, що безпосередньо забезпечує мінімальні відхилення при фрезеруванні на максимально допустимій швидкості.

Потужні двигуни забезпечують переміщення столу до 4,8 м / хв і виключає брак деталі при контурній обробці в разі відмови приводу подач по

одній з координат. Введена централізована мастило направляючих. У верстаті застосовується електромеханічний пристрій затиску інструменту, що забезпечує стабільне зусилля затиску – 2000 кг.

Розпочинаючи працювати з даною машиною необхідно враховувати, що вона може бути використана протягом багатьох років, та мати нюанси механіки або електроніки [7].

ЧПК фрезерний верстат CNC 3018 Pro CNC3018 GRBL DIY зображений на рис.2.3



Рисунок 2.3 – Верстат CNC 3018 Pro CNC3018 GRBL DIY

Основні технічні характеристики верстата CNC 3018 Pro CNC3018 GRBL DIY для порівняння з аналогами наведені у таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики верстата

Характеристика	Значення
Робоча область, мм	30 x 18 x 4.5 см
Шпиндель	24 В
Робоча швидкість	до 600 мм/хв
Швидкість холостого ходу	до 600 мм/хв
<u>Стіл з Т-образними пазами</u>	+



## Продовження таблиці 2.3

Характеристика	Значення
Маса	8.5 кг
Гарантія	-
Навантаження на стіл	5 кг
Щуп вісі z	-

Даний верстат продається у розібраному вигляді, який необхідно збирати власноруч. Це виконується легко й без використання додаткового інструменту. Обираючи цю модель верстата користувач має можливість одержати базові навички користування верстатами з ЧПК. Недоліками CNC 3018 Pro по-перше є наявність в конструкції станини елементів виготовлених з деревини, що безпосередньо призводить до втрати жорсткості конструкції, наслідком чого є не висока якість виготовлених виробів. По-друге каретки, що знаходяться на направляючих та утримувач шпинделю виготовлені з пластику, а саме надруковані на 3Д принтері, що призводить до швидкого зносу кріплень в процесі експлуатації. Гвинтова передача, яка встановлена на даному верстаті має більший люфт, ніж ШВП, що встановлені в промислових верстатах.

Гвинтова передача встановлена за допомогою не якісних підшипників, які мають биття та люфт. Двигуни NEMA 17, на яких працює верстат зазвичай використовуються у 3Д принтерах, які не потребують навантажень, на відміну від фрезерних ЧПК верстатів. Конструкція CNC 3018 Pro передбачає собою встановлення направляючих без кріплення на опорі, що також призводить до втрати жорсткості. На верстаті встановлений шпиндель з маленькою потужністю, що не дозволяє швидку обробку матеріалів, а також обробка металів на даному верстаті не є можливою. В зв'язку з вище перерахованими недоліками даний верстат не є надійним та може використовуватись лише для виготовлення деталей або виробів які не потребують високої точності виготовлення.

З технічних характеристик даних фрезерних верстатів маємо можливість зробити висновок, що для створення якісного прототипу малогабаритного фрезерного верстата з ЧПК необхідно використовувати якість матеріали для станини, потужний шпиндель для розширення галузі матеріалів, які оброблюються. Для надійної жорсткості та запобігання появи люфтів та биття слід використовувати якісні дрібні елементи механіки.

### **2.3 Аналіз видів кінематики**

Кінематична структура всіх верстатів базується на загальних принципах, покладених в основу методики аналізу кінематичної структури верстатів з будь-якими кінематичними зв'язками і системами управління.

Основними з цих принципів є наступні:

- будь-який виконавче рух у верстаті створюється відповідної кінематичної групою; простий рух створюється простий, а складний рух - складної кінематичної групою;
- кожна кінематична група складається з джерела руху, зовнішньої і внутрішньої зв'язків;
- внутрішній зв'язок забезпечує траєкторію створюваного руху, а зовнішня зв'язок - його швидкість і напрямок, а також передачу енергії від джерела руху у внутрішню зв'язок;
- налаштування параметрів створюваного групою виконавчого руху забезпечується відповідними органами, розміщеними певним чином у зовнішній і внутрішніх зв'язках.
- сукупність всіх кінематичних груп і міжгрупових зв'язків утворює кінематичну структуру верстата.

Механічну частину кінематичних зв'язків утворюють за допомогою трьох основних груп з'єднань: лінійної, поворотної та шарової (рис 2.41).

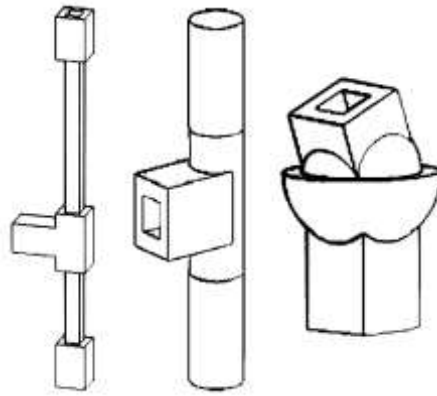


Рисунок 2.4 – Лінійний, поворотний та шаровий з'єднання

За допомогою даних груп зв'язків є можливість створювати безліч різноманітних кінематичних схем, найпопулярніші з яких це: PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly), SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm).

PUMA – промисловий робот-маніпулятор, розроблений Віктором Шейнманом з фірми Unimation - підприємства-піонера в області промислової робототехніки. Спочатку розроблений для General Motors, робот PUMA був заснований на ранніх проектах Шейнмана, зроблених в Стенфордському університеті. У конструктивному плані даний промисловий робот характеризується тим, що його маніпулятор володіє шістьма ступенями свободи, що забезпечуються виключно на обертальних з'єднаннях. У 1985 році була проведена перша успішна операція з допомогою робота PUMA-560 на головному мозку (рис 2.5).



Рисунок 2.5 – Кінематика маніпулятора PUMA

SCARA - це кінематика, заснована на важеля системі, що забезпечує переміщення кінцевої ланки в площині за рахунок обертального приводу важелів механізму. Класичний SCARA механізм складається з двох важелів, з'єднаних в одній точці, і 2-х незалежних приводів, один з яких встановлений в зчленуванні 2-х важелів і обертає їх один щодо одного, а другий встановлений в підставі першого важеля і обертає його щодо робочої площини. Цей механізм не обмежується загальним зовнішнім виглядом, саме має можливість виконуватись в різних модифікаціях. Данна кінематика має перевагу в експлуатаційних показниках, (швидкість, навантаження) в порівнянні за габаритами та вагою. Сучасна система допомагає значно збільшити обсяги виробництва, прискорити технологічні операції. Вона досить швидко монтується на підприємствах. Робототехніка займає мінімум простору, що дозволяє працювати навіть в умовах обмеженого простору.

Кінематика SCARA надійна та довговічна. Всі комплектуючі елементи виконані з високоміцних, зносостійких матеріалів, що гарантує тривалий термін експлуатації пристрою (рис. 2.6).

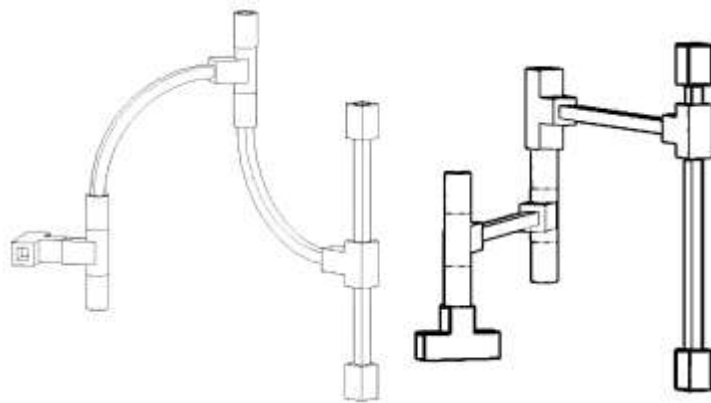


Рисунок 2.6 – Кінематика маніпулятора SCARA

Дана кінематика застосовується для сортування заготовок і деталей, транспортування продукції, склеювання і з'єднання різних виробів і товарів, виконання логістичних завдань [8].

## ВИСНОВКИ

В ході практики був виконаний аналіз Державного підприємства Науково-дослідний технологічний інститут, була описана специфічна діяльність інституту та продукція, яку виготовляє інститут.

В ході виконання роботи була вивчена предметна область механіки та електроніки верстатів з числовим програмним керуванням. Були виявлені існуючі проблеми даного підходу і змодельована модель її рішення. Були виконані наступні завдання:

- розглянута фрезерна технологія обробки;
- вивчена предметна область вже існуючих механічних рішень;
- розглянуті види кінематик;
- обрано платформу на якій буде виготовлений верстат.

У результаті було досягнуто основна мети роботи: обрано вимоги за якими буде виготовлений верстат.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.
2. Методичні вказівки до підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. – Харків: ХНУРЕ, – 2019. – 36 с.
3. Державне підприємство «Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rada.com.ua/ukr/catalog/10212/> дата використання [20.04.2021].
4. Брадул А.А. Аналіз малогабаритних фрезерних верстатів, які застосовуються у виробництві електронної техніки / А. А. Брадул // Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2020): збірник студентських наукових статей. – Харків : ХНУРЕ, 2020. – Вип. 2. – С. 224-227
5. Види фрез: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://frezycnc.in.ua/> дата використання [11.11.2020].
6. П'ятикоординатний верстат: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://mirstankov.com/uk/catalog/frezernyj-pyatikoordinatnyj-frezernyj-standok-s-chpu-msf1224-5x/> дата використання [14.12.2020].
7. Верстат фрезерний консольний вертикальний з ЧПК 6P13Ф3-37. Керівництво по експлуатації 6P13Ф3-37.00.000 PE, 1978.
8. Кінематика SCARA: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://m-robots.ru/info/scara-roboty-harakteristiki/> дата використання [14.12.2020].