

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Розробка конструктивних елементів спеціального верстатного
комплексу з ЧПК агрегатного типу (комплексна робота)**

Виконали: студенти 6 курсу групи МВм-61

Напряму підготовки
(спеціальності)

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Литвин Б.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Пшеничний С.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Кобельник В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоонтроль

Ярема І.Т.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Стухляк П.Д.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри ВІ

Кобельник В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Кобельник В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня

«магістр»

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Литвин Богдан Богданович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Розробка конструктивних елементів спеціального верстатного комплексу з ЧПК агрегатного типу (комплексна робота)

Керівник роботи

Кобельник Володимир Романович, к.т.н., зав. кафедри ВІ

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

Затверджені наказом ректора від «25» 09 2020 року № 4/7-679

2. Термін подання студентом завершеної роботи

10.12.2020

3. Вихідні дані до роботи

Операції: свердління, розточування, фрезерування, наріз. різі.

Технічні характеристики верстатів-аналогів

Оброблюваний матеріаль: конструкційна сталь, чавун, алюміній

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Аналіз завдання та визначення напрямку роботи. Огляд літератури.

2. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА. Вибір комплексу формоутворюючих рухів

Вибір та обґрунтування структурно – кінематичної схеми верстату. Розрахунок режимів різання

Оптимізація компоновочної схеми верстата

3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА. Розрахунок шпиндельного вузла.

Розрахунок приводу подач. Інструментальне забезпечення проектованого верстатного

комплексу. Конструкція та розрахунок інструментального магазину

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Загальний вигляд верстата

2. Кінематична схема верстата

3. Оптимізація компоновочної схеми верстата

4. Приводи по осях X, Y, Z

5. Шпиндельний вузол верстата

6. Привід шпиндельної бабки верстата

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н., асистент Сенік А.А.		
Безпека в надзв. ситуаціях	ст. викладач Клепчик В.М.		
Нормоконтроль	к.т.н., доцент Ярема І.Т.		

7. Дата видачі завдання 28.09.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Реферат. Вступ</i>	10.10.2020	
2	<i>АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ</i>	15.10.2020	
3	<i>ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	25.10.2020	
4	<i>КОНСТРУКТОРСЬКО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА</i>	25.11.2020	
5	<i>ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</i>	30.11.2020	
6	<i>ВИСНОВКИ</i>	05.12.2020	
7	<i>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</i>	05.12.2020	
8	<i>ГРАФІЧНА ЧАСТИНА</i>	10.12.2020	
9	<i>ПІДГОТОВКА ДО ЗАХИСТУ</i>	22.12.2020	

Студент

_____ (підпис)

Литвин Б.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Кобельник В.Р.

_____ (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Кобельник В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня

«магістр»

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Пшеничний Самуїл Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Розробка конструктивних елементів спеціального верстатного комплексу з ЧПК агрегатного типу (комплексна робота)

Керівник роботи

Кобельник Володимир Романович, к.т.н., зав. кафедри ВІ

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

Затверджені наказом ректора від «25» 09 2020 року № 4/7-679

2. Термін подання студентом завершеної роботи 10.12.2020

3. Вихідні дані до роботи Операції: свердління, розточування, фрезерування, наріз. різі.

Технічні характеристики верстатів-аналогів

Оброблюваний матеріаль: конструкційна сталь, чавун, алюміній

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Аналіз завдання та визначення напрямку роботи. Огляд літератури.

2. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА. Вибір комплексу формоутворюючих рухів

Вибір та обґрунтування структурно – кінематичної схеми верстату. Розрахунок режимів різання

Оптимізація компоновочної схеми верстата

3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА. Розрахунок шпиндельного вузла.

Розрахунок приводу подач. Інструментальне забезпечення проектного верстатного

комплексу. Конструкція та розрахунок інструментального магазину

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Магазин інструменту верстата

2. Кантувач інструментів верстата

3. Автооператор проектного верстата

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н., асистент Сенік А.А.		
Безпека в надзв. ситуаціях	ст. викладач Клепчик В.М.		
Нормоконтроль	к.т.н., доцент Ярема І.Т.		

7. Дата видачі завдання 28.09.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Реферат. Вступ</i>	10.10.2020	
2	<i>АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ</i>	15.10.2020	
3	<i>ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	25.10.2020	
4	<i>КОНСТРУКТОРСЬКО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА</i>	25.11.2020	
5	<i>ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</i>	30.11.2020	
6	<i>ВИСНОВКИ</i>	05.12.2020	
7	<i>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</i>	05.12.2020	
8	<i>ГРАФІЧНА ЧАСТИНА</i>	10.12.2020	
9	<i>ПІДГОТОВКА ДО ЗАХИСТУ</i>	22.12.2020	

Студент

_____ (підпис)

Пшеничний С.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Кобельник В.Р.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Створення оптимальної конструкції сучасного металорізального верстата, а особливо автоматичної лінії, можливо тільки при автоматизації проектування, так як традиційний метод ручного проектування, нехай з використанням для деяких цілей і обчислювальної техніки, забезпечує лише в основному створення працездатних конструкцій, а не оптимальних. При розробці конструкції верстата конструктору необхідно визначити і вибрати оптимальне конструктивне рішення. Використання ЕОМ дозволяє збільшити число факторів і дає можливість добиватись оптимальних рішень. Але формальне використання ЕОМ не може дати очікуваного ефекту. І тільки діалог конструктора, який володіє достатніми знаннями в області розрахунку і конструювання верстатів, і ЕОМ дозволяють розглядати значну кількість варіантів і вибрати оптимальні розміри і конструкцію.

В даній роботі ми показуємо на скільки ефективніше використовувати багатоцільові верстати з ЧПК на відміну від використання універсальних верстатів при багато-інструментальній обробці в масовому і крупносерійному виробництві.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	10
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	15
1.1 Аналіз завдання на проект та визначення напрямку роботи	15
1.2 Огляд літератури	17
2 ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	24
2.1 Обґрунтування оброблюваних параметрів деталей машин	24
2.2 Технологічні розрахунки по деталі представнику	25
2.2.1 Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі	25
2.2.2 Обґрунтування та вибір заготовки	29
2.2.3 Розрахунок припусків на обробку деталі	32
2.2.4 Розробка і техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу обробки деталі на проектованому комплексі	38
2.2.5 Розрахунок режимів різання	46
2.2.6 Нормування часу	50
2.3 Розрахунок силових параметрів роботи проектованого верстату при виконанні різних технологічних операцій на деталях з різних матеріалів	55
2.3.1 Свердління отвору $D = 40$ мм в матеріалах	55
2.3.2 Фрезерування сталі, чавуну та алюмінію	57
2.3.3 Нарізання різі M24 x 3 при обробці сталі ($\sigma_B = 750$ МПа)	58
2.3.4 Фрезерування чавуну (НВ 190) торцевою фрезою з механічним кріпленням пластин із композиту 05	60
2.3.5 Фрезерування чавуну (НВ 190) торцевою фрезою з механічним кріпленням пластин із композиту 05	61
2.4 Оптимізація компоновочної схеми верстата	62
2.4.1 Аналіз та обґрунтування варіантів схем формоутворення поверхонь деталей на верстаті	62
2.4.2 Вибір, обґрунтування структурно-кінематичної та кінематичної схем верстатного комплексу	64
2.4.3 Опис та обґрунтування компоновки верстатного комплексу	67

3	КОНСТРУКТОРСЬКО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	74
3.1	Конструкція та розрахунок шпindelного вузла	74
3.1.1	Опис конструкції та принципу роботи шпindelного вузла	74
3.1.2	Вибір та обґрунтування кінематики приводу обертання шпindelя	75
3.1.3	Розрахунок передачі зубчатим пасом приводу обертання шпindelя	76
3.1.4	Розрахунок реакцій на опорах шпindelного вузла	79
3.1.4.1	Вихідні дані для розрахунку	79
3.1.4.2	Методика розрахунку	80
3.1.4.3	Блок-схема алгоритму розрахунку	82
3.1.4.4	Програма для розрахунку шпindelя на жорсткість	85
3.1.4.5	Результати розрахунку та їх аналіз	88
3.1.5	Розрахунок шпindelних опор	89
3.1.5.1	Вихідні дані для розрахунку	89
3.1.5.2	Методика розрахунку	90
3.2	Конструкція та розрахунок несучої системи по осі X	101
3.3	Розрахунок відтиску і кута повороту шпindelя при свердлінні	103
3.3.1	Відтиск і кут повороту вісі шпindelя за рахунок деформації стійки	103
3.3.2	Відтиск і кут повороту вісі шпindelя за рахунок контактних деформацій головки зі стійкою	106
3.3.3.	Відтиск шпindelя в результаті пружного повороту платформи в поздовжній осі направляючих	108
3.3.4	Відтиск і кут повороту шпindelя в результаті згину станини	109
3.4	Конструкція та розрахунок стола верстатного комплексу	110
3.4.1	Визначення необхідного моменту двигуна приводу поворотного стола	110
3.4.2	Вибір зусилля пружини	112
3.4.3	Розрахунок черв'ячної передачі (PH45-2)	112
3.4.4	Розрахунок циліндричної прямозубої передачі	114
3.4.5	Розрахунок передачі зубчастим ременем	114
3.5	Опис конструкції та призначення палети	115

3.6	Інструментальне забезпечення проектного верстатного комплексу	118
3.6.1	Опис та обґрунтування інструментального забезпечення верстатного комплексу	118
3.6.2	Конструкція та розрахунок інструментального магазину	119
3.6.2.1	Опис конструкції та принципу роботи	119
3.6.2.2	Розрахунок потужності електродвигуна повороту інструментального магазину	121
3.6.3	Конструкція та розрахунок перевантажувача-кантувача інструментів	124
3.6.3.1	Опис конструкції та принципу роботи	124
3.6.3.2	Розрахунок приводів рухів ланок кантувача	126
3.6.3.2.1	Привід горизонтальних переміщень	126
3.6.3.2.2	Привід повороту руки з інструментом	129
3.6.3.2.3	Привід затиску інструменту	130
3.6.4	Конструкція та розрахунок автооператора	133
3.6.4.1	Опис конструкції та принципу роботи автооператора	133
3.6.4.2	Розрахунок приводу рухів ланок автооператора	136
3.6.4.2.1	Привід повороту руки автооператора	136
3.6.4.2.2	Привід осьового переміщення руки автооператора	140
3.6.5	Конструкція перевантажувача	142
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	143
4.1	Робоче місце	143
4.2	Розрахунок комбінованого освітлення	148
	ВИСНОВКИ	155
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	156
	ДОДАТКИ	159

ВСТУП

Верстатобудування - базова галузь машинобудування. Парк металооброблювального обладнання визначає виробничо-технічний та економічний потенціал машинобудівного комплексу. Верстати, машини і оснащення, які виготовляються верстатобудуванням, складає приблизно 60% активної частини промислово-виробничих фондів машинобудування. Недооцінка необхідності випереджуючого розвитку верстатобудування веде до низького рівня продуктивності праці, незадовільній якості продукції, дефіциту кваліфікованої робітничої сили, повільним темпом оновлення продукції та її високої вартості.

Генеральною тенденцією розвитку машинобудування є його автоматизація на базі верстатів з ЧПК, автоматів та напівавтоматів, роботизованих технологічних комплексів (РТК), гнучких виробничих модулів (ГВМ), автоматичних ліній (АЛ), в тому числі гнучких виробничих систем (ГВС) і дільниць (ГВД).

Область раціонального використання металообробного обладнання залежить від номенклатури та програми випуску продукції. Для масового виробництва характерно використання високопродуктивного малопереналагоджувального обладнання (АЛ, АРКЛ). Серійне виробництво, в якому виготовляється до 75% всієї продукції машинобудування, повинно забезпечуватись обладнанням, поєднує високу продуктивність з необхідними універсальністю та гнучкістю, що дає можливість інтенсивно оновляти продукцію без суттєвих змін основних фондів. Такі можливості в більшості має обладнання з ЧПК, особливо багатоцільові верстати.

Другим принципом, який дозволяє знизити втрати продуктивності внаслідок переналадок є використання групової технології. Поєднання групової технології з гнучкістю обладнання дозволяє в серійному виробництві досягти інтенсивних темпів оновлення продукції при збереженні високої продуктивності.

Характерною особливістю сучасного типажу верстатного парку є постійне розширення номенклатури багатоцільових верстатів та гнучких

виробничих модулів. Номенклатура типу відповідає технологічному та організаційному рівням сучасного промислового виробництва. Вона постійно удосконалюється шляхом зняття застарілих моделей і включенням нових замість тих, що вибули, а також розширення технологій, які появляються. Для нового обладнання ставиться завдання підвищення продуктивності в 1,5-2 рази.

Організаційно-економічні і технологічні умови використання металорізальних верстатів і верстатних систем у споживачів дуже різноманітні. Однак вся багатогранність споживчих властивостей зводиться до чотирьох узагальнюючих показників: продуктивність, точність, переналагоджуваність, надійність.

Ефективність сучасних металорізальних верстатів і верстатних систем при їх високій вартості може бути забезпечений тільки при умовах інтенсивної експлуатації з максимальним використанням фонду робочого часу. При встановленні верстата в автоматизовану систему необхідною умовою підвищення ефективності верстата є його робота в безперервному режимі з мінімальною участю людини. Всі чотири основних показники споживчих властивостей пов'язані між собою конструкцією, технологією, а також організацією та економікою.

Головне завдання при створенні любых металорізальних верстатів і верстатних систем-підвищення продуктивності. Воно оцінюється скороченням штучного часу для конкретних виробів, операцій та застосовується до спеціальних і спеціалізованих верстатів.

Головним із засобів скорочення штучного часу є автоматизація виробничих циклів верстатах.

Одним із самих ефективних рішень, які суттєво впливають на норми часу, є концентрація операцій на одному верстаті. Ідеальним рішенням такого напрямку є забезпечення обробки деталі з п'яти сторін з однієї установки і з усіх сторін - при перехопленні деталі за оброблені поверхні на тому же верстаті. Для суттєвого скорочення норм часу на обробку деталі веде суміщення ряду операцій в часі.

Головною із споживацьких властивостей металорізальних верстатів і верстатних комплексів є переналагоджуваність, яка складається в можливості переналагодження для виготовлення різних виробів або для виконання різних операцій з цією властивістю сучасних верстатів і верстатних систем пов'язана риса, яка називається гнучкістю обладнання.

Суттєвий прогрес в техніці і в технології машинобудування в поєднанні з високими досягненнями в області систем керування дозволяє перейти від створення окремих гнучких виробничих систем до створення комплексно автоматизованих і комп'ютеризованих виробництв.

Із розвитком науково-технічного прогресу в технологічне виробництво впроваджуються все досконаліші машини і механізми, які цілком керовані електронікою. Впровадження таких механізмів сприяє значному скороченню ручної праці і підвищенню продуктивності праці.

При використанні верстатів з автоматичною зміною інструменту значно скорочується час на виготовлення деталей, а отже зростає продуктивність праці.

При використанні багатоцільових верстатів зі збільшенням можливих операцій, що виконуються на одному верстаті зменшується кількість універсальних верстатів, що в свою чергу приводить до зменшення виробничої площі дільниці, а з цим зменшуються затрати на освітлення, на використання виробничої площі, також зменшуються затрати робочого часу на переустановлення заготовок і переходи від одного верстату до іншого

При вирішенні поставлених задач в напрямку розроблення сучасних технологічних процесів, виключне значення мають методи техніко-економічного аналізу можливих варіантів рішень.

Розроблення технологічних процесів - це важливе завдання, яке також вимагає широкої ерудиції, глибоких знань багатьох дисциплін. Удосконалення технологічних методів виготовлення машин має велике значення, тому якість - машини, надійність, довговічність і економічність в експлуатації залежать не тільки від досконалості її конструкції, але і від технології виробництва.

Використання прогресивних високопродуктивних методів

обробки, забезпечують високу точність і якість поверхні, що підвищує ресурс роботи деталей і машин в цілому.

Конструкції верстатів, що конструюються повинні бути перспективними, тобто повинні відповідати потребам завтрашнього дня. При розробці нового верстату необхідно закласти в проект визначений запас досконалості і новизни рішень його основних елементів в порівнянні з вже існуючими.

Конструктор, який проектує сучасний верстат, повинен приймати оптимальні технічні рішення як по його окремих елементах, так і по верстату в цілому. До окремих елементів можна віднести: несучі системи, приводи головного руху і подач, шпиндельні вузли, системи керування, пристрої заміни інструменту, завантаження і розвантаження і т.д. Вони мають різні функціональні призначення і специфіку проектування. Для синтезу оптимальної конструкції любого вузла або верстата обов'язково є наявність розробленої системи критеріїв оптимальності. Ці критерії залежать від вимог, що ставляться до проектуємого верстата, якості і точності оброблюваних деталей. При визначенні критеріїв повинні враховуватися тенденції розвитку верстатів даної групи і його основних елементів, а також результати науково-технічного прогнозування, мають бути проведені комплексні технологічні дослідження, статистичний аналіз умов експлуатації верстатів і т.п.

Верстати, що утворюються повинні бути загально-доцільні, технічно і естетично досконалими, економічними. Відомо, що один і той же верстат, який відповідає усім цим вимогам, може мати різну кінематику, конструкцію, компоновку, форму. В свою чергу, верстат визначеного конструктивного рішення може виготовлятися при рідному рівні організації виробництва, різними технологічними прийомами і може мати різну якість виконання. Тільки оптимальне співіснування вдалого конструктивного рішення, сучасних прогресивних технологічних процесів, досконалих форм організації виробництва (що забезпечують підвищення продуктивності, зниження трудомісткості, максимальний економічний ефект і рентабельність) і високої якості виготовлення може забезпечити створення верстата, який відповідав би

вимогам експлуатації, економічного і такого, який володіє високою естетичною якістю. Також в свою чергу для підвищення продуктивності економічності і точності обробки металів різанням необхідне дослідження фізичних основ процесу різання; знаходження нових дешевих, зносостійких і міцних матеріалів для виготовлення ріжучої частини інструменту; вдосконалення існуючих конструкцій і утворення нових видів високопродуктивного ріжучого інструменту і покращення його якості; широке впровадження комплексної механізації і автоматизації в технологічні процеси, пов'язані з обробкою різанням.

Мета роботи. Розробити конструкцію основних вузлів спеціального верстата з ЧПК для підвищення продуктивності та точності обробки.

Завдання:

1. Провести аналіз завдань та визначити напрямки роботи.
2. Провести технологічні розрахунки (розрахунок припусків, розрахунок режимів різання). Запропонувати технологічний процес (операційну технологію) виготовлення деталі та проаналізувати техніко-економічне обґрунтування її виготовлення.
3. Розроблено структурно-кінематичну, кінематичну схеми верстата та провести оптимізацію компоновочної хеми верстата.
4. Розробити та запропонувати конструкції шпиндельного вузла верстата,
5. Запропонувати конструкцію верстатного стола, котрий забезпечує всі необхідні рухи переміщення по осях, автоматичну систему заміни інструменту (АЗІ), котра містить магазин інструменту, кантувач, руку автооператора, привід осьового переміщення автооператора, перенавантажувач.
6. Роботу обґрунтувати з точки зору охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Практичне значення роботи:

Розроблено конструкції та розраховано шпиндельний вузол спеціального шліфувального ЧПК, стіл верстата, систему АЗІ.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз завдання на проект та визначення напрямку роботи

В проекті належить розробити верстатний комплекс з ЧПУ для обробки корпусних деталей середнього габаритного класу. Верстатний комплекс повинен містити саму верстатну систему по забезпеченню безпосередньо процесу формоутворення поверхонь деталей та ряду функціональних механізмів по автоматизованому забезпеченню силових агрегатів необхідним ріжучим інструментом. Вихідними даними на проект є об'єм механічних операцій по обробці параметрів деталі-представника, технічні вимоги стосовно обробки. Орієнтована програма випуску деталей. Кожна із відмічених вихідних даних має свій вплив на конструктивно-технологічні особливості проєктованого верстата. Основними механічними операціями, які використовуються при обробці корпусних деталей, є обробка отворів кінцевими інструментами (свердлами, зенкерами розвертками, пальцевими фрезами, мітчиками), формоутворення плоских та криволінійних площин фрезами (торцевими, дисковими, т-подібними, спеціальними) стосовно характеру та габаритних параметрів поверхонь. Інформація стосовно обробки класу корпусних деталей дає уяву, що обробка може вестись на різних поверхнях, які формують тіло деталі, виходячи з її конструктивного призначення. Враховуючи цей фактор, з метою забезпечення максимальної обробки з однієї установки на верстаті бажано надати можливість повороту деталі, підставляючи для обробки інструментом різні поверхні та параметри. Клас деталі, її габарити мають першочерговий вплив на компоновочні особливості верстата.

Номенклатура і типорозмір оброблюваних деталей та параметрів мають вплив на об'єм інструментального забезпечення, яке є невід'ємною частиною всього верстатного комплексу і має свої конструктивні й компоновочні особливості, які тісно пов'язані із верстатним комплексом в цілому.

Робочі креслення номенклатури оброблюваних деталей або деталей представників містять інформацію стосовно матеріалу, з якого виготовлені, і

який впливає на конструктивні особливості ріжучого інструменту та якісні характеристики основних виконавчих механізмів формоутворюючих рухів (режими різання). Якісні характеристики основних виконавчих механізмів можуть бути визначені статистичним або аналітичним методами і є основними вихідними параметрами для проектування приводів верстатів на основі кінематичного та силового розрахунку.

Згідно завдання проєктований верстатний комплекс повинен бути підвищеної точності і оснащений системою ЧПК, які накладають свої умови на конструктивні та компоновочні особливості комплексу.

Верстати з ЧПК є широкоуніверсальним металообробним обладнанням з автоматизацією процесу обробки або всього виробничого циклу та основ системи числового програмного керування. Вимога стосовно точності верстата накладає свої конкретні вимоги на конструктивні особливості окремих вузлів і верстата в цілому.

Враховуючи приведені вище міркування в проєкті намічається на основі аналізу та оптимізації схем формоутворення розробити структурно-кінематичну схему верстатного комплексу та його компоновку. На основі розрахунку вихідних якісних технічних характеристик окремих вузлів повинні бути розроблені їх конструкції, обґрунтовані необхідними силовими розрахунками. Розробці підлягають шпиндельна група та механізми координатних переміщень стійки зі шпиндельним блоком.

Номенклатура ріжучого інструмента, компоновочне рішення в цілому верстатного комплексу, зумовлюють розробку вузлів системи інструментального забезпечення, які мають свої конструктивні особливості та методи розрахунку.

Всі прийняті конструктивні рішення повинні отримати в пояснювальній записці до проєкту належне обґрунтування підтвержені необхідними точнісними та силовими розрахунками.

Проєктні розробки повинні бути підтвержені розрахунками організаційно-економічного характеру, які передбачаємо виконати по

методиці, прийнятій для верстатобудівної промисловості і яка на думку спеціалістів є найбільш оптимальною.

Проектні рішення і верстатний комплекс в цілому повинні отримати належне обґрунтування відповідності їх нормам безпеки роботи на них та охорони праці екологічним вимогам та безпеці життєдіяльності людини.

1.2 Огляд літератури

Починаючи із 50 років у світі створено та виготовлено певну кількість та досить широку різноманітність верстатів з ЧПК, які знайшли використання у різних галузях машинобудування. Вони різняться компоновочними рішеннями металообробної частини верстата та окремо інструментального забезпечення. Верстати металообробні з ЧПК, як і інші верстати, розробляються стосовно забезпечення повного комплексу формоутворюючих рухів по утворенню поверхонь деталей машин. Ці рухи розподіляються між головним виконавчим механізмом - шпиндельним блоком, який несе ріжучий інструмент і іншими механізмами групи стола або шпиндельного блоку.

Шпинделю шпиндельного блока надається головних рух формоутворення - обертання інструменту. Разом з тим шпиндельному блоку можуть надаватися координатні переміщення по осях X, Y, Z, які може отримувати як сам блок, так і стійка з платформою разом з шпиндельним блоком.

Координатні переміщення можуть отримувати і механізми групи стола. Координатні переміщення вузлів верстата бувають як переміщення подач, так і установчими, налагоджувальними.

Жорсткого розподілу координатних рухів між окремими вузлами не існує. Кожен окремий випадок диктується конкретними умовами і особистими міркуваннями конструктора, і також розміщенням площини стола, яка може займати як горизонтальне та і вертикальне положення. Певне положення площини стола приймається пов'язано із габаритами деталі, розміщенням оброблюваних поверхонь, матеріалом заготовки, її вагою, а також вимогами створення належних умов виробничого циклу.

З компоновкою металообробного блоку тісно пов'язаний блок інструментального забезпечення, без якого неможлива широка номенклатура технологічних операцій, виконуваних на верстаті. Інструментальне забезпечення включає накопичувач інструментів, яким може бути револьверна головка, інструментальний магазин, стелаж та транспортні засоби по доставці інструменту від накопичувача до шпиндельного вузла. Транспортні засоби включають автооператори, кантувачі. Конструктивні особливості інструментального забезпечення в повній мірі залежать від компоновочних та конструктивних рішень металообробного блоку, об'єму інструментів, розміщення та орієнтація інструментів в магазині стосовно вісі шпинделя.

Вітчизняні та світові верстатобудівні фірми створили безліч різновидностей компоновок верстатів з ЧПК, сформованих по різних принципах та міркуваннях. Найбільш розповсюджені багатоопераційні верстати мають компоновку подібну з компоновками верстатів загального призначення.

Компоновка багатоопераційного верстата з бічним розміщенням інструментального магазину.

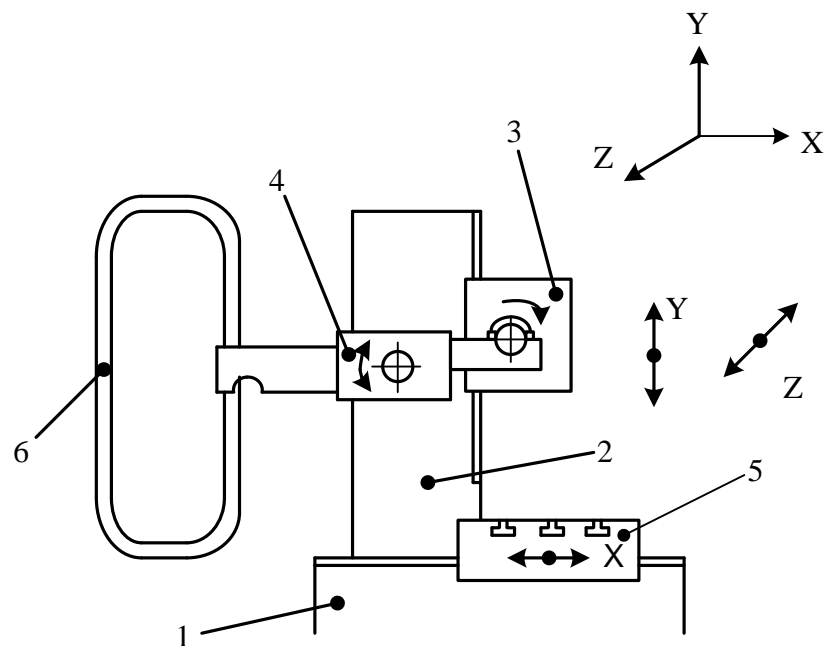


Рисунок 1.1- Горизонтальна компоновка багатоопераційного верстату:

1. станина;

2. стійка
3. шпindelний блок
4. автооператор
5. стіл
6. інструментальний магазин.

На рисунку 1.1 представлена горизонтальна компоновка багатоопераційного верстату на базі горизонтально-розточного з горизонтальним столом поз.5 та ланцюговим інструментальним магазином. Для такої компоновки можливе різне розміщення стосовно шпindelного блока інструментального магазину. В даному випадку інструментальний магазин є ланцюговим і дозволяє розміщати значну кількість (50-100) інструментів, що значно перевищує ємкість жорстких магазинів. Може бути розміщених як збоку верстата так і за ним. При потребі значної кількості інструментів можуть використовуватись декілька інструментальних магазинів

На рисунку 1.2 представлено компоновку багатоопераційного верстату з верхнім розміщенням інструментального магазину. Ця компоновка характерна для верстатів Івановського (Росія) верстатобудівного об'єднання. Вертикальне розміщення інструментального магазину економить цехову площу, але обмежена щодо ємкості, яка максимальна в кількості 30-36 інструментів. Особливості перевантаження інструменту по маршруту магазин - шпindelний блок ідентичні компоновці на рисунку 1. Така компоновка затруднює експлуатаційний нагляд за інструментальним магазином, але більш підходить для монтажу в автоматизовані дільниці, гнучкі виробничі модулі.

Різновидності компоновки багато вносить в компоновочно-конструктивне виконання столів, які забезпечують розміщення на них заготовок, діапазон оброблюваних поверхонь, концентрування на одному верстаті технологічних операцій.

Особливості компоновки представленої на рисунку 1.3 - використані в поворотному - перевантажувальному столі поз.7, який забезпечує подачу на стіл

заготовок і забір деталей. Використання поворотного стола прискорює зміну заготовок і робить верстат більш зручним для монтажу в гнучкі виробничі системи.

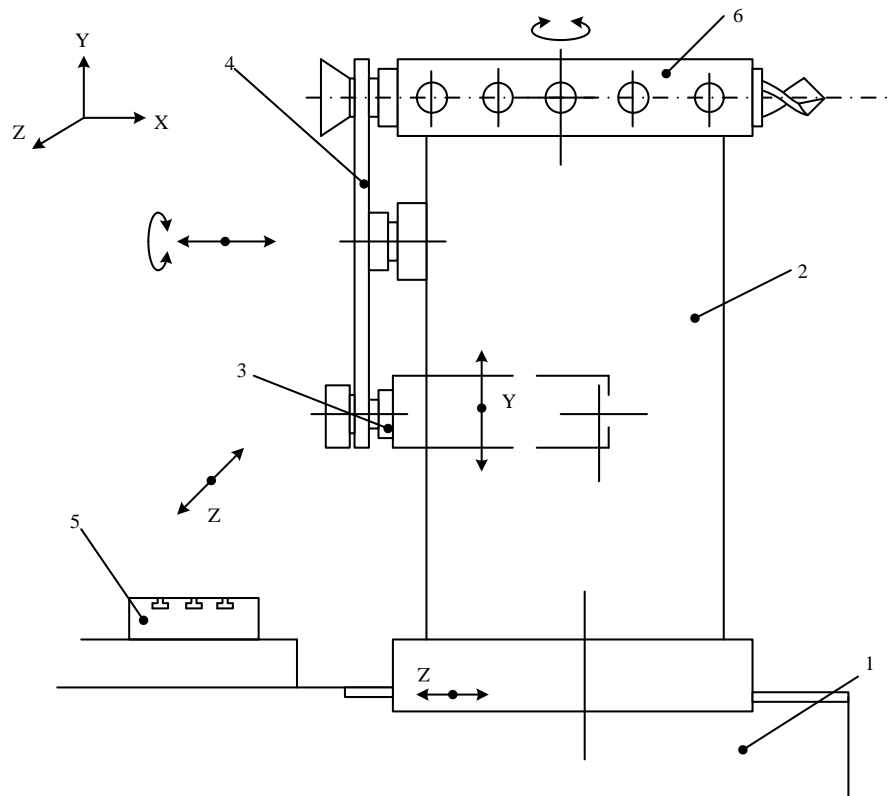


Рисунок 1.2 - Компонівка багатоопераційного верстату з верхнім діленням інструментального магазину

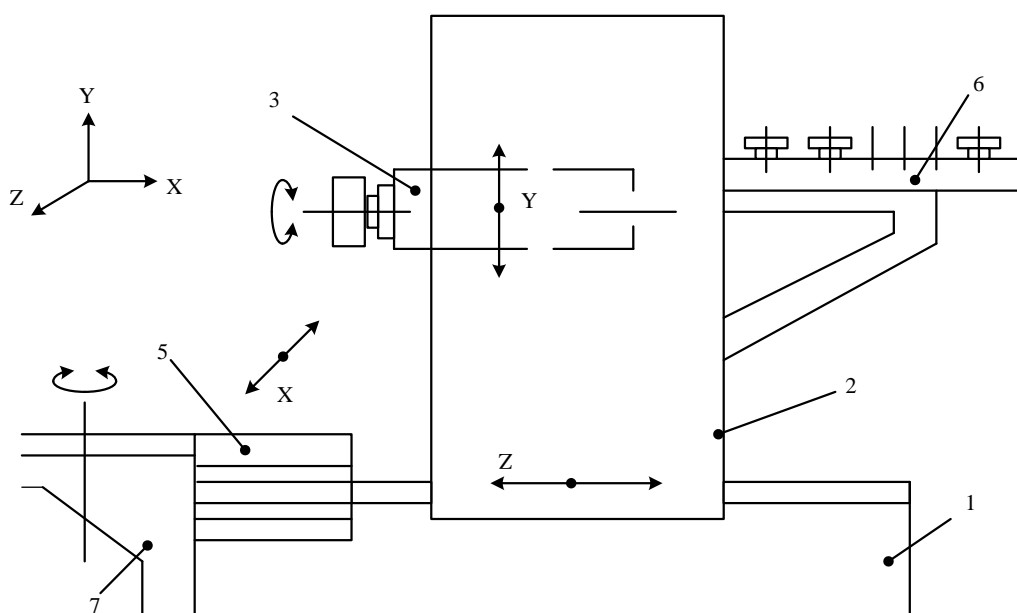


Рисунок 1.3 - Багатоопераційний верстат з ЧПК мод. BEA2 фірми Heller (Німеччина)

Існують компоновки верстатних модулів із значним об'ємним накопичувачем інструментів і багатопозиційними поворотними столами. Один із верстатів представлено на рисунку 1.4. Цей варіант виконання компоновки має п'ять інструментальних магазинів, які по мірі потреби поставляються в зону шпинделя заготовки для обробки поступають на двотактовий стіл від багатопозиційного поворотного палетного стола.

В багатьох верстатах використовуються подібні компоновки, що дозволяють виконувати багато операцій і основне, дозволяють більш продуктивно використовувати дане обладнання. Тобто використання багатопозиційного - поворотного стола дає змогу з великою точністю обробляти деталь зі всіх сторін і всіх можливих позицій, а це в свою чергу значно зменшує час, який втрачається на виробництво деталі і в цьому випадку значно зростає продуктивність праці.

В попередньому верстаті ми розглядали компоновку стола яка є горизонтальною. Але в світі багато заводів і фірм, які виготовляють металообробне обладнання використовують також вертикальні компоновки столів. Така технологія використання показана нижче.

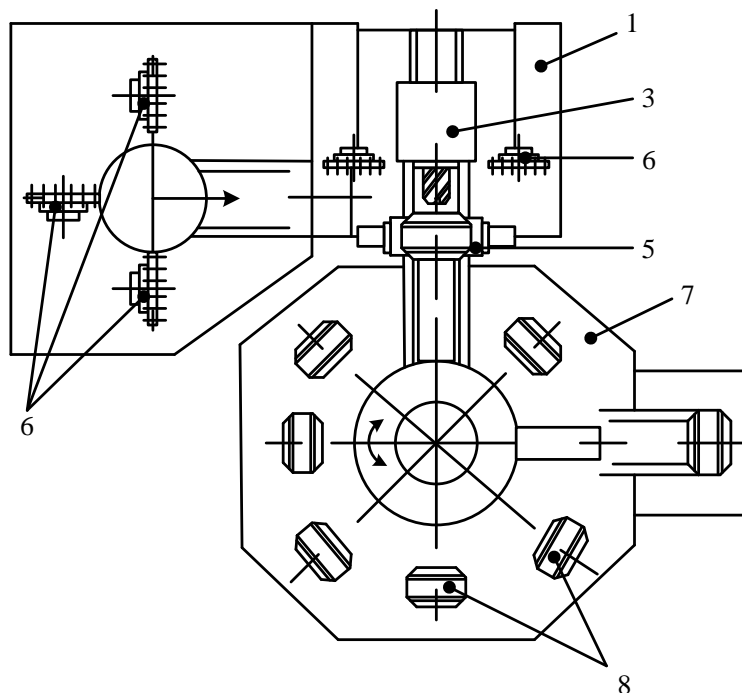


Рисунок 1.4 - Компоновка гнучкого верстатного модуля фірми Heller

(Німеччина): 1 - станина; 3 - шпиндельний силовий агрегат; 5 - двотактовий стіл; 6 - інструментальні магазини; 7 - поворотний багатопозиційний палетний стіл; 8 - палети

Горизонтальні компоновки столів верстатів, як було відмічено раніше, мають суттєвий недолік по усуненню стружки. Тому в протипагу появились вертати з вертикальними столами, один із варіантів яких показано на рисунку 1.5.

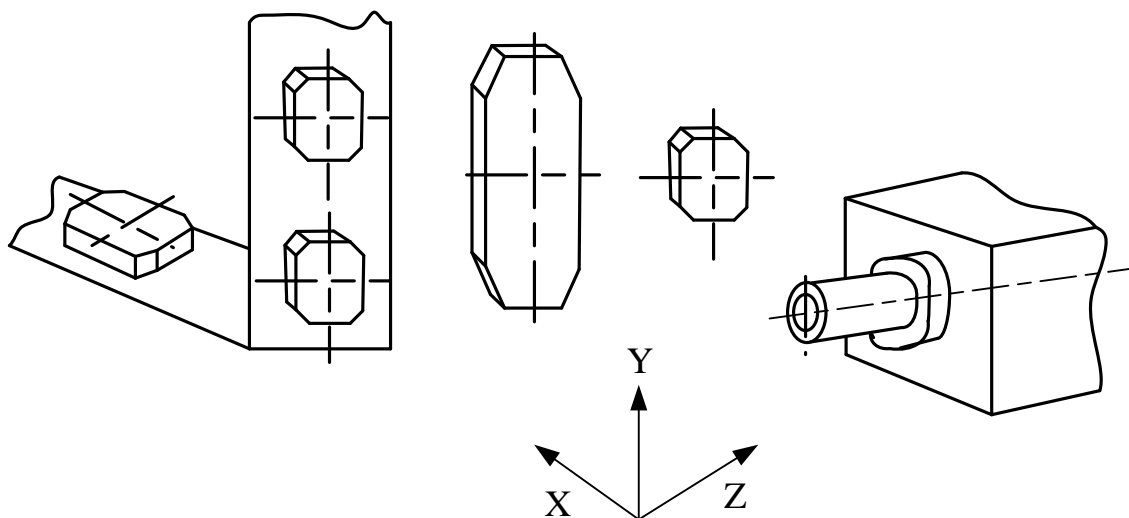


Рисунок 1.5 - Схема зміни палет у верстатному модулі MA3/10 фірми Tsukami (Японія) з вертикальним накопичувачем палет

Особливість представленої компоновки полягає у вертикальному боковому зміщенні стола, основу якого становить колона поз.5. По вертикальних напрямляючих колони (Вісь X) переміщається спеціальний корпус, в розпірках якого розміщуються одно, або двох поворотний стіл, що рухається по вісі Y. Шпиндельна бабка переміщається вздовж вісі Z по горизонтальним напрямляючим, розміщених у вертикальній площині. Точність позиціонування по X, Y, Z рівна $\pm 0,002$ мм, можлива комплексна обробка по п'яти координатах (a, b, c, d, f) з одного установа і з використанням до 10 пристосувань-супутників (палет), які розміщуються на карусельному 10-місному накопичувачі. Розміщення пристосувань-супутників у вертикальній площині

значно покращує компактність конструкції верстату.

Подібна конструкція верстатного багатоопераційного модуля розроблена фірмою Mauser (Німеччина). Верстат мод ТМС500 даної фірми оснащений поворотним столом з горизонтальною віссю обертання і забезпечує поворот : шести палет розміром 450х450 мм кожна.

Переміщення палет на стіл може здійснюватись як у горизонтальній так і вертикальних площинах. Рухи по переміщенню виконуються, як правило, роботами.

Уваги заслуговують компоновки багатоцільових верстатів фірм Makino (Японія) мод.МС-60 з магазином на 6-8 або 12 палет, який розміщується збоку верстата і має автооператор для зміни палет.

Свої особливості мають багатоцільові верстатні модулі фірм Herbeck Werkzeug-Maschinen Fobrik (Німеччина), Jamazaki Machinery Work (Японія).

Всі вони оснащені багатомісними поворотними столами, здатними розміщати на них 6-8, 12 палет.

2 ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування оброблюваних параметрів деталей машин

Визначення домінуючих параметрів обробки деталей на верстаті є визначальним при формуванні техніко-економічних показників проектного верстату. Основні техніко-економічні показники проектної моделі верстату можуть бути визначені на основі деталі-представника, або на основі статистичних даних, зібраних на ряді машинобудівних підприємств по найбільш широко використовуваних режимах роботи. Деталь-представник дає дещо завужену інформацію про використання проектного верстату, так як вона не може дати повну картину можливих режимів роботи і до того ж орієнтує верстат на обробку тільки одного матеріалу. Враховуючи широку діапазонність роботи багатоцільових верстатів, універсальність доцільніше провести аналіз найбільш широкорозповсюджених областей застосування таких верстатів і режимів їх роботи.

Згідно завдання на проект проєктований верстат повинен забезпечити обробку корпусних деталей легкого та середнього класу. Аналізуючи технологічні процеси на багатоопераційних верстах можна зробити висновок що найбільш типовими та характерними є свердлильні операції, нарізання в отворах різей, фрезерування плоских поверхонь торцевими фрезами та пазів, контурних поверхонь пальцевими фрезами. Корпусні деталі в основному виготовляються литтям і найбільш широко використовуваним матеріалом деталей є чавун, конструкційна сталь та алюмінієві сплави. Для зазначення режимів обробки важливу роль відіграють фізико - механічні властивості оброблюваних матеріалів. Тому, позначаючи оброблюваний матеріал, одночасно назначаємо і його фізико-механічні властивості, тобто обробці підлягатимуть деталі із чавуну (НВ 190), конструкційної сталі ($\sigma_B = 75 \text{ кг/мм}^2$) та алюмінієвих сплавів.

В якості домінуючих параметрів оброблюваних деталей приймаємо діаметр свердління отворів 40 мм., найбільша ширина поверхонь фрезерування В

= 75 мм, максимальна нарізувана різьба мітчиками М 24 х 3.

На режими різання суттєвий вплив мають матеріали ріжучих частини інструментів, які можуть бути із швидкоріжучого матеріалу, твердосплавів та композиту 05.

Стосовно оброблюваних матеріалів, параметрів обробки та матеріалів ріжучої частини інструментів розраховуються або по довідниковій літературі назначаються режими різання і відповідно них розраховуються силові параметри - осьові сили, моменти різання та потужність різання, які є основними вихідними параметрами для силових розрахунків конструкцій механізмів та вузлів проектного верстату.

2.2 Технологічні розрахунки по деталі представнику

2.2.1 Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі

Деталь являє собою корпус коробчатої форми де кріпляться різні деталі для блоку живлення радіостанції. Деталь „Корпус” конструктивно є складною деталлю. Дана деталь використовується як корпусна деталь. Всі поверхні, які обробляються використовуються для кріплення тих чи інших приладів радіотехніки. Деталь має правильну геометричну форму.

Всі проставлені на кресленні розміри відповідають вимогам програмування і задані в прямокутній системі координат. Початок координатних осей і їх напрям вибираємо виходячи з умови співпадання з осями координат верстату під час обробки деталі. Нульову точку вибираємо виходячи з умови можливості заміни деталі в пристосіблені.

Креслення деталі відповідає вимогам програмування:

- всі розміри проставлені в системі прямокутних координат від'ємних конструктивних баз деталі;
- проставлені всі розміри, які визначають координати центрів отворів (за винятком радіусів спряжень).

В загальному розглядаючи всі ці показники можемо сказати, що дана

деталь. з точки зору конструктивних показників відповідає всім вимогам, які ставляться до неї. Також конструктивні параметри деталі досить добре вписуються до вимог що до програмування, а це в свою чергу суттєво впливає на продуктивність виробництва так як в нашому випадку обробка проводиться з використанням верстатів з числовим програмним керуванням.

В відповідності з ГОСТ 14301-83 тільки конструкції, що відроблені на технологічність, можуть поступати на проектування технологічного процесу виготовлення деталі.

Комплекс критеріїв технологічності деталі, що обробляється на верстатах з ЧПК в ГПС умовно можна розділити на дві групи.

Перша група критеріїв, що дозволяє дати якісну оцінку технологічності визначає загальні вимоги до деталі. В другу входять критерії технологічності, що відносяться до оброблюваних поверхонь. Друга група критеріїв визначає кількісну оцінку технологічності деталі.

Технологічність деталей, оброблюваних на верстатах з ЧПК, необхідно оцінювати з двох позицій: по-перше, з точки зору обробки, яка має виконуватись з потрібною точністю, високою продуктивністю і низькою собівартістю; по-друге, з точки зору задач програмування. Потреби до технологічності, як зручність обробки при мінімальних затратах, оснований на тих же початках, що і вимоги до любых інших деталей, що оброблюються на звичайних верстатах.

Специфічними вимогами являються:

1 Оброблювальні поверхні деталі мають бути сконцентровані з чотирьох сторін. На двох інших сторонах площин які використовуються в якості технологічних баз, має бути мінімальна кількість оброблювальних поверхонь.

2 З врахуванням обробки з чотирьох сторін деталь має забезпечувати можливість використання такої схеми закріплення, яка не робить перешкод при обробці і не визиває пружних деформацій, що виходять за границі допустимих відхилень.

3 Довжина розрахованих з однієї сторони отворів не має

перебільшувати допустимих для консольної обробки на даному верстаті. Максимальна довжина немає перевищувати п'яти, шести діаметрів оправки, що несе розточний різець.

4 При далеко "рознесених" співвісних отворах, обробка яких ведеться з поворотом на 180° необхідно пам'ятати що така схема подвоює похибки.

5 При обробці на фрезерних верстатах плоских деталей всі радіуси спряжень суміжних ділянок контуру мають бути по-можливості однаковими.

Величина радіусів має відповідати нормальному ряду діаметрів кінцевих фрез (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 30 мм).

6 При обробці на любых верстатах з ЧПК конструкція деталі має забезпечувати її обробку з найменшим числом установок.

7 Корпусні деталі не мають мати оброблюваних поверхонь, які розміщені під кутом до осей координат.

8 В конструкціях корпусних деталей, якщо важливо, має бути два базових отвори, які мають бути максимально віддалені один від одного.

9 Заготовки корпусних деталей мають відповідати машинній формовці і не мати різних перепадів припусків на обробку. Останнє зумовлено зручністю програмування.

Особливо ці вимоги стосуються деталей, оброблювальні поверхні яких складаються з кривих ліній.

Для зручності аналізу технологічності конструкції і скорочення часу пропонується таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 - Технологічні вимоги до оброблюваних поверхонь

№ п/п	№ поверхні	Ідентичність по формі і розмірам, а також по шорсткості		Квалітет точності	Клас шорсткості поверхні <i>Ra</i>	Клас чистоти поверхні
1	1	-	1	14	6.3	4
2	2	3	2	14	6.3	4
3	4	5...11, 39...42, 46	15	14	6.3	4
4	12	13, 14	3	14	6.3	4

Продовження таблиці 2.1

5	15	16	2	9	2.5	6
6	17	18...36	20	7	3.2	5
7	37	38	2	7	3.2	5
8	43	-	1	14	6.3	4
9	44	45	2	9	2.5	6
10	49	-	1	14	6.3	4
11	50	-	1	14	6.3	4
12	51	52, 53	3	14	6.3	4
13	54	55	2	14	6.3	4

Кількісна оцінка технологічності конструкції деталі відповідно ГОСТ14.204-83 визначається такими коефіцієнтами:

1 Коефіцієнтом уніфікації конструктивних елементів:

$$K_{ye} = \frac{O_{ye}}{O_e} \quad (2.1)$$

де K_{ye} - коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів;

O_{ye} - число уніфікованих типорозмірів і конструктивних елементів (різби, отворів, фаски, шліци, зуби і т.д.);

O_e - число типорозмірів конструктивних елементів в виробі.

$$K_{ye} = \frac{47}{55} = 0,85$$

При $K_{ye} \geq 0.6$ деталь відноситься до технологічних.

2 Коефіцієнтом точності обробки:

$$K_{mч} = 1 - \frac{1}{A_{cp}} \quad (2.2)$$

де $K_{mч}$ - коефіцієнт точності обробки;

A_{cp} - середній квалітет (клас точності обробки), де цифри вказують номер квалітету (клас точності);

$$A_{cp} = \frac{\sum A_i \Pi_i}{\sum \Pi_i} = \frac{(1\Pi_1 + 2\Pi_2 + 3\Pi_3 + \dots + 19\Pi_{19})}{(\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \dots + \Pi_{19})} \quad (2.3)$$

де A_i - квалітет обробки;

Π_i - кількість розмірів відповідного квалітету;

Знаменник дроби являє собою загальну кількість розмірів поверхонь, які обробляються. При $K_{mч} \geq 8$ виріб відноситься до точних.

$$A_{cp} = \frac{(14 \cdot 29 + 9 \cdot 4 + 7 \cdot 22)}{55} = 10,8; K_{mч} = 1 - \frac{1}{10,8} = 0,9$$

Коефіцієнтом шорсткості $K_{ш}$:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} \quad (2.4)$$

де $K_{ш}$ - коефіцієнт шорсткості;

B_{cp} - середній клас шорсткості

$$B_{cp} = \frac{\sum B_i \Pi_{шi}}{\sum \Pi_{шi}} = \frac{(1\Pi_{ш1} + 2\Pi_{ш2} + \dots + 14\Pi_{ш14})}{(\Pi_{ш1} + \Pi_{ш2} + \Pi_{ш3} + \dots + \Pi_{ш14})} \quad (2.5)$$

де B_i - клас шорсткості;

$\Pi_{ш}$ - число поверхней відповідного класу шорсткості.

$$B_{cp} = \frac{(4 \cdot 29 + 5 \cdot 22 + 6 \cdot 4)}{55} = 4,5; K_{ш} = \frac{1}{4,5} = 0,22$$

При $K_{ш} \leq 0.16$ виріб відносять до складнооброблювальних.

Шорсткість поверхні на кресленні позначається відносно ГОСТ 2.300-73.

При визначенні $K_{ш}$ користуються визначенням класу чистоти поверхні відносно ГОСТ 2.300-68.

2.2.2 Обґрунтування та вибір заготовки

По кресленню деталі, технічних умовах і програмі випуску, а також враховуючи властивості матеріалу деталі, встановлюємо, які з можливих методів одержання заготовки найбільш підходять для виготовлення деталі.

Доцільність вибраного методу має бути підтверджена визначенням коефіцієнтів використання матеріалу для даних методів отримання заготовки (розглядаємо 2 методи).

Коефіцієнт використання матеріалу визначається по формулі:

$$K_{в.м.} = \frac{G_{дет}}{G_{заг}} \quad (2.6)$$

де $K_{в.м.}$ - коефіцієнт використання матеріалу;

$G_{дет}$ - маса деталі, кг;

$G_{заг}$ - маса заготовки, кг.

При цьому треба враховувати, що допуски і припуски, для деталей, які обробляються на верстатах з ЧПК, мають бути на 20-40% менші, як для обробки на верстатах з ручним керуванням. Крім того заготовки не мають мати різких перепадів припусків на обробку.

Складну фігуру заготовки умовно розбивають на елементарні частини, об'єм яких легко визначними. Сума елементарних об'ємів складає загальний об'єм заготовки. Визначення розмірів і об'єму заготовки супроводжується викресленням з вказанням всіх її розмірів і припусків. Масу заготовки визначаємо за формулою:

$$G_{заг} = G_{дет} + G_{прун} \quad (2.7)$$

де $G_{заг}$ - маса заготовки, кг;

$G_{дет}$ - маса деталі, кг;

$G_{прун}$ - маса матеріалу що йде в стружку, кг

$$G_{прун} = V_{прун} \cdot \gamma \quad (2.8)$$

$V_{прун}$ - об'єм матеріалу, що йде в стружку, см³;

γ - густина матеріалу.

Отже, заводський метод одержання заготовки - лиття в піщані форми.

$$V_{прун} = (2 \cdot 1,6 \cdot (2 \cdot 151 + 2 \cdot 161)) + 2 \cdot 1,4 \cdot (151 + 25,5 + 71) + 16 \cdot 151 \cdot 161 + V_{отв} + V_{наз} = 2,1 \text{ см}^3$$

$$G_{прун} = 2,1 \cdot 0,63 = 1,32 \text{ кг}$$

$$G_{заг} = 2,4 + 1,32 = 3,72 \text{ кг}$$

$$K_{в.м.} = \frac{2,43}{3,72} = 0,65$$

Для відливки коефіцієнт використання матеріалу знаходиться в межах 0,65...0,8, що відповідає нормі при $K_{в.м.} = 0,65$

Для проектного методу одержання заготовки, тобто литтям під тиском

$$V_{\text{прин}} = (2 \cdot 1,6 \cdot (2 \cdot 150 + 2 \cdot 160) + 2 \cdot 1,4 \cdot (150 + 25 + 70) + 16 \cdot 150 \cdot 160) + V_{\text{оме}} + V_{\text{наз}} = 1,8 \text{ см}^3$$

$$G_{\text{прин}} = 1,8 \cdot 0,63 = 1,14 \text{ кг}$$

$$G_{\text{заг}} = 2,4 + 1,14 = 3,54 \text{ кг}$$

$$K_{\text{в.м}} = \frac{2,4}{3,54} = 0,68$$

Для відливки коефіцієнт використання матеріалу знаходиться в межах 0,65...0,8, що відповідає нормі при $K_{\text{в.м}}=0,68$.

За коефіцієнтом використання матеріалу можемо побачити, що при методі одержання заготовки - литті під тиском, який відповідає проектному варіанту, маса заготовки є досить меншою порівняно з заводським варіантом, тобто при цьому в стружку йде значно менше матеріалу, що впливає на економічність виробництва. Також при литті під тиском ми одержуємо поверхні зі значно кращими показниками що до точності і шорсткості, а це в свою чергу впливає як на кінцеві показники якості всього виробу, так і на подальше виготовлення деталі яка повинна відповідати всім технічним вимогам що ставляться до неї.

Сплав АЛ9 відносять до ливарних, алюмінієвих сплавів, сплави на основі системи Al-Si відрізняються високими ливарними якість і герметичністю відливок. Їх використовують для одержання відливок всіма способами литва. При виготовленні відливок литтям в піщані форми і за виплавлюваними моделями сплави рекомендується модифікувати. Заливку форм крупногабаритних товстостінних відливок треба виконувати в автоклавах (для кристалізації відливок під тиском 5-6 кгс/см²) для підвищення щільності литва.

У всіх сплавів задовільна корозійна стійкість. Деталі можна захищати анодуванням і лакофарбовими покриттями. Оброблюваність різанням (за винятком АЛ2) задовільна.

Сплав АЛ9 широко застосовують для лиття мало і середньонавантажених приборних, агрегатних деталей двигунів, для виготовлення побутових виробів (посуду електроприладів).

Високогерметичний сплав В АЛ5 використовують для лиття корпусних

деталей, що працюють під високим внутрішнім тиском рідин або газів, а також як конструкційний матеріал в машинобудуванні. Хімічний склад сплаву визначаємо з [1,с.489].

Таблиця 2.2 - Хімічний склад сплаву АЛ9 в %

Si	Mg	Mn	Ti	Be	Fe	Mn	Cu	Zn	Сума домішок відливки
6-8	0,2-0,4	-	до 0,15	до 0,1	1,5	0,2	0,3	0,5	2,1
Основні компоненти				Домішки					

Таблиця 2.3 – Механічні властивості сплаву АЛ9

σ_B кгс / мм ²	σ_B %	НВ
14	2	45

2.2.3 Розрахунок припусків на обробку деталі

При виконанні дипломного проекту припуски на механічну обробку визначаються розрахунково – аналітичним і дослідно – статистичним методами.

На початку розрахунку разом з необхідними вихідними даними приводиться схема встановлення оброблюваної заготовки. На ній треба показати поверхні, для яких розраховуються або назначаються по таблицях припуски на обробку.

Вихідна заготовка представляє собою відливку другого класу точності. Технологічний маршрут обробки отвору складається з двох операцій: з чорнового і чистового фрезерування, яке виконується при одному установі оброблюваної деталі. Заготовка базується на площини.

Односторонній припуск (при послідовній обробці протилежних поверхонь) визначаємо за формулою [4,с.175]

$$2 \cdot Z_{\min} = 2 \cdot ((R_z + h)_{i-1} + \delta \varepsilon_{i-1} + \varepsilon_i) \quad (2.9)$$

$$Z_{\min} = (R_z + h)_{i-1} + \delta \varepsilon_{i-1} + \varepsilon_i \quad (2.10)$$

де Z_{\min} - односторонній припуск;

R_{zi-1} - висота нерівностей профілю на попередньому переході;

h_{i-1} - глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході (безвуглецевий або відбілений шар);

$\delta\varepsilon_{i-1}$ - сумарні відхилення розміщення поверхні;

ε_i - похибка установки заготовки на виконуваному переході.

Номинальний припуск на обробку поверхонь визначаємо за формулою [4,с.176]:

$$Z_i = Z_{i\min} + ei_{i-1} + ei_i \quad (2.11)$$

$$2Z_i = 2Z_{i\min} + ei_{Di-1} + ei_{Di} \quad (2.12)$$

де Z_i - номинальний припуск;

$Z_{i\max}$ - максимальний припуск на обробку зовнішніх поверхонь:

$$Z_{i\max} = Z_{i\min} + TD_{i-1} + TD_i \quad (2.13)$$

$$2Z_{i\max} = 2Z_{i\min} + TD_{i-1} + TD_i \quad (2.14)$$

де ei_{i-1} , ei_{Di-1} , ei_i , ei_{Di} - нижні відхилення розмірів відповідно для попереднього і виконуваного переходів;

$TD_{i-1} + TD_i$ - допуски розмірів на попередньому і виконуваному переході.

Якість поверхні відливок ($R_z + h$, мкм):

для другого класу точності становить 500 мкм, для першого класу точності – 400 мкм [4,с.182].

При литті під тиском досягається квалітет 14-15 і шорсткість $R_z=200$ мкм, а також $h=300$ мкм, [4,с.182].

Відхилення міжосьових отворів $\delta_{M.O.P.} = \pm(0.8...1.5)$ мм;

розміщення отвору відносно технологічних баз: $\delta_{P.T.B.} = \pm(0.5...1.2)$ мм;

від паралельності площини $\delta_{оп.} = \pm(2.2...3.4)$ мкм на 1 мм;

перекіс отвору $\delta_{п.} = \pm(2.5...10)$ мкм на 1 мм;

Точність і якість поверхні відливки після механічної обробки

Однократна - Квалітет 11, $R_z=25$ мкм; $h=25$ мкм;

Чорнова - Квалітет 12, $R_z=50$ мкм; $h=50$ мкм;

Чистова - Квалітет 10, $R_z=20$ мкм; $h=20$ мкм;

Тонка - Квалітет 7-9, $R_z=5$ мкм; $h=5$ мкм;

Розраховуємо припуски на механічну обробку і проміжні граничні розміри на поверхню А паз 8x15 мм: чорнова обробка $L=26$; $t=2$; $S=0.199$; $n=0.153$, чистова $L=18$; $t=2$; $S=0.102$; $n=0.153$; $V=53$.

Розрахунковий мінімальний припуск на чорнову обробку поверхні А визначаємо за формулою [2,с.57]:

$$2 \cdot Z_{i\min} = 2 \cdot (R_z + T + \sqrt{(\rho_c^2 + \varepsilon_y^2)}) \quad (2.15)$$

де $Z_{i\min}$ - розрахунковий мінімальний припуск на чорнову обробку; R_z - висота мікронерівностей поверхні, які залишилися при виконанні попереднього технологічного переходу, $R_z=200$ мкм; T - глибина дефектного поверхневого шару, який залишився при виконанні попереднього переходу, $T=300$ мкм; ρ_c - сумарні відхилення розміщення, які виникли на попередньому переході, мкм; ε_y - величина похибок установки заготовки при виконуваному технологічному переході, мкм.

Сумарне відхилення при базуванні литої заготовки по отвору:

$$\rho_c = \sqrt{(\rho_{\text{деф}}^2 + \rho_{\text{о.с.}}^2)} \quad (2.16)$$

де $\rho_{\text{деф}}$ - величина деформації литої заготовки, мкм; $\rho_{\text{о.с.}}$ - величина відхилення стержня при формуванні, мкм.

$$\rho_{\text{деф}} = \delta_{\text{деф.ц}} \cdot L_3 \quad (2.16)$$

де $\delta_{\text{деф.ц}}$ - величина питомої деформації литої заготовки, $\delta_{\text{деф.ц}}=0.7$ мкм/мм, [2,с.68]. L_3 - загальна довжина заготовки, $L_3=160$ мм.

Сумарне відхилення δ_o при базуванні заготовки на плоску поверхню рівне величині деформації $\delta_{\text{деф}}$ литої заготовки $\delta_o = \delta_{\text{деф}} = 112$ мкм.

Похибка установки на заготовку визначаємо за формулою [2, с.60]:

$$\varepsilon_y = \sqrt{(\varepsilon_6^2 + \varepsilon_{3к}^2)} \quad (2.18)$$

де ε_y - похибка установки, мкм; ε_6 - похибка базування, мкм; $\varepsilon_{3к}$ - похибка закріплення заготовки, $\varepsilon_{3к}=130$ мкм, $\varepsilon_y = 90$ мкм [3] ст.216-217.

Мінімальний припуск на чорнову обробку:

$$2 \cdot Z_{\min} = 2 \cdot (200 + 300 + \sqrt{(112^2 + 90^2)}) = 1321 \text{ мкм.}$$

$$\text{Максимальний припуск на чорнову обробку } 2 \cdot Z_{\max} = 2 \cdot Z_{\min} + \delta_{Dn} - \delta_{DB} \quad (2.19)$$

де $2 \cdot Z_{\max}$ - максимальний припуск на чорнову обробку; δ_{Dn} - допуск на розмір на попередньому переході; δ_{DB} - допуск на розмір на виконуваному переході.

$$2 \cdot Z_{\max} = 2 \cdot (1321 + 800 - 460) = 1661 \text{ мкм.}$$

Величина остаточного сумарного розміщення заготовки після виконання чорнкової обробки поверхні: $\rho_{ост} = K_y \cdot \rho_{оз}$ (2.20)

де $\rho_{ост}$ - величина остаточного сумарного розміщення заготовки після виконання чорнкової обробки поверхні; K_y - коефіцієнт уточнення, $K_y=7,98$ [2, с.60]; $\rho_{оз}$ - сумарне відхилення розміщення заготовки. $\rho_{ост} = 7.98 \cdot 133 = 7.98 \text{ мкм}$

Величина похибки установки при чистовій обробці поверхні $\varepsilon_{y,чист.} = 5,4 \text{ мкм.}$

Розрахунковий мінімальний і максимальний припуски на чистову обробку поверхні деталі, відповідно рівний: $2 \cdot Z_{\min} = 2 \cdot (50 + 50 + \sqrt{(7.98^2 + 5.4^2)}) = 219.3 \text{ мкм.}$

$$2 \cdot Z_{\max} = 2 \cdot (219.3 + 460 - 87) = 592.3 \text{ мкм.}$$

Проміжні розрахункові розміри для чорнового фрезерування:

$$D_{p.чор.} = D_{p.чис.} + 2Z_{\min.чис} \quad (2.21)$$

$$D_{p.чор.} = 8 + 0.219 = 8.219 \text{ мм}$$

$$\text{для заготовки деталі: } D_{p.з} = D_{p.чор.} + 2Z_{\min.чис} \quad (2.22)$$

$$D_{p.з} = 8.219 + 1.321 = 9.540 \text{ мм}$$

$$\text{Мінімальні проміжні розміри: } D_{чор.} = D_{д.мин} - 2Z_{\min.чис} \quad (2.23)$$

$$D_{чор.} = 7.92 - 0.219 = 7.482 \text{ мм}$$

$$D_{\min.заг} = D_{чор.} - 2Z_{\min.чор} \quad (2.24)$$

$$D_{\min.заг} = 7.482 - 1.321 = 6.161 \text{ мм}$$

Максимальні проміжні розміри:

$$D_{\max.чор} = D_{\max} - 2Z_{\max.чис} \quad (2.25)$$

$$D_{\max .чор} = 8 - 0.592 = 7.408 \text{ мм}$$

$$D_{\min .заг} = D_{\max .чор} - 2Z_{\max .чор} \quad (2.26)$$

$$D_{\min .заг} = 7.408 - 1.661 = 5.747 \text{ мм}$$

$$D_{\max .заг} = 36.425 - 1.705 = 38.130 \text{ мм}$$

Отже, величина отвору поверхні А заготовки для фрезерування вікна становить $\varnothing 5^{+0.253}_{-0.747}$ - заготовка.

Фрезерування поверхні В.

Розраховуємо припуски на механічну обробку і проміжні граничні розміри на поверхню В розмір 35 мм: чорнова обробка $L=36$ мм, $t=2$ мм, $S=0.19$ мм/об, $n=0.165$ об/хв.

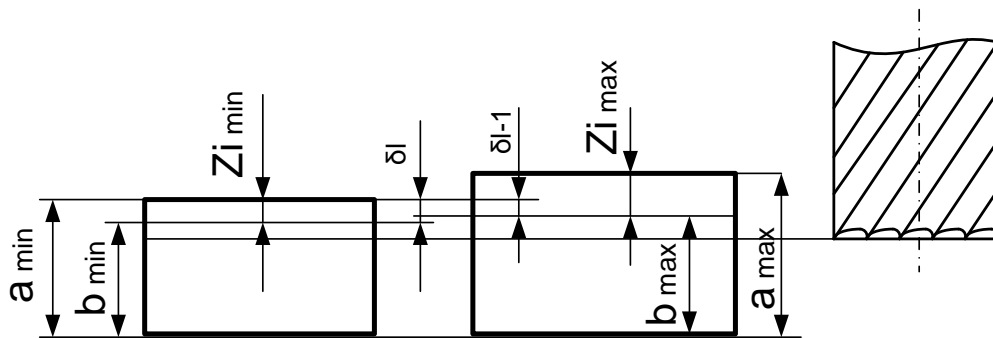


Рисунок 2.1 - Схема фрезерування поверхні В

Деформація литих заготовок: $\rho_{деф} = 0.7 \cdot 150 = 105 \text{ мкм}$

Сумарне відхилення δ_o при базуванні заготовки на плоску поверхню рівне величині деформації $\delta_{деф}$ литої заготовки $\delta_o = \delta_{деф} = 105 \text{ мкм}$.

Похибка установки на заготовку $\epsilon_y = 90 \text{ мкм}$ [3, с.216-217].

Мінімальний припуск на чорнову обробку:

$$2 \cdot Z_{\min} = 2 \cdot (200 + 300 + \sqrt{(105^2 + 90^2)}) = 1315 \text{ мкм}.$$

Максимальний припуск на чорнову обробку

$$2 \cdot Z_{\max} = 2 \cdot (1315 + 800 - 500) = 1705 \text{ мкм}.$$

Величина остаточного сумарного розміщення заготовки після виконання чорнової обробки поверхні: $\rho_{ост} = 7.98 \cdot 105 = 837.9 \text{ мкм}$

Проміжні розрахункові розміри для заготовки деталі

$$D_{p.з} = 35.110 + 1.315 = 36.425 \text{ мм}$$

Мінімальні проміжні розміри: $D_{\text{мін.заг}} = 35.110 - 1.315 = 33.795 \text{ мм}$

Максимальні проміжні розміри: $D_{\text{макс.заг}} = 36.425 + 1.705 = 38.130 \text{ мм}$

Отже, величина поверхні В заготовки для фрезерування площини становить $\varnothing 38^{+0.13}_{-0.524}$ - заготовка. Для зручності всі результати обчислень зводимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Припуски на обробку

Техн.-чні переходи обробки поверхні №	Елементи припуску Мкм				d_p	Доп-к δ МКМ	Гран-й розмір мм		Граничні значення припусків	
	R_z	T	ρ	ε			$d_{\text{мін}}$	$d_{\text{макс}}$	$2Z_{\text{мін}}$	$2Z_{\text{макс}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Поверхні 2-3										
Заготовка	-	600	350	-	37.5	400	37.1	37.9	-	-
Фрезерув. пов. 11., 13, 14, 39, 42, 46, 48	30	45	213	90	35.2	200	35	35.2		
Заготовка	-	600	350	-	-	-	-	-	-	-
Свердління	40	60	12	-	2.3	300	2.0	2.3		
Поверхні 15-16										
Заготовка	-	600	350	-	-	-	-	-	-	-
Свердління	40	60	12	-	4.8	100	4.7	4.9		
Розверт-ня	5	10	-	5	5	40	4.9	5.4		
Поверхні 17-36										
Заготовка	-	600	350	-	-	-	-	-	-	-
Свердління	40	60	12	-	2.57	70	2.5	2.57		
Нарізання різі	35	50	10	-	3.03	30	3.0	3.03		
Поверхні 37-38										
Заготовка	-	600	350	-	-	-	-	-	-	-
Свердління	40	60	12	-	3.39	90	3.3	3.39		
Нарізання різі	35	50	10	-	4.04	40	4.0	4.04		
Поверхня 43										
Заготовка	-	600	350	-	-	-	-	-	-	-
Свердління	40	60	12	-	8.4	400	8.0	8.4		
Поверхні 44-45										
Заготовка	-	600	350	-	-	-	-	-	-	-
Свердління	40	60	12	-	15.8	100	15.7	15.9		
Розверт-ня	5	10	-	5	16.02	40	15.9	16.4		
Пов. 49, 54, 55										
Заготовка	-	600	350	-	-	-	-	-	-	-
Свердління	40	60	12	-	8.4	400	8.0	8.4		
Фрезеруван.	30	45	213	90	35.2	200	35	35.2		
Повер. 51-53										
Заготовка	-	600	350	-	-	-	-	-	-	-
Свердління	40	60	12	-	12.5	500	12.0	12.5		

2.2.4 Розробка і техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу обробки деталі на проектованому комплексі

Характер і зміст технологічного процесу механічної обробки залежить від типу виробництва, організаційної форми, методу роботи.

Тому перед розробкою технологічного процесу на базі заданої виробничої програми, креслення деталі, технічних і економічних умов виконання заводського виробничого процесу, необхідно правильно визначити тип виробництва і вибрати організаційну форму його виконання.

По ГОСТ 3.1108-74 тип виробництва визначається по коефіцієнту кріплення операцій.

Коефіцієнт закріплення операцій визначається по формулі:

$$K_{zo} = O_{pm} / p \quad (2.27)$$

де K_{zo} - коефіцієнт закріплення операцій;

O_{pm} - загальне число різних операцій, що виконуються на дільниці за плановий період;

p - число робітників (робочих місць) з різними операціями.

$$K_{zo} = 102.91 / 4 = 25.73$$

Загальне число операцій, що виконуються на дільниці рівне сумі чисел операцій, що виконуються на кожному з робочих місць

$$O_{pm} = O_{pm1} + O_{pm2} + \dots + O_{pmi} \quad (2.28)$$

Сума чисел операцій, що виконуються на робочому місці:

$$O_{pm} = (60 \cdot F_d \cdot K_\beta \cdot \eta) / (N \cdot T_{шт.к}) \quad (2.29)$$

де O_{pm} - сума чисел операцій, що виконуються на робочому місці;

F_d - дійсний річний фонд роботи обладнання при 2-х змінній роботі, $F_d = 4015$ год; K_β - середній коефіцієнт виконання норм,

$K_\beta = 1.3$; η - нормативний коефіцієнт завантаження обладнання,

$\eta = 0.8$; N - річна програма випуску деталей; $T_{шт.к}$ штучнокалькуляційний час на операцію по заводському

технологічному процесу.

$$O_{pm} = (60 \cdot 4015 \cdot 1.3 \cdot 0.8) / (1000 \cdot 8.3) = 30.19$$

В пояснюючій записці приводиться розрахунок суми чисел операцій для одного робочого місця, а результати розрахунків інших робочих місць для зручності зводимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 - Суми чисел операцій

Номер і назва операції	Обладнання	$T_{шк}$	O_{pm} на одному робочому місці
005 Фрезерна з ЧПК	6P13PФ3	8.3	30.19
010 Фрезерна з ЧПК	6P13PФ3	9.5	26.37
015Свердлильно-фрезерно-розточувальна з ЧПК		15.5	16.16
020 Різьбонарізна		8.3	30.19
Всього:			102.91

Згідно ГОСТ 3.1108-74 приймаємо дрібносерійне виробництво, для якого

$$K_{z.o} = 20 \dots 30.$$

Для дрібносерійного виробництва приймаємо групову форму організації праці.

Розробка маршрутного технологічного процесу механічної обробки деталі починається з аналізу існуючого технологічного процесу, виявлення його недоліків.

Згідно заводського технологічного процесу деталь обробляється по такому маршруту:

Операція 005 Фрезерна з ЧПК.

1. Фрезерувати основу
2. Свердлити 8 отв. діаметром 2 мм.
3. Свердлити 3 отв. діаметром 3 мм.
4. Свердлити 2 отв. діаметром 4.8 і розвернути їх в розмір діаметром 5Н9.

Обладнання - фрезерний верстат 6P13PФ3.

Вимірювальний інструмент - штангенциркуль ШЦ125-0.1 ГОСТ166-80. $T_{шт}=8$ хв.

Операція 010 Фрезерна з ЧПК

1. Фрезерувати стінку корпусу по контуру, витримавши розмір 35 мм.
2. Фрезерувати уступи витримавши розмір 15 мм.
3. Зацентрувати 12 отворів.
4. Свердлити 12 отворів діаметром 2.5 під різьбу М3.

Обладнання - вертикально-фрезерний верстат 6Р13РФ3.

Вимірювальний інструмент - штангенциркуль ШЦ125-0.1 ГОСТ166-80. $T_{шт}=9хв$.

Операція 015. Свердлильно-фрезерно-розточувальна з ЧПК.

1. Свердлити 7 отв. діаметром 2 мм.
2. Свердлити 8 отв. діаметром 2.5 мм під різьбу М3.
3. Свердлити 2 отв. діаметром 3.3 мм під різьбу М4.
4. Свердлити отвір діаметром 4 мм.
5. Свердлити 9 отв. діаметром 8 мм.
6. Розсвердлити 3 отв. діаметром 12 мм.
7. Розсвердлити 2 отв. діаметром 15 мм.
8. Розточити 2 отв. діаметром 16Н9.
9. Фрезерувати 2 пази 8x15.
10. Фрезерувати вікно.
11. Розфрезерувати два пази 8x15.
12. Розфрезерувати вікно згідно креслення.

Обладнання - горизонтально-фрезерний верстат МС12-250М1-2.

Вимірювальний інструмент - штангенциркуль ШЦ125-0.1 ГОСТ166-80. $T_{шт}=15хв$.

Операція 020. Різьбонарізна.

1. Нарізати різьбу М3 в 20 отв.
2. Нарізати різьбу М4 в 2 отв.

Обладнання - різьбонарізний верстат,

Вимірювальний інструмент - калібр пробка.

Вихідними даними при виборі баз являються робоче креслення деталі, технічні умови на її виготовлення, вид заготовки і стан її поверхні, бажана ступінь автоматизації.

Перед вибором баз для корінної операції необхідно чітко сформулювати задачі, які мають бути розв'язані в результаті виконання даної операції. Ці задачі виходять з вимог креслення і технічних умов на виготовлення деталі.

Рекомендації для вибору баз:

1. Базы мають мати достатню довжину.
2. Заготовка має займати в приспособленні місце, що їй належить під дією своєї ваги, а не в результаті прикладених зажимних зусиль.
3. Базові поверхні мають бути чистими, для забезпечення однозначності базування. Не допустиме використання поверхней зі слідами роз'єму штампів ливарних форм, залишками ливарної системи і іншими дефектами.
4. З точки зору експлуатації деталі базові поверхні мають бути найбільш відповідальними. В цьому випадку при їх обробці на подальших операціях забезпечується рівномірність припусків і однорідна поверхня.
5. З ціллю забезпечення правельного взаємного розміщення оброблюваних поверхней по відношенні до необроблених баз для першої операції вибирають ті верхні, які в готовій деталі мають залишатись необробленими.
6. Базы мають забезпечувати можливість обробки з одної установки максимальної кількості поверхней. Ця вимога важлива при обробці деталей на верстатах з ЧПК, , поздовжньо-фрезерних.
7. При першій операції технологічні бази мають бути замінені, тобто два рази використовувати одні і ті ж бази не бажано, а в більшості випадків - недопустимо.

Одночасно реалізувати перелічені рекомендації практично неможливо, але необхідно намагатися до їх найбільш повного дотримання. Результати вибору баз при обробці поверхней деталі зводимо в таблицю 2.6

Таблиця 2.6 - Базові поверхні

Оброблювані поверхні	Базы
1,4...11, 12...16.	2, 56, 57.
2, 3, 17, 18...55.	15, 16.

Враховуючи результати аналізу заводського технологічного процесу тип виробництва, приведені рекомендації і керуючись вимогами ГОСТ 14.301-83 "Загальні правила розробки технологічних процесів і вибору засобів технологічного пристосування" дають обґрунтування розробленого технологічного процесу і встановлюють послідовність виконання його операцій.

При цьому необхідно описати зміст операцій технологічного процесу в послідовності їх виконання.

Операція 005. Фрезерна з ЧПК.

1. Фрезерувати основу.

2. Свердлити 2 отв. діаметром 4.8 мм і розвернути їх в розмір діаметр 5Н9.

Обладнання - вертикально-фрезерний верстат 6Р13РФ3.

Вимірювальний інструмент - штангенциркуль ШЦ125-0.1 ГОСТ 166-80. $T_{шт}=8$ хв.

Операція 010.Свердлильно-фрезерно-розточувально-різбонарізна з ЧПК.

1. Зацентрувати 40 отворів.

2. Свердлити 15 отв. діаметром 2 мм.

3. Свердлити 3 отв. діаметром 3 мм.

4. Фрезерувати стінку корпусу по контуру, витримавши розмір 35 мм.

5. Фрезерувати уступи витримавши розмір 15 мм.

6. Свердлити 20 отворів діаметром 2.5 під різьбу М3.

7. Свердлити 2 отв. діаметром 3.3 мм під різьбу М4.

8. Свердлити отвір діаметром 4 мм.

9. Свердлити 9 отв. діаметром 8 мм.

10.Розсвердлити 3 отв. діаметром 12 мм.

11.Розсвердлити 2 отв. діаметром 15 мм.

12.Розточити 2 отв. діаметром 16Н9.

13.Фрезерувати 2 пази 8x15.

14.Фрезерувати вікно.

15.Розфрезерувати два пази 8x15.

16.Розфрезерувати вікно згідно креслення.

17. Нарізати різьбу МЗ в 20 отв.

18. Нарізати різьбу М4 в 2 отв.

Обладнання - багатоцільовий верстат.

Вимірювальний інструмент - штангенциркуль ШЦ125-0.1 ГОСТ 166-80, колір-пробка. $T_{шт} = 19.8 \text{ хв}$.

При зміні операції по порівнянню з заводським вибирають інше обладнання, керуючись слідуючим:

а) забезпечення точності і шорсткості оброблювальної поверхні деталі відповідно до паспортних даних верстата);

б) типом виробництва:- в масовому виробництві вибирають багатопозиційні автомати, - напівавтомати, спеціальні і спеціалізовані верстати і автоматичні лінії, верстати токарної групи з програмним керуванням;

- в серійному виробництві напівавтомати, переналагоджувальні автоматичні лінії, револьверні верстати, верстати з ЧПК токарної, свердлильно-фрезерної, розточної і шліфувальної груп;

- в одиничному виробництві універсальні верстати, верстати з ЧПК токарної і свердлильної груп;

в) габаритами деталі;

г) конструктивним виконанням верстата;

Верстати у вертикальному виконанні займають меншу виробничу площу, ніж верстати у горизонтальному виконанні;

д) відповідністю кінематики, жорсткості, потужності верстату, пропонованим режимам обробки (чорновим, чистовим);

е) наявністю на підприємстві вказаного типу обладнання або наявністю його в каталогах. Обладнання, що не випускається верстатобудівниками в даний час, використовувати не потрібно.

ж) вартість обладнання має забезпечувати економічність операції або процесу в цілому при окупності в задані строки.

Доцільність використання верстатів з ЧПК визначається:

- підвищенням продуктивності праці на 15-20% за рахунок скорочення допоміжного і машинного часу обробки на верстаті;
- скороченням загальної тривалості циклу виготовлення продукції на 50-60%;
- скорочення строків підготовки виробництва на 50-75%;
- економією засобів на виготовлення технологічної оснастки на 30-85%;
- виключенням попередніх ручних, розмірочних і підгінних робіт;
- підвищенням точності і ідентичності деталей, і як слідство, скороченням браку і пригонювальних робіт в процесі зборки;
- введенням багатOVERSTATного обслуговування і скороченням числа - операторів.

Технологічний процес обробки на верстатах з ЧПК на відміну від традиційних технологічних процесів, вимагає більшої деталізації при рішенні технологічних задач і врахування специфіки представлення інформації. Деталізація ґрунтується на розділенні технологічних переходів на елементарні і інструментальні переходи і робочі ходи.

На даному етапі розробки технологічного процесу така деталізація не проводиться, вона необхідна на етапі підготовки керуючої програми. Тому, в даному пункті обмежуються складанням плану операції і розробкою спеціальної технології для операцій, які виконуються на верстатах з ЧПК.

Операція 005. Фрезерна з ЧПК.

1. Фрезерувати основу.
2. Свердли 2 отв. діаметром 4.8 мм і розвернути їх в розмір діаметр 5Н9.

Обладнання - вертикально-фрезерний верстат 6Р13 РФЗ.

Ріжучий інструмент

1. фреза діаметром 20 мм;
2. свердло діаметром 4.8 мм;
3. розвертка діаметром 5 мм.

Вимірювальний інструмент - штангенциркуль ШЦ125-0.1 ГОСТ 166-80, калібр-пробка.

Операція 010. Свердлильно-фрезерно-розточувально-різьбонарізна з ЧПК.

1. Зацентрувати 40 отворів.
2. Свердлити 15 отв. діаметром 2 мм.
3. Свердлити 3 отв. діаметром 3 мм.
4. Фрезерувати стінку корпусу по контуру, витримавши розмір 35 мм.
5. Фрезерувати уступи витримавши розмір 15 мм.
6. Свердлити 20 отворів діаметром 2.5 під різьбу М3.
7. Свердлити 2 отв. діаметром 3.3 мм під різьбу М4.
8. Свердлити отвір діаметром 4 мм.
9. Свердлити 9 отв. діаметром 8 мм.
10. Розсвердлити 3 отв. діаметром 12 мм.
11. Розсвердлити 2 отв. діаметром 15 мм.
12. Розточити 2 отв. діаметром 16Н9.
13. Фрезерувати 2 пази 8x 15.
14. Фрезерувати вікно.
15. Розфрезерувати два пази 8x 15.
16. Розфрезерувати вікно згідно креслення.
17. Нарізати різьбу М3 в 20 отв.
18. Нарізати різьбу М4 в 2 отв.

Обладнання - багатоцільовий верстат.

Вимірювальний інструмент - штангенциркуль ШЦ125-0.1 ГОСТ 166-80, калібр-пробка. $T_{шт} = 19.8$ хв.

Ріжучий інструмент

фреза діаметром 20 мм;

центровочне свердло;

1. Свердло діаметром 2.5 мм;
2. Свердло діаметром 2 мм;
3. Свердло діаметром 3 мм;
4. Свердло діаметром 3.3 мм;
5. Свердло діаметром 4 мм;

6. Свердло діаметром 8 мм;
7. Свердло діаметром 12 мм;
8. Свердло діаметром 15 мм;
9. Розвертка діаметром 16 мм;
10. Фреза діаметром 8 мм;
11. Фреза діаметром 3 мм;
12. Мітчик М3;
13. Мітчик М4;
14. Свердло діаметром 2.5 мм;
15. Мітчик М3;

Вимірювальний інструмент – штангенциркуль ШЦ125-0.1 ГОСТ 166-80, калібр-пробка.

2.2.5 Розрахунок режимів різання

1) Свердління отвору діаметром 8 мм.

Матеріал свердла Р6М5.

З [23 с.27] визначаємо подачу $S_{\text{таб}}=0.27\dots0.36$ мм/об.

Виводимо поправочні коефіцієнти:

- на середню жорсткість системи $K_{\text{жс}}=0.75$.

Тоді $S = S_{\text{таб}} \cdot K_{\text{жс}} = (0.27\dots0.36) \cdot 0.75 = (0.2\dots0.27)$ мм/об

Приймаємо $S=0.25$ мм/об.

Швидкість різання визначаємо за формулою [3, с.29];

$$V = ((C_v \cdot D^q) / (T^m \cdot S^y)) \cdot K_v \quad (2.30)$$

де V - швидкість різання;

C_v - коефіцієнт, $C_v = 36.3$;

q, m, y - показники степенів, $q = 0.25, m = 0.125, y = 0.55$;

D - діаметр свердла, $D=8$ мм;

T - стійкість інструменту, $T = 35$ хв [2, с.280];

K_v - коефіцієнт швидкості різання:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{ev} \quad (2.31)$$

де $K_{mv} = 1.0$ [3, с.263];

$K_{uv} = 1.0$ [3, с.263];

$K_{ev} = 1.0$ [3, с.280];

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

$$v = ((36.3 \cdot 8^{0.25}) / (35^{0.125} \cdot 0.25^{0.55})) \cdot 1 = 53 \text{ м/хв}$$

Так, як для свердління алюмінію використовується одинарна форма заточки свердла, то вводимо поправочний коефіцієнт на швидкість різання $K_{zc} = 0.75$ [3, с.278];

Тоді $v = 53 \cdot 0.75 = 32.4 \text{ м/хв}$

Частоту обертання шпинделя обчислюємо за формулою:

$$n = (1000 \cdot v) / (\pi \cdot D) \quad (2.32)$$

$$n = (1000 \cdot 32.4) / (\pi \cdot 8) = 1289 \text{ об/хв}$$

Приймаємо $n = n_{\max} = 1200 \text{ об/хв}$

Потужність різання обчислюємо за формулою:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{таб}} \cdot K_N \cdot n / 100 \quad (2.33)$$

де $N_{\text{різ}}$ - потужність різання;

$N_{\text{таб}}$ - табличне значення потужності різання, $N_{\text{таб}} = 5.8 \text{ кВт}$;

$K_N = 1$ - коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу [7, с.128];

$$N_{\text{різ}} = 5.8 \cdot 1 \cdot 1200 / 100 = 6.96 \text{ кВт}$$

Перевірка потужності двигуна:

$$N_{\text{різ}} \leq 1.2 \cdot N_{\text{дв}} \cdot \eta \quad (2.34)$$

В нашому випадку умова виконується:

$$6.96 \text{ кВт} \leq 1.2 \cdot 7.5 \cdot 0.8 = 7.2 \text{ кВт}$$

2) Фрезерування стінки по контуру.

Для фрезерування приймаємо кінцеву фрезу з конічним хвостовиком по ГОСТ 17026-71 діаметром 20 мм, число зубів $z=5$.

Швидкість різання визначаємо за формулою:

$$v = ((C_v \cdot D^q) / (T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p)) \cdot K_v \quad (2.35)$$

де v - швидкість різання; C_v - коефіцієнт, $C_v = 185.5$; q, x, y, u, p - показники степенів, $q=0.45, x=0.3, y=0.2, u=0.1, p=0.1$; D - діаметр фрези, $D=20$ мм; T - стійкість інструменту, $T=80$ хв [2 с.280]; t - глибина фрезерування рівна припуску, що знімається, $t=1.6$ мм; B - ширина фрезерування, $B = 2$ мм; S_z - подача на зуб $S_z=0.1 \dots 0.06$; K_v - коефіцієнт швидкості різання: $K_v = 0.8 \cdot 0.9 \cdot 1 = 0.72$

Коефіцієнти, що входять в цю формулу становлять: $K_{mv} = 0.8, K_{nv} = 0.9, K_{uv} = 1$ [3 с.280];

$$v = ((185.5 \cdot 20^{0.45}) / (80^{0.33} \cdot 1.6^{0.3} \cdot 0.1^{0.2} \cdot 2^{0.1} \cdot 5^{0.1})) \cdot 0.72 = 132.4 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя $n = (1000 \cdot 132.4) / (\pi \cdot 20) = 2108$ об/хв

Приймаємо $n = n_{\max} = 2000$ об/хв

Хвилина подача $S_{xв} = S_z \cdot z \cdot n = 0.1 \cdot 5 \cdot 2000 = 1000$ мм/хв

Потужність різання $N_{piz} = 2.4 \cdot 1 \cdot 2000 / 1000 = 4.8$ кВт

Перевірка умови по потужності двигуна в нашому випадку виконується:

$$4.8 \text{ кВт} \leq 1.2 \cdot 7.5 \cdot 0.8 = 7.2 \text{ кВт}$$

Тобто можна побачити, що при даних режимах різання використовуються всі необхідні умови надійності проектного комплексу.

Всі дані режимів різання, які були пораховані в даному розділі заносимо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 - Показники режимів різання

Технічні переходи обробки поверхні №	t мм	l_{piz} $l_{p.x}$ мм	T хв	S_p S_n мм/об	n_p n_{II} об/хв	v_p v_{II} м/хв	S_m мм/ хв	T_o хв	N_e N_p кВт	i
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фрезерування основи	1	1200 1300	80	-	2108 2000	132	1000	5.3	7.5 7.1	1
Свердління 8 отв, д.2 мм.	1	3 4	20	0.05	5930 2000	172	-	4.7	7.5 5.3	1
Свердління 3 отв, д.3 мм.	1.5	3 4	20	0.15	4633 2000	122	-	3.3	7.5 5.4	1

Продовження таблиці 2.7

Свердління 3 отв. д.4.8 мм	2.4	3 4	20	0.2	3142 2000	119	-	3.3	7.5 6.2	1	
Розвертання отв д.5 мм.	0.1	2.8	25	0.22	2951 2000	97	-	2.4	7.5 2.9	1	
Фрезерув стінки в розмір 35 мм	1	625 640	80	-	2108 2000	132	1000	4.1	7.5 4.8	1	
Фрезерув уступів в роз.15	1	90 102	60	-	3450 2000	250	1000	3.9	7.5 5.1	1	
Свердління 20 отв. д.2.5	1.75	3 4	20	0.05	5827 2000	166	-	7.8	7.5 4.3	1	
Свердління 7 отв. д.2 мм	1	3 4	20	0.05	5930 2000	172	-	5.3	7.5 5.3	1	
Свердління 2 отв.	1.65	3 4	20	0.16	4587 2000	121	-	3.1	7.5 6.1	1	
Свердління отв. д.4 мм	2	3 4	25	0.19	3243 2000	122	-	0.8	7.5 6.3	1 1	
Свердління 9 отв. д.8 мм	4	3 4	30	0.25	1243 1200	83	-	6.2	7.5 7	1	
Розсв-ня, отв. д.12 мм	3	2	3 4	35	0.32	2145 2000	52	-	3.2	7.5 3.1	1
Розсв-ня. отв. д.15 мм.	2	3.5	3 4	50	0.36	2031 2000	50	-	2.5	7.5 3.6	1
Розточування 2	0.5	2.8	30	0.35	2151	55	-	2.8	7.5	1	
Отв.д.16		4			2000				3.7		
Фрезерування 2 пазів 8x15	2	40 48	60	-	3450 2000	250	1000	4.4	7.5 5.4	1 1	
Фрезерування вікна	2	80 94	60	-	3450 2000	250	1000	5.1	7.5 4.8	1	
Розфрезер-ня 2 пазів 8x15	1.5	52 57	50	-	3520 2000	262	800	4.6	7.5 4.6		
Розфрезер-ня вікна	1.5	94 103	50	-	3520 2000	262	800	5.4	7.5 4.6	1	
Нарізка різі М3 в 20 отв.	0.25	5 7	60	1.5	156 150	1.47	-	7.2	7.5 2.1	1	
Нарізка різі М4 в	0.35	5 7	60	1.5	152 150	1.42	-	1.4	7.5 2.6	1	

2.2.6 Нормування часу

Відмінністю нормування операцій механічної обробки деталей на верстатах з ЧПК є те, що основний час і час, який пов'язаний з переходом, складають єдину величину - T_a - час автоматичної роботи верстату по програмі що складена технологом програмістом, яка складається з основного часу автоматичної обробки на верстаті $T_{o.a.}$ і допоміжного часу роботи верстату по програмі $T_{д.а.}$ тобто:

$$T_a = T_{o.a.} + T_{д.а.} \quad (2.36)$$

де T_a - час автоматичної роботи верстату по програмі; $T_{д.а.}$ - допоміжний час роботи верстату по програмі; $T_{o.a.}$ - основний час автоматичної обробки на верстаті:

$$T_{o.a.} = \Sigma(L_i / S_{mi}) \quad (2.37)$$

де L_i - довжина шляху, який проходить інструмент при обробці i - тої ділянки; S_{mi} - хвилинна подача на даній ділянці; $i=1,2,\dots,$

$$- \text{число технологічних ділянок } T_{д.а.} = T_{д.х.а.} + T_{ост} \quad (2.38)$$

де $T_{д.а.}$ - допоміжний час роботи верстату по програмі; $T_{д.х.а.}$ - час на виконання автоматичних допоміжних ходів; $T_{ост}$ - час технологічних пауз, (зупинок подачі, обертання шпинделя для перевірки розмірів, огляду).

Час допоміжної ручної роботи T_d - неперекриваємий час автоматичної роботи верстату:

$$T_d = t_{уст} + t_{д.оп.} + t_{контр} \quad (2.39)$$

де T_d - неперекриваємий час автоматичної роботи верстату; $t_{уст}$ - час на встановлення і зняття деталі; $t_{д.оп.}$ - час пов'язаний з виконанням операції; $t_{контр}$ - допоміжний неприривний час на контрольні виміри деталі.

$$T_d = 1.39 + 2.565 + 2.079 = 6.034 \text{ хв}$$

Після розрахунку T_d проводимо його корекцію в залежності від серійності виробництва.

Поправочний коефіцієнт:

$$K_{ep} = 4.17 \cdot [(T_a + T_d) \cdot n_n + T_{n-3}]^{-0.216} \quad (2.40)$$

де K_{ep} - поправочний коефіцієнт; n_n - число оброблюваних деталей в партії.

$$K_{ep} = 4.17 \cdot [(12.5 + 6.034) \cdot 60 + 38]^{-0.216} = 0.91$$

Підготовчо-заключний час визначають як суму часу: на організаційну підготовку; установку, підготовку і зняття приспособлень; наладку верстату і інструменту; пробний прохід по програмі.

Основними характеристиками, що визначають підготовчо-заключний час є тип і основний параметр верстату, число інструментів, що використовується в програмі, коректорів, використовуваних в операції, тип приспособлення, число вихідних режимів роботи верстату.

Норма штучного часу на операцію:

$$T_{шт} = (T_a + T_d \cdot K_{cep}) \cdot (1 + (a_{обс} + a_{от.л})/100) \quad (2.41)$$

$$T_{шт} = (12.5 + 6.034 \cdot 0.91) \cdot (1 + 10/100) = 19.8 \text{ хв}$$

Час на організацію і технічне обслуговування робочого місця, відпочинок, особисті потреби, % від оперативного часу, встановлюють в залежності від основних параметрів верстату і деталі, зайнятості робітника і інтенсивності праці. Він може частково перекриватися з часом автоматичної роботи верстату і штучний час в цьому випадку має зменшуватись на 3%.

Таким чином норма часу при багатOVERSTATному обслуговуванні має встановлюватись в відповідності з рекомендаціями.

$$\text{Норма штучно-калькуляційного часу на деталь: } T_{ш.к} = T_{шт} / n_n \quad (2.42)$$

$$T_{ш.к} = 1226 / 60 = 20.43 \text{ хв}$$

Значення відповідних затрат часу і поправочних коефіцієнтів приведені в нормативах [17]. При фрезеруванні стінки і уступів (перша частка)

$$T_{o,d} = (180 + 170 + 180 + 170 + 130 + 25 + 70) / 1000 + ((12 \cdot 333 + 12 \cdot 6.5 + 7 \cdot 5 + 8 \cdot 5 + 222 \cdot 5 + 6) / (2000 \cdot 0.05)) + ((9 \cdot 6 + 3 \cdot 6 + 2 \cdot 7) / (2000 \cdot 0.25)) + ((2 \cdot 3) / (0.1 \cdot 2000)) + ((2 \cdot 7 + 27 + 34 \cdot 2 + 100) / 1000) + ((20 \cdot 4 + 2 \cdot 4) / (0.5 \cdot 150)) = 4.376 \text{ хв}$$

$$T_{\partial.x.a} = (75 + 120 + 140 + 5 + 84 + 20 + 2 + 150 + 75 + 120 + 140 +) / 5000 + 2 \cdot ((120 + 140 + 200 + 12 \cdot 5 +$$

$$+ 160 + 150 + 160 + 25 + 105) / 5000 + (2 \cdot 15 + 225 + 210 + 200) / 5000) + ((100 + 120 + 150 + 7 \cdot 5 + 15 +$$

$$+ 35 + 15) / 5000 + 20 + 70 + 50 + 150 + 100 + 120) / 5000) + 2 \cdot ((100 + 120 + 150 + 8 \cdot 5 + 4 \cdot 17 + 4 \cdot 17 +$$

$$+ 2 \cdot 13 + 100 + 120 + 150) / 5000) + 2 \cdot ((100 + 120 + 150 + 53 + 2 \cdot 5 + 100 + 120 + 203) / 5000 + (100 +$$

$$+ 120 + 150 + 100 + 125 + 150 + 100 + 120 + 140 + 9 \cdot 6 + 100 + 126 + 140 + 40 + 45 + 30 + 33 + 30 + 30 +$$

$$+ 20 + 100 + 120 + 125 + 3 \cdot 6 + 33 + 80 + 113 + 100 + 120 + 125) / 5000 + 2 \cdot ((100 + 120 + 140 + 2 \cdot 7 +$$

$$+ 30 + 100 + 150 + 140 + 10 + 125 + 150 + 30 + 130 + 125 + 150) / 5000) + 2 \cdot ((100 + 125 + 135 + 100 +$$

$$+ 125 + +150 + 30 + 130 + 125 + 150) / 5000) + 2 \cdot ((120 + 14 + 0 + 135) / 5000) = 3.308 \text{ хв}$$

$$T_{ocm} = n \cdot T_{змін} + K \cdot T_{пов} + 1 \cdot T_{витр}. \quad (2.43)$$

де $T_{змін}$ - час на зміну інструменту, $T_{змін} = 8$ сек; $T_{пов}$ - час повороту, $T_{пов} = 5$ сек; $T_{витр}$ - час витримки, $T_{витр} = 2$ сек; n - кількість інструментів, $n=14$; K - кількість сторін, $K=3$; 1 - кількість витримок

$$l = 12 + 12 + 7 + 8 + 2 + 1 + 9 + 3 + 2 + 2 + 20 + 2 = 80$$

$$T_{ocm} = (14 \cdot 8 + 3 \cdot 5 + 2 \cdot 8) / 60 = 4.78 \text{ хв} \quad T_a = 4.376 + 3.308 + 4.78 = 12.5 \text{ хв}$$

Допоміжний час: $T_{\partial} = t_{уст} + t_{в.он} + t_{контр}$ (2.44)

де $t_{уст}$ - час на установку заготовки, [5, с.135] $t_{уст}^{маб} = a \cdot Q^x$, $a = 0.88$, $x = 0.286$,

$$t_{уст}^{маб} = 0.88 \cdot 3.54^{0.286} = 1.26 \text{ хв}; \quad t_{уст} = 1.1 \cdot t_{уст}^{маб} = 1.1 \cdot 1.26 = 1.39 \text{ хв} \quad t_{контр} - \text{ час на}$$

контроль.

Час $t_{в.он}$ - визначається за формулою: $t_{в.он} = a + b \cdot \Sigma x_0, y_0, z_0 + cK + d \cdot L_{nl}$ (2.45)

де a, b, c, d - коефіцієнти, $a=0.61$, $b=0.0025$, $c=0.05$, $d=0.022$ [5, с.47]

$$t_{в.он} = 0.61 + 0.0025 \cdot (100 + 120 + 150) + 0.05 \cdot 14 + 0.022 \cdot 1.5 = 2.265 \text{ хв}$$

Час на контроль розмірів: $t_{контр} = \Sigma k \cdot D^z \cdot L^u$ (2.46)

де $t_{контр}$ - час на контроль розмірів;

k, z, u - коефіцієнти, для штангенциркуля $k=0.0187$, $z=0.21$, $u=0.33$,

[5, с.54].

$$t_{\text{контр}} = 0.0187 \cdot (35^{0.21} \cdot (160 \cdot 2 + 150 \cdot 2)^{0.33} + 15^{0.21} + 150^{0.33} + 12 \cdot 2.5^{0.21} \cdot 12^{0.33} + 7 \cdot 2^{0.21} \cdot 2^{0.33} + 8 \cdot 2.5^{0.21} \cdot 2^{0.33} + 2 \cdot 3.3^{0.21} \cdot 2^{0.33} + 4^{0.21} \cdot 2^{0.33} + 8^{0.21} \cdot 2^{0.33} + 3 \cdot 12^{0.21} \cdot 2^{0.33} + 2 \cdot 16^{0.21} \cdot 2^{0.33} + 2 \cdot 8^{0.21} \cdot 15^0 + 12^{0.21} \cdot 45^{0.33}) = 2.079 \text{ хв}$$

$$T_o = 1.39 + 2.565 + 2.079 = 6.034 \text{ хв}$$

Підготовчо- заключний час визначається за формулою:

$$T_{n.z.} = (a + b \cdot n_i + c \cdot P_p + d \cdot P_{n.n}) \quad (2.47)$$

де $T_{n.z.}$ - підготовчо-заключний час; n_i - число ріжучих інструментів; P_p - число вихідних встановлюючих режимів роботи; $P_{n.n}$ - число розмірів, що набираються на пульті керування верстата.

$$T_{n.z.} = 11.5 + 16.8 + 1.8 + 1.5 = 31.6 \text{ хв}$$

При обслуговуванні інструментом додаємо 6 хв.

Отже

$$T_{n.z.} = 31.6 + 6 = 36.6 \text{ хв} + 1 \text{ хв} = 37.6 \text{ хв}$$

По даному часу можемо судити про ефективність нашого верстатного комплексу. Всі розрахунки зводимо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 - Показники норм часу

Технічні переходи обробки поверхні №	Допоміжний час					Час обслугов.					
	T_o хв	$T_{уст}$ хв	$T_{ув}$ хв	$T_{вим}$ хв	$T_{оп}$ хв	$T_{тех}$ хв	$T_{орг}$ хв	$T_{відп}$ хв	$T_{пз}$ хв	$T_{шт}$ хв	$T_{шт.к}$ хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Фрезерування - основи	5.3	0.03	0.05	0.2	5.85	0.023	0.021	0.160	14		
Свердління 8 отв d=2 мм	4.7	-і	1.25	0.7	6.65	0.034	0.032	0.092	13.1		
Свердління 3 отв d=3 мм	3.3	-	1.3	0.4	5	0.021	0.02	0.063	12.4		
Свердління 3 отв d=4.8 мм	3.3	-	1.24	0.4	4.94	0.019	0.017	0.041	12.4		
Розвертання отв. d=5 мм	2.4	-	1.03	0.3	3.73	0.015	0.012	0.039	10.9		

Продовження таблиці 2.8.

Фрезерування стінки в розмір 35 мм	4.1	0.3	1.02	0.2	5.62	0.023	0.02	0.062	13.3		
Фрезерування уступів в розмір 15 мм	3.9	-	0.08	0.25	4.23	0.021	0.018	0.061	12.2		
Свердління 20 отв. d=2,5 мм	7.8	-	1.25	0.6	9.65	0.071	0.069	0.22	18		
Свердління 7 отв. d=2 мм	5.3	-	1.25	0.5	7.05	0.063	0.059	0.14	14.6		
Свердління 2 отв. d=3.3 мм	3.1	1		0.25	4.75	0.027	0.024	0.064	11.7		
Свердління отв. d=4 мм	0.8	-	1.34	0.2	2.34	0.012	0.01	0.038	9		
Свердління 9 отв. d=8 мм	6.2	-	1.24	0.6	8.04	0.068	0.055	0.121	14.2		
Розсвердлюван. 3 отв. d=2 мм	3.2	-	1.6	0.3	5.1	0.031	0.028	0.092	12.1		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Розсвердлювання 2 отв. d.15 мм	2.5	-	1.6	0.3	4.4	0.029	0.027	0.043	10.6		
Розточування 2 отв. d=16 мм	2.8	-	1.34	0.2	4.34	0.025	0.023	0.069	10.9		
Фрезерування 2 пазів 8x15 мм	4.4	-	1.02	0.15	4.81	0.027	0.024	0.071	15.4		
Фрезерування вікна	5.1	-	0.2	0.15	5.45	0.028	0.026	0.72	15.6		
Розфрезерування 2 пазів 8x15 мм	4.6	-	0.25	0.15	5	0.027	0.026	0.071	15.4		
Розфрезерування вікна	5.4	-	0.25	0.15	5.8	0.031	0.029	0.092	17.4		
Нарізка різі М3 в 20 отв.	7.2	-	1.5	0.2	8.9	0.069	0.064	0.13	19.1		
Нарізка різі М4 в 2 отв.	1.4	-	1.6	0.2	3.1	0.018	0.017	0.041	9.6		

2.3 Розрахунок силових параметрів роботи проектного верстату при виконанні різних технологічних операцій на деталях з різних матеріалів

2.3.1 Свердління отвору D=40 мм в матеріалах

Свердління отвору D=40 мм в чавуні (НВ 190) (свердло - тв. сплав)

Вихідні дані:

1. Число оборотів свердла $n = 630$ об/хв
2. Подача $S = 0,2$ мм/об
3. Свердло - твердий сплав.

Осьова сила при свердлінні

$$P_o = 42 \cdot D^{1,2} \cdot S^{0,75} = 42 \cdot 40^{1,2} \cdot 1,2^{0,75} = 10500 \text{ Н}$$

Крутний момент при свердлінні

$$M = 0,012 \cdot D^{1,2} \cdot S^{0,8} = 0,012 \cdot 40^{1,2} \cdot 0,2^{0,8} = 1108 \text{ Нм}$$

$$M = 1108 \text{ кг см} < M_{\text{ум}} = 1403 \text{ Нм}$$

Потужність різання при свердлінні з відповідною частотою $n = 630$ об/хв

$$N_{\text{риз}} = (M \cdot n) / 975 = (11,08 \cdot 630) / 975 = 7,2 \text{ кВт}$$

Свердління отвору D=40 мм в чавуні (НВ 190) (свердло - швидкоріжуча сталь)

Вихідні дані:

1. Число оборотів свердла $n = 280$ об/хв
2. Подача $S = 0,2$ мм/об
3. Свердло - твердий сплав (Р6М5)

Осьова сила при свердлінні

$$P_o = 42,7 \cdot D \cdot S^{0,8} = 42,7 \cdot 40 \cdot 0,2^{0,8} = 4630 \text{ Н}$$

Крутний момент при свердлінні

$$M = 0,021 \cdot D^2 \cdot S^{0,8} = 0,021 \cdot 40^2 \cdot 0,2^{0,8} = 930 \text{ Нм}$$

$$M = 930 \text{ кг см} < M_{\text{ум}} = 1403 \text{ Нм}$$

Потужність різання при свердлінні з відповідною частотою $n = 280$ об/хв

$$N_{\text{риз}} = (M \cdot n) / 975 = (9,3 \cdot 280) / 975 = 2,7 \text{ кВт}$$

З даних розрахунків можна побачити що до даного місця розрахунків

потужність двигуна відповідає розрахованим потужностям, які виникають при тому, чи іншому виді обробки.

Свердління отвору $D=40$ мм в сталі 45 ($\sigma_s=75$ кг/мм²) (свердло - швидкоріжуча сталь)

Вихідні дані:

1. Число оборотів свердла $n = 240$ об/хв
2. Подача $S = 0,15$ мм/об
3. Свердло – швидкоріжуча сталь (Р6М5)

Осьова сила при свердлінні

$$P_o = 68 \cdot D \cdot S^{0,7} = 68 \cdot 40 \cdot 1,15^{0,7} = 7210 \text{ Н}$$

Крутний момент при свердлінні

$$M = 0,0345 \cdot D^2 \cdot S^{0,8} = 0,0345 \cdot 40^2 \cdot 0,15^{0,8} = 1200 \text{ Нм}$$

$$M_{кр} = 1200 \text{ кг см} < M_{ум} = 1403 \text{ Нм}$$

Потужність різання при свердлінні з відповідною частотою $n = 240$ об/хв

$$N_{риз} = (M \cdot n) / 975 = (12 \cdot 240) / 975 = 2,95 \text{ кВт}$$

Свердління отвору $D=40$ мм в алюмінії (свердло - швидкоріжуча сталь)

Вихідні дані:

1. Число оборотів свердла $n = 560$ об/хв
2. Подача $S = 0,7$ мм/об
3. Свердло – швидкоріжуча сталь (Р6М5)

Осьова сила при свердлінні

$$P_o = 31,5 \cdot D \cdot S^{0,8} = 31,5 \cdot 40 \cdot 0,7^{0,8} = 947$$

Крутний момент при свердлінні]

$$M_{кр} = 0,012 \cdot D^2 \cdot S^{0,8} = 0,012 \cdot 40^2 \cdot 0,7^{0,8} = 1440$$

Потужність різання при свердлінні з відповідною частотою $n = 560$ об/хв

$$N_{риз} = (M \cdot n) / 975 = (1440 \cdot 560) / 975 = 8,2 \text{ кВт}$$

З даних розрахунків можна побачити що до даного місця розрахунків потужність двигуна відповідає розрахованим потужностям, які виникають при тому, чи іншому виді обробки.

2.3.2 Фрезерування сталі, чавуну та алюмінію

Фрезерування чавуну (НВ 190)

Вихідні дані:

1. Матеріал фрези - твердий сплав

2. Параметри торцевої фрези:

Діаметр $D = 125$ мм

Число $Z = 10$

3. Параметри процесу різання:

Ширина різання $B = 75$ мм

Глибина різання $t = 3$ мм

Подача на зуб $S_z = 0,15$ мм/зуб

4 Число оборотів обертання фрези $n = 165$ об/хв

5 Швидкість різання $V = 65$ м/хв

Колова сила при фрезеруванні

$$P_z = \frac{54,5 \cdot t^{0,9} \cdot S^{0,74} \cdot B \cdot Z}{D \cdot n^0} = \frac{54,5 \cdot 3^{0,9} \cdot 0,15^{0,74} \cdot 75 \cdot 10}{125 \cdot 1} = 2160 \text{ Н}$$

Сила подачі

$$P_x = 1,1 \quad P_z = 1,1 \quad 216 = 2400 \text{ Н}$$

Радіальна сила

$$P_y = 0,6 \quad P_z = 0,6 \quad 216 = 1300 \text{ Н}$$

Потужність різання при фрезеруванні з частотою $n = 165$ об/хв

$$N_{\text{різ}} = (P_z \cdot V) / (102 \cdot 60) = (216 \cdot 65) / (102 \cdot 60) = 2,3 \text{ кВт}$$

Крутний момент на шпинделі при фрезеруванні

$$M_{\text{кр}} = (P_z \cdot D) / 2 = (216 \cdot 125) / 2 = 1350 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{кр}} = 1350 \text{ кг см} < M_{\text{ум}} = 1403 \text{ Нм}$$

Об'єм стружки, що знімається

$$W = n(S_z \cdot z) \cdot B \cdot t = 165(0,15 \cdot 10) \cdot 75 \cdot 3 = 56 \text{ см}^3 / \text{хв}$$

Фрезерування сталі ($\sigma_g = 75$ кг/мм²)

Вихідні дані:

1 Матеріал фрези - твердий сплав

2 Параметри торцової фрези:

$$\text{Діаметр } D = 125 \text{ мм}$$

$$\text{Число } Z = 10$$

3 Параметри процесу різання:

$$\text{Ширина різання } B = 75 \text{ мм}$$

$$\text{Глибина різання } t = 3 \text{ мм}$$

$$\text{Подача на зуб } S_z = 0,1 \text{ мм/зуб}$$

4 Число оборотів обертання фрези $n = 380$ об/хв

5 Швидкість різання $V = 150$ м/хв

Колова сила при фрезеруванні

$$P_z = \frac{825 \cdot t \cdot S^{0,75} \cdot B^{1,1} \cdot Z}{D^{1,3} \cdot n^{0,2}} = \frac{825 \cdot 3 \cdot 0,1^{0,75} \cdot 75^{1,1} \cdot 10}{125^{1,3} \cdot 380^{0,2}} = 2920 \text{ Н}$$

Сила подачі

$$P_x = 1,1 \quad P_z = 1,1 \quad 292 = 3200 \text{ Н}$$

Радіальна сила

$$P_y = 0,6 \quad P_z = 0,6 \quad 292 = 175 \text{ Н}$$

Потужність різання при фрезеруванні з частотою $n = 380$ об/хв

$$N_{\text{різ}} = (P_z \cdot V) / (102 \cdot 60) = (292 \cdot 150) / (102 \cdot 60) = 7,1 \text{ кВт}$$

Крутний момент на шпинделі при фрезеруванні

$$M_{\text{кр}} = (P_z \cdot D) / 2 = (292 \cdot 125) / 2 = 1825 \text{ Нм}$$

Цю операцію рекомендується виконувати тільки в режимі пониженої подачі

S_2 так, як:

$$M_{\text{кр}} = 1825 \text{ кг см} < M_{\text{ун}} = 1403 \text{ Нм}$$

Перевантаження по моменту (з врахуванням роботи в режимі S_2) складає:

$$(M - M_{\text{ун.мах}}) / M_{\text{ун.мах}} \cdot 100\% = 1825 - 1732 / 1825 = 5\%$$

Це можна рахувати допустимим.

Об'єм стружки, що знімається

$$W = n(S_z \cdot z) \cdot B \cdot t = 380(0,1 \cdot 10) \cdot 75 \cdot 3 = 85,5 \text{ см}^3 / \text{хв}$$

Фрезерування алюмінію

1. Вихідні дані:
2. Матеріал фрези - твердий сплав
3. Параметри торцової фрези:

$$\text{Діаметр } D = 125 \text{ мм}$$

$$\text{Число } Z = 10$$

4. Параметри процесу різання:

$$\text{Ширина різання } B = 75 \text{ мм}$$

$$\text{Глибина різання } t = 6 \text{ мм}$$

$$\text{Подача на зуб } S_z = 0,2 \text{ мм/зуб}$$

5. Число оборотів обертання фрези $n = 1020$ об/хв

6. Швидкість різання $V = 400$ м/хв

Колова сила при фрезеруванні

$$P_z = 0,25 \cdot \frac{825 \cdot t \cdot S^{0,75} \cdot B^{1,1} \cdot Z}{D^{1,3} \cdot n^{0,2}} = \frac{825 \cdot 6 \cdot 0,2^{0,75} \cdot 75^{1,1} \cdot 10}{125^{1,3} \cdot 1020^{0,2}} = 2020$$

Сила подачі

$$P_x = 1,1 \quad P_z = 1,1 \quad 202 = 2220$$

Радіальна сила

$$P_y = 0,6 \quad P_z = 0,6 \quad 202 = 1210$$

Потужність різання при фрезеруванні з частотою $n = 1020$ об/хв

$$N_{\text{різ}} = (P_z \cdot V) / (102 \cdot 60) = (202 \cdot 400) / (102 \cdot 60) = 12,2 \text{ кВт}$$

Крутний момент на шпинделі при фрезеруванні

$$M_{\text{кр}} = (P_z \cdot D) / 2 = (202 \cdot 12,5) / 2 = 1262 \text{ кг см}$$

Крутний момент на шпинделі, утворений двигуном при $n = 1020$ об/хв складає:

$$M_{\text{ун}} = 97500 \cdot (15 / 1020) \cdot 0,96 = 1376$$

$$M_{\text{кр}} = 1262 \text{ кг см} < M_{\text{ун}} = 1376$$

Об'єм стружки, що знімається

$$W = n \cdot (S_z \cdot z) \cdot B \cdot t = 1020 \cdot (0,2 \cdot 10) \cdot 75 \cdot 6 = 918 \text{ см}^3 / \text{хв}$$

2.3.3 Нарізання різі M24 x 3 при обробці сталі ($\sigma_s=75$ кг/мм²)

Вихідні дані:

Швидкість різання $V = 9$ м/хв

Крутний момент на шпинделі при фрезеруванні

$$M = 0,027 \cdot D^2 \cdot S^{1,5} = 0,027 \cdot 24^2 \cdot 3^{1,5} = 1200$$

Потужність різання при

$$n = (1000 \cdot V) / (\pi \cdot D) = (1000 \cdot 9) / (3,14 \cdot 24) = 120 \text{ об / хв}$$

$$N_{\text{різ}} = (M \cdot n) / 975 = (12 \cdot 120) / 975 = 1,5 \text{ кВт}$$

$$M_{\text{кр}} = 1200 \text{ кг см} < M_{\text{ум}} = 1403 \text{ кг см}$$

2.3.4 Фрезерування чавуну (НВ 190) торцевою фрезою з механічним кріпленням пластин із композиту 05

Вихідні дані:

1. Параметри торцевої фрези:

Діаметр $D = 125$ мм

Число $Z = 20$

2. Параметри процесу різання:

Ширина різання $B = 75$ мм

3. Глибина різання $t = 0,2$ мм

4. Подача на зуб $S_z = 0,02$ мм/зуб

5. Число оборотів обертання фрези $n = 3050$ об/хв

6. Швидкість різання $V = 1200$ м/хв

Потужність різання

$$N = E((V \cdot t \cdot Z) / 1000) = 0,251((1200 \cdot 0,2 \cdot 20) / 1000) = 1,2 \text{ кВт}$$

де $E = 0,251$ – коефіцієнт, який залежить від твердості чавуну.

Колова сила при фрезеруванні

$$P_z = \frac{102 \cdot 60 \cdot N}{V} = \frac{102 \cdot 60 \cdot 1,2}{1200} = 60$$

Крутний момент на шпинделі при фрезеруванні з $n=3050$ об/хв

$$M_{кр} = (P_z \cdot D) / 2 = (6 \cdot 12,5) / 2 = 37,5$$

Крутний момент на шпинделі, утворений двигуном при $n = 3050$ об/хв складає

$$M_{ум} = 97500 \cdot (15 / 3050) \cdot 0,96 = 460$$

$$M_{кр} = 37,5 \text{ кг см} < M_{ум} = 460$$

Об'єм стружки, що знімається

$$W = n \cdot (S_z \cdot z) \cdot B \cdot t = 3050 \cdot (0,02 \cdot 20) \cdot 75 \cdot 0,2 = 18 \text{ см}^3 / \text{хв}$$

2.3.5 Фрезерування чавуну (НВ 190) торцевою фрезою з механічним кріпленням пластин із композиту 05

Вихідні дані:

1. Параметри торцевої фрези:

Діаметр $D = 100$ мм

Число $Z = 10$

2. Параметри процесу різання:

3. Ширина різання $B = 60$ мм

4. Глибина різання $t = 6$ мм

5. Подача на зуб $S_z = 0,03$ мм/зуб

6. Число оборотів обертання фрези $n = 2800$ об/хв

7. Швидкість різання $V = 880$ м/хв

Потужність різання

$$N = E \cdot ((V \cdot t \cdot Z) / 1000) = 0,337 \cdot ((880 \cdot 6 \cdot 10) / 1000) = 17,8 \text{ кВт}$$

де $E = 0,337$ – коефіцієнт, який залежить від твердості чавуну.

Колова сила при фрезеруванні

$$P_z = \frac{102 \cdot 60 \cdot N}{V} = \frac{102 \cdot 60 \cdot 17,8}{880} = 1240$$

Осьова сила

$$P_x = 1,1 \cdot 1240 = 1360$$

Крутний момент на шпинделі при фрезеруванні з $n = 1800$ об/хв

$$M_{кр} = (P_z \cdot D) / 2 = (124 \cdot 10) / 2 = 620$$

Крутний момент на шпинделі, утворений двигуном при $n = 3050$ об/хв складає

а) при постійному режимі роботи: $M_{\text{де}} = 530 \text{ кг см} < M = 620$

б) при режимі роботи $S_2 = 30$ хв: $M_{\text{де}, S_2} = 653 \text{ кг см} > M = 620$

З розрахунку видно, що фрезерування при заданих параметрах рекомендується виконувати тільки при режимі S_2 .

Об'єм стружки, що знімається:

$$W = n \cdot (S_z \cdot z) \cdot B \cdot t = 2800 \cdot (0,03 \cdot 10) \cdot 60 \cdot 6 = 302 \text{ см}^3 / \text{хв}$$

Із приведених вище розрахунків видно, що на всіх розрахункових режимах різання (свердління, фрезерування, нарізання різі) двигун MP132L забезпечує потрібний момент на шпинделі.

Максимальна осьова сила при свердлінні:

$$P_0 = P_z = 10000$$

Максимальне зусилля подачі при фрезеруванні: $P_x = 3500$

2.4 Оптимізація компоновочної схеми верстату

2.4.1 Аналіз та обґрунтування варіантів схем формоутворення поверхонь деталей на верстаті

Як було прийнято у другому розділі, обробці підлягають поверхні, для обробки яких використовуються кінцеві інструменти, фрези, мітчики. Формоутворення поверхонь здійснюється інструментом з горизонтально переміщеною віссю. Основні схеми формоутворення представлені на рисунку 2.2

Обробка отворів кінцевим інструментом - свердлами, зенкерами, розвертками, борштангами вимагає комплексу двох рухів формоутворення обертання інструменту - O_1 та повздовжньої подачі - P_2 (рисунок 2.2, а,б).

Обробка площин, фасонних отворів торцевими, кінцевими, фасонними фрезами вимагає дещо інших рухів - основного формоутворюючого руху обертання фрези - $\Phi_v(O_1)$ та рухів координатних переміщень, $\Phi_s(P_2)$, $\Phi_s(P_3)$, $\Phi_s(P_4)$

Розробка структурної схеми ґрунтується на комплексній схемі

формування.

Аналіз схем формування свідчить, що верстат повинен бути наділений комплексом певних рухів - головним рухом - обертання інструменту (O_1 та рухами координатних переміщень Π_2, Π_3, Π_4 , які можуть бути надані заготовці або інструменту.

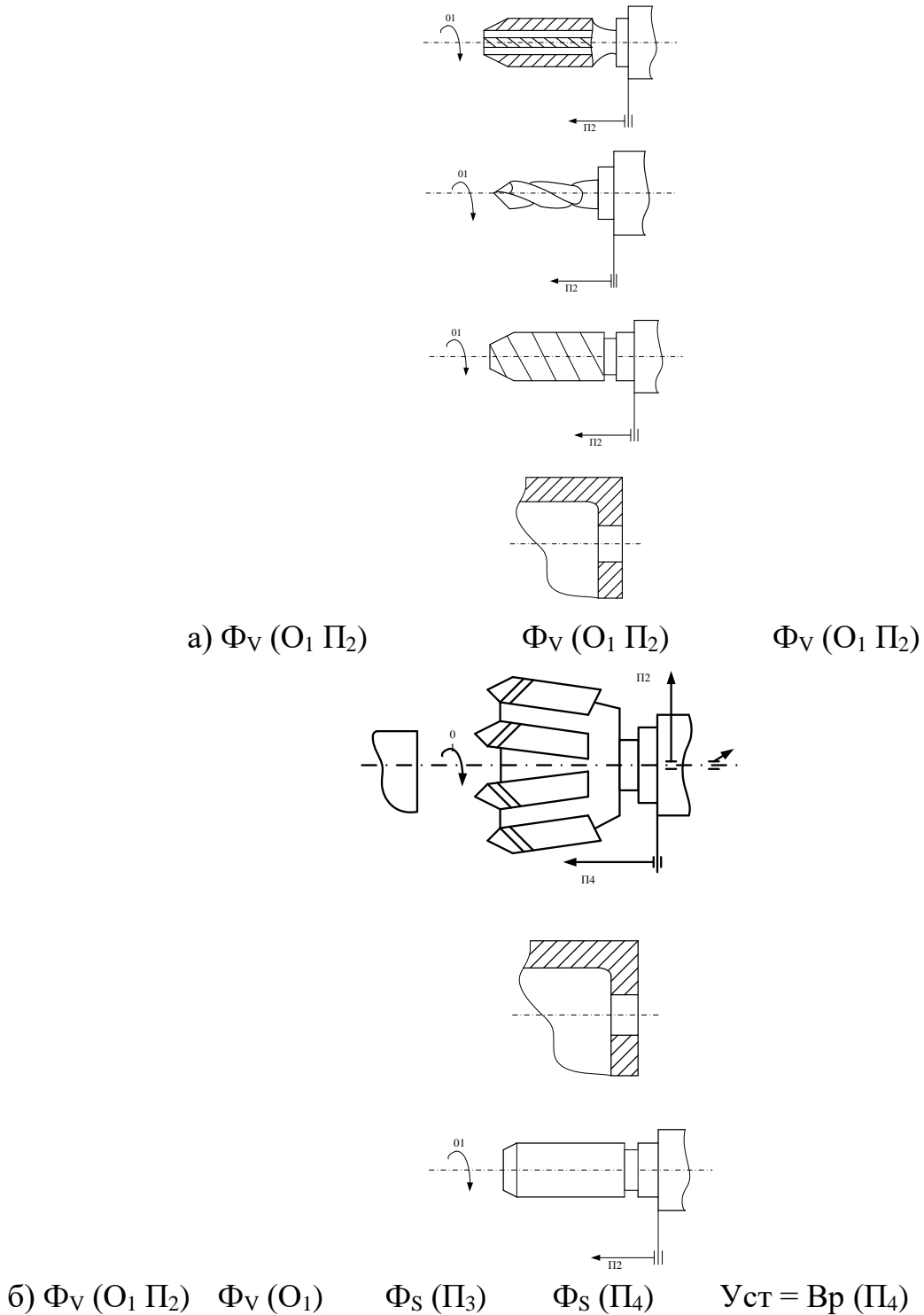


Рисунок 2.2 – Схема формування поверхонь деталей

Розглянувши дані схеми формоутворення можемо зробити такий висновок, що для нашої деталі доцільним є виконання даних операцій на багатоопераційному верстаті.

Виходячи з цих схем і необхідних рухів, які показані на них можемо в подальшому розробляти кінематичну схему верстату.

Для верстатів з ЧПК характерним є отримання всіх рухів від окремих джерел енергії - різного роду двигунів, що набагато спрощує кінематичну схему.

Структурно-кінематична схема верстату містить картину всіх рухів, як формоутворюючих так і різних додаткових.

2.4.2 Вибір, обґрунтування структурно-кінематичної та кінематичної схем верстатного комплексу

Враховуючи форму деталі, також розміщення поверхонь, які треба обробити можна вибрати потрібну структурно-кінематичну схему верстата.

Основними технічними характеристиками верстата, які визначають його виробничі можливості, являються:

а) граничні частоти обертання шпинделя (виходячи з попередніх розрахунків режимів різання) $n_{\max} = 2483 \text{ об/хв}$ і $n_{\min} = 156 \text{ об/хв}$;

б) проміжні значення частот обертання шпинделя:
1989 об/хв, 2108 об/хв, 2445 об/хв;

в) граничні подачі $s_{\max} = 1054 \text{ об/хв}$ $s_{\min} = 78 \text{ мм/об}$;

г) проміжні значення подач:
146.7 мм/хв; 596.7 мм/хв; 620.75 мм/хв;

д) потужність електродвигуна $P=15 \text{ кВт}$;

е) габаритні розміри заготовки $150 \times 160 \times 57 \text{ мм}$;

Головним чином в верстатах здійснюється декілька рухів (швидкості різання, подачі, врізання, допоміжні і т. д.). Виконавчі рухи в залежності від їх траєкторії можуть бути простими і складними. В нашому випадку маємо справу з

простими рухами і механізми для здійснення цих рухів представляють собою кінематичні ланцюги з органами настройки, які здійснюють передачу руху від джерела руху - електродвигуна до виконавчих органів. Головними з цих ланцюгів є ланцюги швидкості різання і подачі. Виходячи з форми деталі, що обробляється а також з розрахунків які були проведені приймаємо безступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя і швидкості руху подач. Безступінчасте регулювання має багато переваг. Основною перевагою є те, що завдяки такому регулюванню можна з великою точністю задавати потрібні величини швидкості різання і величини подачі, що забезпечує оптимальне використання ресурсів ріжучого інструменту в залежності від характеристик оброблюваного матеріалу. Також безступінчасте регулювання дозволяє звести до мінімуму втрати потужності пов'язані з передачею крутного моменту через механізми, які забезпечують потрібний діапазон регулювання, що характерно для ступеневого регулювання з використанням коробок швидкостей. А також верстати з безступінчастим регулюванням мають значно меншу собівартість ніж верстати з ступеневим регулюванням в яких в якості регулювальних пристроїв використовуються коробки швидкостей і подач, які в свою чергу мають високу собівартість виготовлення.

Як можна побачити з креслення деталі вона повинна оброблятися з чотирьох сторін. Отже, для забезпечення обробки даних поверхонь, а також для забезпечення якомога продуктивнішої роботи верстату представляємо слідуочу структурно-кінематичну схему верстата (рис. 2.3).

Як можна бачити дана структурно-кінематична схема верстата забезпечує всі рухи, що є необхідними для обробки нашої деталі.

Враховуючи форму деталі, розміщення поверхонь, які треба обробити і також вибрану нами структурно-кінематичну схему верстата можна вибрати потрібну кінематичну схему верстата. При проектуванні сучасного верстата, ми - повинні приймати оптимальні технічні рішення як по його окремих елементах, так і по верстату в цілому. До окремих елементів можна віднести: несучі системи, приводи головного руху і подач, шпиндельні вузли, системи керування, пристрої

заміни інструменту, завантаження і розвантаження і т. д. Вони мають різні функціональні призначення і специфіку проектування. Отже, представляємо необхідну кінематичну схему верстата.

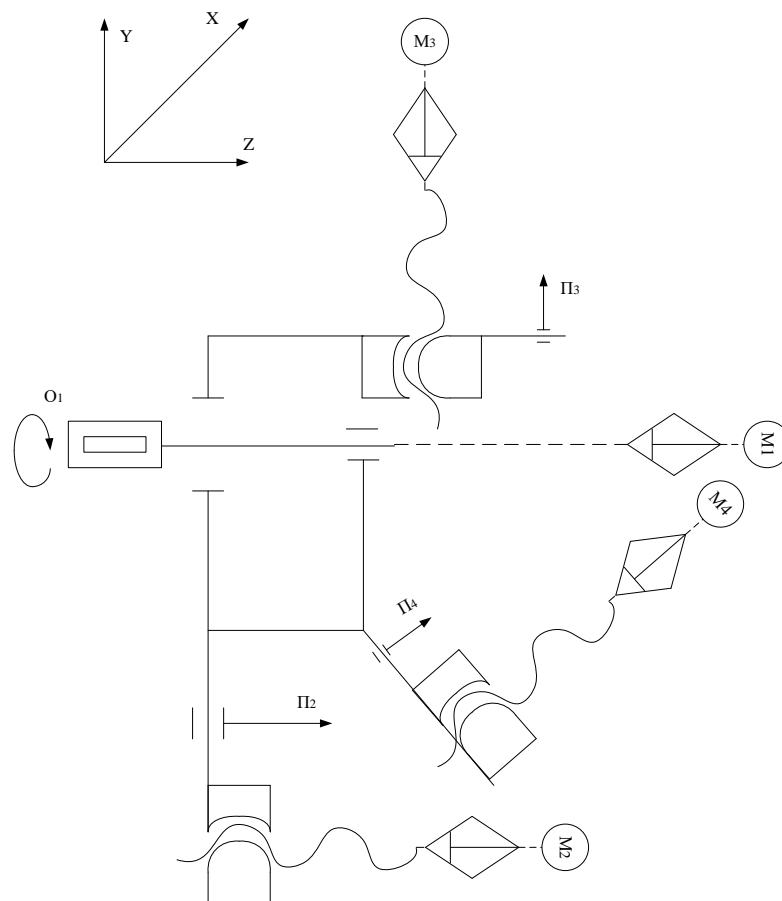


Рисунок 2.3 - Структурно-кінематична схема

Як можна бачити дана структурно-кінематична схема верстата забезпечує всі рухи, що є необхідними для обробки нашої деталі.

Враховуючи форму деталі, розміщення поверхонь, які треба обробити і також вибрану нами структурно-кінематичну схему верстата можна вибрати потрібну кінематичну схему верстата. При проектуванні сучасного верстата, ми - повинні приймати оптимальні технічні рішення як по його окремих елементах, так і по верстату в цілому. До окремих елементів можна віднести: несучі системи, приводи головного руху і подач, шпиндельні вузли, системи керування, пристрої заміни інструменту, завантаження і розвантаження і т. д. Вони мають різні функціональні призначення і специфіку проектування. Отже, представляємо

необхідну кінематичну схему верстата.

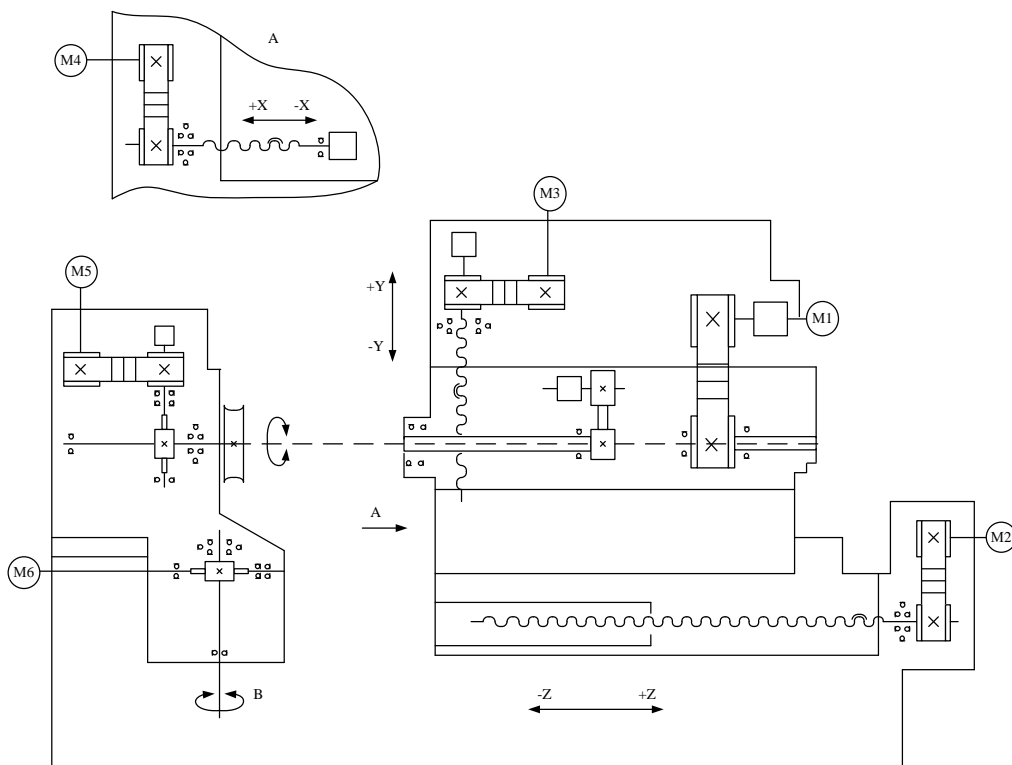


Рисунок 2.3 - Кінематична схема верстату

В зв'язку з тим, що при проектуванні верстатного комплексу регулювання величин подач і головного руху здійснюється безступінчастим методом, ефективність якого доведена в попередніх пунктах, то не має необхідності в кінематичному розрахунку. Регулювання величин подач і обертання шпинделя регулюється за допомогою електродвигунів, які дають можливість здійснювати це регулювання безступінчато.

Основною перевагою є те, що завдяки такому регулюванню можна з великою точністю задавати потрібні величини швидкості різання і величини подачі що забезпечує оптимальне використання ресурсів ріжучого інструменту.

3.3 Опис та обґрунтування компоновки верстатного комплексу

Основними факторами, які впливають на компоновку верстатного комплексу є конструктивні особливості оброблюваної деталі, прийнята схема формоутворення.

Згідно завдання обробці підлягають корпусні деталі і при розробці конструкції верстату бажано забезпечити максимальну концентрацію операцій на верстаті. Ця концентрація забезпечується наявністю на верстаті необхідної кількості інструменту, що дає об'єм інструментального магазину, і можливість забезпечити обробку параметрів на деталі з різних сторін.

Як було сказано в оглядовому розділі, основу компоновки у верстатному комплексі становить оброблюваний блок, в який входить вузол інструменту (шпиндельний вузол) та лінія стола.

Аналізуючи різні варіанти компоновочних рішень верстатних комплексів з ЧПК стосовно можливих варіантів конструктивних виконань стола, сходимося на думці, що найбільш підходящим буде вертикальне розміщення планшайби стола, що дозволить мати зручності стосовно усунення стружки, мастильно-охолоджуючих рідин. З метою забезпечення максимальної обробки параметрів деталі плануємо надавати стійці зі столом повороту в межах 180. Стосовно обробляючого блоку планується компонування механізми інструментального забезпечення.

Компоновка будь-якого технічного об'єкту, в тому числі і металообробного верстатного комплексу по механічній обробці деталей становить взаємне розміщення основних вузлів, механізмів та несучих систем в просторі.

На компоновку металообробного об'єкта черговий вплив чинять конструктивно-технологічні властивості деталі, характерний оброблювальний поверхні, прийняті метод та схема формоутворення, назначений ріжучий інструмент. По розміщенню осі головного виконавчого механізму верстата, верстатні компоновки розрізняють вертикальні та горизонтальні. Стосовно прийнятої компоновки верстату на основі певних міркувань формується компоновка всього верстатного комплексу.

Згідно поставленого завдання на проектуваному верстаті належить вести обробку деталей середнього та легкого класів. Металообробний об'єкт-верстат визначає горизонтальну компоновку, тобто силовий агрегат - горизонтальний вузол має горизонтальне розміщення вісі шпинделя.

Стосовно розміщення вісі силового агрегату формується компоновка стола,

транспортних засобів, інструментального забезпечення.

Найбільш поширеною класичною компоновкою столів є їх горизонтальне розміщення, координатні та кругові переміщення стосовно шпindelного блока. В останніх конструкторських рішеннях знаходять застосування вертикальні розміщення столів, які характеризуються рядом позитивних сторін. Вертикальне розміщення столів найбільш характерне при обробці деталей легкої та середньої серії вагою до 15-25 кг.

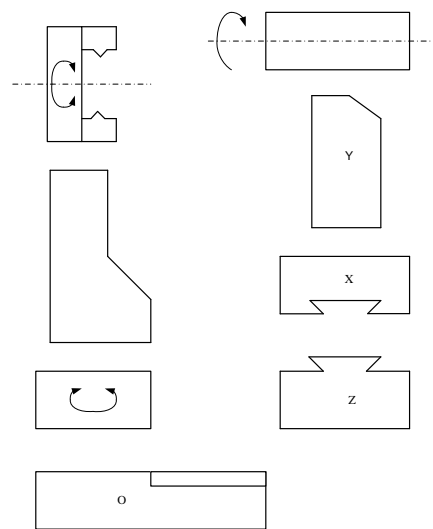


Рисунок 2.5 - Необхідні блоки компоновки верстату

Враховуючи відмічені тенденції розробки конструкцій широкоуніверсальних багатоопераційних верстатів з ЧПК, намічаємо для проєктованого верстатного комплексу вертикальну компоновку стола з круговим поворотом відносно горизонтальної осі та обмеженням в межах $100-120^\circ$ відносно вертикальної осі. Такі рухи стола забезпечать можливість контурної та позиційної обробки параметрів деталей з багатьох сторін. Поставку деталей на стіл та обробку плануємо вести в палетах. Забір палет з транспортної системи передбачаємо здійснювати завдяки коливним рухам в межах 90° платформи стола.

Рекомендована компоновка верстатного комплексу забезпечує відкритим для обслуговування та контролю робочий простір і зручна для відводу стружки, мастильно-охолоджуючих рідин, дає можливість розробити зручну систему

інструментального забезпечення.

На відміну від класичних компонок координатні переміщення в проєктованому комплексі передбачається надавати шпиндельній бабці зі стійкою.

Шпиндельна бабка представляє собою автономний функціонально завершений вузол головного руху.

Прийнята компоновка розроблена на основі модульного принципу, який дозволяє швидко розробляти різні компоновки верстатних комплексів стосовно певних умов. Кожен блок-стійка, рухома платформа, стіл, платформа стола як і шпиндельний блок є окремі модулі, здатні займати різне розміщення, отримувати певні траєкторії переміщення і одночасно забезпечувати траєкторії для сумісних пов'язаних інших блоків-модулів.

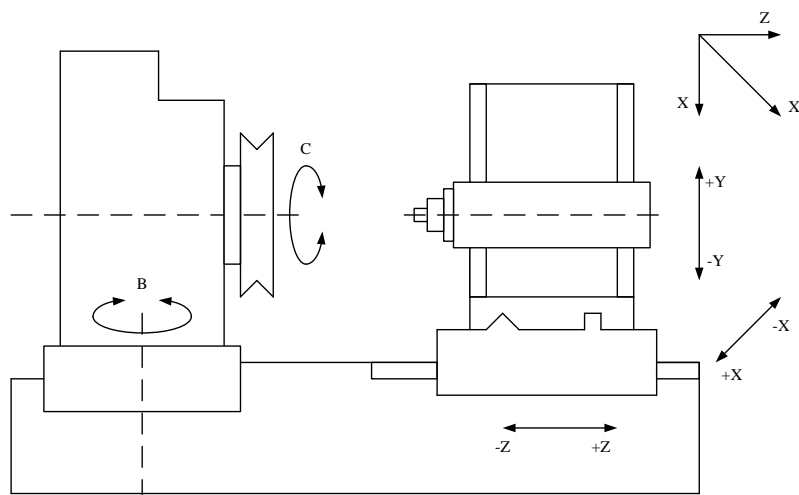


Рисунок 2.6 - Компоновка верстатного комплексу

Згідно теорії компонентики, запропонованої проф. Враговим Ю.Д. прийнятій компоновці верстатного комплексу відповідає формула:

$$ДВОЗХУС_v \quad (2.48)$$

де Д,В - блоки стола з їх поворотними рухами відносно осі Z та Y; О - стаціонарна несуча система-станина; Z, X, Y - платформи та стійка, які забезпечують координатні переміщення шпиндельної бабки в координатній системі; С^v - шпиндельна бабка з її головним рухом, відповідно якої ведеться монтаж всіх виконавчих модулів верстатного комплексу.

Структурна формула:
$$\frac{ab \widehat{0ZXY}Ch}{A=Ch(ab0ZXY)} \quad (3.2) \quad 2.49$$

Кількість можливих компоновок: $n = 6! = 720$ штук.

Обробка кінцевим інструментом:

Технологічний модуль: $TM_1 = OZC_h$; Модульний комплект: $MK_1 = OZ_y C_h (OZ_y C_h)$

Поперечне точіння або розточування:

Технологічний модуль: $TM_2 = OXC_h$ або OYC_h ; Модульний комплект: $MK_2 = OX_y C_h$ або $OxYC_h$

Оскільки, в оброблюваній деталі переважаючими є поверхні отворів і йде підрізка торців, то:

Технологічний модуль: $TM = OZC_h$; Модульний комплект: $MK = OZ_{xy} C_h$

Оскільки блок інструментального шпинделя при аналізі варіантів взагалі виключити з розгляду, бо його розрядне положення в формулі (крайне справа) має залишатись незмінним і перестановкам не підлягає і якщо кінцевим блоком є шпиндель, то $A = C_h(OZxy)n! = 24$ штуки. Отже по – суті треба вийти на компоновку:

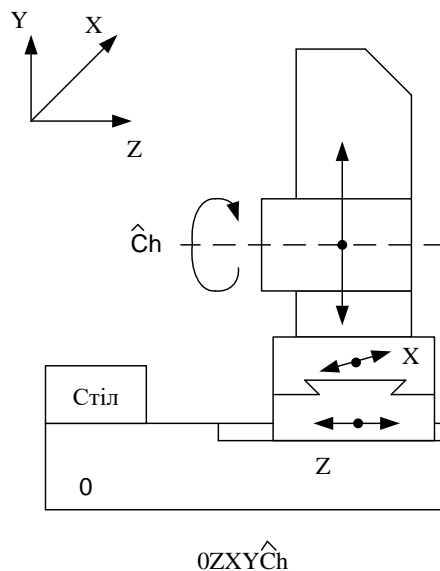


Рисунок 2.7 – Необхідна початкова вихідна компоновка верстату

Слід врахувати, що шпиндель розміщення якого передбачається в крайньому правому (молодшому) розряді, може бути горизонтальним чи вертикальним, тому

загальна кількість компонок становить 48 штук.

$$A = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccc} 1\bar{1}\bar{1}0 & 1\bar{1}0\bar{1} & 10\bar{1}\bar{1} & 01\bar{1}\bar{1} \\ 1\bar{1}\bar{1}0 & 1\bar{1}0\bar{1} & 10\bar{1}\bar{1} & 01\bar{1}\bar{1} \\ \bar{1}1\bar{1}0 & \bar{1}10\bar{1} & \bar{1}01\bar{1} & 0\bar{1}1\bar{1} \\ \bar{1}1\bar{1}0 & \bar{1}10\bar{1} & \bar{1}01\bar{1} & 0\bar{1}1\bar{1} \\ \bar{1}\bar{1}10 & \bar{1}\bar{1}01 & \bar{1}0\bar{1}1 & 0\bar{1}\bar{1}1 \\ \bar{1}\bar{1}10 & \bar{1}\bar{1}01 & \bar{1}0\bar{1}1 & 0\bar{1}\bar{1}1 \end{array} \right| \end{array}$$

$$V = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccc} YXZ0 & YX0Z & Y0XZ & 0YXZ \\ YXZ0 & YZ0X & Y0ZX & 0YZX \\ ZYX0 & ZY0X & Z0YX & 0ZYX \\ XYZ0 & XY0Z & X0YZ & 0XYZ \\ ZXY0 & ZX0Y & Z0XY & 0ZXY \\ XZY0 & XZ0Y & X0ZY & 0XZY \end{array} \right| \begin{array}{l} \text{Вертикальні} \\ \text{компоновки} \end{array} \end{array}$$

$$H = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cccc} ZXY0 & ZX0Y & Z0XY & 0ZXY \\ ZYX0 & ZY0X & Z0YX & 0ZYX \\ YZX0 & YZ0X & Y0ZX & 0YZX \\ XZY0 & XZ0Y & X0ZY & 0XZY \\ XYZ0 & XY0Z & X0YZ & 0XYZ \\ YXZ0 & XY0Z & Y0XZ & 0YXZ \end{array} \right| \begin{array}{l} \text{Горизонтальні} \\ \text{компоновки} \end{array} \end{array}$$

Рисунок 3.7 - Матриця можливих компонок

В кінцевому результаті маємо:

$$1\bar{1}\bar{1} + \bar{0}\bar{1}0\bar{0} + \bar{0}0\bar{1}\bar{0} + 0\bar{1}\bar{1}1$$

$$YXZ0 + Y\bar{Y}0\bar{Y} + \bar{Y}0\bar{Y}Y + 0ZXY$$

$$0 + 0 + 0 + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0}$$

$$0 + 0 + 0 + 0ZXY$$

(2.50)

Умови:

М 3.1. Зменшення вертикально переміщуваних та консольних мас.

Структурна ознака: вертикально рухомий блок є кінцевим блоком

$$1\bar{1}\bar{1} + \bar{0}\bar{1}0\bar{0} + \bar{0}0\bar{1}\bar{0} + 0\bar{1}\bar{1}1 \quad (2.51)$$

М 3.2. Підвищення стійкості мас по їх розміщенню в компоновці (в зв'язку з величинами координатних переміщень).

Структура знака: підвищити стійкість – чим більший хід має блок, тим ближче він має бути розміщеним до стаціонарного $Z > X > Y$.

$$YXZ0 + Y\bar{Y}0\bar{Y} + \bar{Y}0\bar{Y}Y + 0ZXY \quad (2.55)$$

М 4.1. Можливість встроювання верстата в автоматичну лінію.

Структурна ознака: стіл не рухомий.

$$0 + 0 + 0 + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} \quad (2.53)$$

Стосовно прийнятої компоновки верстатного комплексу розробляється компоновка верстатно-інструментального забезпечення, яке повинно включати інструментальний магазин, транспортні системи по транспортуванню інструменту на платформу магазин-шпиндельний вузол.

3 ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ

3.1 Конструкція та розрахунок шпindelного вузла

3.1.1 Опис конструкції та принципу роботи шпindelного вузла

Шпindelний вузол представляє собою виконавчий механізм, забезпечує головних рух формоутворення - обертання різального інструменту. Шпindelний вузол є основною складовою частиною шпindelного блока, який є функціонально-завершеним, самостійним модулем.

Шпindelний блок у верстатному комплексі має вертикальні переміщення по направляючих вертикальної стійки верстата (Вісь Y). Основною складовою несучою базовою деталлю шпindelного блока є об'ємний чавунний литий корпус поз. 1, в якому розміщуються всі передавальні, конструктивні, кінематичні елементи вузла. Тильна бокова сторона корпуса містить направляючі елементи по забезпеченню траєкторії переміщення блока по направляючих стійках. В центрі корпуса монтується на підшипниках кочення шпindel поз.2, який є основним підвузлом і чинить домінуючий вплив на точнісні характеристики верстата в цілому. На консольній задній частині шпинделя розміщується шків поз.3 зубчатої пасової передачі яка забезпечує передачу на шпindel крутного моменту та обертового руху. Для зменшення впливу на шпindel зусилля пасової передачі ділянка шпинделя зі шківом містить плаваючі опори поз. 7 поряд зі шківом силової пасової передачі розміщується шків зубчатої пасової передачі на контрольну систему зворотного зв'язку.

Співвісно зі шпindelем в задній стінці корпуса блока розміщується стакан поз.6, в якому монтується корпус гідроциліндра поз. 8 механізму затягування та затиску інструменту.

Шпindel сам пустотілий. В передній частині отвору знаходяться базуючі та захоплюючі елементи, зв'язані через тяговий пристрій поз. 10 з поршнем циліндра поз.11. Гідроциліндр забезпечує звільнення інструменту. Затиск інструменту забезпечується пакетом тарілчастих пружин поз. 12, розміщених в

порожнині шпинделя під шківом. Передня та задня опори шпинделя мають можливість регулювання натягу. Натяг регулюється гайками поз.18, поз. 19.

Корпус шпиндельного блока містить необхідні отвори для пасової передачі приводу шпинделя, наладки, регулювання функціональних параметрів, а також для нагляду за вузлом. До корпусу шпиндельного блока кріпиться привідний безступінчастий електродвигун. Зібраний шпиндельний блок має переміщення по бокових направляючих вертикальної стійки верстату переміщення по осі ОУ). Переміщення забезпечується шарикогвинтовою передачею.

3.1.2 Вибір та обґрунтування кінематики приводу обертання шпинделя

Кінематика приводу залежить від технічних можливостей електродвигуна та забезпечуваного функціональним механізмом діапазону.

Розрахунок режимів різання при обробці деталі-представника, а також аналіз (статистичних даних використання режимів роботи багатоопераційних верстатів середнього класу свідчить, що найбільш розпоширений стабільний використовуваних діапазон в межах 500 - 2000 об/хв, короткочасні режими роботи 100-500 об/хв, 2000-4000 об/хв. Такі частоти можна отримати безпосередньо від електродвигуна.

Аналіз характеристики двигунів дає можливість зупинитись на електродвигуні постійного струму типу МР 132, або фірми "Fanuk". Зупиняємось на двигуні типу МР, який більш доступний по комплектації, так як двигун японської фірми "Fanuk" замовити більш проблемно.

Тип двигуна по потужності вибираємо в залежності від потрібної потужності.

На основі розрахунків режимів різання (див.розділ 2). Необхідна потужність різання складає в межах 10 кВт.

На основі необхідних параметрів приводу шпинделя, тобто діапазону.

Регулювання в межах 0-3500 об/хв, та потужності приймаємо електродвигун постійного струму типу МР 132.

Характеристика електродвигуна:

Номинальна потужність $N_{ном} = 15$ кВт

Номинальне число обертів $n_{ном} = 1000$ об/хв

Максимальне число обертів $n_{max} = 3500$ об/хв

В діапазоні числа обертів 0... 1000 об/хв двигун працює з постійним моментом

$$M = 97500(N_{ном} / n_{ном}) \quad (3.1)$$

$$M = 97500(15 / 1000) = 1462$$

Крім цього в режимі роботи S2 (постійна робота тривалістю не більше 30 хв) двигун працює в діапазоні 0... 1000 об/хв з підвищеним моментом, який відповідає потужності $N=18$ кВт.

В діапазоні чисел обертів 1000...3500 об/хв двигун працює з постійною потужністю $N = 15$ кВт = const.

Враховуючи технічні можливості двигуна, приймаємо, що кінематичний ланцюг двигун-шпиндель буде включати плосkozубчату передачу з передаточним відношенням $i_{ш} > 1$.

При такій умові шпиндель буде передавати слідуєчі крутні моменти: в діапазоні 0...1000 об/хв

$$M_{пр.ш} = M \cdot \eta \quad (3.2)$$

де $\eta = 0.96$ – К.К.Д. передачі плосkozубим пасом;

$$M_{пр.ш} = 1462 \cdot 0.96 = 1403 = const$$

В режимі S2 крутний момент на шпинделі буде

$$M_{ш. max} = M_{max} \cdot \eta$$

$$M_{ш. max} = 1804 \cdot 0.96 = 1732 \text{ Нм}$$

3.1.3 Розрахунок передачі зубчатим пасом приводу обертання шпинделя

Вихідні дані:

Числа зубів шківів $Z_1 = Z_2 = 24$

Номинальна потужність на ведучому валу передачі (ротор

електродвигуна) $N_n = 15 \text{ кВт}$

Розрахункова частота ротора електродвигуна $n = n_{ном} = 1000 \text{ об/хв}$

Міжосьова відстань передачі $a = 280 \text{ мм}$

Передача з двома натяжними роликками (в середині контури)

Розрахункова потужність передачі

$$N_p = N_{ном} \cdot C_p \quad (3.3)$$

де $C_p = 1.6$ – коефіцієнт режиму роботи при двохзмінній роботі з двигуном постійного струму.

$$N_p = 15 \cdot 1.6 = 24 \text{ кВт}$$

Модуль передачі вибираємо по [4]

Отже при $n = 1000 \text{ об/хв}$ і $N_p = 24 \text{ кВт}$; $m = 7 \text{ хв}$

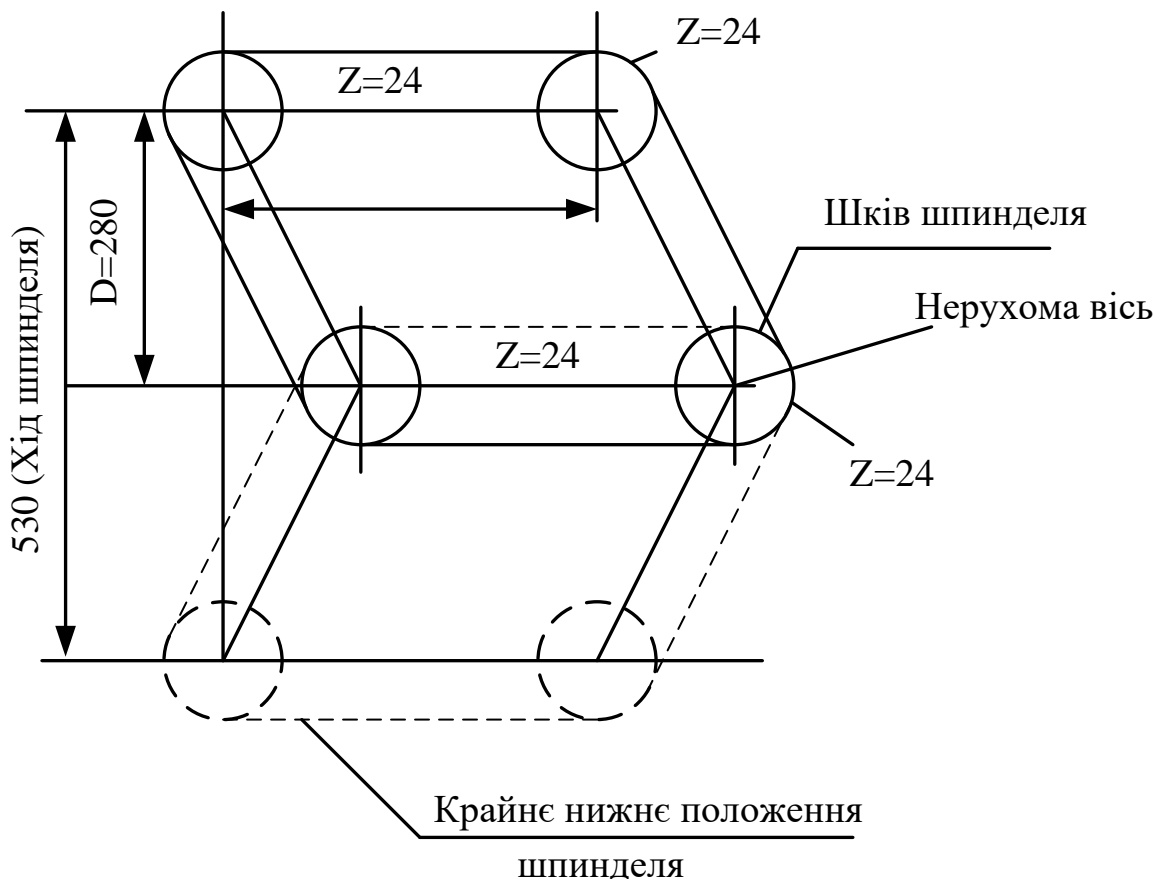


Рисунок 3.1 – Схема плоскопасової передачі

Колова швидкість паса:

$$V = (\pi \cdot d_1 \cdot n_1) / (60 \cdot 1000) \quad (3.4)$$

де діаметр $d_1 = m \cdot z_1$ $d_1 = 7 \cdot 24 = 168 \text{ мм}$ $V = (3.14 \cdot 168 \cdot 1000) / (60 \cdot 100) = 8.8 \text{ м/сек}$

Розрахункова колова сила, яка передається пасом

$$F_p = 1000 \cdot N_p / V \quad (3.5)$$

$$F_p = 1000 \cdot 24 / 8.8 = 2727 \text{ Н}$$

Розрахункова питома колова сила, яка передається пасом

$$F_y = [F]_0 \cdot C_u \cdot C_z \cdot C_H \quad (3.4)$$

де $[F]_0 = 32 \text{ Н/мм}$ – допустима питома колова сила, яка передається пасом шириною 1 мм при $m = 7 \text{ мм}$, $C_u = 1$ - коефіцієнт який враховує передаточне число, C_H - коефіцієнт, який враховує наявність натяжних роликів:

$$C_H \cdot C'_H \cdot C''_H \quad (3.5)$$

де $C_H = 0.8$ - коефіцієнт, який враховує наявність двох натяжних роликів в середині контуру подачі $C'_H = 0.8 \cdot 0.7 = 0.86$

Кут пасу на шківі:

$\alpha = 90^\circ$ (мінімальне значення, яке одержується шляхом графічної побудови)

$$Z_0 = Z_{u1} (\alpha_1 / 360) \quad (3.6)$$

$$Z_0 = 24(90 / 360) = 6$$

Так як $Z_0 = 6$, то коефіцієнт, який враховує число зубів ремня, що знаходяться в зачепленні зі шківом $C_z = 1$

$$F_y = 32 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.8 = 25.6 \text{ Н/мм}$$

Потрібну ширину пасу приймаємо виходячи з двох умов:

- забезпечення передачі пасом необхідного колового зусилля
- забезпечення міцності пасу по питомому тиску

З двох одержаних значень вибираємо більше

Потрібна ширина ремня, яка забезпечує передачу колового зусилля

$$b = F_p / (F_y - qV^2) \quad (3.7)$$

де $q = 8 \cdot 10^{-3}$ кг/м мм – маса 1 м пасу шириною 1 мм

$$b = 2727 / (25/6 - 8 \cdot 10^{-3} \cdot 8.8^2) = 109 \text{ мм}$$

Потрібна ширина пасу з врахуванням коефіцієнта $C_{ш}$

$$b = b' / C_{ш} \quad (3.8)$$

$$b = 109 / 1.2 = 91 \text{ мм}$$

Потрібна ширина пасу із умови забезпечення міцності по питомим тискам

$$b = \frac{F_p \cdot \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \psi_3 \cdot [p]z}{Z_0 \cdot h} \quad (3.9)$$

де $\psi_1 = 1.2$; $\psi_2 = 1.5$; $\psi_3 = 1.1$ - коефіцієнти, що враховують нерівномірне розміщення колової сили між зубами по дузі обхвату, висоті і довжині зубів ременя. $[p]z = 1$ МПа – допустимий тиск на зубах пасу (при $n = 1000$ об/хв), $h = 6$ мм - висота (для $m = 7$)

$$b = \frac{2727 \cdot 1.2 \cdot 1.5 \cdot 1.1 \cdot 1}{6 \cdot 6} = 150 \text{ мм}$$

Одже кінцева ширина пасу $b = 150$ мм

Довжина пасу

$$L = 4a + \pi D_1 \quad (3.10)$$

$$L = 4 \cdot 280 + 3.14 \cdot 168 = 1647.8 \text{ мм}$$

3.1.4 Розрахунок реакцій на опорах шпиндельного вузла

3.1.4.1 Вихідні дані для розрахунку

Для розрахунку основних силових критеріїв шпиндельного вузла необхідний комплекс певних вихідних даних, а саме: А) схема розрахункова – NCX = 5 Б) сили різання $PZ = 2460$ Н; $PY = 1300$ Н; В) колове зусилля $PO = 2727$ Н; Г) діаметр кінця $DM = 75$ мм ;Д) діаметр отвору шпинделя $DOT = 42$ мм; Е) діаметр шпинделя між опорами $DK = 70$ мм; Ж) модуль пружності матеріалу шпинделя

$EPR = 2.1 \cdot 10^5$ Мпа; 3) кут між зусиллям різання та коловим $GM = 90$ (кут змінний тому приймаємо найгірше конструктивно можливе рішення)

3.1.4.2 Методика розрахунку

Виходячи з конструктивних умов рекомендується забезпечити жорсткість на ділянці між опорами в межах 205...500 Н/мкм (менше значення для верстатів нормальної, більші – для верстатів підвищеної точності).

При умові прикладання зусилля посередині між опорами, жорсткість в між опорній частині, Н/мкм: $\tau_{np} = 500(D_n - D_g)/l^3 = 500 \cdot D_n^4(l - \beta^4)/l^3$ (3.11)

де D_n, D_g - усереднене значення відповідно зовнішнього і внутрішнього діаметру шпинделя на ділянці між опорами, мм; $\beta = D_g / D_n = 0...0.6$, l – відстань між середніми січеннями підшипників шпинделя, мм.

Вихідний діаметр шпинделя, мм: $D_n = (k_{np}^3 \cdot j_{np}) / (500(l - \beta^4))$ (3.12)

де $k_{np} = l / D_n = 4...6$

Для нормальної роботи гідростатичних опор доцільно обмежити деформації шпинделя величинами кутів повороту в опорах (перекіс не повинен перевищувати 1/3 зазору в підшипниках), ця умова має вигляд: $\theta_{max} \leq 0.3 \cdot 10^{-3}$ рад (3.13)

що відповідає обмеженню прогину посередині балки (шпинделя між опорами)

$$y_{max} \leq 10^{-4} \cdot l \quad (3.14)$$

При цьому діаметр шпинделя, мм: $D_n = 0.15 \cdot k_{np} \sqrt{P_2 / (l - \beta^4)}$ (3.15)

де P_2 - рівнодіюча колової і радіальної сил в зачепленні шпиндельної зубчатої пари, умовно прикладена по середині балки сила, Н.

Одержане значення D_n використовують для ескізного проектування початкового варіанту конструкції шпиндельного вузла. При цьому виліт шпинделя приблизно рівний $s = (1...2.1)D_n$

Для забезпечення точності обертання точності обертання шпинделя рекомендується проводити перевірочну оцінку пружних деформації робочого кінця шпинделя внаслідок власної податливості. При цьому допускають, що

шпиндель представляє собою бабку з консоллю на двох шарнірних опорах. Вид розрахункової схеми залежить від типу опор. Для відповідної схеми визначають характеристики жорсткості які порівнюють з допустимими:

$$y < [y] \text{ і } \theta < [\theta] \quad (3.16)$$

де y - деформація робочого кінця шпинделя під дією розрахункових зусиль; θ - кут повороту осі шпинделя в передній опорі.

Допустимі значення цих величин

$$[y] = 1/3\delta \text{ або } [y] \leq (1.001 \dots 0.0002)l$$

$$[\theta] \leq 0.001 \text{ рад} \quad (3.17)$$

де δ - допуск на биття переднього кінця шпинделя.

Схема алгоритму програми визначення пружних деформацій переднього кінця шпинделя показано нижче.

Після вводу вихідних даних і визначення моменту інерції січення шпинделя програма передбачає розрахунок максимального значення рівнодіючої $P1$ складових сили різання і проекції $P20$ рівнодіючої зусиль в шпиндельній зубчастій парі (з кутом зачеплення 20°) на площину дії зусиль $P1$. В залежності від вибраної розрахункової схеми визначаються додаткові силові фактори, які діють на дану систему, наприклад на момент заміщення AMZ передньої опори, Для шарикопідшипників $AMZ = 0$, в інших випадках

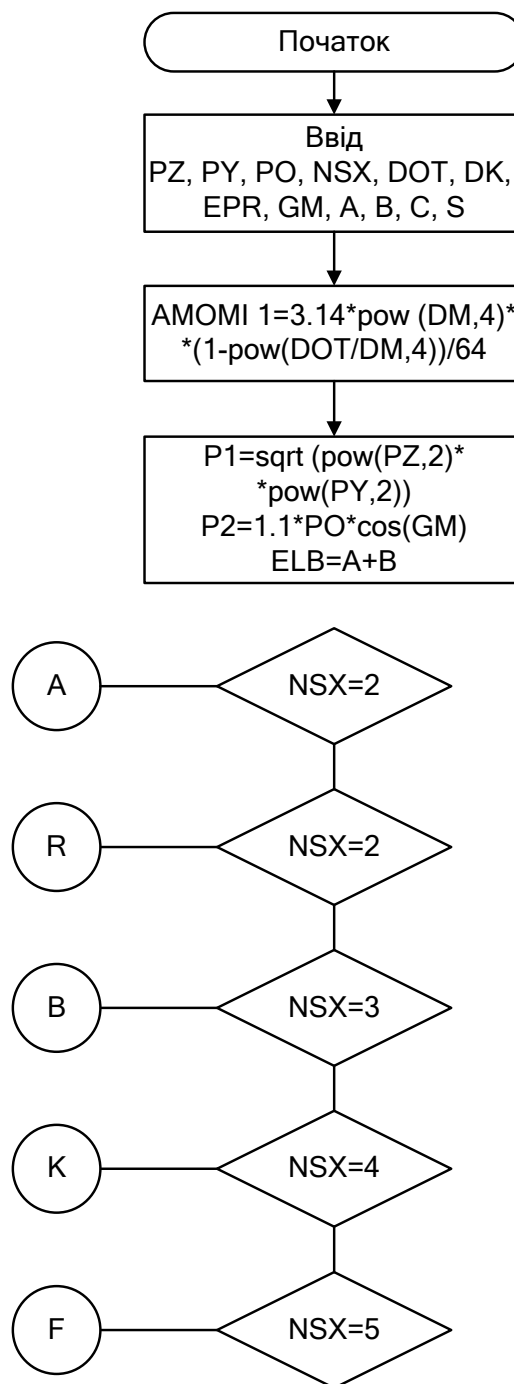
$$AMZ = 0.33 \cdot P1 \text{ с} \quad (3.18)$$

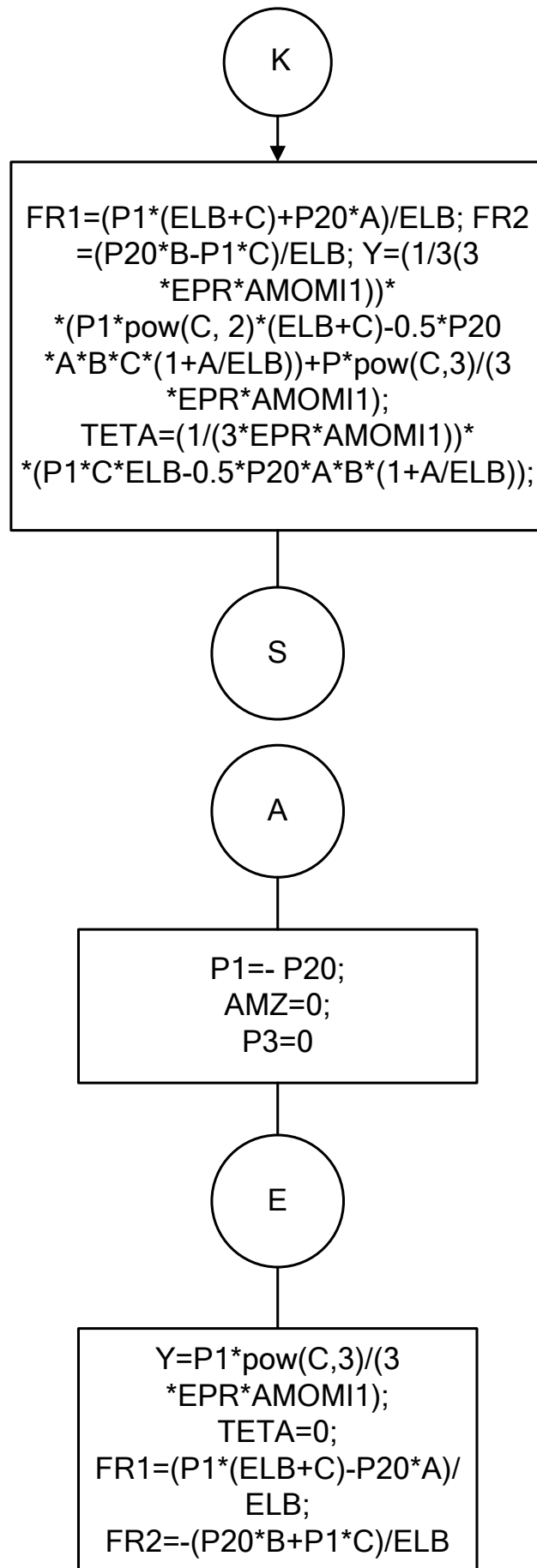
В результаті розрахунку на друк виводяться значення реакцій в передній $FK1$ і задній $FЯ2$ опорах, прогинів робочого кінця шпинделя V , кутів повороту балки в передній опорі θ . Жорсткість шпиндельного вузла, його вібростійкість і точність його опор. Функції опор шпинделем виконують підшипники кочення і точність обертання залежить не тільки від конструкції шпинделя, але і від типу його опор. Функції опор шпинделя виконують підшипники кочення і підшипники ковзання з рідинним тертям. Підшипники кочення мають ряд експлуатаційних переваг, а саме, - велику довговічність при перемінних умовах роботи. В той же час при високих вимогах до точності обертання і вібростійкості і при постійності

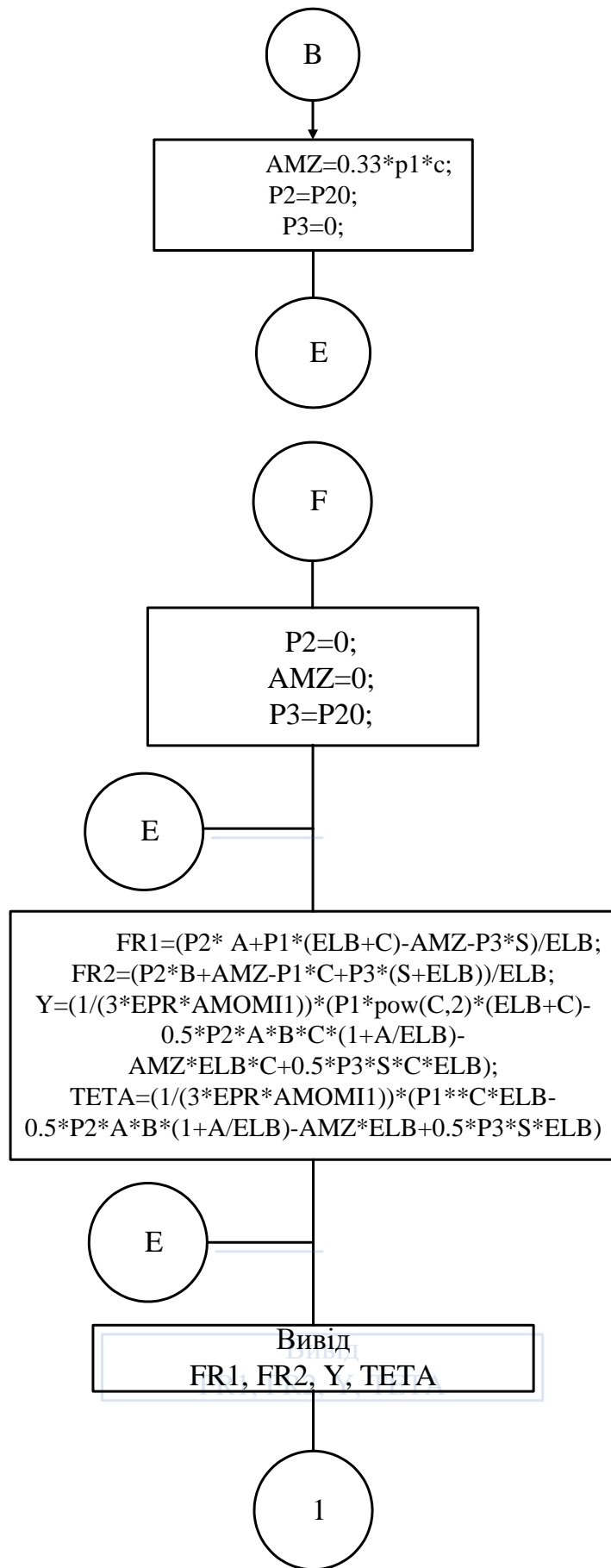
режимів експлуатації в шпиндельних вузлах верстатів з успіхом використовуються підшипники ковзання.

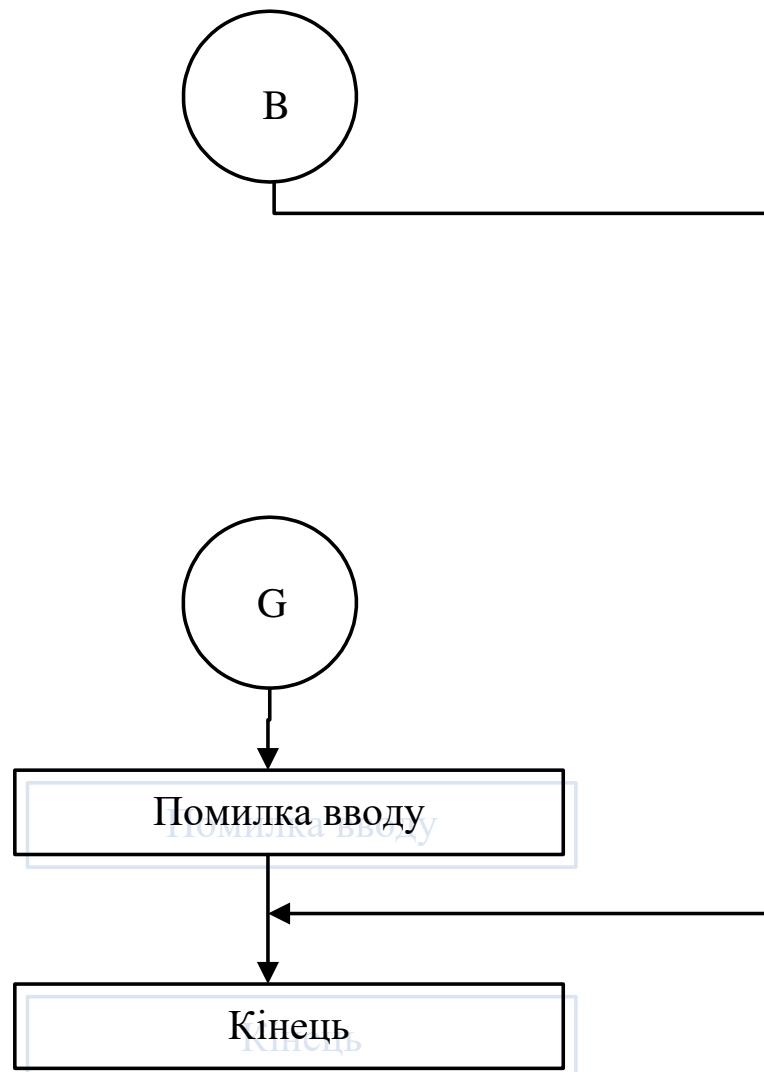
Тип опор шпинделя вибирають із умови необхідності забезпечення заданої точності обробки і швидкохідності вузла, яка визначається параметром $d \cdot n$, мм хв^{-1} , де d - діаметр отвору під підшипник, мм; n - частота обертання шпинделя, хв^{-1}

3.1.4.3 Блок-схема алгоритму розрахунку









3.1.4.4 Програма для розрахунку шпинделя на жорсткість

```

#include <graphics.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
int main (void)
{
    float PZ, PY, PO, NSX, DM, DOT, DK, EPR, GM, A, B, C, S;
    float AMOMIL, P1, P20, ELB, P2, AMZ, P3, Y, TETA, FR1, FR2, P
    FILE *fff;

```

mit55:

```
cirscr( ) ;  
printf ("\nВиберіть номер схеми") ;  
scanf ("%f", &NSX) ;  
printf ("\nВведіть розміри відповідно до схеми (мм) :)") ;  
printf ("\n A = ") ;  
scanf ("%f", &A) ;  
printf ("\n B = ") ;  
scanf ("%f", &B) ;  
printf ("\n C = ") ;  
scanf ("%f", &C) ;  
printf ("\n S = ") ;  
scanf ("%f", &S) ;  
  
printf ("\nВведіть складову силу Pz (Н) :)") ;  
scanf ("%f", &PZ) ;  
printf ("\nВведіть складову силу Py (Н) :)") ;  
scanf ("%f", &PY) ;  
printf ("\nВведіть колове зусилля Po (Н) :)") ;  
scanf ("%f", &PO) ;  
printf ("\nВведіть діаметр кінця шпинделя Dm (мм) :)") ;  
scanf ("%f", &DM) ;  
printf ("\nВведіть діаметр отвору шпинделя Dot (мм) :)") ;  
scanf ("%f", &DOT) ;  
printf ("\nВведіть діаметр шпинделя між опорами Dк (мм) :)") ;  
scanf ("%f", &DK) ;  
printf ("\nВведіть модуль пружності матеріалу шпинделя EPR (Н/мм.кв) :)") ;  
scanf ("%f", &EPR) ;  
printf ("\nВведіть кут між зусиллям різання і коловим GM (рад) :)") ;  
scanf ("%f", &GM) ;  
  

$$AMOMII=3.14*\text{pow}(DM, 4) * (1-\text{pow}(DOT/DM, 4)) / 64 ;$$

```

```

P1=sqrt (pow (PZ, 2) *Pow (PY, 2) ) ;
P20=1.1*PO*cos (GM) ;
ELB=A+B ;
If (NSX= =1) goto mit20 ;
If (NSX= =2) goto mit25 ;
If (NSX= =3) goto mit30 ;
If (NSX= =4) goto mit35 ;
If (NSX= =5) goto mit40 ;
                goto mit55 ;
mit20:  P2= -P20 ;  AMZ=0 ;  P3=0 ;  goto mit45 ;
mit25:  Y=P1*pow (C , 3) / (3*EPR*AMOMI1) ; TETA=0 ;
        FR1=(P1*(ELB+C) - P20*A) / ELB ;
        FR2= - (P20*B+P1*C) / ELB ;
                goto mit50 ;
mit30:  AMZ=0.33*P1*C ;  P2= P20 ;  P3=0 ;
                goto mit45 ;
mit35:  FR1=(P1*(ELB+C) + P20*A) / ELB ;
        FR2= (P20*B-P1*C) / ELB ;
        Y= (1/ (3*EPR*AMOMI1) ) * (P1*pow (C , 2)*(ELB+C) -
0.5*P20*A*B*C (1+A/ELB) ) + P*pow (C , 3) / (3*TPR*FMOMI1) ;
        TETA=(1/ (3*EPR*AMOMI1) ) * (P1*CELB-0.5*P20*A*B*(1+A/ELB) ) ;
                goto mit50 ;
mit40:  P2= 0 ;  AMZ=0 ;  P3=P20 ;  goto mit45 ;
mit45:  FR1=(P2*A+P1* (ELB+C) -AMZ - P3*S) / ELB ;
        FR2= (P2*B+AMZ-P1*C+P3* (S+ELB) ) / ELB ;
        Y= (1/ (3*EPR*AMOMI1) ) * (P1*pow (C , 2)*(ELB+C) -
0.5*P2*A*B*C (1+A/ELB) - AMZ*ELB+0.5*P3*S*ELB) ;
                goto mit50 ;
mit50:  printf ( "\n Реакція в передній опорі в H" ) ;
        printf ( "\n  FR1 = %f" , FR1 ) ;
        printf ( "\n Реакція в задній опорі в H" ) ;
        printf ( "\n  FR2 = %f" , FR2 ) ;

```

```

printf ( "\n Прогин кінця шпинделя в мм" );
printf ( "\n  Y = %f" , Y );
printf ( "\n Кут повороту балки в передній опорі , в рад" );
printf ( "\n  ТЕТА = %f" , ТЕТА );
    getch ( ) ;
fff = fopen ( " GRESULT1 . TXT" , "a" ;
fprintf ( fff , "\nВведіть складову силу Pz (H) : " , PZ ) ;
fprintf ( fff , "\nВведіть складову силу Py (H) : " , PY ) ;
fprintf ( fff , "\nВведіть колове зусилля Po (H) : " , PO ) ;
fprintf ( fff , "\nВведіть діаметр кінця шпинделя Dm (мм) : " , DM ) ;
fprintf ( fff , "\nВведіть діаметр отвору шпинделя Dot (мм) : " , DOT ) ;
fprintf ( fff , "\nВведіть діаметр шпинделя між опорами Dk (мм) : " , DK ) ;
fprintf ( fff , "\nВведіть введіть модуль пружності матеріалу шпинделя EPR
(H/мм) : " , EPR ) ;
fprintf ( fff , "\nВведіть кут між зусиллям різання і коловим GM (рад) : " , GM ) ;
fprintf ( fff , "\n Реакція в передній опорі в Н" , DK ) ;
fprintf ( fff , "\n  FR1 = %f" , FR1 ) ;
fprintf ( fff , "\n Реакція в задній опорі в Н" ) ;
fprintf ( fff , "\n  FR2 = %f" , FR2 ) ;
fprintf ( fff , "\n Прогин кінця шпинделя в мм" ) ;
fprintf ( fff , "\n  Y = %f" , Y ) ;
fprintf ( fff , "\n Кут повороту балки в передній опорі , в рад" ) ;
fprintf ( fff , "\n  ТЕТА = %f" , ТЕТА ) ;
fclose ( fff ) ;
return O ; }

```

3.1.4.5 Результати розрахунку та їх аналіз

- значення реакцій в передній FK1 = 3852.884277 Н, в задній FK2 = -858.321106 Н;
- прогин робочого кінця шпинделя Y = 0.00013 мм;
- кут повороту балки в передній опорі ТЕТА = 0.000003 рад

3.1.5 Розрахунок шпindelних опор

В якості опор шпindelного вузла прийнято комбінації підшипників кочення:

- на передній опорі - три шарикопідшипника радіально упорних типу 178600;
- на задній опорі - дворядний роликковий підшипник типу 67000.

3.1.5.1 Вихідні дані для розрахунку

а) номер опори:

- передня n_{on} - 6;
- задня n_{on} - 4.

б) тип підшипника:

- передньої опори $N_{podshl} = 178600$
- задньої опори $N_{podshl} = 67000$

в) число підшипників:

- передньої опори $kn_1 = 3$
- задньої опори $kn_2 = 1$

г) реакції опор:

- $FK1 = 3852.884277$ Н
- $FK2 = -858.321106$ Н

д) відношення внутрішнього діаметра підшипника до зовнішнього

- $BETA1 = 75/115 = 0.65$
- $BETA2 = 65/100 = 0.65$

е) внутрішній діаметр підшипників

- $DE1 = 75$ мм
- $DE2 = 65$ мм

ж) радіальна жорсткість підшипників

- $CKO1 =$

– $CKO1 =$

з) діаметри шариків

– $DSH1 = 10$ мм

– $DSH2 = 8$ мм

д) коефіцієнт податливості

– $DK1 = 75$

– $DK2 = 75$

і) радіальна податливість підшипників

– $DRO1 = 0.13067 \cdot 10^{-5}$

– $DRO2 = 0.13067 \cdot 10^{-5}$

к) коефіцієнт податливості

– $K2 = 1$

л) ширина підшипників

– $BE1 = 20$ мм

– $BE2 = 26$ мм

3.1.5.2 Методика розрахунку

Більше 95 % металоріжучих верстатів виготовляють з шпинделями на підшипниках кочення. Параметри цих опор в більшості визначають роботу шпиндельного вузла.

Наряду зі звичайними вимогами відносно роботоздатності, яка вимагається до підшипників кочення шпинделів, ставлять особливу умову, які закладаються в необхідності забезпечення високої точності обертання, підвищеної радіальної і осьової жорсткості. Довговічність підшипників кочення суттєво залежать від конструкції, якості виготовлення, технології монтажу, регулювання натягу і умов роботи шпиндельних вузлів.

Точність підшипників в значній мірі визначає точність обертання шпинделя. Але при цьому треба враховувати, що необґрунтований вибір шпинделя високого класу точності без забезпечення відповідної точності

спряження деталей, якості монтажу, регулювання зазорів приведе до нераціональних матеріальних розходів.

В окремих випадках верстатів доцільні відхилення від приведених рекомендацій. Наприклад, для верстатів нормальної точності, які використовуються для заготівельних операцій і чорнової обробки, можливо використовувати підшипники на один клас точності нижче.

В зв'язку з специфічністю вимог до опор шпинделя в верстатобудуванні використовують підшипники кочення спеціальних конструкцій, призначені для шпиндельних вузлів.

Для сприймання радіальних навантажень в опорах (особливо передніх) найбільш часто використовують двохрядні підшипники з циліндричними роликами типу 3182100 з посадкою на конічну шийку. При обмеженні діаметральних розмірів опор використовують підшипники типу 4162900 більш легкої діаметральної серії з буртиками на зовнішньому кільці. Подвійні конічні роликотпідшипники типу 2007100 встановлюють в передній опорі широкими торцями зовнішніх кілець в середину в цілях забезпечення максимальної жорсткості.

Для сприймання осьових навантажень використовують радіально-упорні підшипники В звичайному виконанні 3600, 4600, але частіше всього використовують радіально-упорі шарикотпідшипники типу 178600 з кутом контакту 60, які мають швидкохідність в 2...2.5 рази вищу, ніж у упорних шарикотпідшипників. В останній час використовують роликотпідшипники тонічні однорядні (тип 67000) і двохрядні (тип 697000) з упорним буртом на зовнішньому кільці, призначені для сприймання радіального і осьового навантаження, і однорядні зі вмонтованими в широке зовнішнє кільце пружинами –(тип 17000), які призначені для сприймання радіальних навантажень в задніх опорах.

При підвищенні вимог до швидкодійності використовують особливо швидкохідні радіально-упорі шарикотпідшипники 36000К, які збирають в комплекті по 2, 3 або 4. При відносно невеликій частоті обертання в опорах

шпинделя використовують шарикопідшипники, а для сприймання великих осьових навантажень - сферичні роликотпідшипники.

Вимоги до жорсткості підшипників диктуються жорсткістю шпиндельного вузла. Розробляючи верстат, треба враховувати податливість опор шпинделя, з тим, щоб забезпечити вимоги стандартів і спеціальних технічних умов.

Жорсткість підшипників визначається пружними наближеннями тіл кочення з кільцями і контактними деформаціями на поверхнях посадок кілець на шпиндель і в корпус. Розрахунок жорсткості опор кочення складається в наступній послідовності.

Визначаються реакції в передній і задній опорах шпинделя F_{r1} і F_{r2} . Для цього попередньо вибирають:

$$l = 3c \quad (4.19)$$

де c - виліт шпинделя.

Жорсткість опори (наприклад передньої) на підшипниках кочення

$$C_r = F_r / (\delta_r' \cdot \delta_r'') \quad (3.20)$$

де δ_r' - пружне зближення тіл кочення і кілець підшипника;

δ_r'' - контактні деформації на посадочних поверхнях підшипника, шпинделя і корпуса.

Для розрахунку двохрядного роликотпідшипника типу 3182100 на початку визначають радіальну податливість підшипника δ_{ro} при попередньому натягу $e = 0$

Обчислюють відносний зазор-натяг e / δ_{ro} . Коефіцієнт податливості k_δ зазначають по графіку [5].

Податливість підшипника

$$\delta_r' = k_\delta \cdot \delta_{ro} \quad (3.21)$$

Відповідно податливість посадочних поверхнею:

$$\delta_r'' = \frac{4 \cdot F_r \cdot k_2'}{\pi \cdot d \cdot b} \cdot (1 + \beta) \quad (3.22)$$

$$\text{де } \beta' = d / D \quad (3.23)$$

де d і D - відповідно внутрішній і зовнішній діаметри підшипників, мм;

b - ширина підшипника, мм;

k'_2 - коефіцієнт податливості $(0,005...0,025) 10^{-1}$, мм³/Н;

Менші значення k'_2 приймають для підшипників класу точності 2, при великих натягах і встановленні внутрішнього кільця на корпус.

Для одного конічного роликпідшипника типу 2007100 радіальну шорсткість можна прийняти на 25 % меншу в порівнянні з підшипником типу 3182100 того ж розміру.

Для дуплекса (пари) радіально-упорних шарикопідшипників жорсткість визначається в такій послідовності.

Вибирається сила осевого попереднього натягу F_a :

– для дуже високошвидкісних внутрішньошліфувальних шпинделів $F_a = 0,5 < 1$; для високошвидкісних і алмазно-розточних шпинделів $F_a = d$; для низькошвидкісних шліфувальних, токарних і розточних шпинделів $F_a = (2...3)d$.

Знаходять відношення F_a / c_o

де c_o - статична вантажопідйомність підшипника.

Коефіцієнт k_F вибирають по графіку в залежності від кута контакту β .

Обчислюють відношення F_a / c_o . Допоміжній коефіцієнт податливості k_R також знаходять по відповідному графіку.

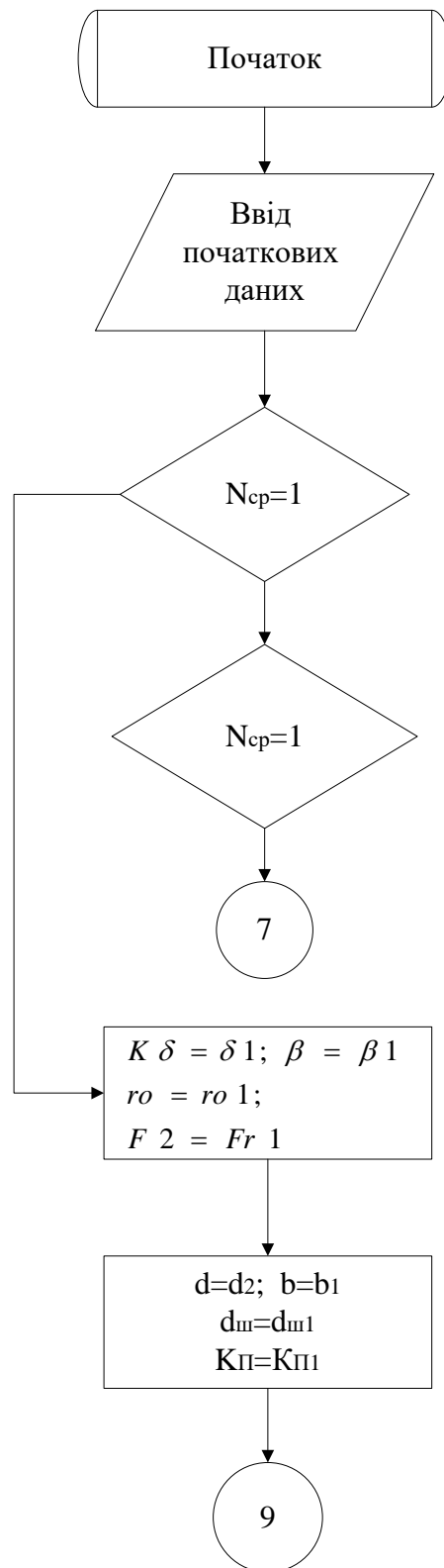
Величина пружного наближення кілець

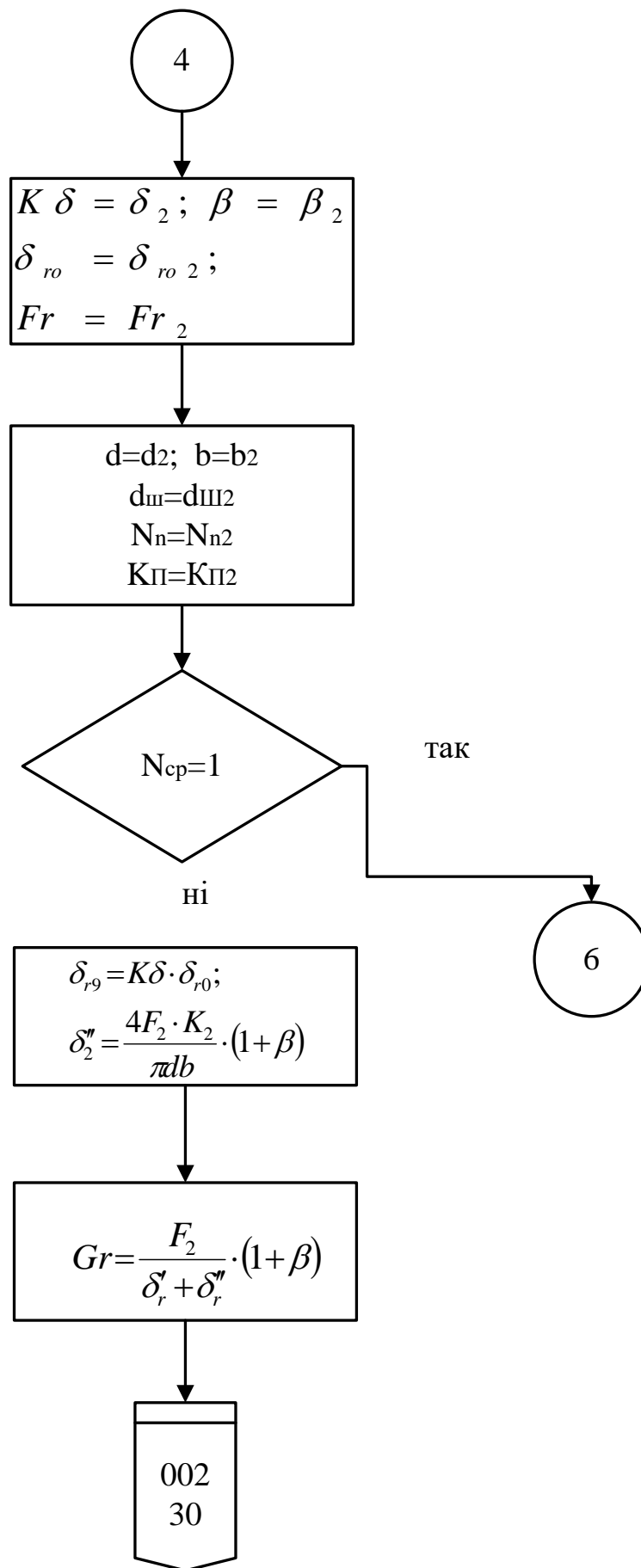
$$\delta'_r = 0.03 \cdot d_u \cdot k_R \quad (3.24)$$

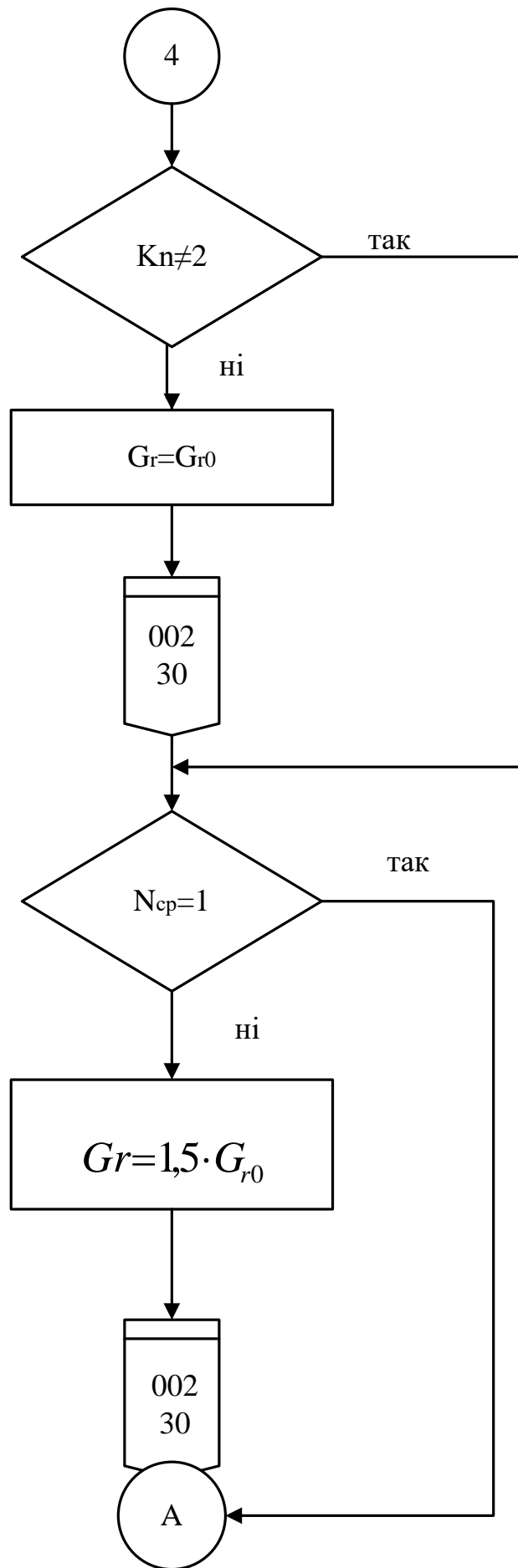
де d_u - діаметр кульок даного підшипника.

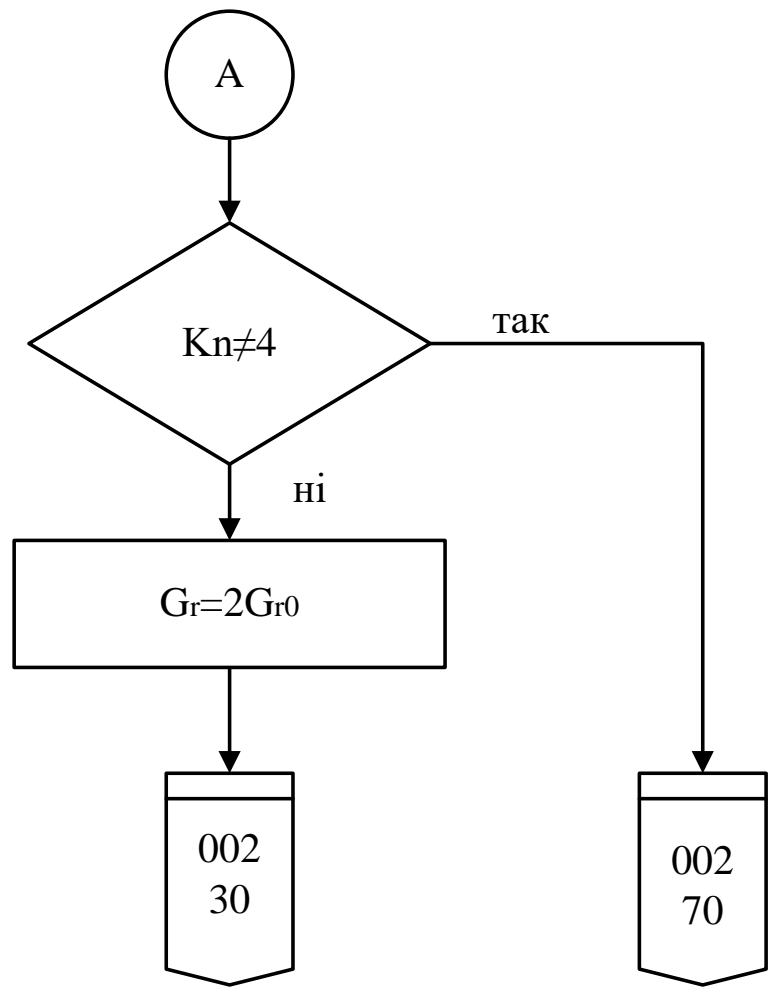
По залежності (4.23) знаходять пружне наближення на поверхні посадки кілець підшипників (ширина підшипника вказується подвійна). Потім використовуючи залежність (4.21), кінцево визначають радіальну жорсткість опори.

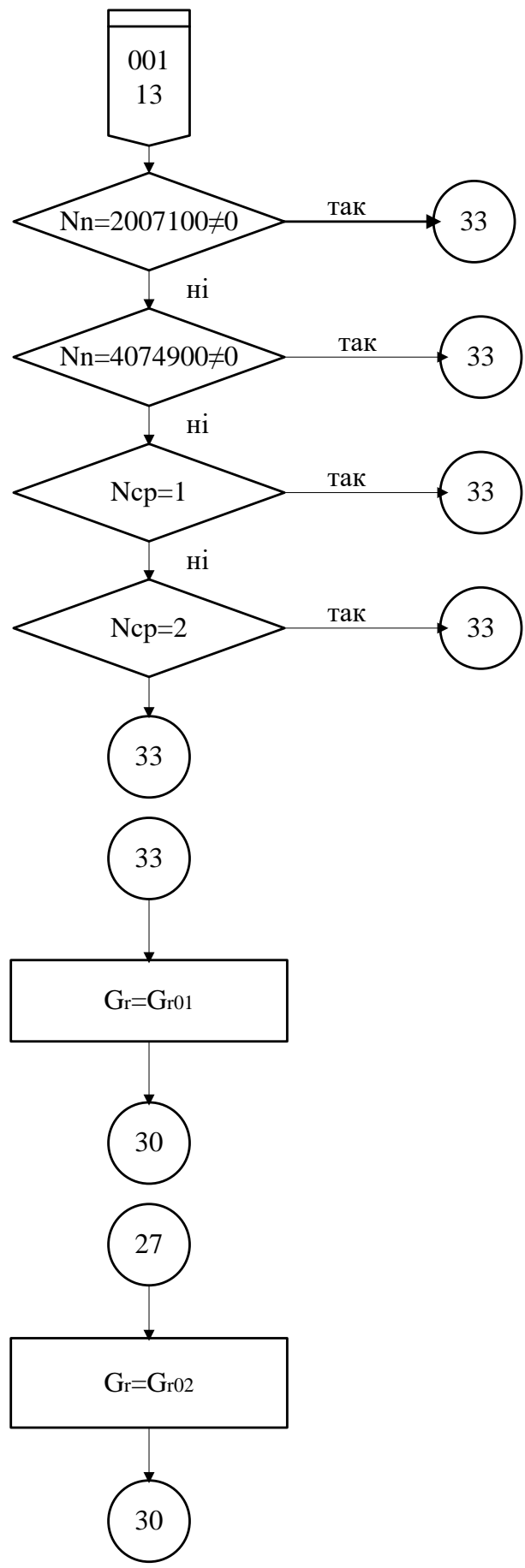
Блок-схема алгоритму розрахунку

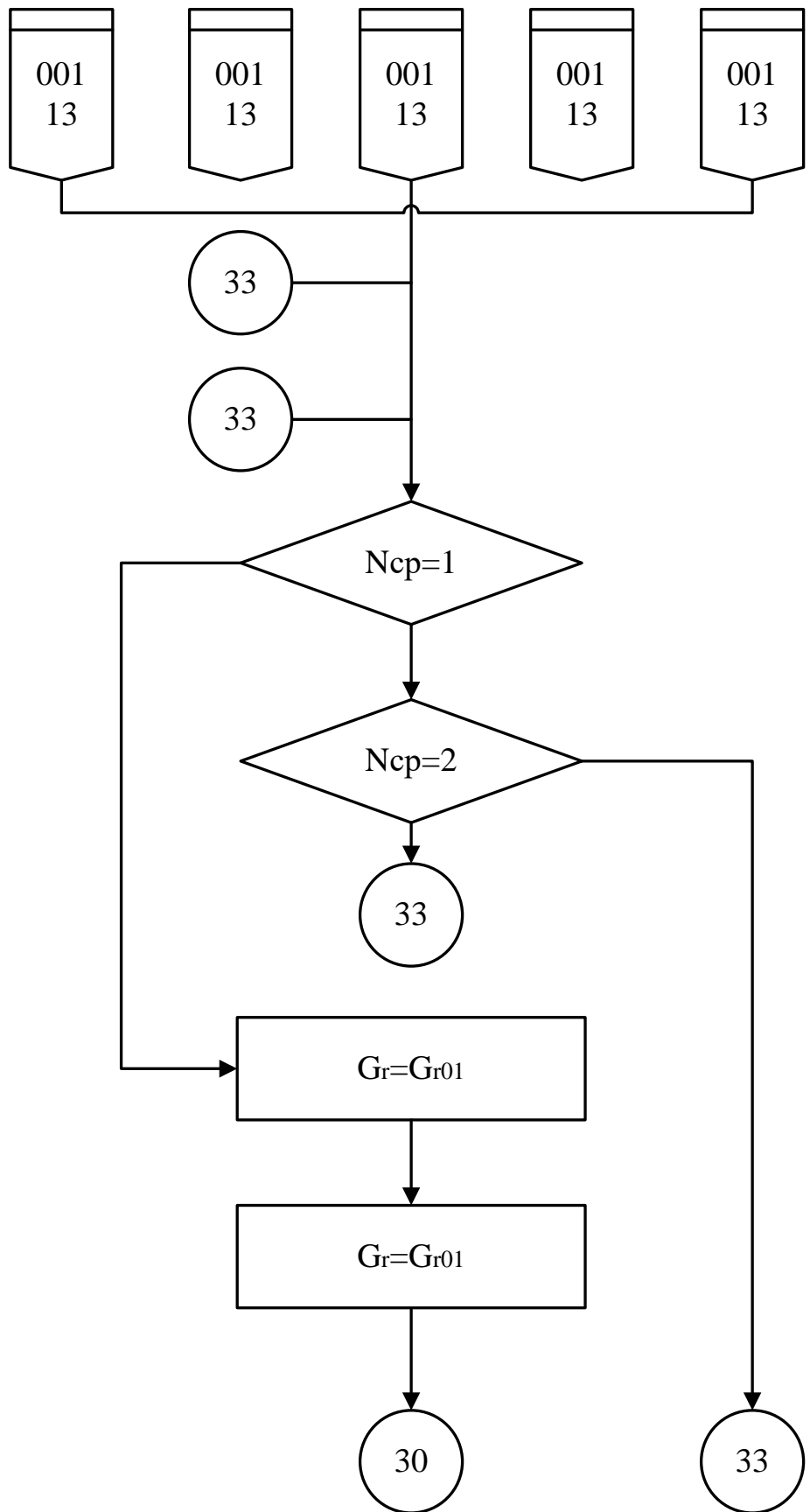


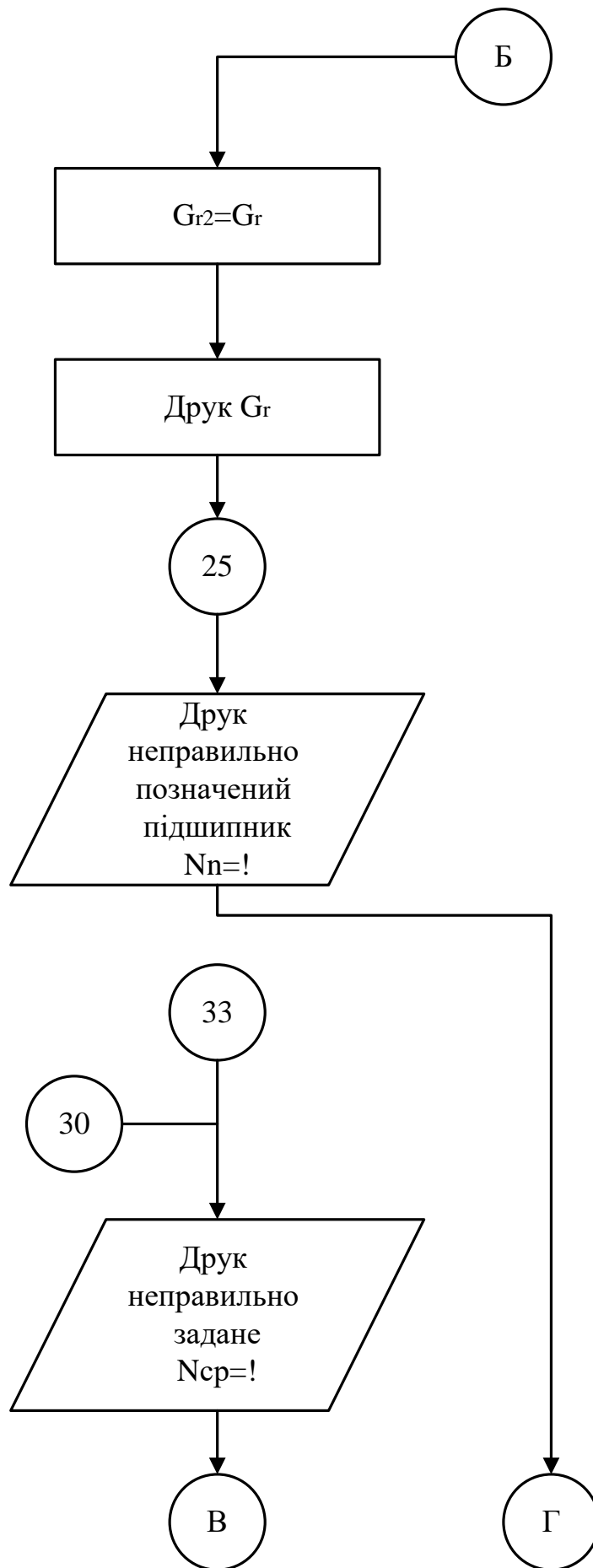


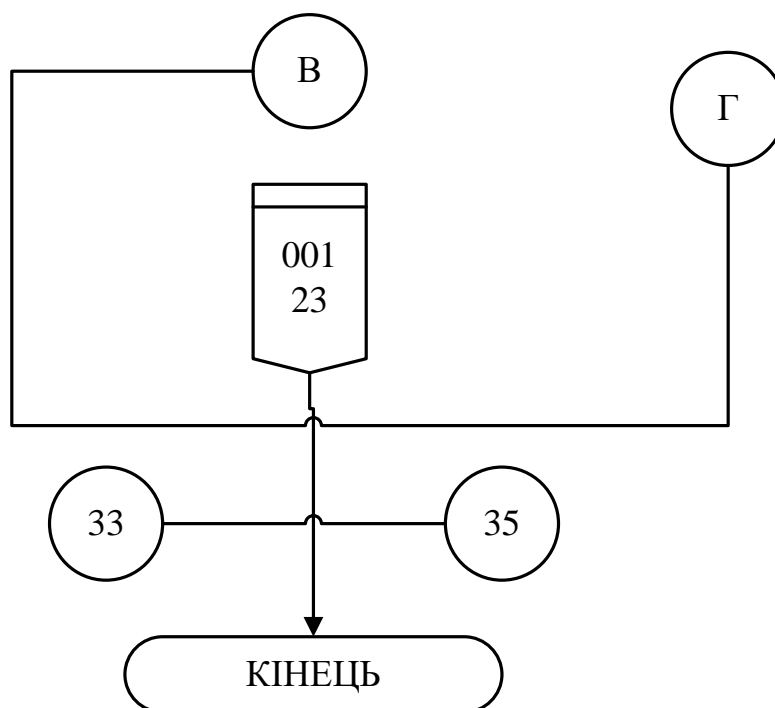












3.2 Конструкція та розрахунок несучої системи по осі X

Стіл переміщається по направляючих ковзання (прямокутна і V-подібна)

Поверхні тертя: фторопласт – чавун.

Привід стола здійснюється безпосередньо від електродвигуна на гвинт 63 x 10.

Вага переміщуваних вузлів $G = 800$ кг

Зусилля фрезерування $P_x = 350$ кг

При прискореному ході ($V = 15$ м/хв):

$$T_{\text{уск}} = F\sigma = \sigma / \zeta(1/\sin(\alpha/2) + 1) \quad (3.25)$$

де $\alpha = 90^\circ$ - кут зносу V- подібної направляючої

$$T_{\text{уск}} = 800 / 2 \cdot 0.06(1/0.707 + 1) = 58 \text{ кг}$$

Крутний момент на гвинті

$$M_{\text{б.уск}} = T_{\text{уск}} \cdot d_{\text{кг}} / 2 \text{tg}(\lambda \cdot \rho) \quad (3.26)$$

$$M_{\text{б.уск}} = (58 \cdot 5.876 / 2) 0.05513 = 9.4 \text{ кг см}$$

$L = 600$ мм – робоча довжина направляючих

Сила тертя на направляючих від дії сили $P_y = 350$ кг

$$F_{\text{тр.ру}} = P_y / 2\zeta(1/\sin \alpha + 1) \quad (3.27)$$

$$F_{mp.py} = 350 / 2 \cdot 0.06 \cdot (1 / 0.704 + 1) = 25 \text{ кг}$$

Тягове зусилля на гвинті

$$T_{роб} = F_{\sigma} + F_{TPpx} + F_{TPpy} + K \cdot Px \quad (3.28)$$

$$T_{роб} = 50 + 86 + 25 + 1.4 \cdot 350 = 695 \text{ кг}$$

Крутний момент на гвинті

$$M_{в.роб} = T_{роб} \cdot d_{кв} / 2tg \cdot (\lambda + \rho) \quad (3.29)$$

$$M_{в.роб} = 695 \cdot 5.876 / 2 \cdot 0.05513 = 106.7 \text{ кг см}$$

Потрібний робочий момент на валі двигуна

$$M_{дв.роб} = M_{bppo} + M_{хв.з.к} + M_{ххнідиу} \quad (3.30)$$

Потрібний момент на валі двигуна (в прискореному режимі)

$$M_{дв.уск} = M_{бyyc} + M_{хв.з.к} + M_{ххнідиу} \quad (3.31)$$

де $M_{хв.з.к} = 19.5 \text{ кг см}$ $M_{ххнідиу} = 38.7 \text{ кг см}$

$$M_{дв.роб} = 106.7 + 19.5 + 38.7 = 165 \text{ кг см} \quad M_{дв.уск} = 9.4 + 19.5 + 38.7 = 67.6 \text{ кг см}$$

Робоча подача:

Сила тертя на направляючих від згінного моменту, який створюється силою

$Px = 350 \text{ кг}$ (приймаємо, що питомі тиски розподіляються по довжині направляючих по закону трикутника).

$$F_{TPpx} = 2R\zeta \quad (3.32)$$

де $R = M_{зг} / (2/3)L \quad (3.33)$

$$M_{зг} = Px \cdot H_2 \quad (3.34)$$

$H_2 = 82.1 \text{ см}$ – відстань від верхнього торця оброблюваної деталі до серединної площини направляючих.

$$M_{зг} = 350 \cdot 82.1 = 28735 \text{ кг см} \quad R = 28735 / (2/3)60 = 718 \text{ кг}$$

$$F_{TPpx} = 2 \cdot 718 \cdot 0.06 = 86 \text{ кг}$$

Для установки прийнятій двигун до якого відносяться такі характеристики:

$$n_{дв.уск} = 1500 \text{ об/хв} - M_{уск} = 130 \text{ кг см}$$

при

$$n_{дв.роб} = 38 \text{ об/хв} - M_{роб} = 230 \text{ кг см}$$

В нашому випадку

$$M_{\text{дв.уск.потр}} = 67.6 \text{ кг см} < M_{\text{уск}} = 130 \text{ кг см}$$

$$M_{\text{дв.роб.потр}} = 165 \text{ кг см} < M_{\text{роб}} = 230 \text{ кг см}$$

Тобто двигун по статистиках забезпечує роботу привода.

Час перехідних процесів

$$t_n = 0.105 \cdot \Pi_{\text{уск}} (I + I_p) / M_{\text{дин}} - M_{\text{уск}} \quad (3.35)$$

$$t_n = 0.105 \cdot 1500 \cdot (0.317 + 0.19) / 520 - 67.6 = 0.18 \text{ сек} \quad t_n = 0.18 \text{ сее} < [t] = 0.2 \text{ сее}$$

Тобто двигун по динамічних характеристиках забезпечує роботу привода.

Для осі Х розраховуємо приведений до валу двигуна момент інерції приводу переміщення стола:

Момент інерції двигунів що обертаються (муфта, гвинт, підшипники):

$$I_{\text{оберт}} = \sum_{i=1}^5 I_i = (0.00817 \cdot 60.5 + 0.136 \cdot 245 + 0.630 \cdot 80 + 0.780 \cdot 74 + 0.121 \cdot 1280) \cdot 10^{-3} = 0.296 \text{ кг см сек}^2$$

Момент інерції поступального переміщення вузлів при крокові гвинта $t = 1 \text{ см}$:

$$I_{\text{пост}} = \sigma / g \cdot 0.25 \cdot t^2 / \pi^2 \quad (3.36)$$

$$I_{\text{пост}} = 800 / 981 \cdot 0.25 \cdot 1^2 / 3.14^2 = 0.0207 \text{ кг см сек}^2$$

Сумарний момент інерції

$$I = I_{\text{об}} + I_{\text{пост}} \quad (3.37)$$

$$I = 0.296 + 0.0207 = 0.317 \text{ кг см сек}^2$$

3.3 Розрахунок відтиску і кута повороту шпинделя при свердлінні

В розрахунку визначається відтиск шпинделя (в напрямку дії сили P_z) і кут повороту осі шпинделя відносно перпендикуляра до оброблюваної поверхні за рахунок деформації кутів і стиків верстату зі сторони шпиндельної головки і зі сторони виробу.

3.3.1 Відтиск і кут повороту вісі шпинделя за рахунок деформації стійки

В якості розрахункової схеми стійки розглядаємо консольну балку, висотою $H = 606 \text{ мм}$ (головка встановлюється в крайнє верхнє положення, яке відповідає виконанню операції свердління).

Площина Zy.

Стійка навантажена згінним зусиллям $P = 1000$ кг.

Відтиск шпинделя в напрямку сили (прогин стійки в місті прикладення сили:

$$\delta_{1zy} = (P \cdot H^3) / (3 \cdot E \cdot I_x) \quad (3.38)$$

де $E = 10^6$ кг/см² - модуль пружності чавуну

$I_x = 50.495 \cdot 10^4$ см⁴ - момент інерції січення стійки.

$$\delta_{1zy} = (1000 \cdot 60.6^3) / (3 \cdot 10^6 \cdot 50 / 495 \cdot 10^4) = 0.0015 \text{ мм}$$

Кут повороту осі шпинделя

$$\varphi_{1zy} = (P \cdot H^2) / (2 \cdot E \cdot I_x) \quad (3.39)$$

$$\varphi_{1zy} = (1000 \cdot 60.6^2) / (2 \cdot 10^6 \cdot 50.495 \cdot 10^4) = 0.0036 / 1000$$

$$X_C = (\Sigma(B_i, x_{H_i}, x_{y_i})) / (\Sigma B_i, x_{H_i}) = 49.04 \text{ см}$$

$$I_z = \Sigma G_i + \Sigma F_i (y_i - y)^2 = 605218.67 \text{ см}^2$$

Стійка навантажена крутним моментом

$$M_{кр} = P \cdot a \quad (3.40)$$

де $a = (130 + 790/2) = 525$ мм – відстань від осі шпинделя до осі, яка проходить через центр тяжіння січення стійки.

$$M_{кр} = 1000 \cdot 52.5 = 52500 \text{ кг см}$$

Кут повороту осі шпинделя (кут закручування стійки) в горизонтальній площині ХУ

$$\varphi_{1xy} = (M_{кр} \cdot H) / (G \cdot I_{кр}) \quad (3.41)$$

$$\varphi_{1xy} = (52500 \cdot 64.6) / (4 \cdot 10^5 \cdot 32.129 \cdot 10^4) = 0.026 / 1000$$

Відтиск шпинделя в напрямку сили P_z

$$\delta_{1zy} = \varphi_{1xy} \cdot a \quad (3.42)$$

$$\delta_{1zy} = (0.026 / 1000) \cdot 525 = 0.014 \text{ мм}$$

$$\delta_1 = \delta_{1zy} + \delta_{1xy} \quad (3.33)$$

$$\delta_1 = 0.015 + 0.014 = 0.0155 \text{ мм}$$

Дім розрахунку моменту інерції січення стійки при крученні січення розбиваємо на 2 замкнених контури.

Отже моменти інерції на цих контурах:

$$I_1 = S \cdot (\varphi_1 / t) \cdot ds + S \cdot ((\varphi_1 - \varphi_2) / t) \cdot ds = \varphi_1 \phi(ds / dt) - \varphi_2 \cdot S \cdot (ds / dt) \quad (3.44)$$

$$I_2 = S \cdot ((\varphi_2 - \varphi_1) / t) \cdot ds + S \cdot (\varphi_2 / t) \cdot ds = \varphi_2 \phi(ds / dt) - \varphi_1 \cdot S \cdot (ds / dt) \quad (3.45)$$

Позначимо:

$$K_1 = \Phi \cdot (ds / t) - \text{взятий по контуру}$$

$$K_2 = \Phi \cdot (ds / t_1) - \text{взятий по контуру}$$

$$K_{1,2} = S \cdot (ds / t) - \text{взятий по перемичці}$$

$$K_1 = 2 \cdot (l_1 / t_1) + 2(l_2 / t_2) \quad (3.46)$$

$$K_1 = 2 \cdot (305 / 25) + 2 \cdot (395 / 25) = 56$$

$$K_2 = l_4 / t_2 + l_4 / t + l_3 / t_1 \quad (3.47)$$

$$K_2 = 252.5 / 25 + 252.5 / 30 + 622.5 / 30 + 622.5 / 25 = 64.2$$

$$K_{1,2} = l_1 / t_1 \quad (3.48)$$

$$K_{1,2} = 305 / 25 = 12.2$$

$$F_1 = 30.5 \cdot 39.5 = 1204.75 \text{ см}^2$$

$$F_2 = 62.25 \cdot 25.25 = 1571.8 \text{ см}^2$$

Одержуємо систему двох рівнянь з двома невідомими:

$$\varphi_1 \cdot K_1 - \varphi_1 \cdot K_{1,2} = I_1 = 2G \cdot \tau \cdot F_1$$

$$-\varphi_1 \cdot K_{1,2} - \varphi_2 \cdot K_2 = I_2 = 2G \cdot \tau \cdot F_2 \quad (3.49)$$

$$\varphi_2 = (\varphi_1 K_1 - \varphi_1) / K_{1,2}$$

$$-\varphi_1 K_{1,2} = ((\varphi_1 K_1 - \varphi_1) / K_{1,2}) K_2 = I_1$$

$$-\varphi_1 K_{1,2}^2 + \varphi_1 K_1 K_2 - I_1 K_2 = I_2 K_{1,2}$$

$$\varphi_1 = I_1 K_{1,2} + I_2 K_2 / K_1 K_2 + K_{1,2}^2$$

$$A = K_1 K_2 + K_{1,2}^2$$

$$\varphi_1 = 2G \cdot \tau \cdot F_1 \cdot (K_2 / A + (F_2 / F_1)(K_{1,2} / A)) = 2G \cdot \tau \cdot F_1 \cdot \alpha_1$$

$$\varphi_2 = 2G \cdot \tau \cdot F_2 \cdot (K_1 / A + (F_1 / F_2)((K_1 K_2 \cdot A) / (AK_{1,2}))) = 2G \cdot \tau \cdot F_2 \cdot \alpha_2 \quad (3.50)$$

$$\alpha_1 = K_2 / A + (F_2 / F_1)(K_{1,2} / A) \quad (3.51)$$

$$\alpha_1 = 64.2/3446.4 + (1571.8/1204.75)(12.2/3446.4) = 0.023$$

$$A = 56 \cdot 64.2 - 12.2^2 = 3446.4$$

$$\alpha_2 = K_1 / F + F_1 / F_2 ((K_1 K_2 - 1) / K_{12}) \quad (3.52)$$

$$\alpha_2 = 56/3446.4 + 1204.75/1571.8((64.2 \cdot 56 - 1)/12.21) = 0.019$$

$$I = \alpha_1 (2F_1)^2 + \alpha_2 (2F_2)^2 \quad (3.53)$$

$$I = 0.023 \cdot (2 \cdot 1204.75)^2 + 0.019 \cdot (2 \cdot 1571.8)^2 = 32.129 \cdot 10^4 \text{ см}^4$$

3.3.2 Відтиск і кут повороту вісі шпинделя за рахунок контактних деформацій головки зі стійкою

Направляючі ковзання – використовується стрічка із наповненого фторопласта.

В площині ХУ стик навантажений моментом М і силою Р = 10000 Н

$$M = P \cdot a_1 \quad (3.54)$$

де $a_1 = 130 + 35 = 165$ мм – відстань від осі шпинделя до середньої площини направляючих.

$$M = 1000 \cdot 16.5 = 16500 \text{ кг см}$$

Кожна з направляючих навантажена силою

$$R = M / A \quad (3.55)$$

де $A = 470$ мм – відстань між середніми лініями направляючих (прямокутної і V – подібної)

$$R = 16500 / 47 = 3570 \text{ Н}$$

Середній тиск:

на прямокутній направляючій (працює основна грань)

$$G_{np} = R / aL \quad (3.56)$$

де $a = 16$ см – ширина основної грані.

$$G_{np} = 351 / 16 \cdot 50 = 1.56 \text{ МПа}$$

На V – подібній направляючій (працює планка)

$$G_v = R / cL \quad (3.57)$$

де $c = 4.5$ см – робоча ширина планки;

$L = 50$ см – робоча довжина направляючих.

$$G_v = 351 / 4.5 \cdot 50 = 1.56 \text{ МПа}$$

Кут повороту в стику

$$\varphi' = K(G_{np} + \xi \cdot G_v) / A \quad (3.58)$$

де $R = 4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3 / \text{кг}$ - коефіцієнт контактної податливості в стику чавун – і фторопласт.

$$\varphi' = 4 \cdot 10^{-1} (0.44 + 21.56) / 47 = 0.030 / 1000$$

Повний кут повороту з врахуванням зазору в направляючих

$$\varphi_2 = \Delta / A + \varphi' \quad (3.59)$$

де $\Delta = 0.03 \text{ мм}$ – зазор в направляючих.

$$\varphi_2 = 0.003 / 47 + 0.030 / 1000 = 0.093 / 1000$$

Відтиск шпинделя (в напрямку дії сили Р) від дії моменту М.

$$\delta_m = \varphi_2 \cdot a_1 \quad (3.60)$$

$$\delta_m = (0.093 \cdot 1000) \cdot 165$$

Відтиск шпинделя (деформація похилої грані V – подібної направляючої) під дією сили Р, прикладеної в площині направляючих.

$$\delta_p = K \cdot \sigma \cdot v' \quad (3.61)$$

де $\sigma v' = P / b' L \quad (3.62)$

Р – приведений горизонтальний тиск на V –подібний направляючий;

b' - проекція похилої грані на вертикальну площину

$$b' = b \sin \alpha \quad (4.63)$$

де $b = 110 \text{ мм}$ – ширина похилої грані

$$b' = 110 \cdot 0.707 = 77.77 \text{ мм}$$

$$\sigma v' = 1000 / 7.77 \cdot 50 = 2.57 \text{ МПа}$$

$$\delta_p = 4 \cdot 10^{-4} \cdot 2.57 = 0.01 \text{ мм}$$

$$\delta_2 = \delta_m + \delta_p \quad (3.64)$$

$$\delta_2 = 0.015 + 0.01 = 0.025 \text{ мм}$$

3.3.3 Відтиск шпинделя в результаті пружного повороту платформи в поздовжній осі направляючих

При повороті платформи визначається по формулі

$$\varphi_2 = (\Delta / L) + (12MC_\varphi C_\Delta K) / ((b_1 + b_2)L_3) \quad (3.65)$$

де M – згінний момент

$$M = PH = 1000 \cdot 75.6 = 75600 \text{ см}$$

$\Delta = 0.03$ мм – зазор в направляючих

$L = 1400$ мм робоча довжина направляючих

b_1, b_2 - приведена ширина направляючих

$b_1 = a_1 = 160$ мм - для прямокутної направляючої

$$b_2 = 1.4h \quad (3.66)$$

де $h = 80$ мм – висота призми

$$b_2 = 1.4 \cdot 80 = 112 \text{ мм}$$

C_φ - коефіцієнт, який враховує участь в роботі неповної довжини граней.

Значення C_φ приймається в залежності від величини μ по таблиці [2.3]

$$\mu = c' / \xi(a \cdot \cos^2 \alpha + b \cdot \cos^2 \beta) \quad (3.67)$$

де $\xi = 2$ - коефіцієнт, який враховує участь в роботі неповної довжини граней із за відгинання планки

$a = b = 113$ мм – довжина граней трикутної направляючої

$\alpha = \beta = 45$ – кут похилих граней трикутної направляючої

$c' = 42$ мм – довжина ділянки спряження планки з направляючою

$$\mu = 42 / 2(113 \cdot 0.707^2 + 113 \cdot 0.707^2) = 0.186$$

$$C_\varphi = 2.76$$

C_Δ - коефіцієнт, який враховує перерозподіл тисків по довжині направляючих в залежності від величини зазору і визначаються по графіку в залежності від відношення:

$$\Delta / (K \cdot \sigma_m) \quad (3.68)$$

де σ_m - найбільший номінальний тиск від моменту M

$$\sigma_m = 6M / ((b_1 + b_2)L^2) \quad (3.69)$$

$$\sigma_m = 6 \cdot 75600 / ((16 + 11.2)140^2) = 0.851 \text{ МПа}$$

K – коефіцієнт контактної податливості в стику чавун – фторопласт

$$K = 2K' \quad (3.70)$$

де $K = 2 \text{ мкм см}^2/\text{кг}$ – коефіцієнт контактної податливості в стику чавун - чавун;

коефіцієнт “2” враховує збільшення коефіцієнта при використанні фторопласта.

$$K = 2 \cdot 2 \text{ мкм см}^2 / \text{кг} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3 / \text{кг}$$

$$C_\Delta = 1.5$$

Тоді:

$$\varphi_2 = (0.003/140) + ((12 \cdot 75600 \cdot 2.76 \cdot 1.5 \cdot 4 \cdot 10^{-4}) / ((16 + 11.2)1403)) = 0.042/1000$$

Віджим шпинделя (в напрямку дії сили P)

$$\delta_3 = \varphi \cdot H_1 \quad (3.71)$$

$$\delta_3 = (0.042/1000) \cdot 796 = 0.033 \text{ мм}$$

3.3.4 Відтиск і кут повороту шпинделя в результаті згину станини

$$M = PH \quad L = 1247$$



Рисунок 3.2 – Розрахункова схема

Кут повороту (в кінцевий січення)

$$\varphi_4 = (Ml / 3EI_{cm})(l + 0.5) = 0.5(Ml / EI_{cm}) \quad (3.72)$$

де M – згінний момент

$$M = 1000 \cdot 140.6 = 140600 \text{ кг см}$$

$E = 10 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ - модуль пружності чавуну;

$L = 124.7 \text{ см}$ – розрахункова довжина ділянки станини, що згинається

(відстань від осі стола виробу до осі стійки);

Від осі стола виробу до осі стійки);

$I_{cm} = 7,91 \cdot 10^4$ см – момент інерції січення станини;

$$\varphi_4 = 0.5(140600 \cdot 124.7 / 10^6 \cdot 7.91 \cdot 10^4) = 0.111 / 1000$$

Переміщення осі шпинделя (в напрямку дії сили Р)

$$\delta = \varphi \cdot H \quad (3.73)$$

$$\delta = (0.111 / 1000) \cdot 1406 = 0.156 \text{ мм}$$

$$I_{kc} = \sum F_i (y_i - y_c)^2 + \sum (b_i h_i^3 / 12) \quad (3.74)$$

$$I_{kc} = 66406 + 12656 = 7.91 \cdot 10^4 \text{ см}^4$$

3.4 Конструкція та розрахунок стола верстатного комплексу

3.4.1 Визначення необхідного моменту двигуна приводу поворотного стола

Вихідні дані:

Вага поворотного стола з встановленими на ньому деталями – $G = 300$ кг

Направляючі поворотного стола – стрічка наповнена фторопластом.

Стіл обертається зі швидкістю, яка відповідає номінальному числу обертів двигуна - $n_{ном} = 750$ об/хв.

Зусилля піджиму по другому черв'яку, яке здійснюється пружиною і забезпечує натяг в зубах обох черв'ячних передач - $P_{np} = 220$ кг.

Привід поворотного стола забезпечує тільки установочне переміщення, тому вибір двигуна здійснюється для режиму відсутності різі.

Момент на столі (на черв'ячному колесі):

$$\eta_{ч.к} = tg \lambda / tg(\lambda + 2\rho) \quad (3.75)$$

де $\lambda = 4$ – кут підйому витка по ділильному циліндру;

$\rho = 2$ – кут тертя

Коефіцієнт “2” при куті тертя враховує додаткові втрати, які виникають на другій черв'ячній передачі з підпружиненим двигуном.

$$\eta_{ч.к} = 0.07692 / 0.16134 = 0.476$$

$$V = \tau \cdot d_4 \cdot n_4 / 60000 \cdot \cos \cdot x \quad (3.76)$$

де $d_4 = 52$ мм – діаметр черв'яка;

$n_4 = 750$ об/хв. – число обертів черв'яка (відповідає роботі двигуна з номінальним числом обертів);

$\eta_{з.п} = 0.98$ - К.К.Д. зубчатої передачі;

$\eta_{н.к} = 0.995$ - К.К.Д. підшипника кочення;

$\eta_{р.п} = 0.98$ - К.К.Д. плоско зубчатої передачі.

Вибираємо болгарський високомоментний двигун постійного струму 21МВН з номінальним моментом $M_{ном} = 21$ НМ.

$$M_k = M_{тр} + M_{рпр} \quad (3.77)$$

де $M_{тр}$ - момент сили тертя;

$$M_{тр} = G(D_{ср} / 2) \cdot F \quad (3.78)$$

де $D_{ср}$ - середній діаметр:

$$D_{ср} = 295 + 330 / 2 = 312.5 \text{ мм}$$

$M_{рпр}$ - прикладення сили тертя – момент, який створює пружина:

$M_{рпр} = P_{пр} \cdot d_k / 2$ мм – діаметр черв'ячного колеса

де $d_k = 19.2$ мм – діаметр черв'ячного колеса

$$M_{рпр} = 220 \cdot 2 / 2 = 2112$$

$$M_{тр} = 300 \cdot (312.5 / 2) \cdot 0.06 = 286 \text{ кг см}$$

$$M_k = 286 + 2112 = 2398 \text{ кг см}$$

Потрібний момент на валу двигуна

$$M_{дв.номр} = M_k / i \eta \quad (3.80)$$

де $i = 48$ – передаточне відношення приводу;

η - К.К.Д. приводу:

$$\eta = \eta_{чп} \cdot \eta_{зп}^3 \cdot \eta_{нк}^{10} \cdot \eta_{рп} \quad (3.81)$$

$$\eta = 0.476 \cdot 0.941 \cdot 0.951 \cdot 0.98 = 0.417$$

$$M_{\text{дв.номр}} = 2398 / 48 \cdot 0.417 = 120 \text{ кг см} = 11.8 \text{ Н м}$$

Перевіряємо умову:

$$M_{\text{дв.номр}} = 11.8 \text{ Н м} < M_{\text{ном}} = 21 \text{ Н м}$$

Умова виконується.

3.4.2 Вибір зусилля пружини

Зусилля натягу, яке створюється пружиною вибране з умови вибірки зазорів в передачі при розточуванні.

Осьова складова зусилля різання, яка відповідає розточуванню діаметра 40 мм з глибиною різання $t = 3$ мм подачею $s = 0.4$ мм/об і швидкістю різання $V = 50$ м/хв.

Складає:

$$P_x = 339 \cdot t \cdot S^{0.5} \cdot V^{-0.4} \quad (3.82)$$

$$P_x = 339 \cdot 3 \cdot 0.4^{0.5} \cdot 50^{-0.4} = 134 \text{ Н}$$

Момент на столі (на черв'ячному колесі), який утворює сила $P_x = 34$ кг на максимальному радіусі $r = 150$ мм:

$$M_{\kappa} = P_x \cdot r \quad (3.83)$$

$$M_{\kappa} = 134 \cdot 15 = 2010 \text{ Нм}$$

Осьове зусилля на черв'яку:

$$P_{oc} = 2M_{\kappa} / d_{\kappa} \quad (3.84)$$

$$P_{oc} = 2 \cdot 2010 / 192 = 2090 \text{ Н}$$

3.4.3 Розрахунок черв'ячної передачі

Вихідні дані:

Модуль передачі $m = 4$ мм

Число зубів колеса $z_{\kappa} = 48$

Число заходів черв'яка $z_{\psi} = 1$

Число модулів в діаметрі черв'яка $g = 13$

Кут підйому витків черв'яка $\lambda = 4$

Матеріал черв'яка – сталь HRC > 45

Матеріал черв'ячного колеса – БрОЦС 5-5-5

Розрахунок передачі виконуємо для двох розрахункових режимів:

А) установче переміщення стола від двигуна 21МВН;

Б) свердління зусиллям $P_z = 1000$ кг на радіусі $r_1 = 130$ мм; або фрезерування з зусиллям $P_y = 350$ кг на радіусі $r_2 = 160$ мм.

А) установче переміщення:

Крутний момент на колесі

$$M_k = M_{\text{дв}} \cdot i \cdot \eta \quad (3.85)$$

де $M_{\text{дв}} = 21$ Н м – момент на двигуні;

$i = 48$ – передаточне відношення;

$\eta = 0.417$ – К.К.Д. приводу.

$$M_k = 314 \cdot 48 \cdot 4283$$

Напруження згину

$$\sigma_{32} = 600 M_k / z_k m^3 Y \gamma \quad (3.87)$$

де $Y = 0.314$ – коефіцієнт форми зуба:

$$\sigma_{32} = 600 \cdot 4283 / 48 \cdot 4^3 \cdot 0.134 \cdot 90 = 5.3 \text{ МПа} < [\sigma]_{32} = 6 \text{ МПа}$$

де $[\sigma]_{32}$ - допустиме напруження на згин

Міцність згину забезпечується.

Питомі тиски

$$\sigma_k = \frac{5000}{m z_k} \sqrt{\frac{M_k}{d_r j}} \quad (3.87)$$

де $d_r = m g = 4 \cdot 13 = 52$ - діаметр черв'яка

$$\sigma_k = \frac{5000}{4 \cdot 48} \sqrt{\frac{4283}{52 \cdot 90}} = 24.9 \text{ кг / мм}^2 > [\sigma]_k = 20 \text{ МПа}$$

де $[\sigma]_k$ - допустимі питомі тиски

Питомі тиски вищі за допустимі, але враховуючи короткочасну роботу передачі, одержані питомі тиски можна вважати допустимими.

Б) свердління з зусиллям $P_z = 1000$ кг, або фрезерування зусиллям $P_y = 350$ кг.

Момент на черв'ячному колесі при свердлінні:

$$M_{к.св} = P_z \cdot r_1 \quad (3.88)$$

$$M_{к.св} = 1000 \cdot 13 = 13000$$

При фрезеруванні:

$$M_{к.фр} = P_y \cdot r_2 \quad (3.89)$$

$$M_{к.фр} = 350 \cdot 16 = 2600$$

Розрахунок ведемо по максимальному моменті на колесі $M_k = M_{\max} = 13000$ кг см

Напруга згину

$$\sigma_{зг} = 600M_k / z_k m^3 Y \gamma \quad (3.90)$$

$$\sigma_{зг} = 600 \cdot 13000 / 48 \cdot 4^3 \cdot 0.134 \cdot 90 = 16.2 \text{ МПа} > [\sigma]_{зг} = 6 \text{ МПа}$$

Питомий тиск

$$\sigma_k = \frac{5000}{m z_k} \sqrt{\frac{M_k}{d_r j}} \quad (3.91)$$

$$\sigma_k = \frac{5000}{4 \cdot 48} \sqrt{\frac{13000}{52 \cdot 90}} = 43.4 \text{ кг} / \text{мм}^2 > [\sigma]_k = 20 \text{ МПа}$$

Напруження згину і питомі тиски набагато вищі від допустимих. Міцність передачі не забезпечується. Для того, щоб забезпечувалось міцність черв'ячної передачі при різанні крутний момент, який створений силами різання на столі не повинен перевищувати величину $M_{риз} = 2760$ кг см.

При цьому міцність черв'ячної передачі буде забезпечуватись.

$$\sigma_k = 600 \cdot 2760 / 48 \cdot 4^3 \cdot 0.134 \cdot 90 = 3.45 \text{ МПа} > [\sigma]_{зг} = 6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_k = \frac{5000}{4 \cdot 48} \sqrt{\frac{2760}{52 \cdot 90}} = 20 \text{ МПа} > [\sigma]_k = 20 \text{ МПа}$$

3.4.4 Розрахунок циліндричної прямозубої передачі

Вихідні дані:

Число зубів шестерні - $z_1 = 34$

Число зубів колеса - $z_2 = 34$

Модуль передачі - $m = 2.5$ мм

Передаточне число - $i = 1$

Ширина шестерні - $b_1 = 30$ мм

Ширина колеса - $b_2 = 30$ мм

Крутний момент на шестерні

$$M_1 = M_{\text{дв}} \eta_{\text{зн}} \quad (3.92)$$

де $M_{\text{дв}} = 214$ кг см – крутний момент

$\eta_{\text{зн}} = 0.98$ - К.К.Д. зубчасто - ремінної передачі

$$M_1 = 214 \cdot 0.98 = 209.72$$

Число обертів шестерні

$$n_1 = n_{\text{дв}} = 750 \text{ об/хв}$$

Кругова швидкість:

$$V = \pi \cdot m \cdot z_1 \cdot n_1 / 60000 \quad (3.93)$$

$$V = 3.14 \cdot 2.5 \cdot 34 \cdot 750 / 60000 = 3.3 \text{ м/сек}$$

Напруження згину

$$\sigma_{\text{ч1}} = (6.35 / (m^2 \cdot b_1 \cdot z_1 \cdot y_1)) M_1 (1 / K_v) \quad (3.94)$$

$$\sigma_{\text{ч2}} = \sigma_{\text{ч1}} (y_1 \cdot b_1 / y_2 \cdot b_2) \quad (3.95)$$

де $y_1 = y_2 = 0.116$ - коефіцієнт форми зуба

$K_v = 0.67$ - швидкісний коефіцієнт.

$$\sigma_{\text{ч1}} = (6.35 / (2.5^2 \cdot 34 \cdot 34 \cdot 0.116)) \cdot 210 \cdot (1 / 0.67) = 2.3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{ч2}} = 2.3 \cdot (0.116 \cdot 34 / 0.116 \cdot 30) = 2.6 \text{ кг/мм}^2$$

Питомі тиски:

$$\sigma_{\text{к}} = \frac{c}{m z_k} \sqrt{\frac{i+1}{i b_{\text{мін}}} \cdot \frac{M_k}{k_v}} \quad (3.96)$$

$$\sigma_{\text{к}} = \frac{670}{2.5 \cdot 34} \sqrt{\frac{1+1}{1 \cdot 30} \cdot \frac{210}{0.67}} = 36 \text{ МПа}$$

В нашому випадку матеріал – Ст. 45У

Для даного матеріалу допустимі напруження на згин $[\sigma]_{\text{зг}} = 18 \text{ МПа}$, контактні -

$$[\sigma]_k = 50 \text{ МПа}$$

Отже міцність передачі забезпечується.

3.4.5 Розрахунок передачі зубчастим пасом

Вихідні дані:

Число зубів - $z_1 = z_2 = 18$

Передаточне число - $i = 1$

Номінальна потужність на ведучому валу передачі

$$N_{ном} = M \cdot n_{ном} / 97500 \quad (3.97)$$

$$N_{ном} = 214 \cdot 750 / 97500 = 1.65 \text{ кВт}$$

Розрахункова частота обертання ведучого шківa (номінальна частота обертання двигуна) $n = n_{ном} = 750$ об/хв..

Модуль передачі $m = 7$ мм

Передача без натяжних ременів

Розрахункова потужність передачі:

$$N_p = N_{ном} \cdot C_p \quad (3.98)$$

де $C_p = 1.6$ – коефіцієнт режиму роботи

$$N_p = 1.65 \cdot 1.6 = 2.64 \text{ кВт}$$

Колова швидкість ременя

$$V = \pi \cdot d_1 \cdot n_1 / 60 \cdot 1000 \quad (3.99)$$

де $d_1 = m \cdot z_1 = 7 \cdot 18 = 126$ мм – діаметр ділильного кола шківa

$$V = 3.14 \cdot 126 \cdot 750 / 60 \cdot 1000 = 4.95 \text{ м/сек}$$

Розрахункова питома кругова сила, яка передається пасом:

$$F_y = [F]_0 \cdot C_k \cdot C_z \cdot C_u \quad (3.100)$$

де $[F]_0 = 32$ Н/мм – допустима питома кругова сила, яка передається пасом шириною 8 мм при модулі $m = 7$ мм;

$C_k = 1$ - коефіцієнт, який враховує передаточне число ($i=1$);

$C_z = 1$ - коефіцієнт, який враховує число зубів ременя, які знаходяться в

зачепленні з меншим шківом ($z_0 = 9 > 6$);

$C_n = 1$ - коефіцієнт, що враховує наявність натяжних роликів (натяжні ролики відсутні (кут охолодження ременем $\alpha = 180$))

$$F_y = 32 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 32 \text{ Н/мм}$$

Число зубів, які знаходяться в зачепленні з шківом:

$$z_0 = z_m \cdot \alpha / 360 \quad (3.101)$$

$$z_0 = 18 \cdot 180 / 360 = 9 > 6$$

Необхідна швидкість паса, яка забезпечує передачу кругового зусилля.

$$b' = F_p / (F_y - qV^2) \quad (3.102)$$

де $q = 8 \cdot 10^{-3}$ кг/мм – маса 1 м паса шириною 1 м

$$b' = 533 / (32 - 8 \cdot 10^{-3} \cdot 4 / 95^2) = 16.7 \text{ мм}$$

Потрібна ширина паса з врахуванням коефіцієнта $C_m = 0.95$

$$b = b' / C_m \quad (3.103)$$

$$b = 16.7 / 0.95 = 18 \text{ мм}$$

Потрібна ширина паса з умови забезпечення міцності по питомим тискам:

$$b = F_p \cdot \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \psi_3 \cdot [p]_z / z_0 \cdot h \quad (3.104)$$

ψ_1, ψ_2, ψ_3 - коефіцієнти, які враховують нерівномірне розподілення кругової сили зубами паса по дузі обхвату, висоті і довжині зубів ременів $[p]_z = 1.2$ МПа - допустимий тиск на зуби паса

$$b = 533 \cdot 1.2 \cdot 1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.2 / 9 \cdot 6 = 24 \text{ мм}$$

Отже потрібна ширина паса $b = 24$ мм

Приймаємо пас $b = 30$ мм

3.5 Опис конструкції та призначення палети

Палета - це основа пристосування - супутника для закріплення на ній елементів установаження і закріплення заготовки.

Формування палети ведеться заздалегідь, на окремій механоскладальній ділянці з відповідними контрольними операціями. Враховуючи, що верстати з ЧПК обслуговують одиничне, та дрібносерійне виробництво, то на палетах

повинні мати можливість установки заготовки різного типу і, відповідно, різні кріпильні елементи.

Установка, базування палети в планшайбі стола здійснюється по бокових (торцевих) поверхнях, які мають У-подібні пази, стосовно направляючих планшайби. Площина палети, обернена до площини планшайби містить поверхні, за допомогою яких проходить базування та фіксація палети стосовно вісі обертання планшайби.

Протилежна площина містить пази, елементи які дозволяють установлювати за допомогою їх кріпильні деталі.

Останні в свою чергу забезпечують орієнтацію та закріплення на палеті. Установка та знімання палети з планшайби здійснюється за допомогою портального робота, або спеціальними гідравлічними штовхачами.

Транспортування палети у зону верстатного комплексу забезпечується наземним транспортером з подальшим переміщенням на перекантувачі, які змінюють положення палети поворотом її на 90 стосовно площини планшайби.

3.6 Інструментальне забезпечення проектного верстатного комплексу

3.6.1 Опис та обґрунтування інструментального забезпечення верстатного комплексу

Функціонування верстатного комплексу неможливе без належного інструментального забезпечення, Верстатні комплекси з ЧПК є широко універсальними, забезпечують великий діапазон токарних, свердлильних, фрезерних, різьбонарізних, рідше шліфувальних операцій, виконання яких можливе при наявності відповідних ріжучих інструментів. Такий об'єм і відповідну номенклатуру інструментів забезпечує наявність інструментальних магазинів, які можуть мати різні форми і різне розміщення стосовно металорізального верстату. Першочерговий вплив компоновочно-конструктивні особливості магазину має компоновки верстату. Стосовно прийнятих компоновок верстату та магазину приймаються компоновочно-конструктивні

рішення щодо транспортних засобів по переміщенню інструменту від магазину до шпindelного вузла, забезпечуючи належну його орієнтація та точність позиціювання.

Проаналізувавши ряд різних конструктивних варіантів інструментальних магазинів для прийнятої компоновки верстатного комплексу приймаємо дисковий інструментальний магазин, розміщений на консольній стійці ззаду верстата та вертикальною віссю повороту. Консольна конструкція несучої стійки дає можливість максимально наблизити його до верстату, а під магазином розмістити ряд інших інженерних розробок - гідростанцію, стружко- утильно-відвідні механізми.

При вертикальному розміщенні вісі магазину ідентичне розміщення мають вісі наявних в ньому ріжучих інструментів. При горизонтальному розміщенні вісі шпindelа вісі інструментів в магазині не співпадають зі шпindelем, що вимагає при транспортуванні їх переорієнтації. Така роль покладається у верстатах на кантувачі, які забезпечують зміну положення інструменту з подальшою передачею його автооператору.

Маніпуляції з інструментом по транспортуванню його від кантувача до шпindelа з подальшою установкою його в шпindelний вузол і навпаки покладаються на автооператор. Таким чином, в склад інструментального забезпечення верстатного комплексу входить інструментальний магазин, кантувач та автооператор, пов'язані між собою в єдиний виробничий цикл по забезпеченню шпindelного вузла ріжучим інструментом. Кантувач розміщується на підтримуючій магазин консолі збоку. Автооператор відповідно кріпиться до станини і площа дії його робочого органа єдина з площиною торця шпindelа та дії кантувача.

Схема інструментального забезпечення представлена на рисунку 3.10.

3.6.2 Конструкція та розрахунок інструментального магазину

3.6.2.1 Опис конструкції та принципу роботи

Інструментальний магазин верстатного комплексу представляє собою

автономний незалежний агрегат призначений для розміщення в ньому 30 інструментів, постачання ними верстату і пов'язаний в єдиний виробничий цикл за допомогою системи ЧПК.

Несучою системою магазину є консольна стійка поз. 1, закріплена на фундаментній підлозі цеху. На платформі консольної горизонтальної частини стійки монтується в підвішеному стані інструментальних диск поз 11, 14 разом із системою приводу поз. 8 його повороту. Диск має 30 гнізд для розміщення в них налагоджених інструментальних наладок з конічними оправками 40 СТС 7131858-74.

Фіксація інструменту в гніздах диску забезпечується під пружинними губками поз.18.19. Пружний стан губок забезпечують дві пружини поз. 22. Відмічені губки працюють як заціпки. Пружність пружин забезпечує надійність фіксації інструменту та його утримання в гніздах диск під час повороту. Установка інструменту в гнізда та забір його забезпечується радіальними переміщеннями відносно диска кантувача.

Інструментальний диск по мірі потреби отримує почерговий поворот на певний кут забезпечуючи доставку в зону роботи кантувача необхідний інструмент. Величина кута повороту регламентується командами від системи ЧПК.

В систему приводу інструментального магазину входить високомоментний двигун черв'ячний редуктор, який забезпечує значне пониження частотних характеристик приводу забезпечуючи необхідну точність і плавність повороту диску.

На консольній платформі збоку інструментального диска змонтовано кантувач поз. 8, зона дії якого перебуває в площині перпендикулярній до площини роботи автооператора та торця шпинделя.

Робота інструментального магазину проходить слідуючим чином. По команді від системи ЧПК електродвигун приводу повороту отримує певне число пульсів, забезпечуючи поворот диска на певний кут. Контроль точності повороту забезпечується шляховими датчиками. Після позиційованого повороту вмикається

в роботу кантувач, який отримує радіальне переміщення в сторону диска, захоплює за хвостовик інструмент, відходить назад у висхідне положення і в наступному здійснює його поворот на 90, переносячи в зону роботи автооператора. Передавши автооператору новий інструмент, кантувач забирає відпрацьований і зворотним шляхом доставляє його в інструментальних магазин стосовно його місця знаходження.

Пошук конкретного інструменту ведеться по кодових кулачках установлених на хвостовику інструменту.

3.6.2.2 Розрахунок потужності електродвигуна повороту інструментального магазину

Надійність роботи інструментального магазину забезпечується підбором типу електродвигуна, його потужності. Високомоментні двигуни забезпечують безступеневе регулювання частотних характеристик в межах певного діапазону. Для таких двигунів характерними є діапазони з постійною потужністю P_{const} і постійним моментом M_{const} .

Механізми подач, механізми різних допоміжних рухів працюють невеликий проміжок часу, миттєво, їхня робота супроводжується частковими перевантаженнями і найбільшим режимом роботи. В більшості вони працюють по трикутному або трапецеїдальному законам, для яких характерні зони розгону, зони гальмування.

Основний вплив на величину потужності двигуна чинить час роботи механізму і маса переміщуваних вузлів. Як було відмічено вище, в кінематичний ланцюг приводу повороту інструментального магазину з метою збільшення крутного моменту та зменшення швидкості повороту включено черв'ячну передачу.

Орієнтовно приймаємо, що вага поворотних частин інструментального магазину складає біля 550 кг.

Установлюємо швидкість повертання магазину $n = 5$ хв-1 час розгону та гальмування $\tau = 0.5...2$ с

Відмічені дані є основними при розрахунку необхідної потужності електродвигуна. Маса інструментального магазину:

$$m = G / q \quad (3.105)$$

$$m = 550 / 9.81 = 56.5 \text{ (кг с сек}^2\text{)} / \text{м}$$

Інструментальний магазин разом із інструментом представляє складну конструкцію, основна маса якої зосереджена в інструментах, тобто на периферії.

Можна умовно прийняти конструкцію у вигляді пустотілого циліндра. Вісь обертання магазину проходить через центр ваги.

Поворот здійснюється відносно вісі Y. Відповідно момент інерції відносно вісі Y буде $J_y = m/2(R^2 + r^2)$ (4.106)

Приймаємо: R = 450мм

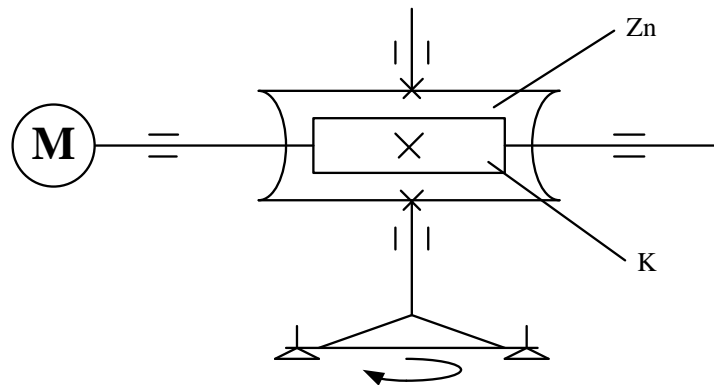


Рисунок 3.3 - Кінематична схема приводу повороту інструментального магазину

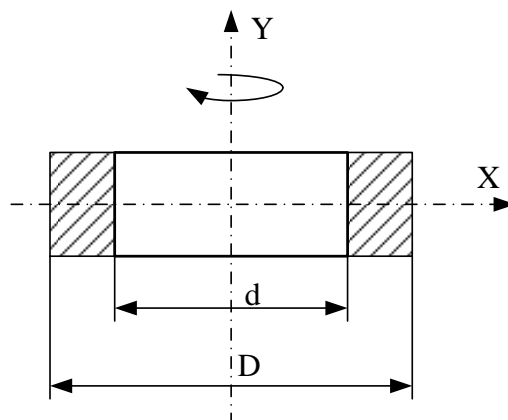


Рисунок 3.4 - Схема визначення моменту інерції магазину

$r = 300$ мм.

Відповідно отримуємо

$$j_y = 56.5/2 \cdot (0.45^2 + 0.3^2) = 8.263 \text{ кг мсек}^2$$

Згідно прийнятого часу повороту інструментального диска в межах повного кута $t_{II} = 5$ сек середнє прискорення повороту буде:

$$\xi_{сер} = 2\pi / t_{II}^2 \quad (3.107)$$

$$\xi_{сер} = 2 \cdot 3,14 / 5^2 = 0.251 \text{ сек}$$

Найбільше прискорення повороту буде:

$$\xi_{max} = 2 \cdot \xi_{сер} = 2 \cdot 0.251 = 0.502 \text{ сек}^2$$

Момент інерційних навантажень при повороті інструментального диска на повороту буде:

$$M = J_y \cdot \xi_{max} \quad (3.108)$$

$$M = 8.263 \cdot 0.502 = 4.148 \text{ кг м}$$

Крім моменту інерції на необхідну потужність приводного електродвигуна впливає і потужність на перемагання сил тертя в опорах магазину:

$$M_1 = K \cdot f_1 \cdot q_1 \cdot P \cdot D_0 \quad (3.109)$$

$K = 2$ - коефіцієнт який враховує додаткове тертя у верхній опорі при нерівномірному завантаженні інструменту в диску;

$f = 0.0005$ - приведений коефіцієнт тертя, (табл.22, [5])

P - розрахункове навантаження на підшипник нижньої опори.

$$q_1 P = 2Y \cdot F_3 = 2YG_{маз} = 2 \cdot 1.77 \cdot 550 \cdot 9.81 = 19100 \text{ Н}$$

D_0 - середній діаметр нижньої опори магазину.

$$D_0 = (d_{вн.п} + d_{зовн.п}) / 2 \quad (3.110)$$

$$D_0 = (80 + 20) / 2 = 102.5 \text{ мм}$$

Відповідно $M_1 = 2 \cdot 0.0005 \cdot 19100 \cdot 102.5 = 1958 \text{ кг м}$

Сумарний потрібний крутний момент повороту на вісі повороту інструментального магазину буде:

$$M_{нов} = M_{\delta} + M_1 \quad (3.111)$$

Даному $M_{нов}$ відповідає потрібна потужність:

$$N_{номп.нов} = (K \cdot M_{нов} \cdot n_{маг}) / 9550 \quad (3.112)$$

де $K = 2.0$ - коефіцієнт, який враховує динамічні (інерційні) навантаження (табл .0.2 [5])

$$N_{номп.нов} = (2.0 \cdot 43.44 \cdot 12) / 9550 = 1.09 \text{ кВт}$$

$n_{нов} = 60 / 5 = 12 \text{ с}^{-1}$ - частота обертів магазину в хв при $t_{нов} = 5 \text{ с}$.

З урахуванням К.К.Д. кінематичного ланцюга потрібна потужність приводу буде:

$$N_{дв} = N_{номп.нов} / \eta \quad (3.113)$$

$$N_{дв} = 1.09 / 0.8 = 1.326 \text{ кВт}$$

Згідно даної розрахункової потужності приймаємо для повороту інструментального магазину електродвигун постійного струму МР - 132.

Характеристики двигуна:

Номінальна потужність	$N_{ном}$	1,5 кВт
Номінальне число обертів	$n_{ном}$	1000 об /хв
Максимальне число обертів	$n_{пвх}$	3500 об /хв

В діапазоні чисел обертів 0...1000 об / хв двигун працює з постійним моментом

$$M_{const} = 97500 \cdot (N_{ном} / n_{ном}) \quad (3.114)$$

$$M_{const} = 97500 \cdot (1.5 / 1000) = 146.25$$

3.6.3 Конструкція та розрахунок перевантажувача - кантувача інструментів.

3.6.3.1 Опис конструкції та принципу роботи

Кантувач є проміжним механізмом в ланцюгу по транспортуванню інструменту від інструментального магазину до шпинделя. Він здійснює забір інструменту з магазину і передачу його в площину роботи автооператора перпендикулярну до площини дії самого кантувача, змінюючи при цьому

положення вісі інструменту з вертикального в горизонтальне.

Кантувач є автономним функціонально-завершеним механізмом з гідравлічним приводом всіх рухів. Монтується кантувач на консольній платформі стійки інструментального магазину, збоку, з врахуванням суміщення та ув'язки площин роботи автооператора та магазину. Ланки кантувача поділені трьома рухами: зворотно-поступовий рух руки по забиранню (відлагод.) інструменту з гнізда магазину, поворотний круговий рух на 90° руки з інструментом по зміні розміщення в просторі вісі інструменту і захоплюючі рухи схвату руки по захопленню та звільненню інструменту.

Всі рухи забезпечуються гідроприводами.

Основною несучою деталлю кантувача є зварний корпус поз 3.5, який жорстко кріпиться до плити на платформі поз 18.

В корпусі знаходяться два гідроциліндри.

Корпус кантувача змонтований в підвішеному стані на двох нерухомих штоках, закріплених за допомогою кронштейнів поз 3.2 до плити платформи. Така конструкція дозволяє надавати кантувачу прямолінійних переміщень в напрямку інструментального магазину. Наявність двох штоків забезпечує стійкість траєкторії переміщень корпуса кантувача при функціонуванні верстату.

Поршні поз. 23 двох гідроциліндрів, розміщених в корпусі кантувача забезпечують поворот руки поз.11, яка складається з двох планок, в просторі між якими знаходиться гідроциліндр рухів (схватів). Поворот здійснюється на 90° відносно вісі поз.3.6, закріпленій в корпусі поз 3.5.

Кінцева частина руки містить схват, який складається з двох губок поз39. Губки отримують захоплюючі коливні рухи відносно вісей повороту поз.27. від клинового наконечника поз 35, закріпленого на кінці штока поз 34 гідроциліндра захоплення інструменту. Для пружного стану губки між собою підпружинені пружиною поз 3.51. і пружиною гідроциліндра поз.33.

Робота кантувача проходить наступним чином. При потребі включення кантувача в роботу в один із гідроциліндрів горизонтального переміщення

здійснюється подача рідини, забезпечуючи переміщення кантувача в зборі на величину ходу 125 мм в напрямку інструментального магазину. При цьому переміщення одночасно проходить розвід губок схвату.

Переміщення кантувача погоджене з позиціюванням інструментального магазину. В кінцевому положенні виконується захоплення інструменту з магазину і відхід кантувача з інструментом у вихідний стан.

При зворотному переміщенні кантувача одночасно виконується поворот його руки з інструментом на 90 за допомогою штоків гідроциліндрів повороту. Для зменшення тертя контакт штоків з поворотною кареткою руки здійснюється через підшипникові ролики, закріплених на ексцентричних вісях каретки.

У висхідному після поворотному положенні кантувача проходить захоплення інструменту схватом автооператора з наступним звільненням від схвату кантувача.

Після автооператор змінює положення руки поставляючи для кантувача відпрацьований інструмент, який захоплюється схватом кантувача і здійснює зворотньо протилежний маршрут по його доставці в інструментальний магазин. Точність позиціювання окремих ланок перевантажувача забезпечується та контролюється шляховими датчиками.

Рухи та маніпуляції з інструментом кантувача погоджені з комплексом рухів всього комплексу інструментального забезпечення верстату.

3.6.3.2 Розрахунок приводів рухів ланок кантувача

3.6.3.2.1 Привід горизонтальних переміщень

Як відмічено вище, ланки кантувача мають три різні за характером і за призначенням рухи. Ці рухи виконуються окремими гідравлічними приводами, відмінними конструктивним виконанням, режимом роботи, а значить повинні мати окремі методики розрахунку. Тому наявні приводи розглядаються окремо їх розрахунок зводиться до визначення конструктивних параметрів гідроциліндрів, які залежить від потрібного зусилля на поршні. Розрахункова

схема представлена на рисунку 3.13.

Штоки гідроциліндрів перемінних діаметрів d_{um} і D_y . Вони нерухомо закріплені в кронштейнах до платформи. Відносно них отримує переміщення корпус кантувача. Перемінність січення штоків робить їх одночасно поршнями. Крім функцій гідроприводу штоки виконують і функції направляючих.

Зусилля в гідроциліндрі будуть направлені в основному на перемагання сил тертя між поршнем - штоком і стінками гідроциліндрів. Величина сил тертя в основному залежатиме від реакцій на гранях направляючих, а вони в свою чергу залежатимуть від переміщуваних мас.

Орієнтовно приймаємо переміщувану вагу кантувача $G_k = 50$ кг. Дана вага буде створювати відповідні реакції в направляючих $N = G/2$ і сили тертя N_f .

Крім функцій переміщення кінцевому положенні кантувача гідропривід забезпечує забір або установку ріжучого інструменту в інструментальний магазин, що вимагає додаткового зусилля по розтиску губок гнізд інструментального магазину.

Відповідно зусилля на поршні гідроциліндра повинно бути:

$$Q_{ц} \geq F_{тер} + P_{губок} \quad (3.115)$$

Сила тертя в направляючих буде

$$F_{тер} = 2Nf = 2G/2f = Gf \quad (3.116)$$

де f - коефіцієнт тертя.

Приймаємо з урахуванням щільності в манжетах $f = 0.2$.

Зусилля по забору інструменту з гнізд теоретично визначити досить складно і не зовсім доцільно. Величина його залежить від жорсткості пружин губок і може в процесі відладки верстата бути від коректована. Орієнтовно приймаємо $P_{губок} = 20$ кг.

Для конструкцій гідроприводу робочим є створення тиску в штоковій

порожнині.

Необхідний тиск в гідроциліндрі буде

$$Q_{ц} = 0.785 \cdot (D_{ц}^2 - d_{ум}^2) \cdot P \cdot \eta \quad (3.117)$$

де P - тиск в гідросистемі.

Для більшості гідроприводів $P = 40 \text{ кг/см}^2$

$\eta = 0.8$ - К.К.Д. гідроприводу (с. 281 [4])

На основі залежності $Q_{ц} \geq F_{тертя} + P_{зубки}$ отримуємо:

$$Q_{ц} = 0.785 \cdot (D_{ц}^2 - d_{ум}^2) \cdot P \cdot \eta \geq Gf + P_{зубок} \quad (3.118)$$

Звідки

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{G \cdot f + P}{0.785 \cdot P \cdot \eta} + d_{ум}^2} \quad (3.119)$$

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{50 \cdot 0.3 + 10}{0.785 \cdot 40 \cdot 0.8} + 2.8^2} = 3.4 \text{ см}$$

Приймаємо $D_{ц} = 40 \text{ мм}$, який забезпечить належний запас надійності спрацювання приводу.

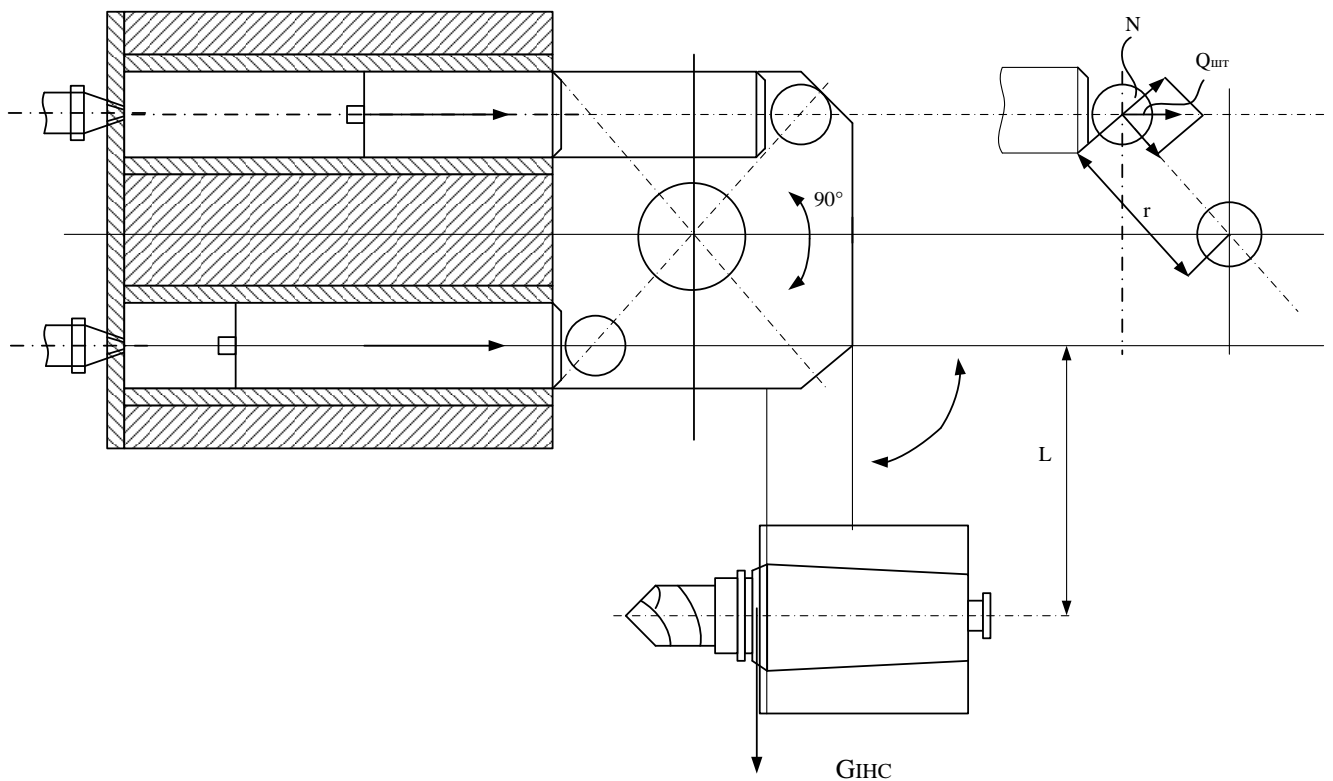


Рисунок 3.5 - Розрахункова схема приводу повороту лапки кантувача

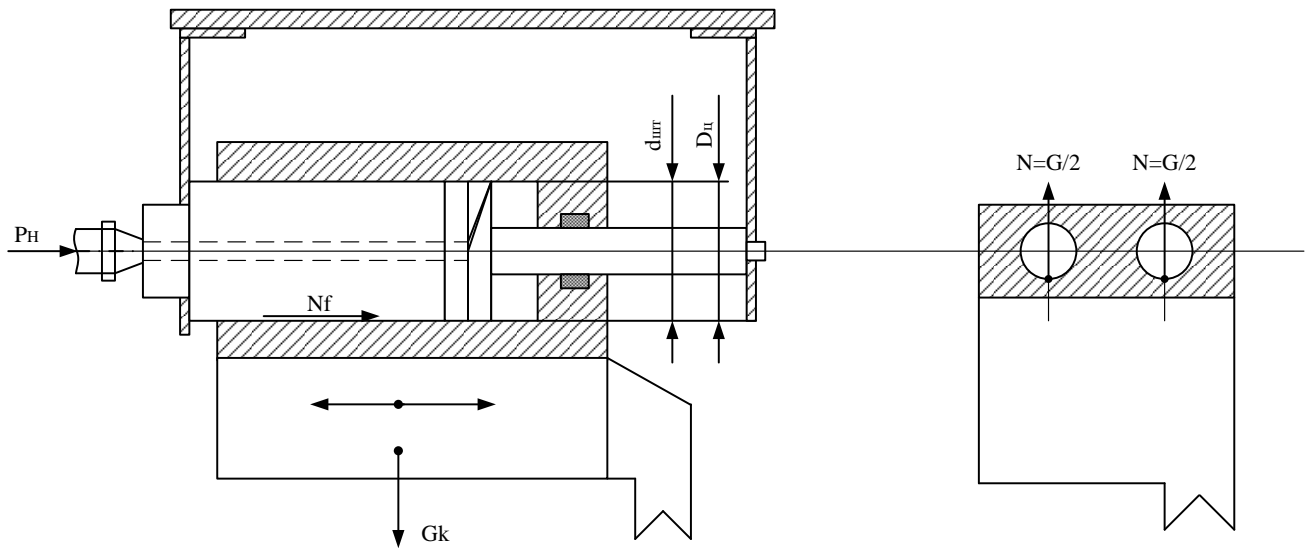


Рисунок 3.6 - Розрахункова схема приводу горизонтальних переміщень кантувача

3.6.3.2.2 Привід повороту руки з інструментом

Поворот руки кантувача в межах 90 забезпечується двома гідроциліндрами.

Розрахункова схема представлена на рисунку 3.14.

При повороті руки кантувача необхідно перемістити інструмент вагою G_{instr} на 90, забезпечивши переміщення його із інструментального магазину в зону роботи автооператора.

При повороті повинна виконуватись умова

$$M_{\psi} \geq M_{instr} \quad (3.120)$$

$$\text{або } N \cdot \gamma \geq G_{in} \cdot L \quad (3.121)$$

Сила N змінна, змінюється від N до Q_{um} .

Найменше значення N на початкові стадіях повороту, тобто при куті контакту $\varphi = 45$ кут контакту змінюється в межах $-45 \geq \varphi \leq +45$

Відповідно:

$$N = Q_{um} \cdot \cos 45^\circ \quad (3.122)$$

Максимальне значення $N = Q_{um}$ досягатиметься при вертикальному

співпаданні опорних роликів з віссю повороту руки.

Величини L та r приймаються конструктивно $L=230$ мм, $r = 50$ мм

З умови повороту визначається необхідне зусилля на штоці гідروциліндра.

$$Q_{um} \cos 45 \cdot r \geq G_{incmp} L \quad (3.123)$$

Звідси:

$$Q_{um} \geq (G_{incmp} \cdot L) / (r \cdot \cos 45) \quad (3.124)$$

На початковій стадії роботи циліндр є зі штоковою порожниною.

Для такої конструкції

$$Q_y = 0.785 \cdot (D_y^2 - d_{um}^2) \cdot P \cdot \eta \quad (3.125)$$

Відповідно:

$$D_y = \sqrt{\frac{G_{incmp} \cdot L}{r \cdot \cos 45 \cdot 0.785 \cdot P \cdot \eta} + d_{um}^2} \quad (3.126)$$

Повороту підлягає не тільки вага самого інструменту але частково і вага руки. Приймаємо умовно $G_{incmp} = 15$ кг.

Аналогічно розрахунку приводу прямолінійних переміщень отримаємо:

$$D_y = \sqrt{\frac{15 \cdot 23}{5 \cdot 0.707 \cdot 0.785 \cdot 20 \cdot 0.8} + 1.4^2} = 31 \text{ мм}$$

Даний діаметр приймаємо за основу, так як більшого зусилля не потребується в зв'язку із подальшим його зростанням на штоці через робочу порожнину циліндра, яка є безштоковою.

3.6.3.2.3 Привід затиску інструменту

Даний привід спрацьовує при захопленні інструменту з інструментального магазину наступним транспортуванням в зону роботи автооператора. Для проведення розрахунків приводу розробляється розрахункова схема приводу представлена на рисунку 3.15.

Інструмент затискається губками схвату по кінчному хвостовику. Надійність затиску забезпечується силами затиску $F_{зам}$, які створюють певну силу тертя. Сила тертя від сил затиску повинна перевищувати силу інерції, який

виникає при транспортуванні інструменту, тобто $F_{\text{тертя}} \geq P_i$

Момент тертя залежить від сил затиску $F_{\text{зат}}$ та діаметру оправки $d_{\text{опр}}$

$$P_{\text{тертя}} = 2 \cdot F_{\text{зат}} \cdot f = F_{\text{зат}} \cdot f \cdot d_{\text{опр}} \quad (3.127)$$

Сила затиску створюється від $Q_{\text{шт}}$ через важелі-губки. Розглядаючи їх рівновагу, отримаємо округлене

$$N \cdot b = F_{\text{зат}} \cdot a; N \cdot 40 = F_{\text{зат}} \cdot a$$

На основі даного рівняння:

$$F_{\text{зат}} = (N \cdot 40) / 50 = (4/5) \cdot N \quad (3.128)$$

В залежності від скосів клина $\varphi_{\text{кл}}$ та $Q_{\text{шт}}$ необхідно визначити нормальну силу N . На основі розкладу $Q_{\text{шт}}$ отримаємо:

$$N = Q_{\text{шт}} \sin \varphi_{\text{кл}} \quad (3.129)$$

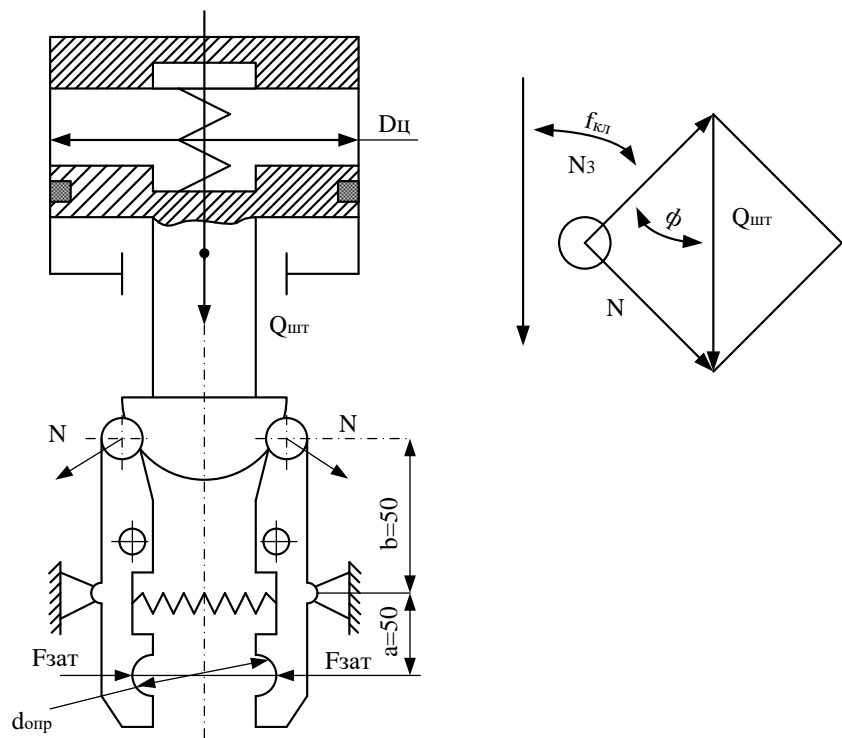


Рисунок 3.6 - Розрахункова схема приводу затиску інструменту

Відповідно:

$$F_{\text{тертя}} = 4/5 \cdot Q_{\text{шт}} \cdot \sin \varphi_{\text{кл}} \cdot f \quad (3.130)$$

Конструктивно приймаємо $\varphi_{\text{кл}} = 30$ і другий скіс $\varphi_{\text{кл}} = 150$.

Рівнодійна сил інерції з врахуванням, що $\omega = \text{const}$ і певному розміщенні

інструменту r_s .

$$P_i = m \cdot r_s \cdot \omega^2 \quad (3.131)$$

де m - маса інструменту при його вазі $P = 10$ кгс

$$m = P / g \quad (3.132)$$

$$m = 10 \text{ кгс} / 9.8 \text{ м/с}^2 = 1.02 \text{ кгс с}^2 / \text{м}$$

$r_s = 23$ см - радіус розміщення центра інструменту відносно осі повороту (прийнято конструктивно)

ω - кутова швидкість повороту руки кантувача з інструментом, рад/с
Прийнявши поворот на 90 за 3 сек, ще відповідає повному повороту за 12 отримаємо $n = 60/12 = 5$ об / хв.

Відповідно:

$$\omega = \pi / 30 \quad (3.133)$$

$$\omega = 3.14 \cdot 5 / 30 = 0.5 \text{ рад/с}$$

Із умови:

$$F_{\text{тертя}} \geq P \quad (3.134)$$

або

$$0.8 \cdot Q_{\text{ум}} \cdot \sin \varphi_{\text{кл}} \cdot f \geq m \cdot r_s \cdot \omega^2 \quad (3.135)$$

Визначаємо величину зусилля на штоці циліндра

$$Q_{\text{ум.р}} \geq (m \cdot r_s \cdot \omega^2) / (0.8 \cdot \sin \varphi_{\text{кл}} \cdot f) \quad (3.136)$$

де $f = 0,001$ - коефіцієнт кочення (комплект важільних губок із клиноштоком здійснюється через підшипник кочення)

$$Q_{\text{ум.р}} = (1.02 \cdot 0.23 \cdot 0.5 \cdot 2) / (0.8 \cdot \sin 30 \cdot 0.001) = 147 \text{ кг}$$

Ввівши коефіцієнт запасу 30 %, отримаємо

$$Q_{\text{ум}} = Q_{\text{ум.р}} \cdot 1.3 \quad (3.137)$$

$$Q_{\text{ум}} = 147 \cdot 1.3 = 192 \text{ кг}$$

На основі даного $Q_{\text{ум}}$ визначаємо необхідний діаметр циліндра:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{ум}}}{0.785 \cdot P \cdot \eta}} \quad (3.138)$$

$$D_y = \sqrt{\frac{192}{0.785 \cdot 20 \cdot 0.8}} = 4.91 \text{ см}$$

Приймаємо діаметр циліндра для затиску інструмента при його транспортуванні із магазину в зону роботи автооператора $D_y = 50$ мм

З розрахунків $Q_{шт.р}$ та D_y в знаменнику дано значення при другому скосі кута штока $\varphi_{кл} = 15$, а перше - при $\varphi_{кл} = 30$

При розрахунках не враховано жорсткості пружин, так як вони протидійні і суттєвого впливу не чинять.

3.6.4 Конструкція та розрахунок автооператора

3.6.4.1 Опис конструкції та принципу роботи автооператора

Автооператор проектованого верстатного комплексу призначений для транспортування інструменту від кантувача до шпинделя і назад. Для зменшення часу на заміну інструменту рука автооператора двозахватна. Це дозволяє одним схватом забирати відпрацьований інструмент, а другим доставляти робочий. Для даної роботи рука наділена можливістю повороту на 180.

Переніс інструментів від кантувача до шпинделя здійснюється по коловій траєкторії внаслідок колового руху важеля поз. 58.

Даний важіль разом з вилкою поз. 11 та віссю поз. 61 представляють собою жорстку кутову важільну систему, яка отримує коливання повороти вісі через посередність серги (каменя) поз.63 від вилки поз.3. В свою чергу поз.3 отримує коливний рух навколо другої вісі коливні рухи вилки поз.3 здійснюються через шток поз.40. Від гідроциліндра поз.127. Поворотні рухи кистей схватів по захопленню (звільненню) інструменту забезпечується Гідроциліндром поз. 127 через кулачок.

Розміри плечей, важелі, вилки пророблені на робочому кресленні конструкції автооператора з умовою забезпечення точності позиціювання.

Робочими рухами автооператора є коливний рух "В" важеля поз.58 в 100°

- головний рух точності позиціювання, поворот руки "С" в межах 180° по заміні інструменту, рухи по закриттю (розкриттю) губок схватів "F" та "F", які забезпечують захоплення та передачу інструментів, осьовий рух "Д", призначений для походження (досилання) інструменту в шпindel або в схват кантувача.

Рухи "С" та "Д" здійснюються гідроциліндрами, вмонтованими в корпус руки (дивитись робочі креслення автооператора).

Вся конструкція автооператора кріпиться за допомогою зварного кронштейна поз.1 до бокової стінки станини верстата. В корпусі знаходяться отвори під підшипники для розміщення в них осей поз.61 та поз.62, які служать для повороту відносно них вилки поз.3 та вилки поз. 11 з важелем поз.58. До стінки кронштейна кріпиться гідроциліндр поз. 158 коливання важеля автооператора.

На кінці важеля монтується система руки автооператора. Рука автооператора представляє собою окремий функціональний вузол з комплексом трьох, своїх окремих рухів. Рука монтується у втулці поз.55, яка закріплюється в отворі кінцевої частини важеля і в який на шарикопідшипниках монтується корпус гідроциліндра поз.33.

Зі сторони важеля до корпусу гідроциліндра кріпиться корпус поз.19 іншої гідросистеми повороту руки на 180°. В корпусі розміщається рейка-поршень поз.14 двосторонньої дії. Потоки рідини заставляють поршень-рейку рухатись вліво вправо, повертаючи тим самим через рейку колесо поз. 15 і разом з ним валик поз. 17, шток поз. 16. Обертання штока через шпонку поз.95, фланець поз 18 передається на стакан поз.8, який несе корпус руки поз.9. Поворот корпуса руки разом зі стаканом здійснюється відносно втулки поз.55.

Пустотілий шток поз.17 разом із корпусом поз 33 представляють собою гідроциліндр. Осьове переміщення штока поз. 16 разом зі стакан поз.8 забезпечують осьове переміщення руки відносно вісі шпинделя і схвату кантувача.

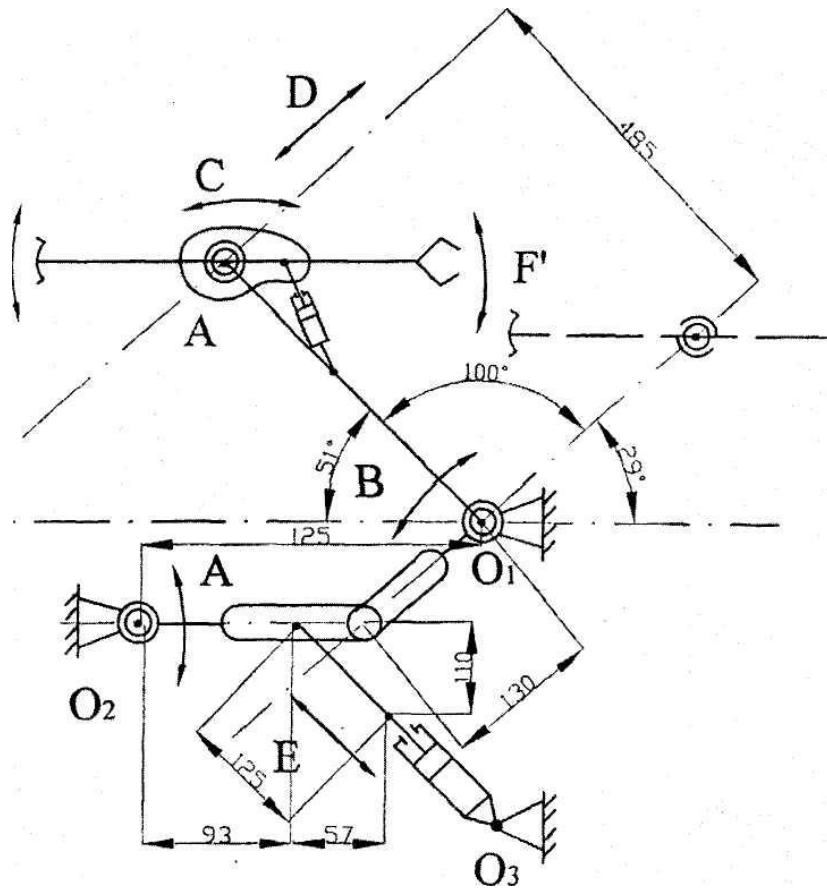


Рисунок 3.7 - Кінематична схема автооператора

На стакані поз. 55 на голчастих підшипниках встановлюються кулачок поз.39 за допомогою якого керується захоплення схватом інструменту та його звільненню. Поворот кулачка здійснюється через тягу від гідроциліндра поз. 167. Робота автооператора проходить наступним чином. Після кантування інструменту кантувачем (зміни вісі розташування інструменту) до інструменту підводиться рука з відкритим схватом внаслідок коливного руху важеля отриманого від гідроциліндра закріпленого до кронштейна. Подальше спрацьовує гідроциліндр на важелі, який діє на кулачок на вісі руки. З подальшим впливом на сходження губок схвату та захоплення інструменту. Після захоплення інструменту рука отримує осьову переміщення, виводячи із зони дії кантувача інструмент, з подальшим переміщенням по коловій траєкторії.

В процесі руху здійснюється поворот руки на 180, міняючи позицію інструменту в просторі. Коловий рух триває до позиціонування інструменту

стосовно осі шпинделя. Після забезпечення позиціювання рука отримує осьове переміщення, яке дозволяє посадити хвостовик інструменту в отвір шпинделя з подальшим фіксуванням інструменту в шпинделі за допомогою тягового пристрою шпинделя і одночасним розходженням губок схвату. Потім рука отримує зворотнє осьове переміщення і з важелем коливний рух до зон роботи кантувача. Цей рух може здійснюватись і з відпрацьованим інструментом для подальшої передачі його кантувачу. Кантувач повертає інструмент в площині перпендикулярній до площини роботи автооператора з подальшим радіальним переміщенням в сторону інструментального магазину і установлення у відповідному гнізді. Потім кантувач відводиться від магазину, магазин отримує певний поворот, представляючи для захоплення інший згідно технологічного процесу інструмент.

Кантувач згідно циклу своєї роботи забирає відповідний інструмент і переносить його в зону роботи автооператора. Відповідно автооператор згідно свого циклу роботи переміщається в зону шпинделя, вільним схватом забирає інструмент, робить поворот руки на 180, міняючи позиціювання відпрацьованого та робочого інструментів і установлює в шпиндель новий інструмент.

Цикл роботи інструментального магазину, кантувача, автооператора та шпиндельного вузла взаємопогоджені, зв'язані в єдиний комплекс інструментального забезпечення всього верстатного модуля. Контроль за окремими рухами здійснюється шляховими датчиками, сигнали яких поступають в систему ЧПК, порівнюються при потребі вводять корекцію в рухи. Інструментальне забезпечення, як і робота всього верстату, керується єдиною системою ЧПК.

3.6.4.2 Розрахунок приводі рухів ланок автооператора

3.6.4.2.1 Привід повороту руки автооператора

Принципова схема приводу представлена на рисунку 3.8. Згідно прийнятої структурно-конструктивної схеми рейка-поршень повинні забезпечити поворот

маси руки з інструментом відносно вісі руки, для чого на рейковому колесі необхідно забезпечити максимальний обертовий момент.

Вихідними даними для конструювання приводу повороту руки будуть:

- А) схема конструкції руки автооператора;
- Б) вага вузла повороту (без інструменту) $G_p = 30$ кг;
- В) вага інструменту $G_{instr.max} = 10$ кг;
- Г) кут повороту руки, $\varphi = 180^\circ$;
- Д) час повороту, $t_n = 2$ с.

Для виконання розрахунків розробляємо розрахункову схему руки автооператора.

Розрахунок ведемо по методиці, запропонованій в [5], ст. 276-279.

Необхідний обертовий момент на рейковій шестерні визначаємо за формулою

$$M_{об} = m_1 \cdot q_1 \cdot l_1 \cdot \cos \varphi - m_2 \cdot q_2 \cdot l_2 \cdot \cos \varphi + (I_1 + m_1 \cdot l_1^2) \cdot \varphi'' + M_{тертя} \quad (3.139)$$

де m_1, m_2 - маси змінних інструментів,

l_1, l_2 - відстані від вісі повороту до центру ваги змінюваних інструментів.

I_1, I_2 - приведені моменти інерції плечей руки.

φ - кут повороту

φ'' - кутове прискорення

$M_{тертя}$ - момент сил тертя.

Маса змінних інструментів при їх максимальній вазі $G_{instr} = 10$ кгс.

$$M_1 = m_2 = G_i / q = 10 / 9.81 = 0.01 \text{ } \gamma \text{сек}^2 / \text{см} = 1 \gamma \text{сек}^2 / \text{м}$$

$l_1 = l_2 = 200$ мм - прийнято конструктивно.

Рука автооператора двоплеча, симетрична.

Для визначення моментів інерції приймаємо спрощену конструкцію руки автооператора.

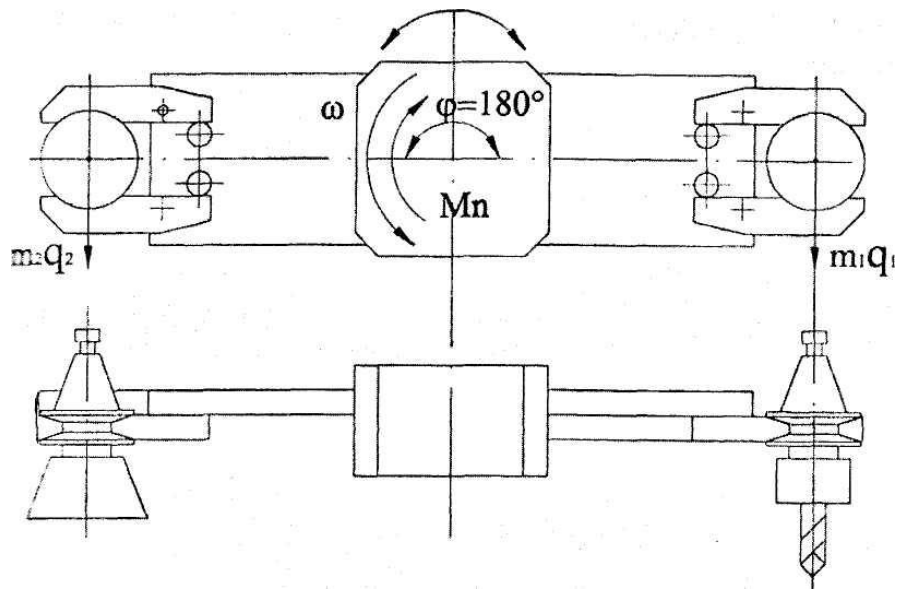


Рисунок 3.8 - Розрахункова схема руки автооператора

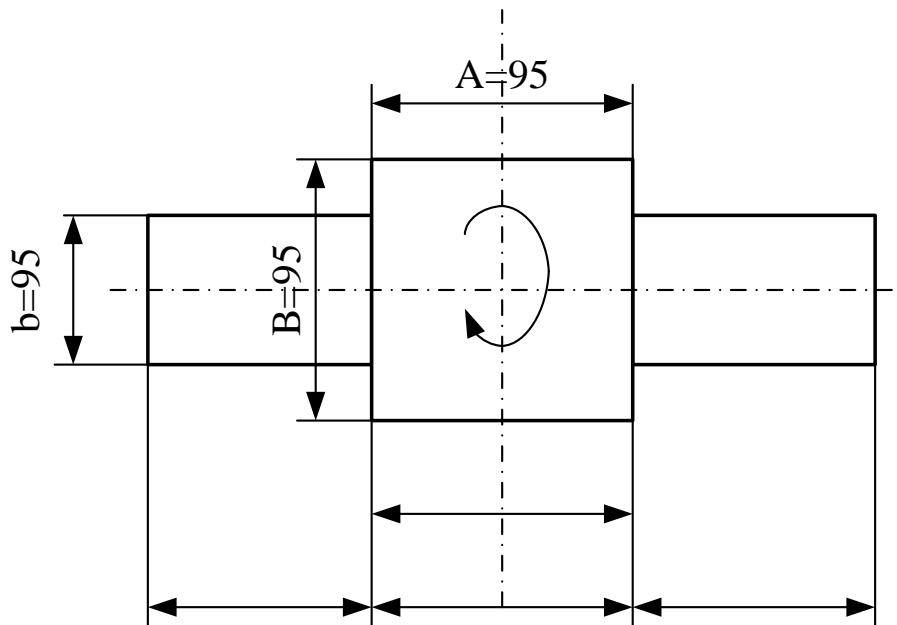


Рисунок 3.9 - Ескіз руки автооператора

$$I = m \cdot \left[\frac{b^2 + (2H + A)^2}{12} + \frac{(B - b)^2 + A^2}{12} \right] \quad (3.140)$$

$$I = \frac{15}{981} \cdot \left[\frac{6^2 + (2 \cdot 9 + 9.5)^2}{12} + \frac{(9.5 - 6)^2 + 9.5^2}{12} \right] = 5.14 \text{ кг см}$$

При розробці ескізу руки автооператора знехтуване циліндричною частиною, яка має малу масу в зв'язку із тонкими стінками і порожнистою

будовою.

Величина середнього кутового прискорення φ''

$$\varphi'' = 2\varphi / t_n^2 = 2 \cdot \varphi\pi / 2^2 = 1.57 \text{ c}^{-2}$$

де $t_n = 2$ сек. – час повороту інструментальної руки.

Момент тертя визначаємо за формулою

$$M_{\text{тертя}} = K \cdot f_1 \cdot q_1 \cdot P \cdot D_0 \quad (3.141)$$

де $K = 2$ - коефіцієнт, який враховує додаткове тертя при нерівномірному навантаженні в опорах. $f_1 = 0.0005$ - коефіцієнт кочення, $q_1 P = 2YG = 2 \cdot 1.77 \cdot 30 \cdot 9.8 = 1041.82 \text{ Н}$, $Y = 1.77$ - коефіцієнт приведення осьового навантаження для підшипника, $D_0 = (65 + 85) / 2 = 75$ мм – середній діаметр підшипника (див. креслення автооператора).

Підставляючи значення отримаємо $M_{\text{тертя}} = 2 \cdot 0.0005 \cdot 1041.82 \cdot 75 = 0.9$

Відповідно обертовий момент буде

$$M_{\text{оберт}} = 2(5.14 + 0.01 \cdot 20^2)1.57 + 0.9 = 29.04$$

Значить, робота автооператора з прийнятими конструктивно – технічними характеристиками буде забезпечене при мінімальному обертovому моменті на рейковій шестерні $M_{\text{об}} = 29.04$ кгс см

На основі визначеного крутного моменту визначаємо силу на штоці- рейці гідро циліндра.

$$D_{\text{шт}} \geq M_{\text{об}} / r_{\text{р.шт}} \quad (3.142)$$

де $r_{\text{р.шт}} = 1.4$ - радіус рейкових шестерні (прийнято конструктивно)

$$D_{\text{шт}} = 29.04 / 1.4 = 22.17 \text{ кг}$$

Враховуючи втрати тертя в ущільненнях циліндра по рекомендаціях технічної літератури необхідне зусилля на штоці збільшуємо на 30-50 %. Тоді

$$P_{\text{шт}} = 22.17 \cdot 1.5 = 332 / 5 \text{ Y}$$

По отриманому $P_{\text{шт}}$ і прийнятому тиску рідини в магістралі $P = 12$ МПа, вчислюємо діаметр циліндра.

$$D_y = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot P}} \quad (3.143)$$

$$D_y = \sqrt{\frac{4 \cdot 33.25}{3.14 \cdot 12}} = 2.1 \text{ см. Приймаємо } D_y = 25 \text{ мм}$$

3.6.4.2.2 Привід осьового переміщення руки автооператора

Привід осьового переміщення руки забезпечує установку і забіг інструменту в руку (з руки) кантувача та в шпиндель (зі шпинделя). Такий рух виконується спеціальним конструктивно виконаним гідроциліндром пустотілий шток який в кінцевій точці має жорстке з'єднання з несучим стаканом поз. 8і отримує зворотно – поступові та обертовий рухи. Конструктивні параметри гідроциліндра забезпечують шляхові та швидкісні характеристики руки оператора по транспортуванню інструмента.

Осьове переміщення здійснюється по круглій направляючій, якою служить корпус поз.33.

Зусилля гідроциліндра направлено на перемагання сил тертя, які виникають внаслідок дії ваги руки на направляючу.

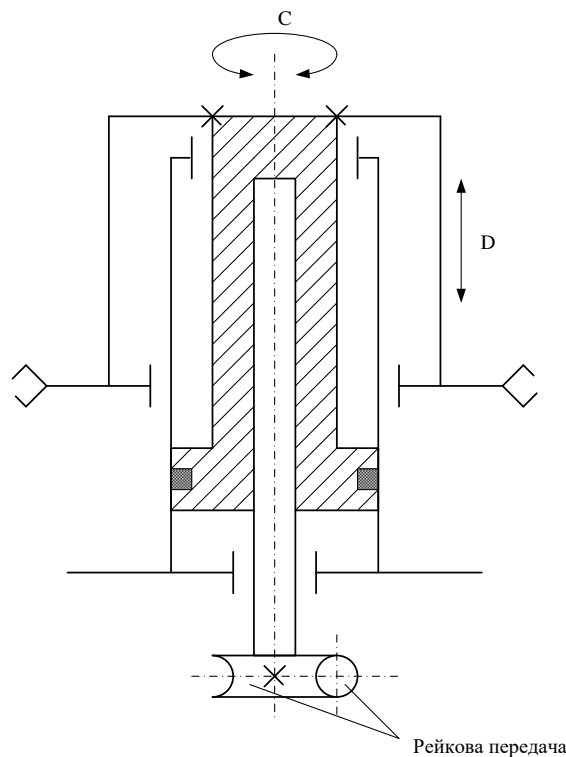


Рисунок 3.10 - Принципова схема руки оператора

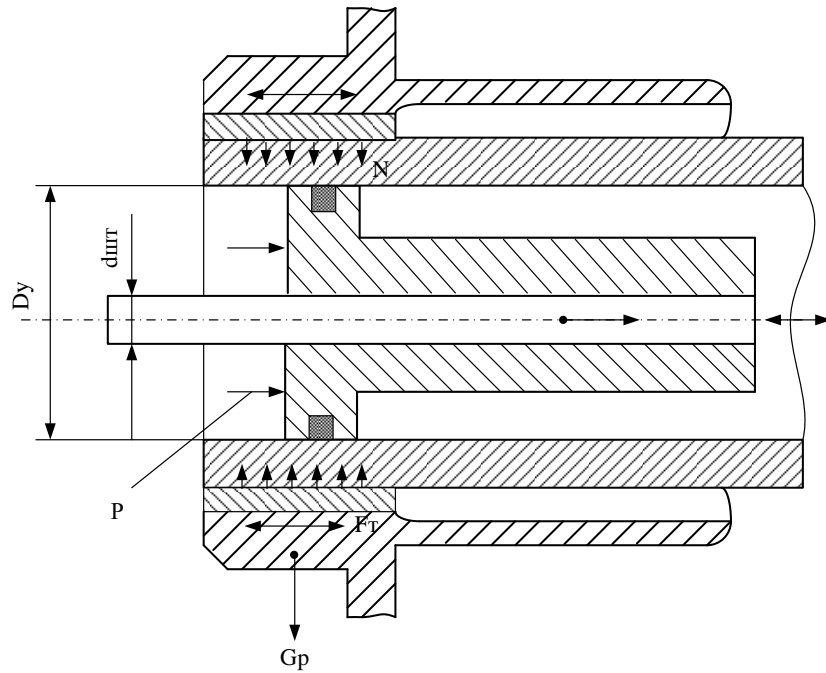


Рисунок 3.11 - Розрахункова схема гідроприводу

$$Q_{ц} \geq F_{тертя} \quad (3.144)$$

Зусилля на штоці залежить від конструктивних параметрів гідро циліндра. Аналогічно попереднім випадкам для даної конструкції гідроциліндра

$$Q_{ц} = 0.785 \cdot (D_{ц}^2 - d_{шт}^2) \cdot P \cdot \eta \quad (3.145)$$

Відповідно сила тертя в залежності від переміщуваної маси буде

$$F_{тертя} = G_{руки} \cdot f \quad (3.146)$$

$$F_{тертя} = 50 \cdot 0.2 = 10 \text{ кг}$$

На основі умови $Q_{ц} \geq Q_m$ отримаємо

$$D_{ц} \geq \sqrt{\frac{F}{0.785 \cdot P \cdot \eta} + d_{шт}^2} \quad (3.147)$$

$$D_{ц} \geq \sqrt{\frac{10}{0.785 \cdot 20 \cdot 0.8} + 2.8^2} = 3.1 \text{ см}$$

Приймаємо діаметр циліндра при діаметрі штока 2.8 см і необхідному зусиллі на штоці 10 кг. $D_{ц} = 35 \text{ мм}$

3.6.5 Конструкція перевантажувача

Перевантажувач у верстатному комплексі відіграє допоміжну роль по інструментальному забезпеченні. Він виконує проміжкову функцію по перевантаженню інструменту із інструментального магазину до автооператора, який знаходиться на стаціонарній колоні. Використання перевантажувача зумовлене потребою вести пошук інструменту в п'ятидисковому інструментальному магазині накопичувачі і перевантажувати його в зону роботи автооператора. Для виконання таких функцій він наділений переміщеннями по осях Z та Y . Переміщення по Y забезпечує пошук інструменту по висоті магазину і позиціонування в зону дії руки схвату, а переміщення по Z - переносить його від магазину до автооператора.

Захоплення інструменту з магазину здійснюється кареткою перевантажувача, який представляє собою рухома платформу із вертикальною стійкою, по якій каретка переміщається по вертикальній стійці по вісі Y , а сама платформа має переміщення по вісі Z по направляючих станини.

Переміщення каретки та платформи забезпечуються ланцюговими передавачами від окремих електроприводів. Експлуатація ланцюгових передач у верстатах свідчить, що вони є досить надійними і точними, що дозволяє в інструментальному забезпеченні верстатів з ЧПК займати досить чільне місце.

Використання у даному верстатному комплексі перевантажувача зумовлене значним об'ємом інструментального магазину і з метою зменшення часу на зміну інструментальних оправок від інструментального магазину до шпиндельного вузла.

Конструкція перевантажувача не підтверджена належними конструкторськими розрахунками в зв'язку з тим, що в проекті вона не має детальної конструкторської розробки.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Робоче місце

Проектування робочого місця, його розміри та взаємне розташування його елементів повинні відповідати антропометричним, фізіологічним, психофізіологічним характеристикам людини, а також характеру роботи. Облаштоване згідно з вимогами стандартів робоче місце забезпечує зручне положення людини. Це досягається регулюванням крісла, висоти та кута нахилу підставки для ніг за умови в використання, або висоти розмірів робочої поверхні. Повинне забезпечуватись виконання трудових операцій в зонах моторного поля (оптимальної досяжності, легкої досяжності) в залежності від необхідної точності і частоти дій. Організація робочих місць повинна забезпечувати стійке положення та вільність рухів працівника, безпеку виконання трудових операцій, виключати або допускати лише в деяких випадках роботу в незручних позиціях, котрі зумовлюють підвищену втомлюваність.

Загальні принципи організації робочого місця: на робочому місці не має бути нічого зайвого; всі предмети, необхідні для роботи, повинні знаходитись поряд з працівником, але не заважати йому; ті предмети, котрими користуються частіше, розташовують ближче, ніж ті предмети, котрими користуються рідше; предмети, котрі беруться лівою рукою повинні знаходитись зліва, а ті, що беруться правою рукою – справа; якщо використовують обидві руки, то місце розташування пристосувань вибирається з урахуванням зручності захоплення його двома руками; небезпечніше, з точки зору можливого травмування працівника, обладнання повинне розташовуватись вище, ніж менш небезпечне.

Однак слід враховувати, що важкі предмети під час роботи зручніше та легше опускати, ніж піднімати; робоче місце не повинно захищатись заготовками і готовими деталями; організація робочого місця повинна забезпечувати необхідну оглядовість.

Засоби відображення інформації повинні бути розташовані в зонах

інформаційного поля робочого місця з врахуванням частоти та значущості інформації, типу засобів відображення інформації, точності і швидкості спостереження та зчитування.

У системі ЛМС завжди є 3 елементи: предмет праці, засоби праці та суб'єкт праці. Найменш цільною одиницею, де присутні вказані елементи, є місце праці.

Місце праці – це зона, де є необхідні технічні засоби. Де відбувається трудова діяльність людини. Місце праці обладнане засобами відображення інформації, органами керування та допоміжним обладнанням.

Організацією місця роботи називається проведення системи заходів щодо його обладнання засобами та предметами праці і їх розташуванням у визначеному порядку з метою досягнення: оптимізації умов трудової діяльності; безпеки праці; максимальної ефективності; комфортності роботи людини.

До робочого місця ставлять такі вимоги: достатній робочий простір, який дозволяє працюючій людині здійснювати необхідні рухи та переміщення; достатні фізичні, зорові та слухові зв'язки між людиною та обладнанням, а також між людьми під час виконання загального трудового завдання; необхідний рівень освітленості; допустимий рівень шуму і вібрацій та інших шкідливих факторів, які генерує обладнання місця праці та інші джерела; наявність необхідних засобів захисту; оптимальне розташування робочих місць, а також безпечні та достатні проходи для працюючих.

Засоби відображення інформації мають забезпечувати своєчасність отримання людиною потрібної інформації аналізу, логічної обробки та прийняття потрібного рішення.

Відображена інформація повинна відповідати наступним вимогам: за змістом – адекватно відображати стан об'єктів керування та навколишнього природного середовища; за кількістю – відображати дані, які потрібні оператору для прийняття рішення та виконання окремих дій; за формою – відповідати завданням оператора та його психофізіологічним можливостям для сприйняття та опрацювання інформації.

Органи керування повинні забезпечити перехід дій від людини до машини.

Вони повинні бути надійними у роботі та зручними в користуванні, не допускати аварій, травм при перевантаженнях та помилкових діях людини. Вони повинні виключати з трудового процесу зайві, малоефективні та стомлюючі рухи і дії.

За призначенням органи керування ділять на 4 основні класи: вмикання, вимикання, перемикання; виконання повторних операцій; безперервного регулювання; аварійні органи.

Органи керування мають захист від випадкового довільного вмикання (механічний опір, блокування, укриття, тощо).

При організації робочого місця враховують основні антропометричні дані людини. Найважливішою характеристикою робочого місця є зона досягнення моторного поля.

Моторне поле – це простір робочого місця, в якому органи керування та інші технічні засоби, в якому людина здійснює рухові дії для виконання робочого завдання. Під зоною досягнення моторного поля робочого місця розуміють частину простору. Обмежену крайніми точками, яких можуть досягнути руки та ноги людини, котра не змінює свого положення.

Розрізняють зони легкого та оптимального досягнення.

Легке досягнення – при русі рук у плечовому суглобі з опорою. Оптимальне досягнення руху у ліктьових суглобах з опорою.

При організації місця праці потрібно врахувати: ступінь рухливості оператора (сидячи, стоячи, сидячи – стоячи); конфігурацію і спосіб розміщення каналів індикаторів та органів керування; потребу в огляді робочого простору; необхідність використання робочої поверхні для писання та інших робіт, розміщення телефонів, розташування інструкцій і інше.

Велике значення має правильний вибір робочого сидіння. Конструкція робочого сидіння повинна забезпечити підтримку основної робочої пози, не ускладнювати робочих рухів, змін положення, забезпечувати умови для відпочинку.

Ергономіка виробила конкретні вимоги до антропометричних показників обладнання:

- загальна висота: «сидячи» - 1650мм, «стоячи» - не більше 1800мм;
- висота розміщення органів керування: для положення «сидячи» - 530...1040мм, «стоячи» - 1000...1500мм.

Характеристика крісла: форма сидіння – квадратна; форма спинки – прямокутна вгнута; розмір сидіння 4000×400мм, спинки 300×120мм; кут нахилу сидіння назад 50-60°; кут нахилу спинки 50-100°.

Розміри вільного місця для ніг: висота – не менше 600мм; ширина – не менше 500мм; глибина – не менше 400мм.

Досягнення органів керування по горизонталі півколо радіусом 6000 мм. Встановлені також відстань між органами керування, їх розмірами, зусилля переміщення, величина переміщення, напрямок переміщення.

Вимоги до робочого місця:

Температура робочого місця (°C): оптимальна = 21 ... 23; допустима верхня межа = 28; допустима нижня межа = 21.

Відносна вологість робочого місця (%): оптимальна = 40 ... 60; допустима на робочому місці – не більше ніж 60 (при 27°C).

Швидкість руху повітря (м/с): оптимальна не більше ніж 0,2; допустима на робочому місці 0,1 ... 0,3.

Освітленість робочого місця як: при комбінованому освітленні 750 ... 300; при загальному освітленні 300 ... 150.

Всі металічні частини верстату, які можуть бути під напругою вищою 42 В повинні бути заземлені.

Для зниження інтенсивності ультразвукових коливань використовують звукоізолюючі кожухи з товщиною стінки не менше 1,5 мкм.

Оптимальний рівень звуку на робочому місці не повинен перевищувати 80дБ.

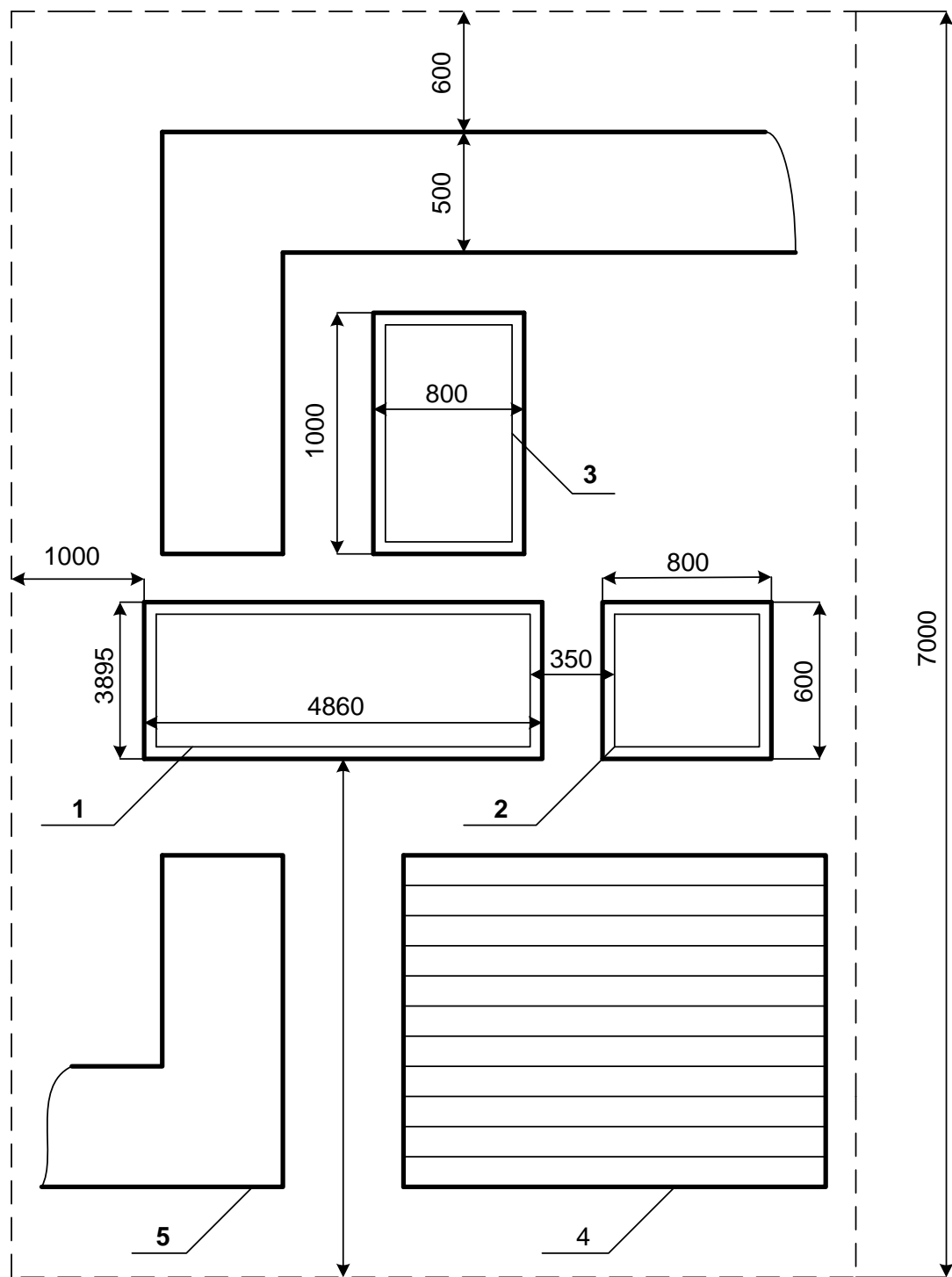


Рисунок 4.1 - Робоче місце

1 – верстат; 2 – пульт керування з ЧПК; 3 – інструментальний магазин;
 4 – решітка для ніг; 5 – транспортер для підвиду і відводу деталей

4.2 Розрахунок комбінованого освітлення

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути: природним, суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно- або двостороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє, яке здійснюється через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване - поєднання верхнього та бокового освітлення.

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим. Загальним називають освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з урахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення). Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний, в процесі роботи, напрямок світла. Місцеве освітлення створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

За функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне або чергове.

Природне освітлення. Природне освітлення має важливе фізіологічне значення для працюючих. Воно сприятливо впливає на органи зору, стимулює фізіологічні процеси, підвищує обмін речовин та покращує розвиток організм в цілому. Сонячне випромінювання зігріває та знезаражує повітря, очищує його від збудників багатьох хвороб (наприклад, вірусу грипу). Окрім того, природне світло визначається «нормами і правилами» (СНиП II-4-79). В основі визначення КПО покладено розмір об'єкта розпізнавання, під яким розуміють предмет, що розглядається або ж його частину, а також дефект, який потрібно виявити.

Розрахунок природного освітлення полягає у визначенні площі світлових отворів (вікон, ліхтарів) у відповідності з нормованими значеннями КПО.

Розрахунок площі вікон при боковому освітленні проводиться за допомогою наступного співвідношення:

$$100 \cdot \frac{S_B}{S_n} = \frac{e_n \cdot K_3 \cdot \eta_B \cdot K_{\text{буд}}}{\tau_B \cdot r}$$

де: S_B – площа вікон;

S_n – площа підлоги приміщення;

e – нормове значення КПО;

K_3 – коефіцієнт запасу;

η_B – світлова характеристика вікон;

$K_{\text{буд}}$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон протилежними будинками;

τ_B – загальний коефіцієнт світлопропускання;

r – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО завдяки світлу, відбитому від поверхонь приміщення та поверхневого шару, що прилягає до будівлі (земля)

Розрахунок природного освітлення для проектного цеху.

Для забезпечення нормальних умов праці механоскладального цеху по виготовленню вал-шестерні, розраховуємо комбіноване освітлення. Розрахунок площі світлових прийомів виконується по СНіП II-4-79 «Природне та штучне освітлення» при боковому освітленні по формулі:

$$100 \cdot \frac{S_o}{S_n} = \frac{e_n \cdot K_3 \cdot \eta_o}{\tau_o \cdot r_1} \cdot K_{\text{буд}}$$

та при верхньому освітленні по формулі:

$$100 \cdot \frac{S_\Phi}{S_n} = \frac{e_n \cdot K_3 \cdot \eta_\Phi}{\tau_o \cdot r_2 \cdot K_\Phi}$$

де: S_o – площа світлових потоків при боковому освітленні;

r_o – світлова характеристика вікон;

S_n – площа підлоги приміщення;

e_n – нормове значення КПО;

$S_n = 4\%$ – IV розряд робітника;

K_3 – коефіцієнт запасу, приймаємо $K_3 = 1,4$.

Загальний коефіцієнт світлопропускання визначаємо по формулі:

$$T_0 = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot T_4 \cdot T_5$$

де: T_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу;

$$T_1 = 0,9;$$

T_2 – коефіцієнт, який враховує втрати світла в перепитах пройому;

$$T_2 = 0,75 \text{ (стальні відкриваючі одинарні);}$$

T_3 – коефіцієнт, який враховує втрати світла в несучих конструкціях:

$$\text{при боковому: } T_3 = 1,0;$$

$$\text{при верхньому: } T_3 = 0,8;$$

T_4 – коефіцієнт, який враховує втрати світла в сонцезахисних засобах;

$$T_4 = 0,8 \text{ (горизонтальні козирки із захисним кутом не більше } 30^\circ \text{);}$$

T_5 – коефіцієнт, який враховує втрати світла в захисній сітці, що встановлюється над лампами;

$$T_5 = 0,9;$$

$$T_0 = 0,9 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,468 \text{ – при боковому освітленні;}$$

$$T_0 = 0,9 \cdot 0,75 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,4 \text{ – при верхньому освітленні.}$$

r – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при боковому освітленні;

$$r = 1,25.$$

Індекс приміщення розраховуємо по формулі:

$$i = \frac{l_n \cdot b}{H \cdot (l_n + 8)}$$

де: l_n – довжина приміщення вздовж осі прольотів;

b – ширина приміщення;

H – висота покрівлі над умовною робочою поверхнею.

$$i = \frac{74 \cdot 36}{4,8 \cdot 110} = \frac{2664}{528} = 5,045$$

$$l_\phi = 2$$

r_2 – коефіцієнт, який враховує підвищення КПО при верхньому освітленні;

$$r_2 = 1,4;$$

K_{ϕ} – коефіцієнт, що враховує тип ліхтаря;

$$K_{\phi} = 1,2.$$

Шукаємо площі ліхтарів за формулою:

$$S_o = \frac{S_n \cdot l_n \cdot K_z \cdot \eta_o \cdot K_{зд.}}{100 \cdot \tau_o \cdot r_1}$$
$$S_o = \frac{2664 \cdot 4 \cdot 1,4 \cdot 6,5 \cdot 1}{100 \cdot 0,486 \cdot 1,25} = 1589 \text{ м}^2$$

Враховуючи сумарні площі вікон, вибираємо їх габарити: 4,5хб, де б – кількість вікон.

Штучне освітлення. Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень в темний період роботи. При організації штучного освітлення необхідно забезпечити сприятливі гігієнічні умови для здорової роботи і одночасно враховувати економічні показники.

Найменша освітленість робочих поверхонь у виробничих приміщеннях регламентується СНіП II-4-79 і визначається, в основному, характеристикою здорової роботи. Норми носять міжгалузевий характер. На їх основі, як правило, розробляються норми окремих галузей промисловості.

В СНіП II-4-79 вісім розрядів здорової роботи, із яких перших шість характеризуються розмірами об'єкту розпізнавання (а, б, в, г). нормовані значення залежать не тільки від найменшого розміру об'єкту розпізнавання, але й від контрасту об'єкту з фоном та характеристики фону. Найбільша нормативна освітленість складає 5000 лк, а найменша – 30 лк.

Проектування систем штучного освітлення. При проектуванні штучного освітлення необхідно вирішити наступне: вибрати систему освітлення, тип джерела світла, тип світильників, визначити розташування світлових приладів, виконати розрахунки штучного освітлення та визначити потужності світильників та ламп.

Для всіх виробничих приміщень проектують систему загального чи комбінованого освітлення. При виконанні робіт I – IV розрядів рекомендується

використовувати, як правило, комбіновану систему освітлення, оскільки досягнення необхідної освітленості при загальній системі освітлення вимагає великих витрат електричної енергії і є недоцільними. З цієї ж точки зору слід надавати перевагу локалізованому освітленню, в тому числі, і в системі комбінованого, витримуючи при цьому допустимі норми нерівномірності освітлення (СНіП II-4-79). Освітленість робочої поверхні, створювана світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше 10 % нормованої, однак у всіх випадках не менше 150 лк при газорозрядних лампах і 50 лк при лампах розжарювання.

З гігієнічної точки зору система загального освітлення більш досконала, оскільки дає можливість більш рівномірно розподілити світлову енергію.

Вибираючи джерела світла, слід надавати перевагу люмінесцентним лампам, які енергетичне більш економічні. Окрім того, вони за спектральними характеристиками максимально наближаються до природного світла, що важливо при використанні суміщеного освітлення.

Якщо немає застережень стосовно спектрального складу випромінюваного світла, то найкраще, з економічної точки зору, застосовувати люмінесцентні лампи типу ЛБ, які мають найвищу світловіддачу.

Для зменшення початкових видатків на освітлювальні упаковки та втрати на їх експлуатацію слід використовувати лампи більшої потужності. Однак при цьому може погіршитись рівномірність освітлення, оскільки остання обернено пропорційна відстані між джерелами світла.

Рівномірність освітлення в загальному досягається у випадку, коли відстань між центрами світильників не перевищує подвійної висоти їх постановлення. В той же час висота, на якій встановлюються світильники, залежить від висоти приміщення, потужності лампи, класу світильника і системи освітлення. Найменша висота встановлення над підлогою світильників з числом люмінесцентних ламп до чотирьох штук – 2,6 м, а при чотирьох і більше – 3,2 м.

Вибір типу світильників проводиться з урахуванням характеристики приміщення, для якого проектується освітлення. Для приміщень, стіни та стеля

яких мають невисокі відбиваючі властивості доцільно застосовувати світильники прямого світла, які, направляючи випромінювання ламп вниз на робочі поверхні, гарантують мінімальні витрати і найкраще використання світлового потоку. Однак слід мати на увазі, що світильники цього класу створюють різкі падаючі тіні від сторонніх предметів, що необхідно враховувати при їх розташуванні.

Методи розрахунку штучного освітлення. Для розрахунку штучного освітлення використовують, в основному, три методи: світловий потік (коефіцієнту використання), точковий та питомої потужності.

Метод світлового потоку призначений для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь. Цей метод дозволяє враховувати як прямий, так і відбитий від стін та стелі. Світловий потік лампи ФЛ визначають за формулою:

$$F_{\text{л}} = \frac{E_n \cdot S \cdot z \cdot k}{N \cdot \eta}$$

де: E – нормована освітленість, лк;

S – площа освітлюваного приміщення, м²;

κ – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

$\kappa = 1,3 \dots 1,8$;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

$z = 1,1 \dots 1,15$;

N – кількість світильників;

η – коефіцієнт використання світлового потоку. Коефіцієнт визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення і коефіцієнтів відбиття стін та стелі. Показник приміщення i знаходиться за формулою:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_p \cdot (a + b)}$$

де: a і b – довжина і ширина приміщення, м;

h_p – висота над робочою поверхнею, м.

Порахувавши світловий потік лампи ФЛ, за таблицею вибираємо

найближчу стандартну лампу і визначаємо електричну потужність всієї освітлювальної установки.

Розрахуємо кількість і тип світильників для штучного освітлення виробничого приміщення за наведеними даними:

$$A = 9\text{м}; B = 8\text{м}; H_p = 4,8\text{м}; Z = 1,2; E_n = 300\text{лк}; K_s = 1,5$$

1. Знаходимо показник приміщення i :

$$i = \frac{9 \cdot 8}{4,8 \cdot (9 + 8)} = 0,9$$

2. Розраховуємо кількість світильників:

$$N = \frac{300 \cdot 72 \cdot 1,2 \cdot 1,5}{920 \cdot 23} = 1,8$$

По даним розрахунку вибираємо люмінесцентні лампи денного світла типу ЛД20 кількістю двох штук.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі магістра розроблено елементи конструкції спеціального верстата з числовим програмним керування, котрий оснащений системою автоматичної заміни інструменту, а саме:

1. Проведено аналіз завдання на проект та визначено напрямки роботи.
2. Здійснено необхідні технологічні розрахунки (розрахунок припусків, розрахунок режимів різання). Запропоновано технологічний процес (операційну технологію) виготовлення деталі.
3. Проведено техніко-економічне обґрунтування виготовлення деталі з виконанням різних технологічних операцій.
4. На основі забезпечення необхідних формоутворюючих та допоміжних рухів запропоновано та розроблено структурно-кінематичну та кінематичну схеми верстата.
5. Поведено оптимізацію компоновочної хеми верстата на основі модульного комплексу та технологічного модуля.
6. Зконструйовано та проведено необхідні розрахунки шпиндельного вузла верстата з використанням САПР.
7. Запропоновано конструкцію верстатного стола, котрий забезпечує всі необхідні рухи переміщення по осях.
8. Розроблено автоматичну систему заміни інструменту (АЗІ), котра містить магазин інструменту, кантувач, руку автооператора, привід осьового переміщення автооператора, перенавантажувач. Наведені схеми роботи та переміщень. Проведено необхідні розрахунки.
9. Кваліфікаційну роботу обґрунтовано з точки зору охорони праці та безпеки життєдіяльності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Аверьянов О. И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1987 – 232 с.
- 2 Половинкин А. И. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании). – М.: Радио и связь, 1981 – 344 с.
- 3 Анискин Ю. П., Моисеева Н. К., Проскуряков А. В. Новая техника: повышение эффективности создания и освоения. М.: Машиностроение, 1984 – 192 с.
- 4 Борисов В. И. Общая методология конструирования машин - М.: Машиностроение, 1978 – 120 с.
- 5 Васильев Г. Н. Автоматизированное проектирование металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1987 – 280 с.
- 6 Грузнов И. И., Гусарев В. С. Творческая активность инженера. – Одесса, Маяк, 1975 – 147 с.
- 7 Дабагян А. В. Оптимальное проектирование машин и сложных устройств. - М.: Машиностроение, 1979 – 280 с.
- 8 Джонс Дж.К. Методы проектирования / Пер. с англ. 2-е изд. М.: Мир, 1986-326 с.
- 9 Картанов С. А. Основы рационального проектирования машин. – К.: Гостехиздат, УССР, 1958 – 325 с.
- 10 Кузнецов Ю. Н. Использование эвристических приемов в работе конструктора станочной оснастки. – М.: УТПМ, 1992 – 86 с.
- 11 Нагорняк С. Г., Луцив. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования. Справочник. – К.: Техніка, 1992 – 72 с.
- 12 Орлов П. И. Основы конструирования. В 3-х кн. - М.: Машиностроение, 1977 – 206 с.
- 13 Половинкин А. И. Основы инженерного творчества: Учеб пособие для студентов втузов. - М.: Машиностроение, 1988 – 368 с.
- 14 Пуш В. Э. Конструирование металлорежущих станков. - М.: 156

Машиностроение, 1977 – 390 с.

15 Ханзен Ф. А. Основы общей методики конструирования. - М.: Машиностроение, 1969 – 166 с.

16 Хилл П. Н. Наука и искусство проектирования. - М.: Мир, 1973 – 264 с.

17 Яковенко Е. Г. Экономические циклы жизни машин. М.: Машиностроение, 1981 – 157 с.

18. Дубиняк, С.А. Расчет деталей и узлов металлорежущих станков с использованием ЭВМ: Учеб. пособие /С.А. Дубиняк, С.Г. Нагорняк, И.В. Луцив, И.Д. Дубецкий. – К.: УМК ВО, 1989. -152с.

19. Кузнєцов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах/ Ю.М. Кузнєцов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин [Текст] - К.: - Тернопіль: Тернограф, 2011. -692с.

20. Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – Мн.: Выш. школа, 1983. – 256 с.

21. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов / Под ред. В. Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1986. - 256 с.

22. Кобельник В. Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі / В. Р. Кобельник // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2014. – Вип. № 2 (33). – С. 76–82.

23. Кривий П. Д. Розточувальні інструменти з попарно-асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів / П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, В. Г. Яковлев // Технічні науки та технології : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т. – 2016. – № 2 (4). - С. 28-35.

24. Кривий П.Д. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні / Кривий П.Д., Кобельник В.Р. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ – Київ, вип. № 19, 2006. – С. 58 – 64.

25. Кобельник В.Р. Жорсткість вертикально-свердлильних верстатів

/Кобельник В.Р., Кривий П.Д./ Вісник ЖДТУ (Технічні наукм). – Житомир, вип. I(40), 2007. – С. 34 – 40.

26. Паливода Ю. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Ю. Паливода, А. Дячун, Р. Лещук. – Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет ім.І.Пулюя, 2019. – 240с.

27. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т.2. Ч.1. Расчет и конструирование узлов и элементов станков// Под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1995. – 371 с.

ДОДАТКИ