

Машинобудівний
(повне найменування інституту, назва факультету)
Металорізальних верстатів та інструментів
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розробка та дослідження
комп'ютерних: вузлів токарно-
фрезерного верстата з ЧПК

Виконав: студент 6 курсу, групи М-213 М
напряму підготовки (спеціальності)

133 "Танцюєве машинобудування"
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Мончанова В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник Тришкіо А.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Солома В.В.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Металорізальних верстатів та інструментів
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
 Спеціальність 133 Точне машинобудування
 (код і назва)
 Напрямок підготовки Металорізальні верстати та системи
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри Фролов М.В.
 "17" 12 2018 року

ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Мошановий Валерій Сергійович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка та дослідження компоновки і основних вузлів токарно-фрезерного верстата з ЧПК

керівник проекту (роботи) Гушко Андрій Володимирович, ат. виш.кат.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "07" 11 2018 року № 340

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14.12.18

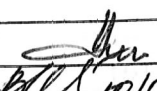
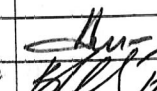
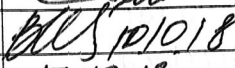
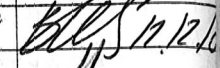
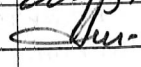
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Призначення проєктованого верстата - обробка деталей типу "вал" довжиною до 1000 мм в чубках серійного виробництва

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Визначення компоновки верстата на основі багатокритеріальної оптимізації. Розробка компоновки токарно-фрезерного верстата. Аналіз конструкції приводу головного руху. Аналіз конструкції реверсних гонток. Розробка конструкції приводу головного руху. Аналіз конструкції задньої ладки

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

Загальний вигляд верстата, Привод головного руху, мотор-шпиндель, задня ладка

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

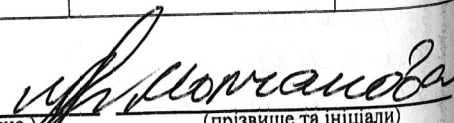
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4	Гушико А.В., ст. викл.		
5	Шмирко В.І., к.т.н., доц		
Кордоконтроль	Гушико А.В., ст. викл.	17.12.18	

7. Дата видачі завдання 01.10.18

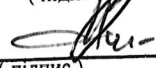
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Актуальність проєкту	01.10.18	
2	Критерії оптимальності технологічних систем	15.10.18	
3	Розробка компоновки механізмів	29.10.18	
4	Розробка конструкції приводу головного руху	05.11.18	
5	Розробка конструкції механізму	19.11.18	
6	Розробка конструкції задньої бабси	26.11.18	
7	Охорона праці та безпека експлуатації	10.12.18	
8	Підготовка роботи до захисту	14.12.18	

Студент


 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


 (підпис) ст. викл. А.В. Гушико
 (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ.: с. , рис. 37, табл. 9, джерело 20.

Об'єкт дослідження – компоновка та елементи конструкції токарно-фрезерного верстата з ЧПК.

Мета роботи – розробка конструкції токарно-фрезерного верстата з ЧПК. В роботі проведено аналіз компоновок токарно-фрезерних верстатів з ЧПК. Сформована технічна характеристика проектного верстата на основі багатокритеріальної оптимізації технологічних систем. За його результатами обрана оптимальна компоновка верстата для обробки деталей типу валів. На основі розрахунків розроблені конструкції приводу головного руху та задньої бабки. Для спроектованих вузлів виконані необхідні проектні та перевірочні розрахунки.

Результатами роботи є розробка оптимальної технічної характеристики та компоновки токарно-фрезерного верстата з ЧПК для обробки деталей типу валів.

ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНИЙ ВЕРСТАТ З ЧПК, ГОЛОВНИЙ ПРИВІД, МОТОР-ШПИНДЕЛЬ, ЗАДНЯ БАБКА

Abstract

PP consists of: p , 37 fig., 9 tab., 20 East

A research object is arrangement and elements of construction of lathe-milling machine-tool with numerical control.

An aim of work is development of construction of lathe-milling machine-tool CNC Machine. The analysis of arrangements of lathe-milling machine-tools is in process conducted CNC machine.

The formed technical description of the designed machine-tool is on the basis of multicriterion optimization of the technological systems. On his results optimal arrangement of machine-tool is selected for treatment of details as billows. On the basis of calculations the worked out constructions of occasion of main motion tail stock. For the projected knots the executed is needed project and verification calculations. Job performances are development of optimal technical description and arrangements of lathe-milling machine-tool CNC Machine for treatment of details as shaft.

CNC MACHINE, MOTOR SPINDLE, MAIN DRIVE, TAIL STOCK.

ЗМІСТ

Завдання до проекту.....	
Реферат.....	
Вступ.....	
1 Актуальність проблеми.....	
2 Визначення основних параметрів проектного верстата на основі багатокритеріальної оптимізації технологічних систем.....	
2.1 Критерії оптимальності технологічних систем механообробки.....	
2.2 Визначення компоновки верстата на основі аналізу критеріїв оптимальності.....	
2.3 Визначення оптимального типу токарного верстата різними методами багатокритеріальної оптимізації.....	
3 Розробка конструювання токарно – фрезерного верстата з ЧПК.....	
3.1 Аналіз компоновок токарно-фрезерних верстатів з ЧПК.....	
3.2 Аналіз конструкції окремих вузлів токарно-фрезерних верстатів.....	
3.3 Аналіз конструкції шпинделя.....	
3.3.1 Мотор – шпиндель.....	
3.3.2 Вибір підшипників у мотор – шпинделі.....	
3.3.3 Вибір схеми розташування підшипників у мотор – шпинделі.....	
3.3.4 Вибір і регулювання величини зазор-натягу в підшипниках.....	
3.3.5 Методи змазки підшипників.....	
3.4 Аналіз конструкції револьверних головок.....	
4 Конструкторський розділ.....	
4.1 Розрахунок основних технічних характеристик верстата.....	
4.2 Вибір електродвигуна.....	
4.3 Розрахунок зубчасто-ремінної передачі.....	
4.4 Розрахунок шпинделя на жорсткість.....	
4.5 Розрахунок підшипників на динамічну вантажопідйомність.....	
4.6 Розрахунок верстатного пристосування.....	
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	

5.2	Заходи по забезпеченню безпеки.....	
5.3	Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	
5.4	Заходи з пожежної безпеки.....	
5.5	Одяг спеціальний для захисту від підвищених температур теплового випромінювання, конвективної теплоти. Загальні технічні вимоги.....	
5.5.1	Технічні вимоги.....	
5.5.2	Вимоги до виготовлення.....	
5.5.3	Вимоги до випробувань.....	
	Висновки.....	
	Список літератури.....	

ВСТУП

Верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ) знайшли широке застосування в сучасному машинобудуванні. Їх впровадження є одним з головних напрямів автоматизації середньо- і дрібносерійного виробництва. У верстатах з ЧПУ гнучкість універсального устаткування поєднується з точністю і продуктивністю верстата-автомата. В результаті впровадження верстатів з ЧПУ відбувається підвищення продуктивності праці, створюються умови для багатOVERSTATного обслуговування. Підготовка виробництва переноситься в сферу інженерної праці, скорочуються її терміни, спрощується перехід на новий вид виробу внаслідок завчасної підготовки програми, що має велике значення в умовах ринкової економіки.

Останнім часом однією з тенденцій у створенні нових конструкцій верстатів з ЧПК є можливість максимальної концентрації операцій на одному верстаті. Це дозволяє отримати ряд переваг, які вражаються в отриманні високого економічного ефекту від обробки. Але універсалізація верстатів викликає складнощі в визначенні технічних характеристик того чи іншого виду обладнання. Це пов'язано з необхідністю розширення діапазонів розмірів зони обробки, діапазонів режимів різання, що може забезпечити верстат. Звідси виникає необхідність збільшення потужностей обладнання, що досить часто призводить до зниження показників їх оптимального використання.

Велику частину деталей у машинобудуванні представляють вали. Для забезпечення тенденції максимальної концентрації операцій для їх обробки доцільно використовувати токарно-фрезерні верстати. Але необхідність забезпечення можливості обробки на них інших деталей призводить до збільшення діаметру обробки заготовки над станиною та інших характерних розмірів верстатів. Таким чином при переважній обробці деталей типу вал ефективність верстата знижується.

Оцінити найбільш ефективні межі розмірів та інших технічних характеристик таких верстатів може дозволити багатокрітеріальний аналіз оптимальності технологічних систем.

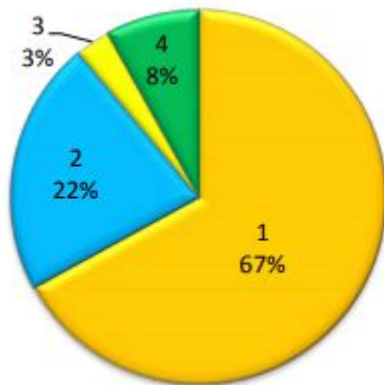
Виходячи з цього метою даної роботи є розробка оптимальної конструкції токарно-фрезерного верстата з ЧПК для обробки деталей типу валів.

Завданнями роботи є:

- Визначення основних параметрів проектного верстата на основі багатокритеріальної оптимізації технологічних систем
- Визначення компоновки верстата на основі аналізу критеріїв оптимальності
- Розробка компонування токарно – фрезерного верстата з ЧПК
- Розрахунок основних технічних характеристик верстата
- Розробка конструкції основних вузлів проектного верстата – приводу головного руху та задньої бабки
- Здійснення проектних та перевірочних розрахунків проєктованих вузлів.

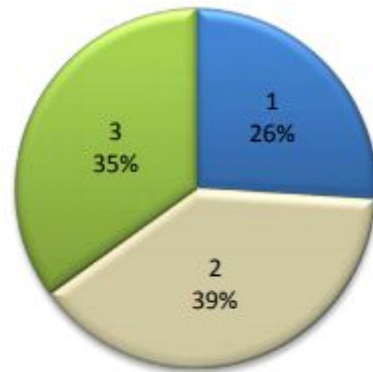
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

Клас тіл обертання об'єднує в середньому 67% всіх деталей, що виготовляються у загальному машинобудуванні (рис.1.1), та складається з трьох типових груп



- 1 – тіла обертання;
- 2 – корпусні деталі;
- 3 – плоскі деталі;
- 4 – інші деталі

Рисунок 1.1 - Співвідношення елементів номенклатури деталей загальномашинобудівного призначення.



- 1 – вали, осі, стрижні;
- 2 – фланці, диски, зубчасті колеса;
- 3 – втулки, гільзи, циліндри

Рисунок 1.2. - Розподіл тіл обертання по типових групах.



Рисунок 1.3 - Вали, осі, стрижні

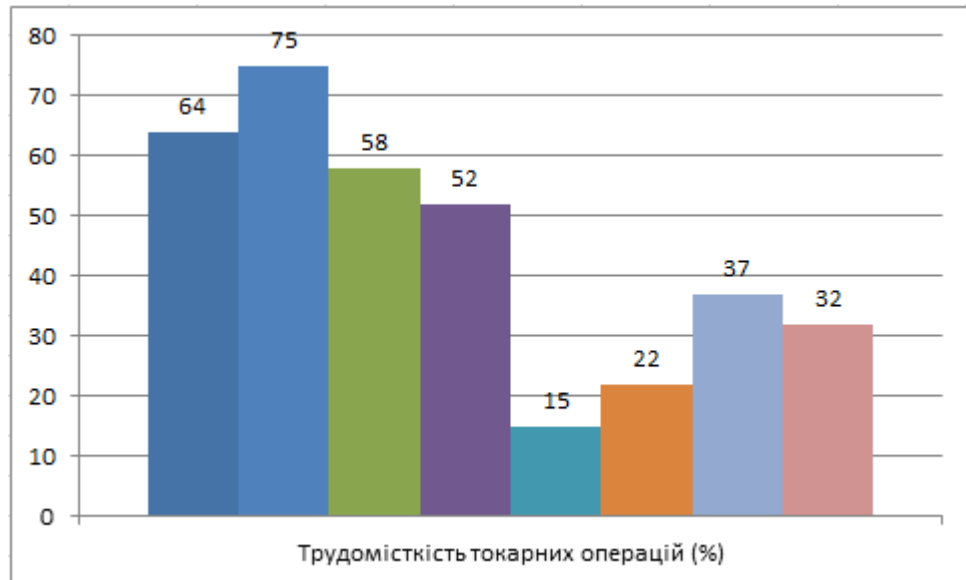


Рисунок 1.4 - Фланці, диски, зубчасті колеса



Рисунок 1.5 - Втулки, гільзи, циліндри

Токарна обробка є найбільш трудомісткою операцією обробки тіл обертання. При виготовленні ступінчастих валів трудомісткість токарної обробки складає в середньому 64% від загальної трудомісткості обробки деталі. Трудомісткість токарних операцій при обробці валів та дисків становить близько 75%, а при обробці втулок – 58% від загальної трудомісткості обробки деталі. У структурі норми часу на обробку циліндричних зубчастих коліс трудомісткість токарної обробки в середньому знаходиться в межах 52%. Витрати часу на фрезерування пазів та лисок на валах, фланцях та дисках не перевищують 15% від загальної трудомісткості обробки. Свердлильні операції залежно від типу деталі займають 3–22% норми часу на обробку деталі. Трудомісткість обробки шліцевих та зубчастих поверхонь валів, втулок та зубчастих коліс складає 18–37% від загальної норми часу на їх обробку. Трудомісткість шліфувальної обробки тіл обертання знаходить межах 5–32%.



64% - обробка ступінчастих коліс;

75% – обробка валів та дисків;

58% – обробка втулок;

52% – обробка циліндричних зубчастих коліс;

15% – фрезерування пазів та лисок на валах, фланцях та дисках;

22% - свердлильні операції;

37% - обробка шліцевих та зубчастих поверхонь валів, втулок та зубчастих коліс

32% - шліфувальна обробка тіл обертання

Рисунок 1.6 - Трудомісткість токарних операцій обробки тіл обертання

З наведених даних видно, що обробка валів і дисків у загальному обсязі тіл обертання займає найбільшу долю і оптимізація конструкції токарно фрезерних верстатів для обробки саме цих деталей є актуальною.

Обробка деталей і типу валів і типу дисків передбачає максимальне розширення технологічних можливостей верстатів. Такі верстати мають компоновки з двома шпинделями (головний шпиндель та контршпиндель). Верстати для здійснення обробки тільки валів можуть мати простіші компоновки (задня бабка замість контр шпинделя) та менші основні розміри за діаметром оброблюваних заготовок.

Оцінити ефективність використання цих принципових компоновок верстатів при переважній обробці тільки деталей типу вал дозволить визначити доцільність створення компоновок верстатів, переважно призначених для цього, а також оцінити оптимальні межі технічних характеристик цих верстатів.

Вали широко використовуються у механізмах машин для передачі обертального руху та крутного моменту. Їх розрізняють за службовим призначенням, конструкцією, розмірами та матеріалом. Вони можуть бути безступінчасті та ступінчасті, суцільні та пустотілі, гладкі та шліцьові, вали-шестірні, а також комбіновані в різних поєднаннях.

У машинобудуванні найбільш поширені ступінчасті вали діаметром 30–80 мм і довжиною 150–1000 мм, які складають понад 85% від загальної кількості типорозмірів валів [2].

Ступінчасті вали поділяються на короткі (до 250 мм), середні (250–350 мм) та довгі (понад 350 мм) [3]. Жорсткими вважаються вали, у яких відношення довжини до діаметру не перевищує 10 [4, 5].

Вали найскладніші у виготовленні, оскільки мають багато точних поверхонь, складних конструктивних елементів і противну нежорстку конструкцію. Тому обладнанню для їх обробки слід приділити увагу.

Вали можна обробляти на токарних верстатах різних типів. Раніше найбільш розповсюджене обладнання для серійного виробництва валів були токарні багато різцеві та гідрокопіювальні напівавтомати. Із розповсюдженням обладнання з ЧПК їх місце зайняли токарні верстати з ЧПК та токарні багато операційні верстати. В останні десятиріччя широкого розповсюдження набули токарно-фрезерні верстати, які суміщують можливості токарних, фрезерних та свердлильних верстатів.

Для скорочення циклу обробки заготівель, доцільно повністю обробляти заготівлі на одному верстаті, що виключає час на переустановка заготівлі з верстата на верстат. Також, обробка деталі на одному верстаті дозволяє отримати ряд переваг, таких як

- зменшення кількості устаткування;
- скорочення виробничої площі;

- скорочення кількості робочих місць;
- скорочення накладних витрат;
- зменшення витрат на електроенергію, ГСМ і так далі;
- зменшення часу міжопераційних простоїв;
- підвищення точності обробки, за рахунок зменшення кількості переустановлення заготівлі;
- зменшення собівартості деталі.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що питання проектування токарно-фрезерного верстата для комплексної обробки деталей типу «вал» є актуальним та перспективним.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЕКТОВАНОГО ВЕРСТАТА НА ОСНОВІ БАГАТОКРІТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

2.1 Критерії оптимальності технологічних систем Механообробки

Ефективність функціонування підприємства визначається на підставі комплексного та системного дослідження показників його діяльності, при якому проводиться їх співставлення та визначення взаємозв'язків. Основними показниками діяльності підприємства є: продуктивність праці, максимальний прибуток, собівартість і конкурентоспроможність продукції, інтенсивність та ефективність використання фінансових ресурсів, матеріало - та енергомісткість продукції, рентабельність, фондомісткість, фондівіддача, коефіцієнт використання обладнання та ін.

В якості критеріїв оптимальності, які характеризують організаційно технологічну структуру виробництва та відображають його технологічні та економічні аспекти діяльності, а також дозволяють найбільш точно визначити межі ефективного застосування технологічного обладнання пропонується використовувати інтенсивність формоутворення, інтенсивність маржинального прибутку, постійні витрати, що припадають на виробничу партію деталей, електромісткість прибутку та імовірність виконання завдання.

Так, за даними фірми SANDVIK COROMANT (Швеція) підвищення швидкості різання твердосплавними пластинами на 20% дозволяє зменшити собівартість обробки на 15%, тоді як зменшення витрат на РІ на 30% зменшує собівартість лише на 1% [6].

Тому, найбільш раціональним напрямком підвищення ефективності виробництва є збільшення продуктивності та інтенсивності обробки за рахунок використання сучасних різальних матеріалів провідних світових виробників та спеціальних конструкцій різальних і допоміжних інструментів, що забезпечують паралельну концентрацію технологічних переходів[1].

Продуктивність обробки адекватно характеризує системний критерій «інтенсивність формоутворення» W , мм/хв. [7], який на відміну від показника «штучна продуктивність» має абсолютний характер і дозволяє оцінити продуктивність різних типів металорізальних верстатів і верстатних систем при обробці різноманітних деталей.

Інтенсивність формоутворення являє собою фіктивну швидкість розосередженого впливу кінематично або структурно пов'язаними РІ на заготовку, визначену з урахуванням технологічних, конструктивних і експлуатаційних факторів.

Цільова функція для визначення інтенсивності формоутворення має вигляд:

$$W_H = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^{Pj} W_{Tij} \frac{t_{Oij}}{T_{шTij} + T_{пзj}/N_d + \tau_j} \right)$$

де W_{Tij} – технологічна інтенсивність формоутворення i –ї поверхні на j –му верстаті, мм/хв;

$T_{шTij}$ – норма штучного часу обробки i –ї поверхні на j –му верстаті, хв;

t_{Oij} – основний час обробки i –ї поверхні на j –му верстаті, хв;

$T_{пзj}$ – підготовчо-заклучний час, пов'язаний з обробкою партії деталей на j –му верстаті, хв;

N_d – величина виробничої партії деталей, шт.;

τ_o – резерв часу, необхідний для відновлення працездатності

j –го верстата у разі випадкової відмови верстата або РІ, з метою підвищення ймовірності виконання виробничого завдання, хв.

У сучасних умовах, коли підприємства мають можливість самостійного формування та розподілення фінансових ресурсів, матеріальна зацікавленість визначається у збільшенні прибутку.

На ціну, собівартість та прибуток підприємств впливають зміни в податковій, митній та іншій політиці держави. Таким чином, в умовах нестабільної економічної та соціально-політичної ситуації найбільш значущість фінансовою метою підприємства є одержання максимального прибутку в найкоротший термін. Цій меті повною мірою відповідає критерій «інтенсивність маржинального прибутку» I_{Π} , грн/хв, який відображає величину одержуваного маржинального прибутку від реалізації продукції, що припадає на одиницю часу, витраченого на її виробництво.

Цільова функція для визначення інтенсивності маржинального прибутку має вигляд:

$$I_{\Pi} = \frac{\sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^{P_j} \frac{\left(\Pi_{PI\ ij} + \frac{C_{cij}}{z_{ij}} + 1 \right) \cdot K_{BT} \cdot t_{oij}}{T_{ij} \cdot z_{шткj}} + 3_{pj} + C_{Ej} \right)}{\sum_{j=1}^m T_{шткj}}$$

де $\Pi_{\text{Д}}$ – ринкова ціна деталі, грн;

$\Pi_{\text{З}}$ – ринкова ціна заготовки, грн;

$\Pi_{PI\ ij}$ – ціна комплексу PI для обробки i -ї поверхні на j -му верстаті, грн;

m – кількість металорізальних верстатів, що задіяні при обробці деталі, шт;

P_j – кількість оброблюваних поверхонь деталі на j -му верстаті, шт;

K_{BT} – коефіцієнт випадкової втрати PI;

T_{ij} – стійкість комплексу PI для обробки i -ї поверхні на j -му верстаті, хв;

t_{oij} – основний час обробки i -ї поверхні на j -му верстаті, хв;

z_{ij} – кількість граней багатогранної непереточуваної пластини PI, шт.;

C_{cij} – відповідно витрати на переточування або зміну багатогранної пластини PI, грн;

3_{pj} – заробітна плата основних і допоміжних робітників з нарахуваннями на j -му верстаті, грн;

C_{Ej} – вартість електроенергії, що витрачена на обробку деталі на j -му верстаті, грн;

$T_{\text{ШТК}j}$ – норма штучно-калькуляційного часу обробки деталі на j -му верстаті, хв.

На сьогодні важливим напрямком діяльності світових промислових підприємств є економія енергоресурсів.

Для оцінки ефективності виробництва з урахуванням витрат електричної енергії доцільно використовувати критерій «електромісткість прибутку» [8], що визначає співвідношення витрат електроенергії, спожитої в процесі виготовлення продукції, та прибутку, отриманого в результаті її використання.

Цільова функція для визначення електромісткості прибутку має вигляд:

$$E_{\Pi} = \frac{\sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^{P_j} (P_{pij} \cdot t_{oij}) / \eta_{Pj} + \left(\sum P_{Bj} \cdot \frac{k_{Pj}}{\eta_{Bj}} + P_{\text{ЕЛ}j} \right) \cdot T_{\text{ШТ}j} \right)}{\Pi_{\text{Д}}}$$

де P_{pij} – споживання електроенергії двигунами головного руху при обробці i -ї поверхні на j -му верстаті, кВт;

$\sum P_{Bj}$ – сумарна потужність допоміжних двигунів j -го верстата, кВт;

k_{Pj} – коефіцієнт завантаження допоміжних двигунів за потужністю на j -му верстаті, хв;

$P_{\text{ЕЛ}j}$ – споживання електроенергії системами керування обладнанням верстата, кВт;

η_{Pj}, η_{Bj} – коефіцієнти корисної дії основних та допоміжних електродвигунів j -го верстата відповідно;

$\Pi_{\text{Д}}$ – маржинальний прибуток від реалізації деталі, грн.

Процес виконання виробничого завдання є стохастичним, тому що на нього впливають випадкові фактори, викликані відмовами верстатів та РІ.

Визначити та оцінити стохастичний зв'язок між необхідною та досягнутою продуктивністю дозволяє критерій «імовірність виконання завдання».

Він є узагальненим імовірнісним показником, що характеризує надійність процесу функціонування обладнання ТП протягом планового проміжку часу, визначеного строком виконання завдання.

При визначенні показника «імовірність виконання завдання» доцільно окремо аналізувати вплив інтенсивності відмов й інтенсивності відновлень обладнання та РІ [9-13]. Це викликано тим, що причини виникнення цих відмов і час їх відновлення різні й здебільшого вони виконуються різними категоріями обслуговуючого персоналу. Функції розподілу ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відновлення обладнання прийнято вважати експонентними [11, 12].

Ймовірнісні оцінки процесу функціонування РІ рекомендується здійснювати на підставі закону розподілу Вейбула[10]. Це підтверджується статистичними даними дослідження процесу експлуатації РІ.

Цільова функція для визначення ймовірності виконання завдання має вигляд

$$P = 1 - e^{-\lambda_j \cdot t_s - \mu_j \cdot \tau} \sum_{v=1}^m \frac{(\lambda_j \cdot t_s)^v}{v!} \left(\sum_{W=0}^{n-1} \frac{(\mu_j \cdot \tau)^W}{W!} \right) \cdot \prod_{i=1}^{N_{Kj}} (1 - e^{-(\lambda_{q,j} \cdot t_r)^b - \mu_{q,j} \cdot \tau} \cdot \alpha_{W,v} \sum_{v=1}^m \frac{((\lambda_{q,j} \cdot t_r)^b)^v}{v!} \left(\sum_{W=0}^{m-1} \frac{(\mu_{q,j} \cdot \tau)^W}{W!} \right))$$

де, λ_j, μ_j – відповідно інтенсивність відмов та відновлень j -го верстата, 1/хв;

$\lambda_{q,j}, \mu_{q,j}$ – відповідно інтенсивність відмов та відновлень q -го інструмента на j -му верстаті, 1/хв;

n, m – кількість перших членів ряду, доданого методом послідовних наближень;

v, w – відповідні номери членів ряду;

t_s – час роботи верстата при виконанні виробничого завдання, хв;

t_r – час роботи РІ при виконанні виробничого завдання, хв;

τ – резерв часу, хв;

b – показник степеня розподілу Вейбула;

w, v, a – коефіцієнти для визначення згорток, що відповідають членам ряду;

N_{kj} – кількість інструментів, що використовуються при виготовленні деталі на j -му верстаті, шт.

Аналіз наведених цільових функцій вказує на те, що загальним показником для них є штучний час обробки. При цьому електромісткість прибутку зворотньопропорційна інтенсивності формоутворення.

Технічними обмеженнями для вибраної системи критеріїв оптимальності є обмеження щодо ринкової ціни заготовки (Π_3) та деталі (Π_d), балансової вартості верстата кожного типу (C_{OBJ}), споживання електроенергії (P_P), виробничої площі, яку займають верстати (S_O) і виносні пристрої верстатів (S_B), вартості орендної плати за використання виробничих площ (C_P) та ймовірності виконання завдання (P).

Таким чином, система технічних обмежень має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \Pi_3 \geq [\Pi_3] & S_O \leq [S_O] \\ \Pi_d \leq [\Pi_d] & S_B \leq [S_B] \\ C_{OBJ} \leq [C_{OBJ}] & C_P \leq [C_P] \\ P_P \leq [P_P] & P \leq [P] \end{array} \right.$$

Прийняття технологічних рішень при оптимізації ТП пов'язане зі значними труднощами, основним із яких є необхідність врахування багатьох умов технологічного, організаційного, економічного та виробничого характеру, а також визначення ефективного методу оптимізації для розв'язання поставлених задач.

Найбільш об'єктивно обрати найвигідніший варіант ТП із числа конкуруючих дозволяють методи багатокритеріальної оптимізації.

Існує велика кількість методів багатокритеріальної оптимізації, що істотно відрізняють за складністю та трудомісткістю розрахунків.

- Багатокритеріальна оптимізація методом вагових коефіцієнтів
- Багатокритеріальна оптимізація методом послідовних поступок
- Метод виділення Парето-оптимальних рішень
- Методом близькості рішення до ідеальної точки
- Метод багатокритеріальної оптимізації, що базується на використанні теорії нечітких множин

З метою вибору раціонального методу оптимізації був проведений порівняльний аналіз результатів визначення оптимального типу токарного верстата для обробки партії деталей типу вала, отриманих різними методами оптимізації.

Дослідження проводилися з урахування різної кількості типів верстатів, на яких можливе проведення обробки.

2.2 Визначення компоновки верстата на основі аналізу критеріїв оптимальності

Таблиця 2.1 - Значення критеріїв оптимізації для різних типів токарних верстатів та величини виробничої партії деталей

Вер- - стат	Величина виробничої партії деталей, шт								
	1	5	10	20	50	100	200	500	1000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W_H , мм/х									
1	35,9	63,2	69,8	73,7	76,2	77,1	77,5	77,9	78,0
2	20,7	74,8	96,6	112,9	125,7	130,6	133,2	134,9	135,4

Продовження таблиці 2.1

3	15,1	55,5	83,1	110,8	138,4	150,9	158,1	162,8	164,3
4	22,6	81,9	121,9	161,2	199,9	217,3	227,2	233,6	235,7
I_{Π}, грн/хв									
1	4,21	7,75	8,61	9,11	9,44	9,55	9,61	9,65	9,67
2	2,48	8,73	11,55	13,68	15,34	15,98	16,32	16,53	16,60
3	0,96	6,20	9,30	13,40	16,98	18,62	19,55	20,48	20,36
4	1,43	9,14	14,33	19,44	24,46	26,72	28,00	28,83	29,12
S_{Π}, грн									
1	3,79	9,07	15,68	28,89	68,51	134,55	266,64	664,5	1320,6
2	21,49	30,87	42,6	66,05	136,43	253,9	488,29	1192	2365,5
3	24,26	28,9	34,7	46,3	81,9	139,08	255,05	602,97	1183,2

4	39,08	46,88	56,63	76,13	134,63	232,13	427,13	1012,1	1987,3
E_{Π}, кВт/грн									
1	0,0082	0,0045	0,0041	0,0039	0,0038	0,0037	0,0037	0,0037	0,0037
2	0,04	0,012	0,009	0,0077	0,0069	0,0067	0,0066	0,0065	0,0065
3	0,142	0,022	0,014	0,011	0,0084	0,0077	0,0073	0,0072	0,0071
4	0,197	0,032	0,021	0,015	0,012	0,011	0,01	0,01	0,01
1	0,998	0,996	0,994	0,99	0,979	0,962	0,936	0,896	0,886
2	0,995	0,992	0,988	0,98	0,959	0,924	0,863	0,725	0,685
3	0,995	0,993	0,992	0,988	0,978	0,961	0,932	0,866	0,82
4	0,995	0,988	0,985	0,978	0,96	0,93	0,876	0,745	0,699

У таблиці 2.1 наведені значення критеріїв оптимізації для різних типів токарних верстатів, а у табл. 2.2 – результати оптимізації, отримані різними методами з урахуванням різної кількості критеріїв.

Аналіз результатів наведених у таблиці 2.2 свідчить проте, що оцінка за окремими критеріями не дає об'єктивних результатів. Незалежно від методів

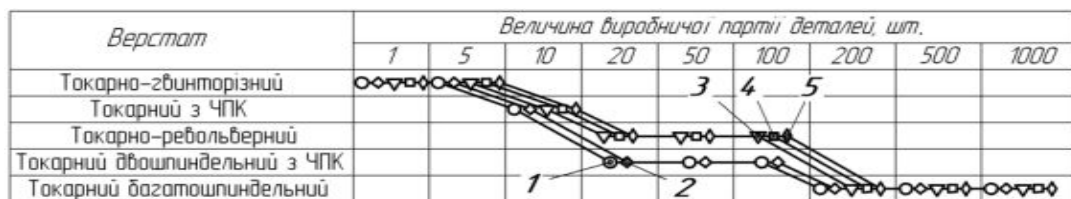
оптимізації партія деталей що обробляється на токарному верстаті з ЧПК не перевищує 20 шт, а на верстаті з ЧПК з двома шпинделями – 20-100 шт.

У табл. 2.1 подані позначення верстатів:

- 1 – токарно-гвинторізний;
- 2 – токарний із ЧПК;
- 3 – токарно-револьверний;
- 4 – токарний двошпиндельний із ЧПК;
- 5 – токарний багатошпиндельний напівавтомат.

2.3 Визначення оптимального типу токарного верстата різними методами багатокритеріальної оптимізації

Таблиця 2.2 – позначення методів оптимізації



- 1 – вагових коефіцієнтів;
- 2 – аналізу ієрархій;
- 3 – близькості до ідеальної точки;
- 4 – послідовних поступок;
- 5 – нечітких множин.

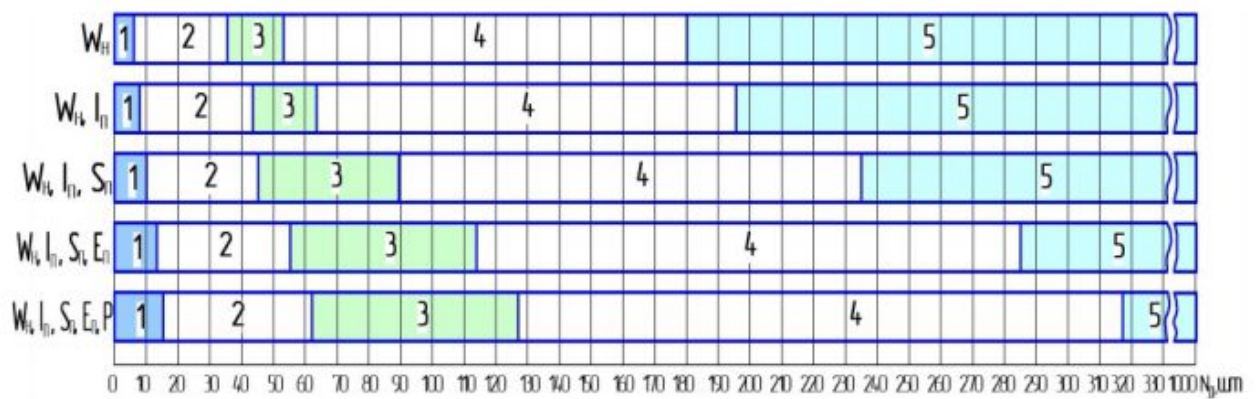
Як бачимо, за результатами розрахунків методи оптимізації розподілилися на дві групи, в межах яких усі методи забезпечують однакові результати. Для токарно-фрезерної обробки оптимальна партія випуску 20 шт, а для двошпиндельного верстата оптимальна партія випуску 20-100 шт.

Оскільки багатокритеріальна оптимізація різними методами дає схожі результати – то вона можлива.

З метою встановлення впливу кількості критеріїв оптимальності із запропонованої системи на результат оптимізаційного рішення був проведений вибір найвигіднішого типу токарного верстата для обробки вала з урахуванням різної кількості критеріїв. У табл. 2.3 подані величини виробничої партії деталей, межі яких визначають оптимальний тип верстата з урахуванням різної кількості критеріїв оптимальності із запропонованої системи критеріїв.

Таблиця 2.3 - Величина виробничої партії деталей, що визначає оптимальний тип верстата

Верстат	Критерії оптимальності, що враховувалися				
	W_H	W_H, I_{Π}	W_H, I_{Π}, S_{Π}	$W_H, I_{\Pi}, S_{\Pi}, E_{\Pi}$	$W_H, I_{\Pi}, S_{\Pi}, E_{\Pi}, P$
Токарно-гвинторізний	1-6	1-8	1-10	1-13	1-15
Токарний із ЧПК	7-36	9-43	11-44	14-55	16-62
Токарно-револьверний	37-53	44-63	45-89	56-113	63-127
Токарний двошпиндельний із ЧПК	54-180	64-196	90-235	114-285	128-318
Токарний багатошпиндельний	>180	>196	>235	>285	>318



- 1 – токарно-гвинторізний;
- 2 – токарний із ЧПК;
- 3 – токарно-револьверний;
- 4 – токарний двошпиндельний із ЧПК;
- 5 – токарний багатошпиндельний

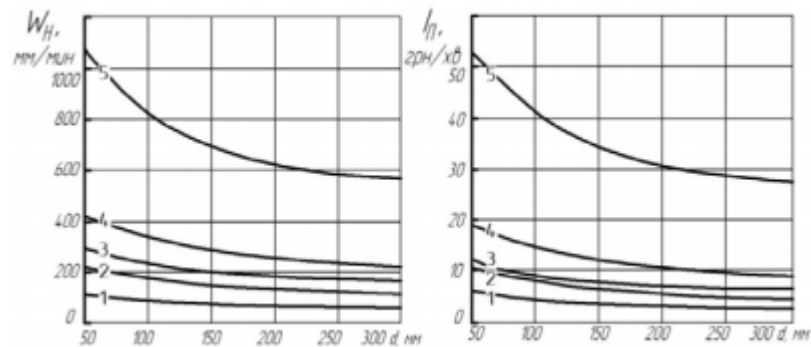
Рисунок 2.1 - Діаграма впливу кількості критеріїв оптимальності на величину виробничої партії деталей, межі якої визначають оптимальний тип токарного верстата.

Так, при використанні запропонованої системи критеріїв область ефективного застосування токарно-гвинторізного верстата збільшується у 2,35 раза, токарного із ЧПК – у 1,85, токарного двошпиндельного із ЧПК – у 2,65, а токарно-револьверного – у 1,7 раза відповідно (рис.2.1).

Таким чином, запропонована система критеріїв для багатокритеріальної оптимізації ТП дозволяє об'єктивно розширити межі ефективного застосування ТП.

Для визначення закономірностей зміни критеріїв оптимальності були проведені розрахунки значень критеріїв оптимальності при обробці деталей на різних типах металорізальних верстатів з урахуванням діаметра оброблюваної поверхні, матеріалу заготовки та характеру обробки (чорнова і чистова). Розрахунок норм часу здійснювався з урахуванням режимів різання згідно з рекомендаціями загальномашинобудівних нормативів часу та режимів різання

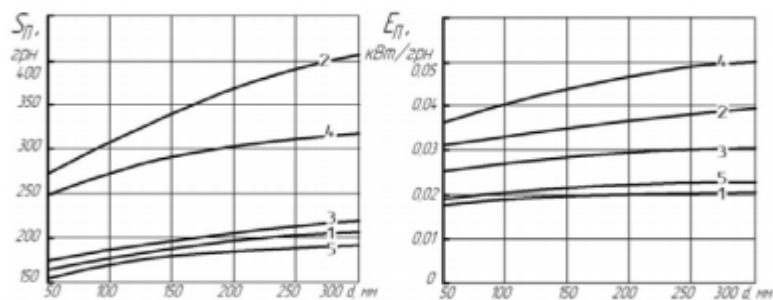
[14,15]. Аналіз залежності критеріїв оптимальності від діаметра оброблюваної поверхні (рис. 2.2–2.5) показав, що зі збільшенням діаметра обробки значення критеріїв інтенсивності прибутку та інтенсивності формоутворення зменшуються, а електромісткості прибутку та витрат на виробничі площі збільшуються. Це обумовлено тим, що при збільшенні діаметра обробки зменшується швидкість різання, яка найбільш суттєво впливає на продуктивність обробки і відповідно значення критеріїв оптимальності.



- 1 – токарно-гвинторізний;
- 2 – токарний з ЧПК;
- 3 – токарно-револьверний;
- 4 – токарний двошпиндельний з ЧПК;
- 5 – токарний багатошпиндельний

Рисунок 2.2 - Графіки залежності інтенсивності формоутворення (а) та інтенсивності маржинального прибутку (б) від діаметра оброблюваної поверхні при чорновому точінні сталевго вала на різних типах токарних верстатів.

Найбільша інтенсивність зміни W_n і I_n відбувається до $\varnothing 150$ мм.



а)

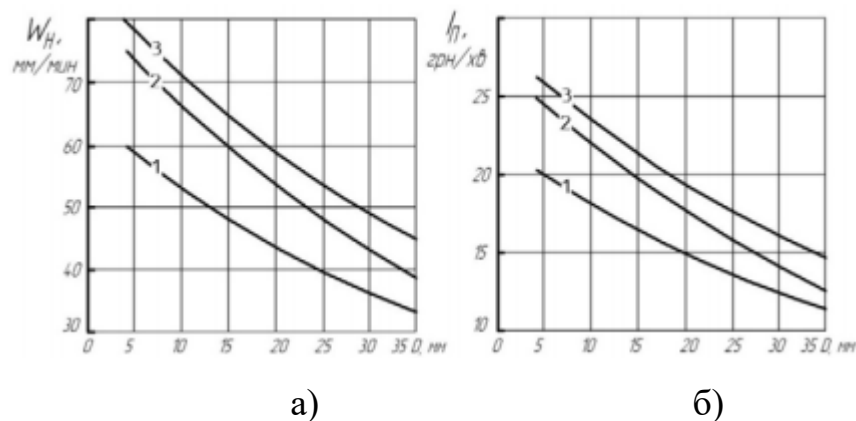
б)

- 1 – токарно-гвинторізний;
- 2 – токарний із ЧПК;
- 3 – токарно-револьверний;
- 4 – токарний двошпиндельний із ЧПК;
- 5 – токарний багатошпиндельний

Рисунок 2.3 - Графіки залежності постійних витрат, що припадають на виробничу партію деталей (а) та електромісткості прибутку (б) від діаметра оброблюваної поверхні при чорновому точінні сталевго вала на різних типах токарних верстатів.

Як бачимо, для показника S_n – 20 мм – при чому інтенсивність після Ø200 найбільша для токарно – фрезерного верстата з ЧПК.

Для показника E_n – практично немає різниці у діаметрі.

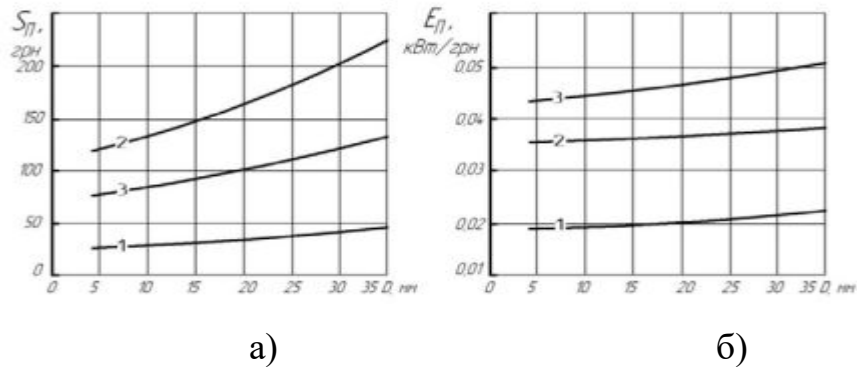


- 1 – вертикально-свердильний;
- 2 – свердильно-фрезерний із ЧПК;
- 3- токарний багатоцільовий

Рисунок 2.4 - Графіки залежності інтенсивності формоутворення (а) та інтенсивності маржинального прибутку (б) від діаметра оброблюваної поверхні при свердлінні сталевго вала на різних типах верстатів.

З цього рисунку, можна зробити висновок що, зі збільшенням діаметру сверління – зменшуються «позитивні» показники та збільшуються «негативні».

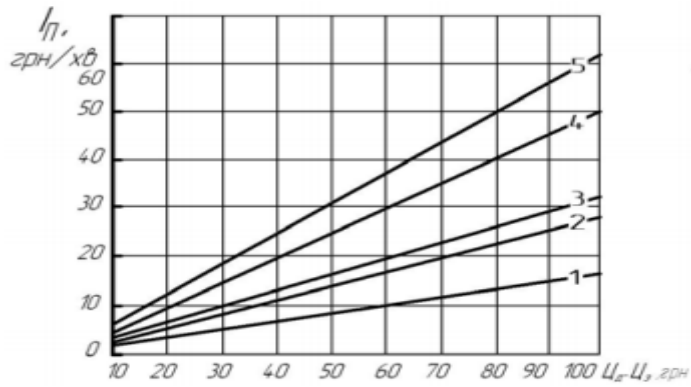
По «позитивним» показникам залежності майже прямі, байдуже який діаметр. А по «негативним» обмеженням максимального діаметру є $\varnothing 25$ мм.



- 1 – вертикально-свердильний;
- 2 – свердильно-фрезерний із ЧПК;
- 3 – токарний багатоцільовий

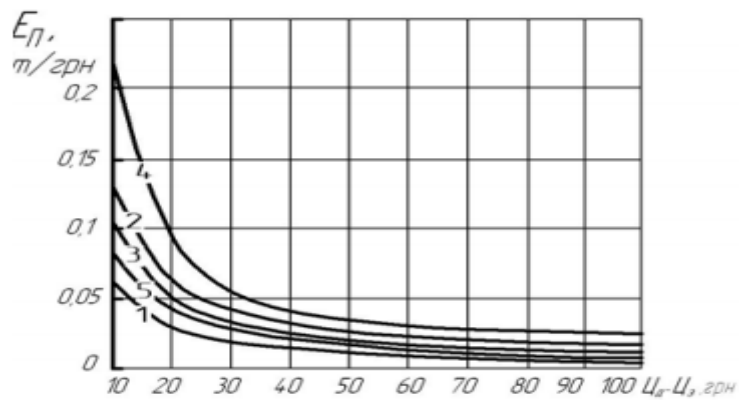
Рисунок 2.5 - Графіки залежності постійних витрат, що припадають на виробничу партію деталей (а) та електромісткості прибутку (б) від діаметра оброблюваної поверхні при свердлінні сталевого вала на різних типах верстатів.

Критерії інтенсивності маржинального прибутку та електромісткість прибутку істотно залежать від різниці між ринковими цінами заготовки та деталі, що визначають величину прибутку. Зі збільшенням різниці між цінами заготовки та деталі помітно збільшується різниця між інтенсивністю прибутку різних типів верстатів (рис. 2.10), тоді як різниця між електромісткістю прибутку різних типів верстатів – зменшується (рис. 2.11). Це підтверджує різний ступінь впливу цих критеріїв на вибір оптимального типу верстата залежно від рівня прибутку. Залежності, наведені на рис. 2.12, дозволяють визначити мінімальну ціну деталі, при якій кожен тип токарного верстата забезпечуватиме отримання прибутку. Від ціни деталі залежить критична програма випуску продукції, що визначає мінімальну величину виробничої партії деталей, при якій обраний тип верстата забезпечуватиме отримання прибутку (рис. 2.13). На інтенсивність маржинального прибутку впливає також трудомісткість обробки деталі. Залежності, наведені на рис. 2.14, дозволяють визначити цей вплив для кожного типу токарного верстата.



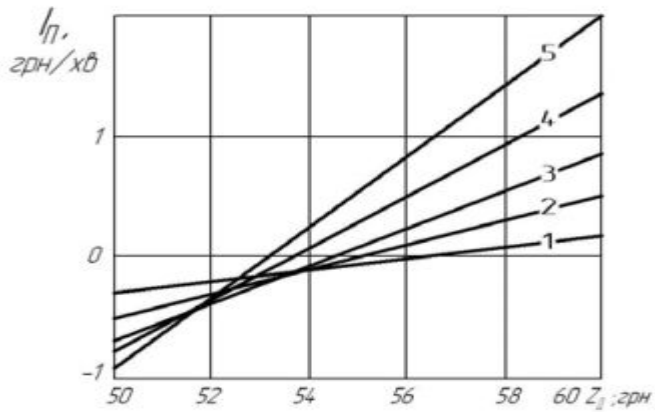
- 1 – токарно-гвинторізний;
- 2 – токарний із ЧПК;
- 3 – токарно-револьверний;
- 4 – токарний двошпиндельний із ЧПК;
- 5 – токарний багатошпиндельний напівавтомат

Рисунок 2.10 - Вплив різниці між ціною заготовки та деталі на інтенсивність маржинального прибутку при чорновому точінні сталевого вала.



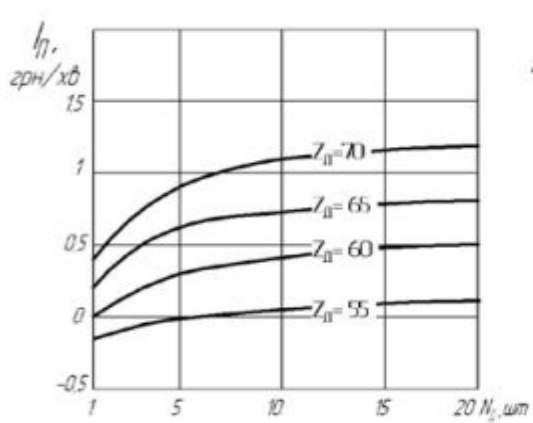
- 1 – вертикально-свердильний;
- 2 – свердильнофрезерний із ЧПК;
- 3 – токарний багатоцільовий

Рисунок 2.11 - Вплив різниці між ціною заготовки та деталі на електромісткість прибутку при чорновому точінні сталевого вала.

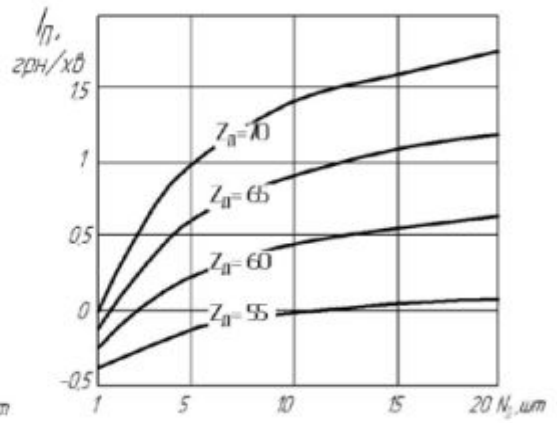


- 1 – токарно-гвинторізний;
- 2 – токарний із ЧПК;
- 3 – токарно-револьверний;
- 4 – токарний двошпиндельний із ЧПК;
- 5 – токарний багатошпиндельний напівавтомат

Рисунок 2.12 - Залежність інтенсивності маржинального прибутку від ціни деталі для різних типів токарних верстатів ($N_d = 150$ шт.).



а)

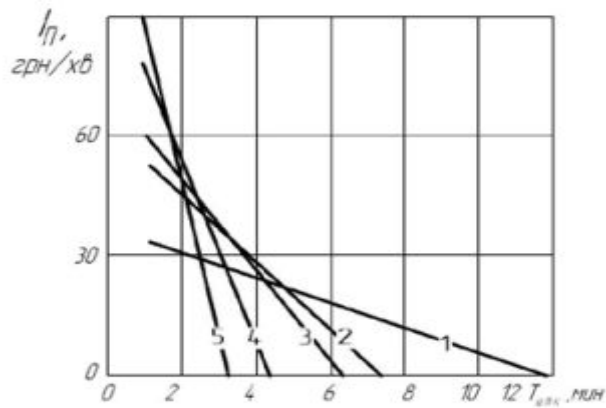


б)

а – токарно-гвинторізного верстата;

б – токарного верстата із ЧПК

Рисунок 2.13 - Вплив ціни деталі на величину критичної програми випуску.

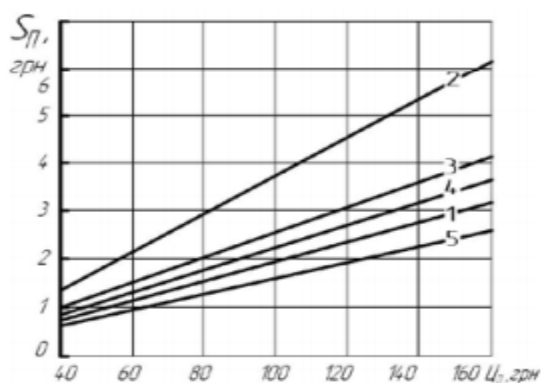


- 1 – токарно-гвинторізний;
- 2 – токарний із ЧПК;
- 3 – токарноревольверний;
- 4 – токарний двошпиндельний із ЧПК;
- 5 – токарний багатошпиндельний напівавтомат

Рисунок 2.14 - Вплив трудомісткості обробки деталі на інтенсивність маржинального прибутку для різних типів токарних верстатів.

Постійні витрати, що припадають на виробничу партію деталей залежать від величини щомісячної орендної плати за користування виробничими площами, які займає металорізальне обладнання.

На рисунку 2.15 показана залежність постійних витрат, що припадають на виробничу партію деталей від величини орендної плати. Як бачимо, зі збільшення орендної плати помітно зростає різниця між постійними витратами для різних типів верстатів, збільшуючи тим самим вплив цього критерію на вибір оптимального рішення.

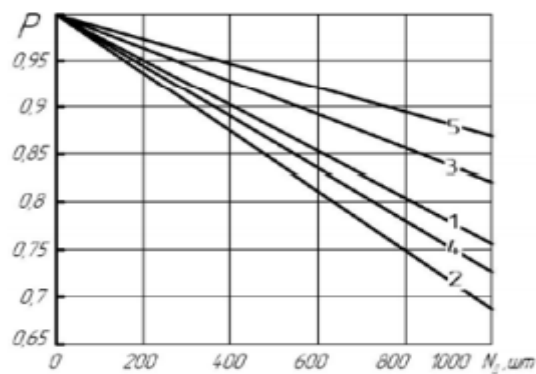


- 1 – токарно-гвинторізний;

- 2 – токарний із ЧПК;
- 3 – токарно-револьверний;
- 4 – токарний двошпиндельний із ЧПК;
- 5 – токарний багатошпиндельний напівавтомат

Рисунок 2.15 - Залежність постійних витрат, що припадають на виробничу партію деталей, від величини орендної плати при чорновому точінні сталевого фланця.

Імовірність виконання завдання залежить від часу його виконання, який визначається трудомісткістю обробки заготовки та величиною виробничої партії деталей. Так, зі збільшенням величини виробничої партії деталей імовірність виконання завдання зменшується, що викликано збільшенням імовірності відмови верстата та РІ (рис. 2.16).



- 1 – токарно-гвинторізний;
- 2 – токарний із ЧПК;
- 3 – токарно-револьверний;
- 4 – токарний двошпиндельний із ЧПК;
- 5 – токарний багатошпиндельний напівавтомат

Рисунок 2.16 - Залежність імовірності виконання завдання від величини виробничої партії при чорновому точінні сталевого вала.

На рисунку 2.17 наведені графіки залежності ймовірності виконання завдання для токарного верстата із ЧПК від резерву часу. На ймовірність

виконання завдання впливають якість та 70 надійність РІ, яку визначає показник степеня b у розподілі Вейбула, що характеризує закон розподілу густини ймовірності стійкості РІ (експоненціальний, нормальний, Релея).

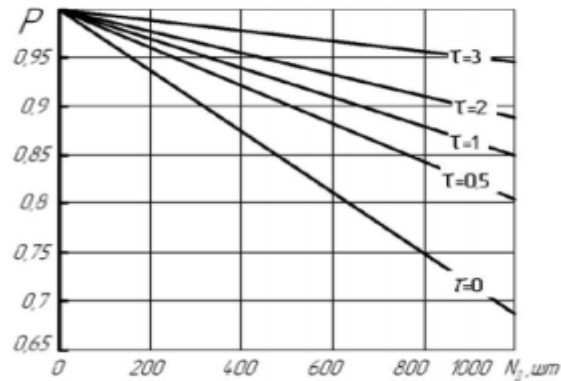


Рисунок 2.17 - Залежність імовірності виконання завдання від величини виробничої партії та резерву часу для токарного верстата із ЧПК

Виходячи з вищесказаного, можна сказати, що розробка токарно-фрезерного верстата є актуальною і перспективною. У сучасному машинобудуванні існують різні конструкції токарно-фрезерних верстатів:

1. Залежно від маси, верстати бувають:

- легкі (маса до 1 т);
- середні (маса від 1 до 10 т);
- важкі (маса більше 10 т);
- унікальні (маса більше 100 т).

2. Залежно від міри точності верстата :

- нормальна П;
- підвищена Н;
- высокая В;
- особливо висока А;
- особлива С.

3. Залежно від компоновання верстата :

- вертикальний;
- горизонтальний.

4. Залежно від розташування станини, верстати бувають з:

- вертикальною станиною;
- горизонтальною станиною;
- похилою станиною.

5. Залежно від виду вироблюваних обробок деталей, існують верстати з:

- одним шпинделем;
- з шпинделем і задньою бабкою;
- з шпинделем і субшпинделем.

6. Залежно від необхідності обробки приводним інструментом (фрезерування, свердління, зенкерування, розгортання, нарізування різьблення), існують верстати:

- з віссю Z (з приводним інструментом);
- без осі Z (без приводного інструменту).

7. Залежно від наявності осі Y:

- без осі Y;
- з віссю Y.

8. Залежно від типу кріплення інструменту, розрізняють такі інструментальні системи верстатів :

- з револьверною голівкою;
- з лінійною інструментальною касетою;
- з револьверною голівкою і з лінійною інструментальною касетою.

3 РОЗРОБКА КОМПОНУВАННЯ ТОКАРНО – ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК

3.1 Аналіз компоновок токарно-фрезерних верстатів з ЧПК

Багато сучасних токарних верстатів із ЧПК оснащуються додатковими револьверними головками та супортами, механізмами завантаження, конвеєрами для видалення стружки та вимірювальними пристроями. Токарні багатоцільові верстати можуть оснащуватися однією, двома, трьома та чотирма револьверними головками з приводними інструментами та можливістю переміщення по осі Y (рис. 3.1), а також фрезерним супортом, що дозволяє виконувати на них велику кількість технологічних переходів включаючи зубо-, шліце- та різьбофрезерування (рис. 3.2, 3.3) [16–19].

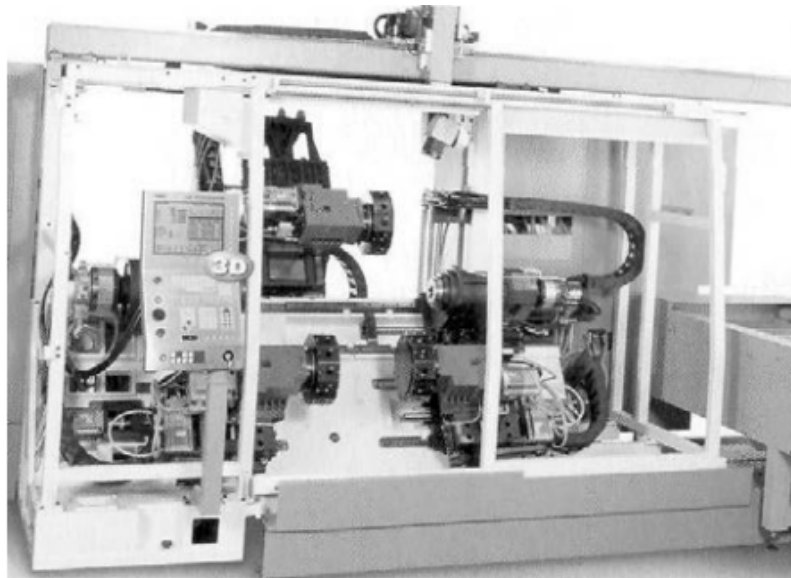


Рисунок 3.1 - Токарний верстат, оснащений трьома револьверними головками

Наявність контршпинделя (вісь С) дозволяє позиціонувати шпиндель з точністю $0,001^\circ$ при обробці обертальним інструментом. Суміщення обертання деталі та її переміщення дозволяє виконувати обробку з лінійним та круговим

інтерполюванням, фрезерувати гвинтові канавки та інші поверхні складної форми.

На токарних обробних центрах HYUNDAI-KIA (Південна Корея) [16] передбачене встановлення гідравлічних індексованих патронів, які мають додаткову вісь повороту (позиціонування деталі) на 120° , 90° , 60° , 45° , тобто можлива обробка деталей з розподілом її на 8, 6, 4 і 3 грані відповідно.

Застосування патронів дозволяє виконувати високопродуктивну обробку деталей типу корпусів, клапанів, патрубків, хрестовин із високою точністю позиціонування.

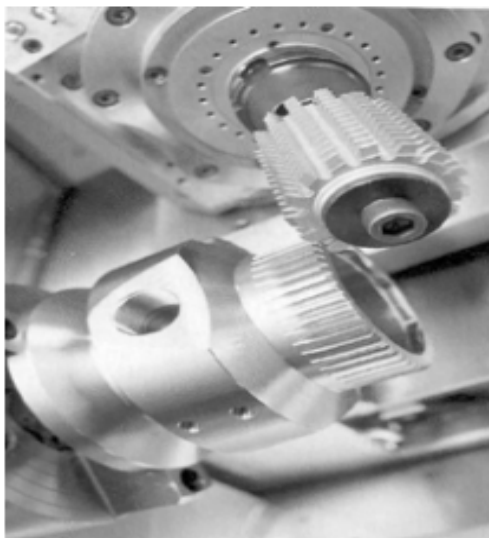


Рисунок 3.2 - Фрезерування зубчастої поверхні на токарно-фрезерному верстаті

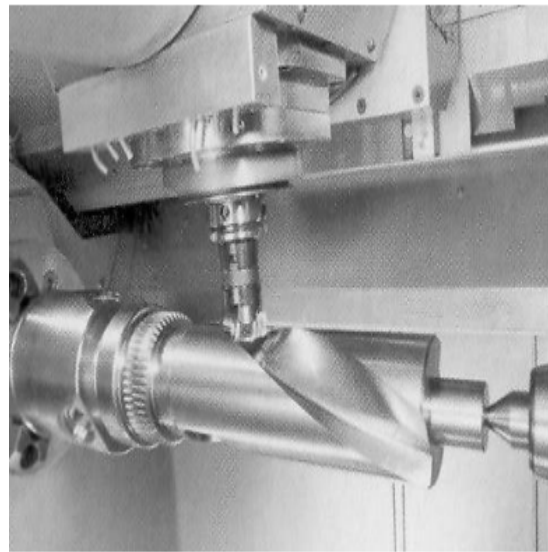


Рисунок 3.3 - Фрезерування гвинтової канавки з використанням фрезерного супорта та осі С

Компанія SPINNER (Німеччина) [17] розробила високопрецизійні токарні верстати для фінішної обробки й обробки деталей з високою твердістю (вище HRC 60), що відповідають найвищим вимогам по точності розмірів, геометричної форми та шорсткості. Шорсткість поверхонь після обробки складає $R_a = 0,02$ мкм, відхилення від круглості до 0,2 мкм, точність позиціонування робочих органів 0,4 мкм.

Верстати оснащуються високо прецизійними шпинделями, жорсткими напрямними кочення, планетарними гвинтовими передачами, контр шпинделем

та лінійними вимірювальними системами для точного позиціонування, а також можуть комплектуватися інструментальними системами різного виконання. Лінійна та лінійно-касетна системи [19] дозволяють встановлювати РІ в лінію (лінійний револьвер), що скорочує час зміни РІ та забезпечує можливість подачі змащувально-охолоджуваної рідини через центр РІ. Сьогодні в основі побудови верстатів лежить агрегатно - модульний принцип проектування вузлів різного призначення, який відображає прогресивну тенденцію та дозволяє створювати різні модифікації токарно-фрезерних, свердлильно-фрезерних та інших верстатів. Використання механізмів, сконструйованих з урахуванням досягнень механіки, гідравліки, пневматики та комбінованих механізмів, побудованих на нових фізичних принципах (магнітострикційні приводи, лінійні двигуни, магнітні опори та ін.) дозволяє суттєво підвищити продуктивність обробки.

Так, сучасні верстати, оснащені лінійними двигунами забезпечують переміщення робочих органів верстата зі швидкістю до 600 м/хв при точності позиціонування 0,1 мкм [20]. Перенесення робочих функцій з механічних систем та приводів на систему керування і електропривод дозволяє отримати компактні та легкокеровані вузли з високими технічними характеристиками. Наприклад, сучасні свердлильно- фрезерні верстати оснащуються шпинделями з прямим приводом, які забезпечують частоту обертання до 40000 об/хв і більше [19].

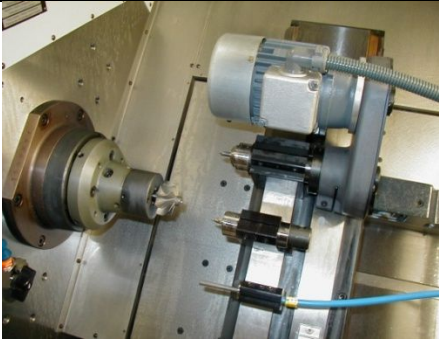
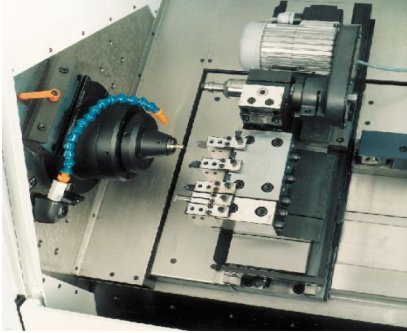
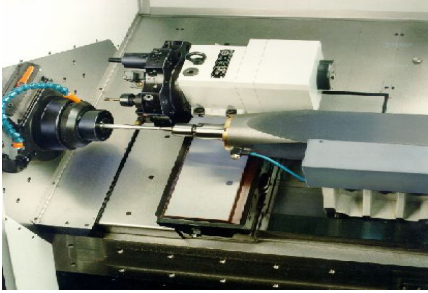
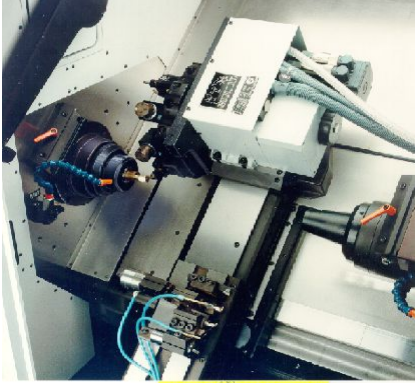
Як показує огляд конструкцій та компоновок токарно-фрезерних верстатів з ЧПК існує велике різноманіття компоновок та конструкцій таких верстатів.

3.2 Аналіз конструкції окремих вузлів токарно-фрезерних верстатів

Верстат, що розробляється, відноситься до верстатів легкої групи, (маючи широкі технологічні можливості при невеликій займаній площі), з підвищеним класом точності (для можливості обробки прецизійних деталей). Горизонтальне розташування шпинделя і станини створює умови для обробки деталі з різних сторін. Для можливості обробки в центрах деталей типу "вал",

проектований верстат забезпечується задньою бабкою. Для здійснення комплексної обробки деталі, верстат оснащений револьверною голівкою а також віссю Z (для приводного інструменту) і Y.

Таблиця 3.1 – Види інструментальних систем токарно-фрезерних верстатів

Вид конструкції верстат	Зображення
Лінійна стандартна касета	
Лінійно-касетна система <i>Linear-CartridgeSystem</i>	
Револьверна голівка (верстат із задньою бабкою)	
Револьверна голівка (верстат з субшпинделем)	

3.3 Аналіз конструкції шпинделя

Перше рішення, яке має бути прийняте : який шпиндель потрібний - з ремінною передачею або зі вбудованим мотором (мотор - шпиндель). Це визначається вимогами до верстата - необхідною швидкістю обертання, потужністю і жорсткістю. Шпиндель з ремінною передачею має принципово меншу вартість, ніж мотор - шпиндель. Типовий шпиндель з ремінною передачею включає встановлений в корпус шпиндельний вал на підшипникових опорах. Він забезпечений системами затиску і розтиску інструменту.

Переваги шпинделя з ремінною передачею полягають в наступному:

1. Порівняно низька вартість.
2. Широкий діапазон технічних даних : оскільки потужність, момент і швидкість шпинделя визначаються характеристиками мотора, кінцева специфікація шпинделя може бути змінена за рахунок вибору іншого мотора або іншого передатного відношення.
3. Висока потужність і момент.

Недоліки шпинделя з ремінною передачею:

1. Обмеження максимальної швидкості.
2. Ремінна передача знижує здатність навантаження підшипників.

3.3.1 Мотор - шпиндель

Цей пристрій відноситься до приводу прямої дії (DirectDrive). Мотор - шпинделі виготовляються зі вбудованим асинхронним електродвигуном, який розроблений спеціально для досягнення високих потужностей і моменту, що крутить, на низьких і середніх швидкостях. Для захисту обмоток вбудованого електродвигуна від перевантажень використовуються терморезистори. Водяне охолодження мотор ний частини і передньої опори, дозволило отримати мотор -

шпинделі з мінімальними габаритними розмірами. Мотор - шпинделі працюють в широкому діапазоні частот обертання, тому в них використовуються прецизійні кулькові радіально-наполегливі підшипники з системою нормованого попереднього натягу, що забезпечують високі величини: жорсткості шпинделя і допустимих навантажень. Система охолодження призначена для відведення надмірного тепла, що виділяється мотор, - шпинделем під час роботи.

Вибір окремих компонентів залежить, від вимог до верстата. Крім того, потрібні компроміси для отримання найкращої комбінації швидкості, потужності, жорсткості і здатності навантаження.

Конструкція мотор - шпинделя:

- шпиндельний вал з вузлом кріплення інструменту;
- приводна частина (статор і ротор електродвигуна);
- шпиндельні опори (прецизійні кулькові радіально-наполегливі підшипники);
- система охолодження;
- роз'єми і канали зв'язку.

Переваги мотор - шпинделя:

- компактність;
- невелика кількість компонентів і простий монтаж;
- передача обертання з високою жорсткістю;
- можливість забезпечення високих частот обертання;
- високі моменти обертання і швидкості і тим самим висока продуктивність, завдяки високій потужності різання і скороченню допоміжного часу;
- більш висока швидкість і короткий час розгону.

Недоліки мотор - шпинделя:

- висока ціна;

- необхідність охолодження.

Вимоги, що пред'являються до мотор-шпинделя:

1. Має бути присутньою температурна стабілізація шпинделя;
2. Контроль параметрів за допомогою датчиків:
 - положення ротора;
 - температури в підшипниках.
3. Захист від попадання стружки у всередину корпусу мотор - шпинделя;
4. Мастило підшипників;
5. Невисока вартість.

У конструкції приводу головного руху проектного верстата вибираємо шпиндель зі вбудованим мотором (мотор - шпиндель). Цей тип шпинделя має компактні розміри (що дуже зручно, оскільки верстат, що розробляється, відноситься з верстатам дрібної групи), високу жорсткість (для можливості високоточної обробки) і має високі моменти обертання і швидкості, тим самим забезпечуючи високу продуктивність.

3.3.2 Вибір підшипників у мотор – шпинделі

Одним з найбільш важливих компонентів будь-якого шпинделя є система підшипників. Шпиндель повинен мати високі швидкості обертання, передавати необхідні моменти, що обертає, мати хорошу здатність навантаження і тривалий термін служби. Підшипники повинні забезпечувати усі ці вимоги.

Типи підшипників - роликові, роликові конічні, кулькові підшипники з кутовим контактом. Критерії вибору підшипників залежать від специфікації шпинделя, як це показано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Чинники, що впливають на вибір підшипників

Вимоги	Тип підшипників	Вплив на параметри шпинделя
Висока швидкість	Малий кутовий контакт	Малий вал, низька потужність
Висока жорсткість	Великі ролики	Низька швидкість, великий вал
Аксіальне навантаження	Великий кут контакту	Пониження швидкості
Радіальне навантаження	Малий кут контакту	Підвищення швидкості
Висока точність	Високий переднатяг	Дорого, низька швидкість

Як видно з таблиці, вибір підшипників визначається багатьма чинниками. Шпиндель, призначений для роботи з максимально можливою швидкістю обертання, не може мати високої жорсткості, шпиндель з високою жорсткістю не може обертатися на високих обертах без різкого зменшення терміну служби підшипників. Таким чином, розробляючи мотор-шпиндель, ми зобов'язані вибрати найкраще компромісне рішення.

Для задоволення безлічі вимог, таких як висока частота обертання і здатність, що несе, висока точність ходу, жорсткість, а також комбіноване радіальне і осьове навантаження при малому виділенні тепла, в якості опор мотор - шпинделя вибираємо прецизійні радіально-наполегливі підшипники кочення.

Радіально-наполегливі підшипники складаються з безлічі прецизійних кульок, вбудованих в сталеві прецизійні кільця. Вони мають радіальну і осьову здатність навантаження. Одним з основних параметрів специфікації радіально-наполегливих підшипників є кут контакту. Кут контакту визначається як кут між лінією, що сполучає точки контакту кульки і каналів в радіальній площині, по напрямку передаваного від одного до іншого навантаження і ліній, перпендикулярної осі підшипника. Різні кути контакту відповідають окремим

вимогам по комбінованих навантаженнях відносно параметрів жорсткості і швидкості обертання. Оскільки в конструйованому мотор - шпинделі радіальні навантаження переважають над осьовими, оптимальним кутом контакту підшипників складає 25°.

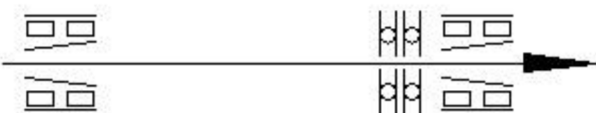
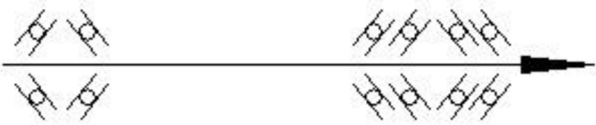
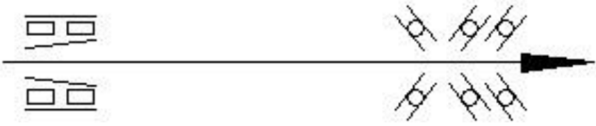
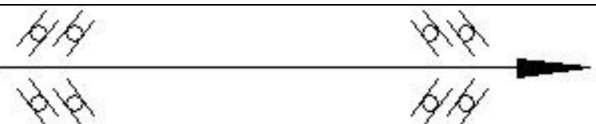
3.3.3 Вибір схеми розташування підшипників у мотор – шпинделі

Вибір тієї або іншої конструктивної схеми шпиндельного вузла залежить в основному від його швидкохідності, що характеризується коефіцієнтом швидкохідності і жорсткості. Збільшення швидкохідності завжди спричиняє за собою зменшення жорсткості шпиндельного вузла і навпаки. У таблиці 3.3 представлені кінематичні зображення найчастіше вживаних конструкцій шпиндельних вузлів вітчизняних виробників, а в таблиці 3.4 приведені конструктивні схеми опор цих вузлів. При цьому до передньої опори шпиндельного вузла пред'являються більш високі вимоги, ніж до задньої, і, в першу чергу, по точності і жорсткості. Передня опора у більшості випадків сприймає не лише радіальне, але і осьове навантаження, монтується на точніших і жорсткіших підшипниках, і може мати більший діаметр шийки шпинделя під підшипники, чим в задній опорі.

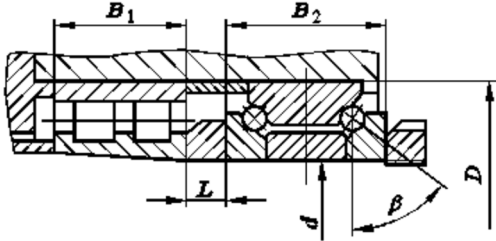
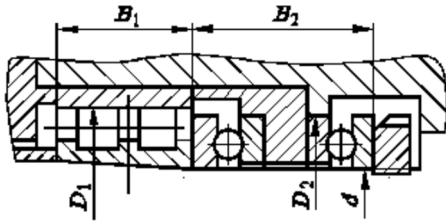
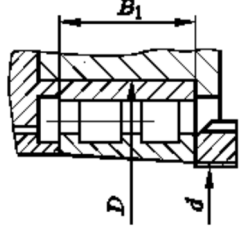
Таблиця 3.3 - Типовые кинематические схемы шпиндельных узлов отечественных производителей

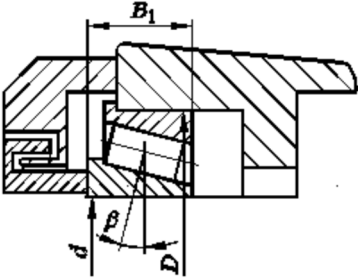
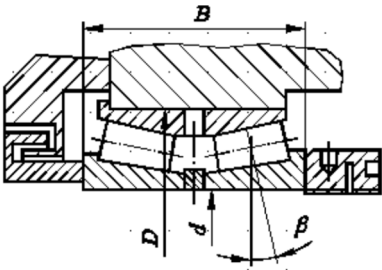
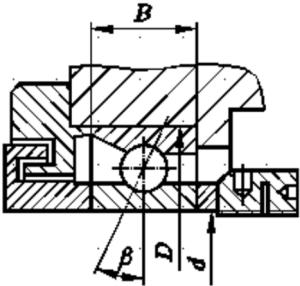
Зображення шпиндельного вузла на кінематичних схемах	Використовувані підшипники		$d \times n \times 10^5$, мм×об/хв
	У передній опорі	У задній опорі	

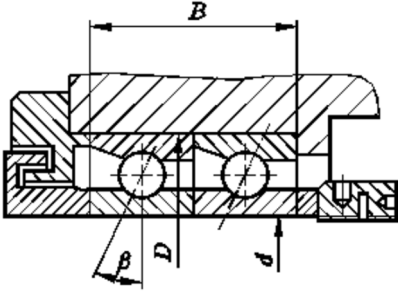
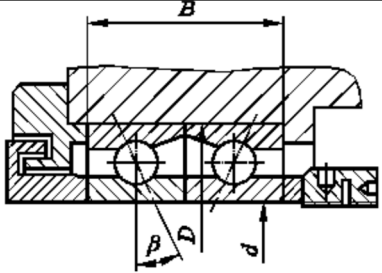
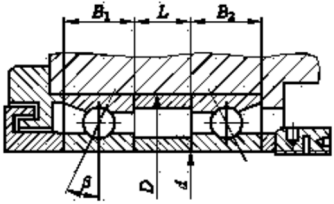
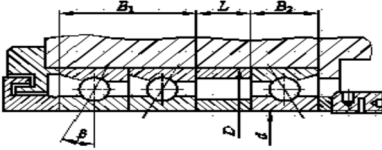
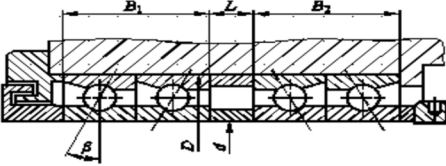
Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
 схема 1	3182100 та 8100	3182100	1,5...2,0
 схема 2	697700 або 697800	67700 або 2007100	1,8...2,5
 схема 3	3182100 та 178000	3182100	2,5...4,5
 схема 4	46000 або 36000	46000 або 36000	3...5
 схема 5	46000 або 36000	3182100	4...6
 схема 6	36000	36000	4...7,0
 схема 7	36000	36000	6,5...11,0

Таблиця 3.4 - Типові конструктивні схеми опор шпиндельних вузлів вітчизняних виробників

Конструктивне оформлення опор і найменування підшипників	Позначення підшипників в опорах
1	2
 Радіальний дворядний роликовий та упорно-радіальний	3182100 та 178800
 Радіальний дворядний роликовий і два упорних кулькових	3182100 та 8100
 Радіальний дворядний роликовий	3182100

1	2
 Конічний радіальний однорядний	67700 або 67800, або 2007100
 Конічний дворядний роликовий	697000
 Радіально-упорний кульковий	36000 або 46000

1	2
 Радіально-упорні кулькові за схемою дуплекс- «Т» (тандем)	36000 або 46000
 Радіально-упорні кулькові за схемою дуплекс- «Х»	36000 або 46000
 Радіально-упорні кулькові за схемою дуплекс- «О»	36000 або 46000
 Радіально-упорні кулькові за схемою триплекс-тандем- «О»	36000 або 46000
 Радіально-упорні кулькові за схемою подвійний дуплекс-тандем- «О»	36000 або 46000

О - Конфігурація установки підшипників Дуже часто використовується установка підшипників в "О" - конфігурації. Ця конфігурація забезпечує найбільш високу точність і жорсткість шпинделя. При використанні "О" - конфігурації максимальні швидкості дещо знижуються, зате забезпечується однакова жорсткість шпинделя в обох аксіальних напрямках.

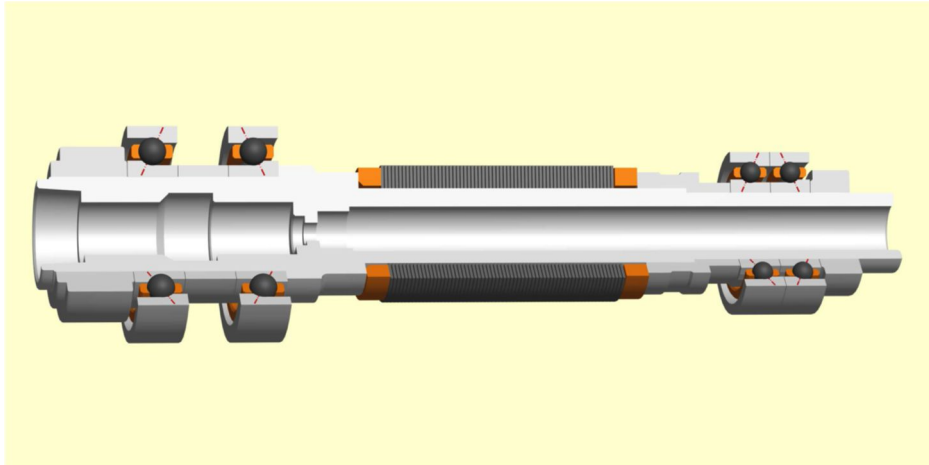


Рисунок 3.1 - Схема опор підшипників "О"

"О - Тандем" - конфігурація установки підшипників "О - Тандем" - конфігурація установки підшипників застосовується, як правило, для важких шпинделів і високих моментів, що обертають, при знятті великих об'ємів матеріалу і використанні довгих інструментів.

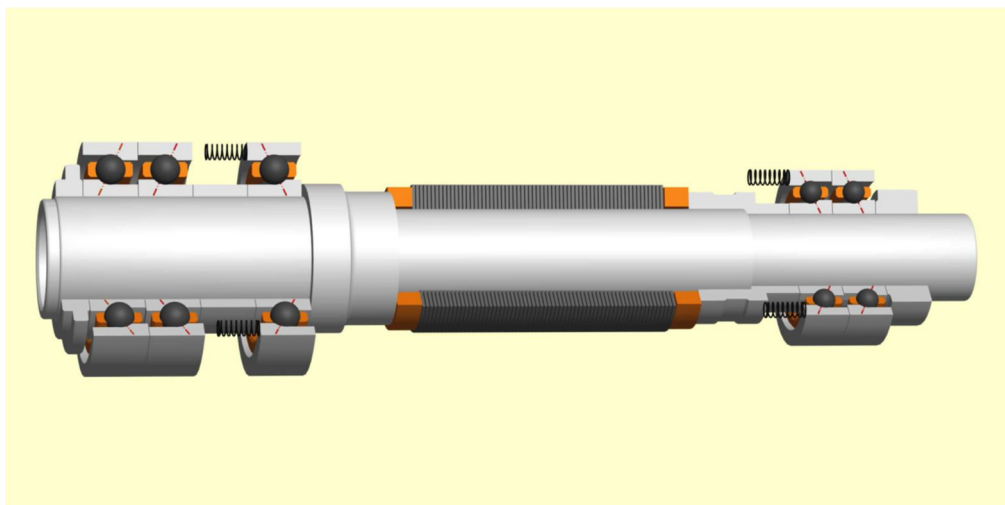


Рисунок 3.2 - Схема опор підшипників "О - Тандем"

"Тандем" - конфігурація підшипників з переднатягом задніх підшипників

У більшості випадків для мотор - шпинделів використовується "Тандем" - конфігурація підшипників. Тут 2-3 підшипники встановлюються один за іншим в носовій частині шпинделя, і так само 2-3 підшипники встановлюються в задній частині шпинделя. "Тандем" - конфігурація підшипників є стандартною для шпинделів малих і середніх розмірів. Вона забезпечує максимально можливі швидкості обертання. Для збільшення моменту між підшипниками встановлюються проміжне кільце. Положення підшипників фіксується шпиндельним валом і корпусом шпинделя.

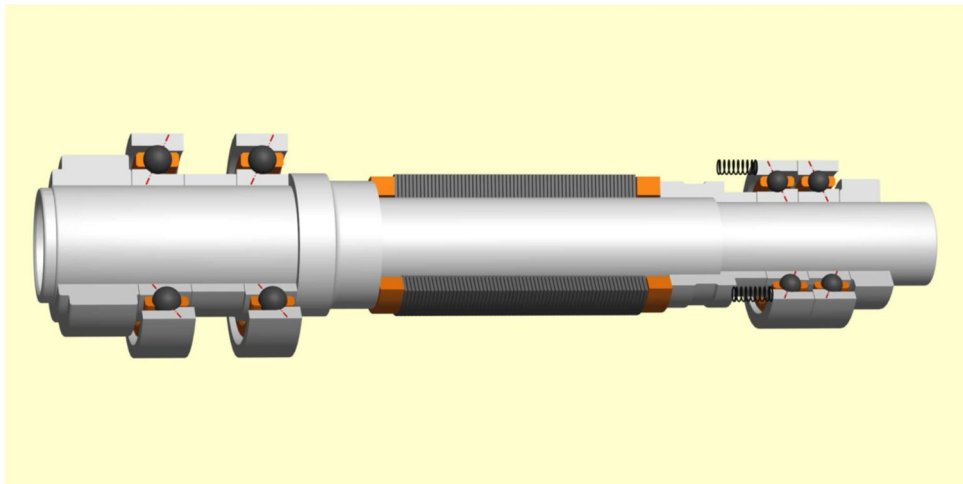


Рисунок 3.3 - Схема опор підшипників "Тандем"

Тому, верстат, що розробляється, повинен мати високу жорсткість і в той же час працювати на середніх швидкостях, вибір схеми розташування підшипників має бути компромісним. Виходячи з вище перелічених варіантів опор і випадків їх застосування, для проєктованого мотор - шпинделя вибираємо схему опори підшипників "Тандем". Вона забезпечить високу точність і жорсткість вузла.

3.3.4 Вибір і регулювання величини зазор-натягу в підшипниках

Величина зазору-натягу показує істотний вплив на працездатність шпиндельних вузлів : точність обертання шпинделя, жорсткість шпиндельного

вузла, нагрів опор, довговічність підшипників. Вплив попереднього натягу на працездатність шпиндельних опор зводиться до наступних основних моментів.

1. Зі збільшенням попереднього натягу жорсткість шпиндельних вузлів збільшується. Проте існує деяке граничне значення величини попереднього натягу, при якій подальше його збільшення не дає помітного збільшення жорсткості. Різкіше ця закономірність виражена у роликопідшипників, менш різко у шарикопідшипників.

2. Існують оптимальні значення попереднього натягу, перевищення яких спричиняє за собою погіршення точності обробка.

3. Вплив величини проміжку (натягу) на тепловиділення в опорах шпинделя не може бути охарактеризований однозначно. Для роликопідшипників зменшення проміжку і збільшення попереднього натягу завжди спричиняє за собою зростання моменту тертя і відповідно тепловиділення в опорах.

4. Залежність між величиною проміжку - натягу і довговічністю підшипників не може бути оцінена без урахування дії зовнішнього навантаження. Чим більше величини навантаження, тим при більшому натягу досягається найвища довговічність. Проте при натягу, що перевищує оптимальні (по довговічності), довговічність різко знижується.

5. З підвищенням точності підшипників допустимий (за умовами нагріву і довговічності) попередній натяг збільшується. Разом з цим для забезпечення заданої жорсткості в точніших підшипниках потрібний менший натяг, ніж в підшипниках менш точних. Вибрані підшипники встановлюються в шпиндельний вузол з попереднім натягом. Величина натягу регулюється один раз і на увесь термін служби підшипника.

3.3.5 Методи змазки підшипників

Існує декілька видів мастила радіально-наполегливих підшипників. Мастило повинне утворювати мікроскопічну плівку між деталями, що обертаються, для відвертання абразивного зносу і корозії.

Перманентне мастило

Найбільш простим видом мастила є консистентне (перманентна) мастило. Таке мастило заповнює простір між кульками і кільцями підшипника і не міняється увесь термін служби підшипників. Переваги: мінімальна вартість і мінімальні витрати на технічне обслуговування. Проте перманентне мастило має ряд обмежень. При підвищенні швидкості обертання росте температура, що може негативно вплинути на властивості мастила. Заміна мастила для високошвидкісних шпинделів не практикується. При заміні підшипників нове чисте мастило ретельно упорскує в підшипники, часто під тиском, щоб запобігти попаданню забруднень, які можуть привести до швидкого виходу з ладу підшипника.

Повітряно-масляне мастило

У багатьох випадках, коли потрібно високі швидкості обертання, перманентне мастило недостатнє. Вона забезпечує значення dN до 850, 000. Легко-масляне мастило дозволяє підвищити це значення до 1,500, 000. Точно розрахована кількість олії і повітря подаються під тиском в спеціальний механічний змішувач, звідки легко-масляна суміш по трубках поступає до підшипників шпинделя. Тут мінімальна кількість олії подається через отвори малих розмірів безпосередньо до місця контакту кульки з кільцем підшипника. Цим оптимізується мастило підшипників і знижується їх нагрів.

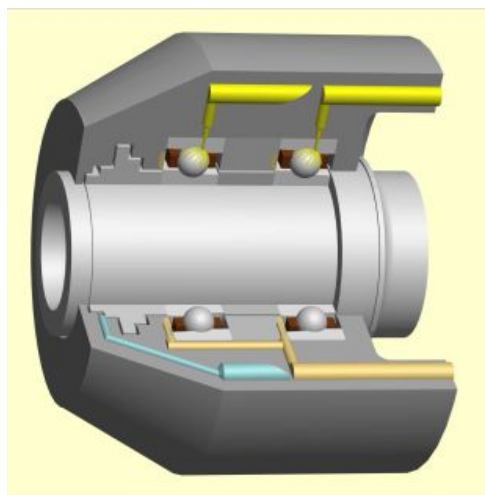


Рисунок 3.4 – Подача повітряно-масляної змазки

Проектований верстат призначений для відносно невеликих частот обертання, тому підшипники не потребує легко-масляного типу мастилу. Спосіб мастила консистентною олією (перманентне мастило) не вимагає додаткових пристроїв (масло-станції, приводів і так далі) і конструкцій в системі подання мастила. Це істотно спрощує забезпечення мастила підшипників і здешевлює конструкцію. Тому для підшипників мотор-шпинделя вибираємо перманентне мастило, яке закладається на увесь термін служби вузла.

3.4 Аналіз конструкції револьверних головок

Конструкції револьверних голівок дуже різноманітні, але можна виділити два принципово різних типу: для необертальних (різців, розточувальних пластинок, блоків) інструментів, що обертаються. Голівки другого типу служать для установки свердел і інших інструментів при обробці отворів, не співпадаючих з віссю обертання заготівлі (паралельних, перпендикулярних їй і т. д.), а також для виконання фрезерних і інших робіт.

Револьверні головки бувають:

1. Залежно від розташування осі револьверної головки :
 - вертикальні;
 - горизонтальні.
2. Залежно від способу кріплення інструменту :
 - аксиальна (мал. 1.23);
 - радиальна (мал. 1.24).
3. Залежно від виду обробки :
 - з приводним інструментом;
 - без приводного інструменту
4. Залежно від кількості приводних позицій інструменту :
 - кожна інструментальна позиція приводна;
 - деякі інструментальні позиції приводні.

5. Залежно від кількості інструментальних позицій, револьверні голівки бувають:

- 2-позиційні;
- 6-позиційні;
- 8-позиційні;
- 10-позиційні;
- 12-позиційні.

6. Залежно від типу приводу :

- з електромеханічним приводом;
- з гідравлічним або пневматичним приводом;
- з серводвигателем.

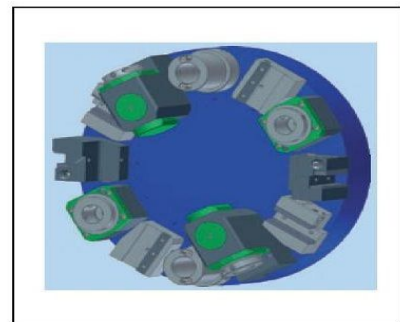
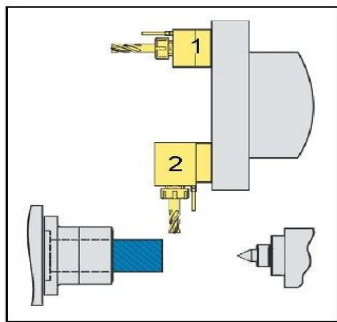


Рисунок 3.5 – Аксиальна револьверна головка

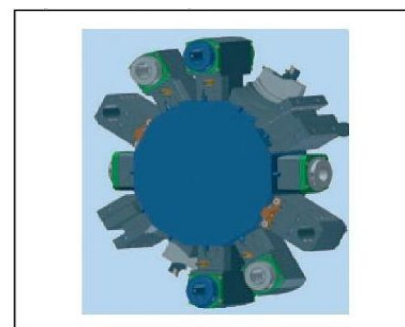
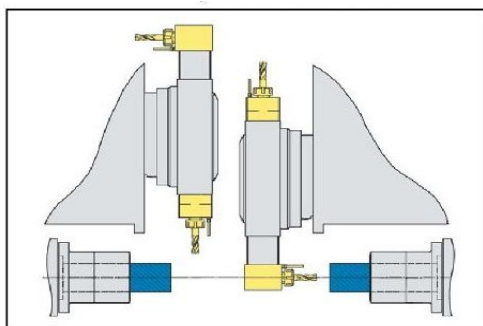


Рисунок 3.6 – Радіальна револьверна головка

Виходячи з вищезгаданого аналізу конструкцій, для проектованого токарно-фрезерного верстата приймаємо горизонтальну радіальну револьверну голівку з приводним інструментом на 12 позицій, де будь-яке з гнізд

револьверної голівки в робочій позиції приводне з електромеханічним приводом. Револьверна голівка радіальна, що розробляється, оскільки таке розташування гнізд забезпечує ширші технологічні можливості, що актуально для конструкції токарно-фрезерного верстата, що розробляється.

Висновок:

На основі аналізу сучасних конструкцій токарно-фрезерних верстатів з ЧПУ і тенденцій їх розвитку, в дипломному проекті проектується середній токарно-фрезерний верстат. Виходячи з аналізу конструкції основних вузлів верстата, верстат, що розробляється, оснащений задньою бабкою (для можливості обробки деталей "вал" в центрах) і револьверною голівкою (для можливості комплексної обробки деталі на одному верстаті) і віссю С (для здійснення свердлувальних і фрезерних робіт) і віссю Y (для забезпечення будь-яких видів свердлувальних робіт і повноцінного фрезерування відповідно до завдань представленими на прикладі "зразкової" деталі "вал", технологія обробки якої розроблена в проекті. Револьверна голівка відноситься до типу радіальних, має горизонтальну вісь обертання і розрахована на 12 приводних позицій. Вид приводу - електромеханічний.

Шпиндель зі вбудованим мотором. На нім, в якості опор, розташовані прецизійні радіально-упорні підшипники кочення. Схема розташування підшипників - "Тандем". Встановлюються на мотор-шпиндель з нерегульованим попереднім натягом (забезпечується при складанні на увесь термін служби) і закладеним пластичним мастилом на увесь термін служби. Проектований верстат може мати широкі можливості застосування. На нім може здійснюватися обробка або доопрацювання високоточних і прецизійних деталей практично в усіх галузях промисловості. Основними сферами застосування верстата, що розробляється, можуть бути точна механіка, оптика, виробництво медичної техніки, комп'ютерів, деталей пневматичних гідросистем, автомобільна і авіаційна промисловість.

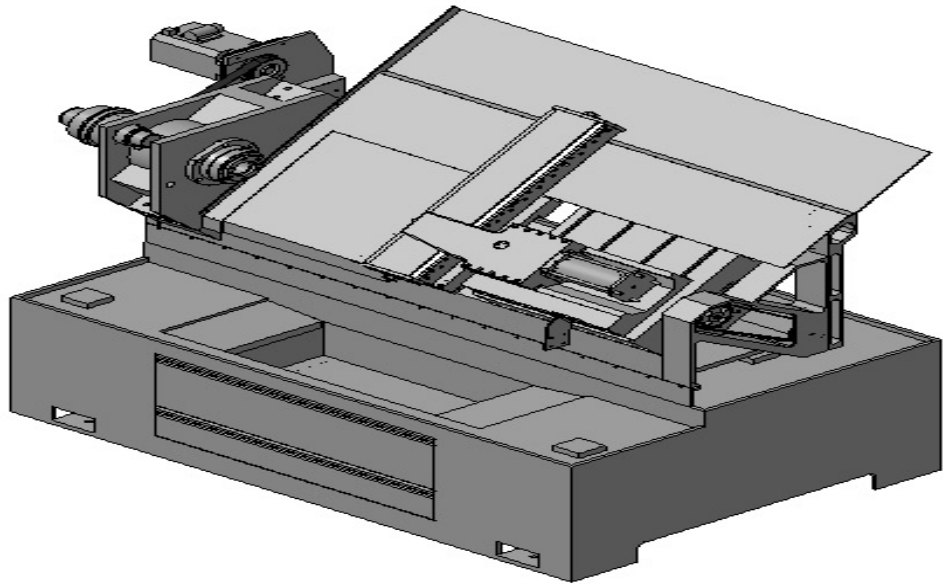


Рисунок 3.7 - Загальний вид токарного - фрезерного верстата з ЧПУ

Основні вузли токарно-фрезерного верстата:

1. Задня бабка
2. Передня бабка
3. Стіл
4. Станина
5. Мотор-шпиндель

4 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 Розрахунок основних технічних характеристик верстата

Початкові дані для проектування приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Граничні розміри обробки

Найбільший діаметр оброблюваної заготовки, мм	$D_{max} = 160$
Найменший діаметр оброблюваної заготовки, мм	$D_{min} = 40$
Найбільший діаметр фрезерування, мм	$D_{max} = 20$
Найменший діаметр фрезерування, мм	$D_{min} = 6$
Найбільший діаметр свердління, мм	$D_{max} = 25$
Найменший діаметр свердління, мм	$D_{min} = 12$

Для розрахунку технічної характеристики верстата приймаються наступні матеріали оброблюваних виробів:

1. Конструкційні вуглецеві сталі звичайної якості, зі змістом $C = 0,10-0,25\%$

Межа короточасної міцності: $\sigma_B = 420 \text{ МПа}$

Питома сила різання: $K_{C1} \geq 1500 \text{ Н/мм}^2$

Твердість по Бринеллю: 125 НВ

2. Високолегована сталь

Межа короточасної міцності: $\sigma_B = 670 \text{ МПа}$

Питома сила різання: $K_{C1} = 1950 \text{ Н/мм}^2$

Твердість по Бринеллю: 200 НВ

3. Загартовані сталі

Межа короткочасної міцності: $\sigma_B=740$ МПа

Питома сила різання: $K_{C1}=3050$ Н/мм²

Твердість по Роквеллу: 50HRC

Розрахунок режимів різання

Точіння:

1. Для чистової обробки конструкційної вуглецевої сталі використовуємо різець Coro - Turn 107, оснащений пластиною CCMT 120404, - PF. Матеріал різальної частини - GC1525, призначений для чистової обробки низьковуглецевих і низьколегованих сталей.

Рекомендовані режими різання для пластини CCMT 120404 - PF приймаємо по каталогу.

Глибина різання:

$$t = 0,14 \text{ мм}$$

Подача:

$$S = 0,07 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання приймаємо залежно від матеріалу пластини (GC 1524) і подачі:

$$V = 560 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя, об/хв:

$$n = \frac{V1000}{\pi d} \quad (4.1)$$

де V – швидкість різання, м/хв;

d – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

$$n = \frac{560 \cdot 1000}{3,14 \cdot 40} = 2972$$

Приймаємо $n = 3000$ об/хв.

2. Для чорнової обробки конструкційної вуглецевої сталі використовуємо різець Coro - Turn 107, оснащений пластиною CCMT120408–, - PR. Матеріал різальної частини - GC 4225, рекомендується для високоефективного знімання металу в стабільних умовах на чорнових і напівчистових стадіях обробки.

Рекомендовані режими різання для пластини CCMT120408 - PR приймаємо по каталогу.

Глибина різання:

$$t = 4,00 \text{ мм}$$

Подача:

$$S = 0,42 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання приймаємо залежно від матеріалу пластини (GC 4225) і подачі:

$$V = 150 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя, об/хв:

$$n = \frac{150 \cdot 1000}{3,14 \cdot 160} = 159$$

Приймаємо $n = 160$ об/хв.

Потужність різання, кВт:

$$P = \frac{V \cdot t \cdot s \cdot K_{cl}}{60 \cdot 10^3} \quad (4.2)$$

де V – швидкість різання, м/хв;

t – глибина різання, мм;

s – подача, мм/об;

K_{cl} – питомий коефіцієнт сили різання (Н/мм²).

Потужність різання для чорнової обробки, кВт:

$$P_{\text{черн}} = \frac{150 \cdot 4,0 \cdot 0,42 \cdot 1950}{40 \cdot 10^3} = 8,19$$

Потужність різання для напівчистої обробки, кВт:

$$P_{\text{п/чист}} = \frac{205 \cdot 2,0 \cdot 0,3 \cdot 1950}{40 \cdot 10^3} = 4,0$$

де $V = 205$ – швидкість різання при напівчистовій обробці, м/хв;

$t = 2$ – глибина різання при напівчистовій обробці, мм;

$s = 0,3$ – подання при напівчистовій обробці, мм/об.

Необхідна потужність для напівчистової обробки не перевищує значення необхідної потужності для чорнової обробки ($P_{\text{чєрн}} > P_{\text{п/чист}} = 8,19 > 4,00$) кВт, отже подальший розрахунок режимів різання при напівчистовій обробці не потрібен.

3. Для чистової обробки загартованої сталі використовуємо різець, оснащений пластиною T- Max CNMA 120408kr. Матеріал різальної частини - СВ 7020, призначений для обробки загартованих сталей в умовах безперервного різання або з незначним ударом.

Рекомендовані режими різання для пластини T- Max CNMA 120408kr приймаємо по каталогу.

Глибина різання:

$$t = 0,2 \text{ мм}$$

Подача:

$$S = 0,15 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання приймаємо залежно від матеріалу пластини (СВ 7020) і подачі:

$$V = 260 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя, об/хв:

$$n = \frac{260 \cdot 1000}{3,14 \cdot 40} = 1380$$

Приймаємо $n = 1400$ об/хв.

Потужність різання, кВт:

$$P_c = \frac{260 \cdot 0,2 \cdot 0,15 \cdot 3050}{40 \cdot 10^3} = 0,4$$

Для обробки надтвердих матеріалів (таких як загартована сталь) застосовуються режими, які знаходяться в діапазоні граничних частот обертання і потужностей при обробці звичайних сталей. Отже, подальші розрахунки на різні види обробки надтвердих матеріалів не потрібні.

Фрезерування:

1. Для чорнової обробки високолегованої сталі використовуємо фрезу $\emptyset 20$ мм R216.24-20050CCC32P.

Рекомендовані режими різання для фрези R216.24-20050CCC32P приймаємо по каталогу.

Глибина різання:

$$t = 2 \text{ мм}$$

Подача на зуб:

$$S_z = 0,18 \text{ мм/зуб}$$

Хвилинна подача:

$$S = S_z \cdot Z \cdot n$$

де Z – кількість зубів фрези;

n – прийнята частота обертання шпинделя.

$$S = 0,18 \cdot 6 \cdot 2000 = 2160 \text{ мм/хв}$$

Швидкість різання приймаємо залежно від матеріалу пластини (СВ 7020) і подачі:

$$V = 120 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя об/хв:

$$n = \frac{120 \cdot 1000}{3,14 \cdot 20} = 1911$$

Приймаємо $n = 2000$ об/хв.

Потужність різання, кВт:

$$P_{\text{черн}} = \frac{120 \cdot 2 \cdot 0,18 \cdot 1950}{40 \cdot 10^3} = 1,4$$

2. Для чистової обробки конструкційної вуглецевої сталі використовуємо цілісну фрезу • 6 мм R216.24-06050BCC10P.

Рекомендовані режими різання для фрези R216.24-06050BCC10P приймаємо по каталогу.

Глибина різання:

$$t = 0,3 \text{ мм}$$

Подача на зуб:

$$S_z = 0,03 \text{ мм/зуб}$$

Хвилинна подача:

$$S = 0,03 \cdot 3 \cdot 6000 = 540 \text{ мм/хв}$$

Швидкість:

$$V = 100 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя, об/хв:

$$n = \frac{110 \cdot 1000}{3,14 \cdot 6} = 5838$$

Приймаємо $n = 6000$ об/хв.

Потужність різання, кВт:

$$P = \frac{110 \cdot 0,3 \cdot 0,03 \cdot 1500}{40 \cdot 10^3} = 0,02$$

Свердління:

1. Для обробки високолегованої сталі використовуємо свердло CoroDrill DELTA C R846 - 1200-50 - A1A 1220 Ø25мм, різальна частина якого виготовлена з матеріалу 1220.

Рекомендовані режими різання для свердла CoroDrill 860 приймаємо по каталогу.

Глибина різання:

$$t = 6 \text{ мм}$$

Подача:

$$S = 0,2 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання:

$$V = 50 \text{ м/мин}$$

Частота обертання шпинделя, об/хв:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d_c} \quad (4.3)$$

де V_c – швидкість різання, м/хв;

d_c – діаметр свердління, мм.

$$n = \frac{50 \cdot 1000}{3,14 \cdot 12} = 1327$$

Приймаємо $n = 1400$ об/хв.

Потужність різання, кВт:

$$P_c = \frac{V_c \cdot d_c \cdot t \cdot K_{c1}}{240 \cdot 10^3} \quad (4.4)$$

де V_c – швидкість різання, м/хв;

d_c – діаметр свердління, мм;

s – подача на оберт, мм/об;

K_{c1} – питома сила різання, Н/мм².

$$P = \frac{50 \cdot 6 \cdot 0,2 \cdot 1950}{40 \cdot 10^3} = 1,5$$

2. Для обробки конструкційної вуглецевої сталі використовуємо свердло CoroDrill 860.1-0630-055a1 - PM 4234 Ø12, різальна частина якого виготовлена з матеріалу 4234.

Рекомендовані режими різання для свердла CoroDrill 860 приймаємо по каталогу.

Глибина різання:

$$t = 3 \text{ мм}$$

Подача:

$$S = 0,10 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання:

$$V = 100 \text{ м/мин}$$

Частота обертання шпинделя, об/хв:

$$n = \frac{100 \cdot 1000}{3,14 \cdot 12} = 5307$$

Приймаємо $n = 5300$ об/хв.

Потужність різання, кВт:

$$P_c = \frac{100 \cdot 3 \cdot 0,1 \cdot 1500}{40 \cdot 10^3} = 0,75$$

Розгортання:

Для обробки високолегованої сталі використовуємо розгортку CoroReamer Ø 14мм.

Рекомендовані режими різання для розгортки CoroReamer приймаємо по каталогу.

Глибина різання:

$$t = 0,25 \text{ мм}$$

Подача:

$$S_z = 0,06 \text{ мм/зуб}$$

Швидкість різання:

$$V = 20 \text{ м/мин}$$

Частота обертання шпинделя, об/хв:

$$n = \frac{20 \cdot 1000}{3,14 \cdot 14} = 454$$

Приймаємо $n = 450 \text{ об/хв}$.

Потужність різання, кВт:

$$P_c = \frac{M_{kp} \cdot n}{975} \quad (4.5)$$

Крутний момент, Н·м:

$$M_{KP} = \frac{C_p \cdot t^X \cdot s_z^Y \cdot D \cdot z}{2 \cdot 100} \quad (4.6)$$

$$M_{кр} = \frac{160 \cdot 0,25^1 \cdot 0,06^{0,75} \cdot 14 \cdot 8}{2 \cdot 100} = 5,09$$

$$P = \frac{5,09 \cdot 400}{975} = 2,09$$

Нарізання різи:

Для нарізання різи M10 у високолегованій сталі використовуємо мітчик CoroTap 200.

Рекомендовані режими різання для мітчика CoroTap 200 приймаємо по каталогу.

Глибина різання:

$$t = 0,812 \text{ мм}$$

Подача:

$$S = 1,5 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання:

$$V = 35 \text{ м/мин}$$

Частота обертання шпинделя, об/хв:

$$n = \frac{35 \cdot 1000}{3,14 \cdot 10} = 1114$$

Приймаємо $n = 1250$ об/хв.

Крутний момент, Н·м:

$$M_{KP} = 10 \cdot C_m \cdot D \cdot P \cdot K_P \quad (4.7)$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,027 \cdot 10 \cdot 1,5 \cdot 0,5 = 2,03$$

Потужність, кВт:

$$P = \frac{2,03 \cdot 1000}{975} = 2,08 \text{ кВт}$$

$$P_c = 2,09 \text{ кВт}$$

Таблиця 4.2 - Звідні значення граничних частот обертання і потужностей

Параметр	Значення
Для приводу головного шпинделя	
Максимальная частота обертання, об/хв	$n_{max} = 3000$
Мінімальна частота обертання, об/хв	$n_{min} = 160$
Максимальна потужність різання, кВт	$P_{max} = 8,19$
Мінімальна потужність різання, кВт	$P_{min} = 0,40$
Для приводу револьверної головки	
Максимальная частота обертання, об/хв	$n_{max} = 6000$
Мінімальна частота обертання, об/хв	$n_{min} = 450$
Максимальна потужність різання, кВт	$P_{max} = 2,09$
Мінімальна потужність різання, кВт	$P_{min} = 0,02$

Визначення потужності електродвигуна

Потужність електродвигуна приводу головного руху розраховують по ефективній потужності, необхідній для різання.

$$N_d = \frac{N_{\varepsilon}}{\eta} \quad (4.8)$$

де $\eta = 0,98$ – К.П.Д електродвигуна

Потужність приводу револьверної голівки $N_{\text{РГ}}$, кВт:

$$N_{\text{РГ}} = \frac{N_{\varepsilon/\text{РГ}}}{\eta} \quad (4.9)$$

$N_{\varepsilon/\text{РГ}}$ - ефективна потужність, необхідна для різання, кВт

$$N_{\text{РГ}} = \frac{2,09}{0,98} = 2,13 \text{ кВт}$$

4.2 Вибір електродвигуна

У верстатобудуванні, особливо будівництві верстатів з ЧПУ, переважне використання мають двигуни змінного струму (синхронні і асинхронні) і цифрові перетворювачі (інвертори) з векторним управлінням.

Для мотор - шпинделів розміри і потужність мотора жорстко обмежені розміром шпинделя. Для мотор - шпинделів найчастіше використовуються асинхронні мотори. У таких конструкціях ротор сполучений з шпиндельним валом за допомогою склеювального матеріалу або з допомогою термічний усадки. Мотори, використовувані в мотор, - шпинделях, характеризуються постійним моментом до досягнення базової швидкості, що обертає, і постійною потужністю після її досягнення. У мотор - шпинделів потужність і швидкість визначаються тільки характеристиками мотора. Мотор - шпинделі проектується так, щоб максимальна потужність досягалася на близькій до максимальної швидкості обертання.

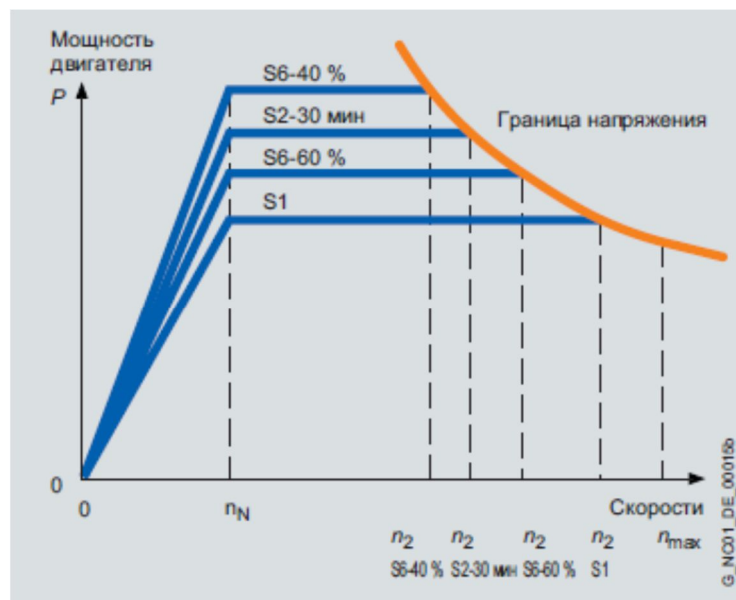


Рисунок 4.1 – Діаграми швидкості і потужності 3-х фазних асинхронних електродвигунів SIEMENS 1ph7

Діаграма показує типову для двигунів 1ph7 зв'язок між числом оборотів двигуна і потужністю приводу в режимах роботи по IEC 60034 – 1:

S1: безперервний режим

S6: тривалий режим з переривчастим навантаженням і відносною тривалістю включення в 60% (S6–60%) або 40% (S6–40%) при максимальній тривалості циклу в 10 хв.

S2: короточасний режим з тривалістю включення в 30 хв (S2 30 хв) з подальшим станом спокою.

В якості приводу шпинделя вибираємо асинхронний двигун SIEMENS 1ph71037f22bc5, який забезпечує потужність 5,0кВт, і максимальну частоту обертання 5000 об/хв.

4.3 Розрахунок зубчасто-ремінної передачі

Найбільш перспективним видом передач гнучким зв'язком для силових і кінематичних ланцюгів різних машин і механізмів є передача зубчастим ременем, яка поєднує гідності передач гнучким зв'язком і зачепленням.

Переваги передачі:

- можливість передачі потужності, як при малих, так і при значних міжосьових відстанях;
- постійність передатного відношення зважаючи на відсутність ковзання;
- малий витяг ременя;
- невисоке попереднє натягнення ременя і, як наслідок, невеликий тиск на вали, опори і підшипникові вузли;
- простота експлуатації;
- менші габарити передачі;
- незначний шум при роботі;
- високий ККД передачі (0,94...0,98).

Модуль:

$$m = 30 \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad (4.9)$$

де P – потужність приводного електродвигуна, кВт;

n – число оборотів приводного електродвигуна, об/хв.

$$m = 30 \sqrt[3]{\frac{5,0}{5000}} = 3 \text{ мм}$$

Згідно ОСТУ 38.05.114-76, вибираємо модуль $m = 3 \text{ мм}$.

Число зубів провідного шківa підбираємо з каталогу виробника "CHIARAVALLI" (Італія), 35.

Число зубів веденого шківa:

$$z_2 = u \cdot z_1 \quad (4.10)$$

де u – передатне число передачі;

$$u = \frac{n_1}{n_2} \quad (4.11)$$

$$u = \frac{5000}{5000} = 1$$

Тоді,

$$z_2 = 1 \times 35 = 35$$

Діаметри шківів також, приймаємо, згідно з даними каталогу виробника:

- ведучий і ведений шків:
- зовнішній діаметр: 106,12мм;
- ділильний діаметр: 105,35мм;
- крок: 10мм.

Виходячи з конструкції верстата, приймаємо мінімальну міжосьову відстань 400мм.

Довжина ременя, мм:

$$L' = 2a + \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4a} \quad (4.12)$$

$$L' = 2 \times 400 + \frac{3,14 \times (106,12 + 106,12)}{2} = 1133,4$$

Число зубів ременя:

$$z_p = \frac{L'}{\pi \cdot m} \quad (4.13)$$

$$z_p = \frac{1133,4}{3,14 \times 3} = 120,26$$

Приймаємо найближче стандартне значення числа зубів ременя по каталогу виробника приводних зубчастих ременів SYNCHROFLEX (Франція)

$$z_p = 121.$$

Дійсна довжина ременя, мм:

$$L = z_p \cdot \pi \cdot m \quad (4.14)$$

$$L = 121 \times 3,14 \times 3 = 1140$$

Фактична міжосьова відстань при вибраній довжині ременя, мм:

$$a_\phi = 0,25 \left[L - 0,5\pi(d_1 + d_2) + \sqrt{[L - 0,5\pi(d_1 + d_2)]^2 - 2(d_2 - d_1)^2} \right] \quad (4.15)$$

$$a_\phi = 0,25 \times [1140 - 0,5 \times 3,14 \times (106,12 + 106,12) + \sqrt{[1140 - 0,5 \times 3,14 \times (106,12 + 106,12)]^2 - 2(106,12 - 106,12)^2}] = 403,31$$

Кількість зубів ременя в межах кута захоплення з провідним шківом:

$$z_0 = \frac{z_1 \left[180^\circ - 57^\circ \frac{(d_2 - d_1)}{a} \right]}{360^\circ} \quad (4.16)$$

$$z_0 = \frac{35 \times [180^\circ - 57^\circ]}{360^\circ} = 12$$

Швидкість ременя, м/с:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000 \cdot 60} \quad (4.17)$$

$$V = \frac{3,14 \times 106,12 \times 5000}{1000 \times 60} = 27,8$$

Окружна сила, кН:

$$F_t = \frac{P}{V} \quad (4.18)$$

$$F_t = \frac{5}{27,8} = 0,18$$

Номінальна допустима окружна сила для $m = 3\text{ мм}$: $\omega_0 = 25 \text{ Н/мм}$

Розрахункова питома окружна сила, Н/мм:

$$\omega = \omega_0 \cdot K_U \cdot K_Z \quad (4.19)$$

де K_U – коефіцієнт, що враховує передатне відношення при $U > 1$:

$$K_U = 1;$$

K_Z – коефіцієнт, що враховує кількість зубів в межах дуги обхвату : при $z_0 > 6$, $K_Z = 1$.

$$\omega = 25 \times 1 \times 1 = 25$$

Розрахункова допустима питома окружна сила Н/мм:

$$[\omega] = (\omega - q \cdot V^2) \quad (4.20)$$

де q – маса 1 м ременя, шириною 1 мм, $q \cdot 10^{-4} = 6,0 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{мм}}$

$$[\omega] = (25 - 0,006 \times 27,8^2) = 20,4$$

Розрахункова ширина ременя, мм:

$$b' = \frac{F_t}{[\omega]} \quad (4.21)$$

$$b' = \frac{0,18 \times 10^3}{20,4} = 8,8$$

Фактична ширина ремня, мм:

$b = 25$ –(приймаємо по каталогу)

Відстань від осі металлотроса до западини між зубами $\delta = 0,8$ мм

Податливість $\lambda = 8 \cdot 10^{-4}$ мм/Н

Питома податливість, мм/Н:

$$\lambda_0 = \frac{\lambda}{b} \quad (4.22)$$

$$\lambda_0 = \frac{8 \times 10^{-4}}{25} = 0,32 \times 10^{-4}$$

Поправка на діаметри вершин зубів, мм:

$$K_i = 0,2 \cdot F_t \cdot \lambda_0 \cdot z_i \quad (4.23)$$

$$K_1 = 0,2 \times 180 \times 0,32 \times 10^{-4} \times 35 = 0,04$$

$$K_2 = 0,2 \times 180 \times 0,32 \times 10^{-4} \times 35 = 0,04$$

Діаметри вершин зубів, мм:

$$d_{a1} = d_1 - 2\delta + K_1 \quad (4.24)$$

$$d_{a1} = 105,35 - 2 \times 0,8 + 0,04 = 103,8$$

$$d_{a2} = d_1 - 2\delta - K_2 \quad (4.25)$$

$$d_{a2} = 105,35 - 2 \times 0,8 - 0,04 = 103,7$$

Діаметр круга западин шківів, мм:

$$d_f = d_a - 2h_{III} \quad (4.26)$$

где $h_{III} = 2,5$ мм – висота зуба шківа;

$$d_{f1} = 103,8 - 2 \times 2,5 = 98,8$$

$$d_{f2} = 103,7 - 2 \times 2,5 = 98,7$$

Початкове натягнення ремня, Н:

$$F_0 = 0,1 \cdot F_t + q \cdot V^2 \cdot b \quad (4.27)$$

$$F_0 = 0,1 \times 180 + 0,006 \times 27,8^2 \times 25 = 133,93$$

Сила, що діє на вали, кН:

$$F_B = 1,5 \cdot F_t \quad (4.28)$$

$$F_B = 1,5 \times 180 = 270$$

Ширина зубчастого обода шківа, мм:

$$B = b + m \quad (4.29)$$

$$B = 25 + 3 = 28.$$

4.4 Розрахунок шпинделя на жорсткість

Жорсткість шпиндельних вузлів верстатів є у край важливим параметром, оскільки пружна деформація компонентів під навантаженням значно впливає на точність обробки.

Чинники, що впливають на жорсткість шпинделя :

- розміри шпинделя;
- вид опор (підшипників);
- кількість, розташування і посадка підшипників.

При розрахунку на жорсткість розрахункову схему шпинделя показують у виді балки, тип якої залежить від типу і кількості підшипників в них.

Сумарний прогин розраховується як сума прогину консолі і прогину між двома опорами обох осей.

P_z – тангенціальна сила, Н:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^{x_p} \cdot s^{y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p \quad (4.30)$$

де $C_p = 300$ – коефіцієнт різання. залежний від виду обробки і матеріалу різальної частини;

$t = 4\text{мм}$ – глибина різання;

$s = 0,42\text{ мм/об}$ – подача;

$V = 120\text{м/хв}$ – швидкість різання;

$x_p = 1,0$; $y_p = 0,75$; $n_p = -0,15$ – показники міри глибини, подання і швидкості різання відповідно;

$K_p = 1,1$ – поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання.

$$P_z = 10 \times 300 \times 4^{1,0} \times 0,42^{0,75} \times 120^{-0,15} \times 1,1 = 3358,41 \text{ Н.}$$

Радіальна сила визначається, як:

$$P_y = (0,3 \dots 0,4) P_z \quad (4.31)$$

$$P_y = (0,3 \dots 0,4) \times 3358,41 = 1007,5 \dots 1343,4 \text{ Н}$$

Сумарне навантаження, Н:

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2} \quad (4.32)$$

$$P = \sqrt{3358,41^2 + 1175,45^2} = 3558,2 \text{ Н}$$

Радіальна жорсткість, мкМ:

$$j = \frac{F_r}{\delta_r} n \quad (4.33)$$

Радіальна податливість, мкМ:

$$\begin{aligned} \delta_r = \delta_r' + \delta_r'' + \delta_r''' = & \frac{Pa^2}{3E} \left[\frac{a}{I_1} + \frac{l(1-\varepsilon)}{I_2} \right] + \frac{Qlac}{6EI_2} + P \left\{ \frac{1}{j_A} \left[\frac{l+a(1-\varepsilon)}{l} \right]^2 + \frac{a^2(1-\varepsilon)}{j_B l^2} \right\} - \\ & - Q(1-\varepsilon) \left[\frac{(l+a)c}{j_A l^2} + \frac{(l+c)a}{j_B l^2} \right] \end{aligned} \quad (4.34)$$

де P – сумарне навантаження;

Q – сила прикладена до приводного елемента,

a – довжина переднього кінця шпинделя, $a = 70 \text{ мм}$;

E – модуль пружності, $E = 2,1 \times 10^5 \text{ МПа}$;

I_1 – середнє значення осьового моменту інерції перетину консолі,

$$I_1 = 8438774,9 \text{ мм}^4;$$

I_2 – середнє значення осьового моменту інерції між опорами,

$$I_2 = 1594884,5 \text{ мм}^4;$$

ε – коефіцієнт затискання в передній опорі шпинделя, $\varepsilon = 0,25$;

j_A – радіальна жорсткість в передній опорі;

j_b – радіальна жорсткість в задній опорі;

l – відстань між опорами, $l = 172 \text{ мм}$;

c – відстань від задньої опори до задньої опори, $c = 53 \text{ мм}$.

G – модуль зрушення матеріалу шпинделя:

$$G = 0,4E \quad (4.35)$$

$$G = 0,4 \times 2,1 \times 10^5 = 8400.$$

Радіальна податливість в контактї найбільш навантаженого тіла кочення з доріжкою кочення, мкм:

$$\delta'_r = \beta \cdot \delta_{ro} \quad (4.36)$$

де β – коефіцієнт, який враховує натяг в підшипнику, $\beta = 0,3 \dots 1$,
приймаємо $\beta = 0,7$.

$$\delta_{ro} = 0,35 \cdot F_r^{0,897} \cdot d^{-0,8} \quad (4.37)$$

Радіальна податливість в контактї кілець підшипника з посадочними поверхнями валу і корпусу, мкм:

$$\delta_r'' = \frac{n \cdot F_r \cdot k}{\pi \cdot d \cdot B} \cdot \left(1 + \frac{d}{D}\right) \quad (4.38)$$

де n – кількість підшипників в опорі, які сприймають радіальне навантаження;

F_r – радіальне навантаження на опору,

$$F_{r1} = 13440 \text{ Н} \approx 1370 \text{ кгс}; F_{r2} = 4903 \text{ Н} \approx 500 \text{ кгс};$$

k – коефіцієнт точності виготовлення посадочних місць,

$$k = 0,005 \dots 0,025 \text{ мм}^3 / \text{кгс}, \text{ приймаємо } k = 0,015 \text{ мм}^3 / \text{кгс};$$

D – внутрішній діаметр підшипника, $D = 80 \text{ мм}$;

d – зовнішній діаметр підшипника, $d = 110 \text{ мм}$;

B – ширина підшипника, $B = 16 \text{ мм}$.

Радіальна жорсткість передньої опори, мкм:

$$\delta_r'' = \frac{3 \times 1370 \times 0,015}{3,14 \times 80 \times 16} \times \left(1 + \frac{110}{80}\right) = 0,036$$

$$\delta_{ro} = 0,35 \times 1370^{0,897} \times 80^{-0,8} = 6,843$$

$$\delta_r' = 0,7 \times 6,843 = 4,8$$

$$\delta_r = 4,8 + 0,036 = 4,84$$

$$j_A = \frac{1370}{4,84} = 283,06 \text{ кгс/мкм} = 2830600 \text{ Н/мм}.$$

Радіальна жорсткість задньої опори, мкм:

$$\delta_r'' = \frac{2 \times 500 \times 0,015}{3,14 \times 80 \times 16} \times \left(1 + \frac{110}{80}\right) = 0,009$$

$$\delta_{ro} = 0,35 \times 500^{0,897} \times 80^{-0,8} = 2,8$$

$$\delta'_r = 0,7 \times 2,8 = 1,96$$

$$\delta_r = 1,96 + 0,009 = 1,97$$

$$j_A = \frac{500}{1,97} = 253,81 \text{ кгс/мкм} = 2538100 \text{ Н/мм.}$$

Прогин шпинделя, мм:

$$\begin{aligned} \delta_r = & \frac{3558,2 \times 70^2}{3 \times 2,1 \times 10^5} \times \left[\frac{70}{8438774,9} + \frac{172 \times (1 - 0,25)}{1594884,5} \right] + \\ & + \frac{270000 \times 172 \times 70 \times 53}{6 \times 2,1 \times 10^5 \times 1594884,5} + 3558,2 \times \\ & \times \left\{ \frac{1}{2830600} \times \left[\frac{172 + 70 \times (1 - 0,25)}{172} \right]^2 + \frac{70^2 \times (1 - 0,25)}{2538100 \times 172^2} \right\} - \\ & - 270000 \times (1 - 0,25) \times \left[\frac{(172 + 70) \times 53}{2830600 \times 172^2} + \frac{(172 + 53) \times 70}{2538100 \times 172^2} \right] = 0,01699. \end{aligned}$$

Допустиме переміщення переднього кінця шпинделя, визначається вираженням: $[\delta] = (0,0001 \dots 0,0002) a = (0,0001 \dots 0,0002) \times 172 = 0,0172 \dots 0,0344 \text{ мм}$

Із зроблених вище розрахунків видно, що розрахункове значення не перевищує допустиме.

Кут повороту шпинделя в передній опорі:

$$\theta = \frac{P \cdot a \cdot l}{3 \cdot E \cdot I_2} \quad (4.39)$$

$$\theta = \frac{3558,2 \times 70 \times 172}{3 \times 2,1 \times 10^5 \times 1594884,5} = 4,264 \times 10^{-5} \quad (4.39)$$

$$0,00004264 < [\theta] = 0,001 \text{ рад}$$

Умова виконується.

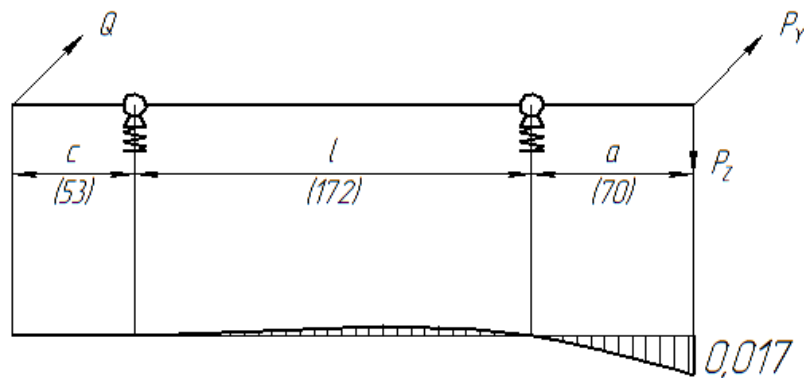


Рисунок 4.2 – Схема вантаження і епюри переміщення переднього кінця шпинделя

4.5 Розрахунок підшипників на динамічну вантажопідйомність

Для розрахунку підшипників, за основу беремо підшипник фірми FAG. Основним видом продукції, якою є шарикопідшипники і циліндричні роликпідшипники із зовнішнім діаметром 17-1200мм. Виробнича програма промислової групи підшипників компанії FAG включає:

- шпиндельні підшипники (високопрецизійні радіально-упорні шарикопідшипники з кутом контакту 15° та 25°);

- радіально-упорні шарикопідшипники (з кутом контакту 40°);
- радіальні шарикопідшипники, однорядні;
- самоустановчі шарикопідшипники;
- підшипники магнето;
- підшипники S–типу;
- спеціальні підшипники;
- циліндричні роликopідшипники (однорядні);
- циліндричні роликopідшипники (дворядні).

З усіх вищеперелічених видів підшипників вибираємо радіально-наполегливий прецизійний шарикопідшипник B71916E. TPA. P4 UL з кутом контакту 15° , спеціально призначений для шпиндельних вузлів.

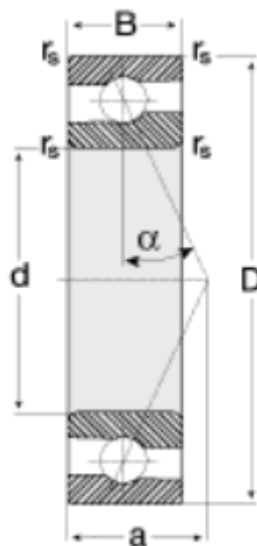


Рисунок 4.4 – Схема конструкції підшипника FAG B71916E. TPA. P4 UL

Значення статичної C_{or} та динамічної C_r вантажопідйомності для радіально-упорного кулькового підшипника FAG B71916E. TPA. P4 UL кутом контакту $\alpha = 15^\circ$: $C_{or} = 34000\text{H}$; $C_r = 32500\text{H}$.

Осьове зусилля рівно осьовій силі, $F_a = F_A$.

$$F_A = z_p \cdot F_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \psi \quad (4.40)$$

$$F_A = 20 \times 180 \times 0,25882 \times 0,9986 = 3600,26 \text{ Н}$$

$$z_p = 0,7 \cdot z_1 \quad (4.41)$$

$$z_p = 0,7 \cdot z_1 = 20$$

$$F_1 = z_p \cdot d \quad (4.42)$$

$$F_1 = 20 \times 9 = 180$$

де d – діаметр тіл кочення підшипника, мм:

$$d = 0,3 \cdot (d - D) \quad (4.42)$$

$$d = 0,3 \times (110 - 80) = 9$$

Для однорядного підшипника $X=0,44$; $Y=1,47$.

Еквівалентне динамічне навантаження, Н:

$$P = (VXF_r + YF_a) \cdot K_b \cdot K_T \quad (4.43)$$

$$P = (1 \times 0,44 \times 1 + 1,47 \times 3600,26) \times 1,4 \times 1 = 7409,95$$

Довговічність підшипника, млн.об:

$$L = \frac{40 \cdot n \cdot t}{10^6} \quad (4.44)$$

де n – кількість оборотів валу шпинделя, $n = 5000$ об/хв;

t – прийнятий час роботи верстата, $t = 20000$ год.

$$L = \frac{40 \times 5000 \times 20000}{10^6} = 6000$$

Визначаємо необхідну динамічну вантажопідйомність, Н:

$$C_{\text{треб}} = P \cdot \sqrt[m]{L} \quad (4.45)$$

де L – довговічність підшипника, млн. об;

m – показник міри для радіально-упорного підшипника.

$$C_{\text{треб}} = 7409,95 \times \sqrt[10]{6000} = 7804341,7$$

$$C_{\text{треб}} = 7804341,7 \text{ Н} < [C] = 8000000 \text{ Н}$$

Оскільки розрахункова вантажопідйомність менша за табличну, робимо висновок, що підшипник підібраний правильно.

Дійсний ресурс підшипника, год:

$$L = \frac{10^6}{40 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P_B} \right)^m \quad (4.46)$$

$$L = \frac{10^6}{40 \times 5000} \times \left(\frac{7804341,7}{6000} \right)^{\frac{10}{3}} = 80074732646$$

4.6 Розрахунок верстатного пристосування

Розрахунок пристосування полягає у визначенні сили затиску оброблюваної деталі і підборі пневматичного або гідравлічного циліндра для спільної роботи з цанговим патроном.

Початкові дані:

Операція – Токарна з ЧПУ:

Точіння зовнішньої поверхні $D=42\text{мм}$, до діаметра $d=40\text{мм}$. Токарний верстат, патрон цанговий, здійснюючий затиск від пневматичного циліндра двосторонньої дії, що обертається, різець Coro - Turn 107, оснащений пластиною CCMT120408-, - PR. Матеріал різальної частини - GC 4225. Матеріал деталі - сталь 45. Глибина різання $t=2,0\text{мм}$, подача $s=0,4\text{мм/об}$.

Тангенціальна сила різання при чорновому точінні середньовуглецевої сталі $P_z=711,63\text{Н}$. Сила різання P_z здійснює момент M , Нмм, який прагне повернути деталь навколо її осі, а сила P_x – перемістити деталь уздовж її осі.

$$P_x = (0,3...0,4) \cdot P_z \quad (4.47)$$

$$P_x = (0,3...0,4) \times 1423,25 = 426,9...569,3\text{Н}$$

Момент різання, Нмм:

$$M = P_z \cdot r_1 \quad (4.48)$$

де r_1 – радіус оброблюваної деталі, мм;

$$M = 1423,25 \times 20 = 28465.$$

Схема дії на оброблювану деталь сил різання, затиску і моментів приведена на рисунку 4.5.

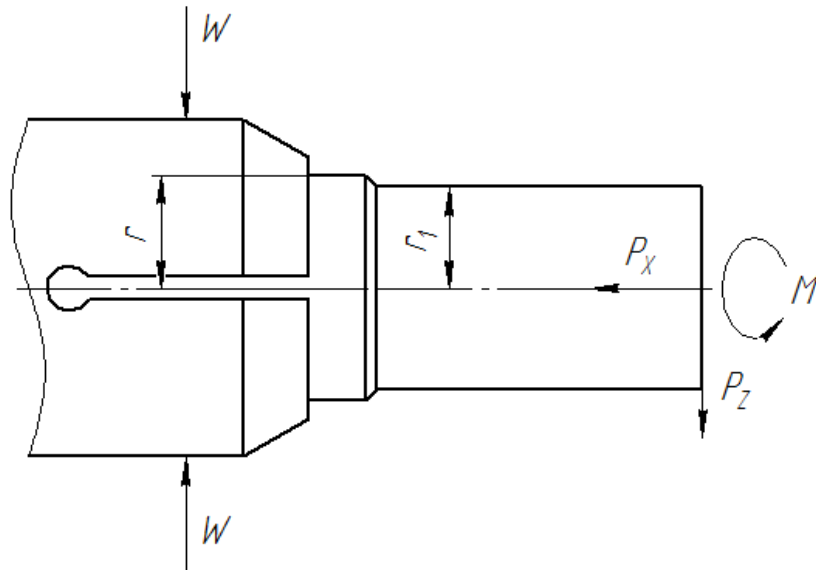


Рисунок 4.5 – Схема діючих сил різання, затиску і моментів на заготовку

Сумарна сила затиску $W_{\text{сум}}$ деталі цанговим патроном визначається з рівності:

$$W_{\text{сум}} \cdot f \cdot r = K \cdot P_z \cdot r_1 \quad (4.49)$$

Звідки:

$$W_{\text{сум}} = \frac{K \cdot M}{f \cdot r} = \frac{K \cdot P_z \cdot r_1}{f \cdot r} \quad (4.50)$$

де f – коефіцієнт тертя між поверхнею деталі і робочою поверхнею цанги: $f = 0,15$;

r – радіус поверхні деталі, затиснутої цангою : 20мм - за даними робочого креслення деталі;

K – коефіцієнт запасу.

Коефіцієнт запасу залежить від умов обробки деталей на верстаті і рівний:

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 \quad (4.51)$$

де K_0 – гарантований коефіцієнт запасу при усіх випадках обробки;

K_1 – коефіцієнт, залежний від виду базової поверхні деталі (оброблена або необроблена);

K_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при затупленні ріжучого інструменту;

K_3 – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при обробці преривчастих поверхонь;

K_4 – коефіцієнт, що враховує постійність сили затиску, що розвивається силовим приводом пристосування;

K_5 – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукоядки для ручного затиску пристрою;

K_6 – коефіцієнт, що враховується за наявності моментів, прагнучих повернути оброблювану деталь навколо її осі.

$K_0 = 1,5$ (в усіх випадках); $K_1 = 1,0$ (чорнова обробка); $K_2 = 1,2$ (чорнова обробка); $K_3 = 1,0$ (безперервне різання); $K_4 = 1,0$ (при пневматичному або гідравлічному приводі); K_5 – не враховується; $K_6 = 1,0$ (для опор з невеликою поверхнею контакту).

$$K = 1,5 \times 1,0 \times 1,2 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 1,8$$

Сумарна сила затиску цанговим патроном, Н:

$$W_{\text{сум}} = \frac{1,8 \times 28465}{0,15 \times 20} = 17079$$

Сила затиску деталі однією пелюсткою патрона W , Н:

$$W = \frac{W_{\text{сум}}}{Z} \quad (4.52)$$

де Z – кількість пелюстков.

$$W = \frac{17079}{3} = 5693$$

Величину сили затиску перевіряємо на можливість подовжнього зрушення деталі осьовою силою P_X за формулою:

$$W_{\text{сум}} \cdot f \geq K \cdot P_X \quad (4.53)$$

Звідки

$$[W_{\text{сум}}] = \frac{K \cdot P_X}{f} \quad (4.54)$$

$$[W_{\text{сум}}] = \frac{1,8 \times 500}{0,15} = 6000$$

$$W_{\text{сум}} = 17079 \text{ Н} \geq [W_{\text{сум}}] 6000 \text{ Н} - \text{умова дотримується.}$$

Осьова сила на штоку пневмоциліндру цангового патрона, Н:

$$Q = (W_{\text{сум}} + W') \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right) \quad (4.55)$$

де $W_{\text{сум}}$ – потрібна сумарна сила стискання деталі усіма пелюстками цанги, Н;

W' – сила попереднього затискання пелюсток цанги, Н;

α – кут при вершині конуса цанги- конструктивно- 12° ;

φ – кут тертя, між конічною поверхнею і втулкою, що стискається ($\operatorname{tg} \varphi = 0,1 \dots 1,15$).

$$Q = (17079 + 6000) \times \operatorname{tg} \left(\frac{12}{2} + 32 \right) = 18031,3$$

Діаметр поршня циліндра, мм:

$$D_{\pi} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}} \quad (4.56)$$

де p – тиск стислого повітря, приймаємо $p = 0,4 \cdot 10^6$ МПа;

η – КПД пневмоциліндра, $\eta = 0,95$.

$$D_{\pi} = \sqrt{\frac{4 \times 18031,3}{3,14 \times 0,4 \times 10^6 \times 0,95}} = 0,246 = 246$$

Оскільки, передбачається використати 2-х камерний пневмоциліндр, тоді результат, отриманий у формулі (2.56) ділимо на два і приймаємо остаточний розмір діаметру поршня: $D_{\pi} = 125$ мм.

Діаметр штока циліндра, мм:

$$d_{um} = (0,325 \dots 0,545) \cdot D \quad (4.57)$$

$$d_{um} = (0,325 \dots 0,545) \times 125 = 40,625 \dots 68,125$$

Приймаємо конструктивно $d_{um} = 53,5$ мм.

Час спрацьовування пневмоциліндра T_c , с:

$$T_c = \frac{D \cdot L_x}{d_B \cdot V_B} \quad (4.58)$$

де L_x – довжина ходу поршня, см;

d_B – діаметр пневмотрубок, см;

$V_B = 1500 \dots 2500$ см/с – швидкість переміщення стислого повітря, см/с;

D – діаметр поршня, см.

Приймаємо:

$L_x = 20,5 \text{ мм} = 2,05 \text{ см}$ – конструктивно;

$d_B = 8 \dots 10 \text{ мм}$ – $d_B = 10 \text{ мм} = 1 \text{ см}$;

$V_B = 2000 \text{ см/с}$.

$$T_c = \frac{12,5 \times 2,05}{1 \times 2000} = 0,013$$

Тоді, для автоматизації процесу точіння довгих деталей, переміщення пінолі задньої бабки, теж пропонується приводити від пневмо-системи проєктованого верстата. Зусилля підтиску деталі центром, що обертається, має бути меншим або рівним, зусиллю затиску деталі цанговим патроном.

Діаметр поршня циліндра, мм:

$$D = 0,7 \cdot \sqrt{Q} \quad (4.59)$$

де $Q = 17080 \text{ Н}$ – сила затиску деталі цанговим патроном;

$$D = 0,7 \times \sqrt{17080} = 91,48$$

Округлюємо до стандартного найближчого значення, в меншу сторону виходячи з конструктивних міркувань: $D=90\text{мм}$

Діаметр штока циліндра, мм:

$$d_{шт} = (0,325...0,545) \times 90 = 29,52...49,05$$

Час спрацьовування пневмоциліндра T_c , с:

$$T_c = \frac{9 \times 10}{1 \times 2000} = 0,045$$

Для передачі осьових і радіальних сил в конструкції задньої бабки передбачені підшипники кочення : - FAG B719C4E.T.P4S.UL - для передачі і воспринятия радіальних і осьових сил, через підтискний центр на деталь з боку передавального штока на деталь, що підтискається; - INA NK28/20 - для воспринятия радіальних сил при обертанні передавальної втулки, при обертанні підтискного центру і передавального осьове зусилля штока, разом з оброблюваною деталлю; - FAG 81206tvrpb - для передачі і сприйняття осьових сил, що створюються переміщенням поршня пневмоциліндра задньої бабки.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек .

Так як тема дипломного проекту - «Розробка та дослідження компоновки і основних вузлів токарно-фрезерного верстата з ЧПК», передбачає проведення розрахунків у приміщенні (лабораторії) обладнаному персональними комп'ютерами (далі ПК) з візуальними дисплейними терміналами (далі ВДТ), тому нижче розглянемо заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки для приміщення (лабораторії) обладнаного візуальними дисплейними терміналами, у відповідності з методичними вказівками.

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і технологічних процесів у приміщенні (лабораторії) обладнаному ПК з ВДТ, згідно ГОСТ 12.0.003-74 (1999) «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», виявлені наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, здатні привести до травм або ушкодження здоров'я працівників:

- ураження електричним струмом, у наслідок несправності електрообладнання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку;

- механічне травмування в наслідок застосування меблів, що не відповідають ергономічним вимогам;

- нервово-психічні навантаження в наслідок специфіки виконуваних робіт, що призводить до захворювань загального характеру;

- довготривалий дискомфорт в умовах недостатньої фізичної активності сприяє передчасному розвитку загального втомлення, зниженню працездатності, а при систематичній безперервній роботі призводить до захворювань периферичної нервової системи: невритів, радикулітів;

- негативний вплив електромагнітних, в тому числі і рентгенівських випромінювань при використанні моніторів персональних комп'ютерів (далі

ПК) з електронно-променевою трубкою, що призводить до погіршень зору, зниження імунітету;

- недостатнє освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з несправністю освітлювальних приладів, що призводить до погіршення зору;

- підвищений рівень шуму, що створюється людьми, які працюють у приміщенні, призводить до їх роздратованості, втомленню;

- незадовільні параметри мікроклімату робочого місця, у зв'язку із відсутністю приладів, що забезпечують необхідний повітрообмін та опалювальної системи, які можуть викликати загальні захворювання;

- вірогідність загоряння, у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що призводить до пожежі;

- неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій, які призводять до паніки та загибелі людей.

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

У приміщенні лабораторії застосовується широке різноманіття електроприладів: персональні комп'ютери, принтери, ксерокси, освітлювальні прилади, кондиціонери, побутові електроприлади тощо. Небезпека ураження електричним струмом при використанні цих приладів з'являється при недотриманні заходів обережності, а також при відмові або несправності цього обладнання. Наслідки ураження електричним струмом залежать від багатьох факторів: опору організму, величини, тривалості дії, роду і частоти струму, шляхів його проходження через життєво важливі органи, умов зовнішнього середовища.

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам: ПУЕ («Правила устрою електроустановок») і ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», величина опору захисного заземлення

електрообладнання приміщення – 4 Ом; НПАОП40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок». Приміщення відноситься до класу пожежонебезпечної зони П-Па, тому передбачений мінімальний ступінь захисту ізоляції обладнання IP44; ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения»

По способу захисту людини від ураження електричним струмом, обладнання належить до I класу, оскільки має подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та провід для приєднання до джерела живлення, що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом, що відповідає вимогам НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

У виробничих приміщеннях на робочих місцях за комп'ютером мають забезпечуватися оптимальні значення параметру мікроклімату: температури, відносної вологості й швидкості руху повітря відповідно ГОСТ 12.1.005-88, СН 4088-86, ДСН 3.3.6.042-99.

Підтримувати оптимальний рівень легких позитивних і негативних аерофонів у повітрі на робочих місцях рекомендується за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів. В приміщенні можуть бути встановлені побутові кондиціонери. Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неуважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму відстань між робочими столами становить не менше 2 метрів, а відстань між боковими поверхнями моніторів - не менше 1,2 метра. Для забезпечення комфортних та безпечних умов праці, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» площа на одне робоче місце не менше 6м², а об'єм – не менше 20м³.

У зв'язку із стресовими ситуаціями та нервово-емоційними навантаженнями у працівників може виникнути ймовірність захворювань загально-невротичного характеру.

Згідно рекомендаціям НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» та з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення – кімната відпочинку. Також обов'язковим є проходження медичного огляду один раз на два роки за рахунок роботодавця відповідно Наказ міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій».

Для запобігання кістково-м'язових порушень у зв'язку з тривалим статичним напруженням м'язів спини, ший, рук і ніг необхідно передбачити перерви в роботі та виконувати фізичні вправи 2-3 рази протягом робочого часу. Застосування меблів та організація робочого місця згідно рекомендацій ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ « Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» дає можливість не тільки уникнути прояву захворювань але і забезпечує гарний настрій та високий рівень працездатності.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МІОУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»).

Метеорологічні умови в приміщенні – температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають встановленим

санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Роботів приміщенні з ПК, належать до категорії Іб - легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;
- у теплий період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Забезпечення таких параметрів мікроклімату досягається оснащенням приміщень пристроями кондиціонування, вентиляції та дезодорації повітря, системами опалювання відповідно до рекомендацій ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Оптимальні рівні позитивних (n+) і негативних (n-) іонів у повітрі приміщення з ВДТ відповідають вимогам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» і становить: $n^+ = 1500-30000$ (шт. на 1см^3); $n^- = 3000-5000$ (шт. на 1см^3). Підтримку оптимального рівня легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях забезпечуються за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

Повітрообмін – процес заміни відпрацьованого і забрудненого повітря у виробничому приміщенні свіжим за допомогою природної і (або) механічної вентиляції. Величина обміну повітря, м/год, – один з головних показників, необхідних для проектування будь-якої з систем вентиляції виробничого приміщення. Обмін повітря повинен розраховуватись так, щоб концентрація шкідливостей (пари, гази, волога, пил або аерозолі та ін.) в приміщенні під час роботи вентиляції не перевищувала допустимих рівнів чи гранично допустимих концентрацій (ГДК). ГДК деяких шкідливих речовин встановлюються згідно ГОСТ 12.1.005- 88 і ДСН 3.3.5.042 — 99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень".

Внаслідок роботи за ПК, на фізіологію людини негативно впливають електромагнітні випромінювання. Щоб зменшити наслідки впливу на людину та знизити негативні показники у робочій зоні до допустимих значень, згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», вироби, які створюють електромагнітні поля, повинні мати захисні елементи (екрани, поглиначі і т.д.). Вимоги до захисних елементів повинні бути вказані в стандартах та технічних умовах на конкретні види виробів. Згідно з НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» та ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», на робочих місцях обладнаних ПК встановлені рідкокристалічні монітори, які не є джерелами рентгеновського та електромагнітного випромінювань.

Основними причинами недостатньої або нераціональної освітленості робочих місць є несправність або нераціональний вибір освітлювальних приладів. Незадовільна освітленість на робочому місці або на робочій зоні може бути причиною зниження продуктивності та якості праці, отримання травм. Недостатнє освітлення викликає зоровий дискомфорт, що виражається у відчутті незручності або напруженості. Тривале перебування в умовах зорового дискомфорту призводить до розсіювання уваги, зменшення зосередженості, зоровій і загальній втомі.

У приміщенні, згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовані люмінесцентні лампи типу ЛБ. При застосуванні яких дотримались наступних умов:

температура навколишнього повітря не повинна бути нижче, ніж 5°C;
напруга на освітлювальних приладах повинна бути не менше, ніж 90% номінальної.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою: використання більш сучасного обладнання; розташування принтерів та різноманітного устаткування колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць працівників; переведення жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу; використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках.

Неправильне проектування або несправність систем опалення та вентиляції в приміщенні може призвести до негативних впливів на здоров'я працівників у вигляді простудних захворювань, перегрівань, проблем із дихальними шляхами тощо.

Для запобігання ризиків захворювання інфекційними хворобами підприємство чи окрема установа має індивідуальну програму забезпечення робітників належними умовами праці та впроваджує профілактичні заходи. Це можуть бути як сезонні (профілактичні) так і планові заходи. Плановими чи попередніми (при вступі на роботу) заходами можуть бути медичні огляди з урахуванням загальних протипоказань, індивідуальної чутливості, прогностичних ризиків розвитку захворювань. Сезонними заходами можуть бути проведення додаткових ін'єкцій чи оздоровчі програми для визначеної групи працівників що підлягають найбільшому впливу негативних факторів виробництва. Додатковими заходами попередження захворюваності є навчання адміністрації та працівників організацій (підприємств) основам медичних знань, способам збереження здоров'я на робочому місці; нормалізація санітарно-гігієнічних і психофізіологічних умов праці; залучення працівників до

занять фізичною культурою, туризмом і спортом, підвищення доступності цих видів оздоровлення;

У разі виявлення алергічних реакцій у робітників на визначені матеріали меблів (ДСП,ДВП, МДФ, ратан, бамбук, пластмаса) необхідно мінімізувати перебування працівників у приміщенні де знаходиться подразник. Необхідно забезпечити регулярне провітрювання для нейтралізації алергічних подразників і ретельно дотримуватись санітарних норм. Працівник може власноруч за необхідності обробити робочу панель комп'ютера чи стола вологою ганчіркою та провітрити робочу кімнату. За можливості встановити сучасну систему кондиціонування та зволоження повітря. Якщо віддалення робітника від подразника неможливе можна меблі що іонізують шкідливі речовини та є подразниками обгорнути плівкою для мінімізації розповсюдження алергічного запаху.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Горіння – це процес окислення, який супроводжується інтенсивним виділенням тепла і променевої енергії.

Горіння виникає, коли є горюча речовина, окисник та джерело запалювання. Окисником може бути кисень повітря, бертолетова сіль, пероксид натрію, азотна кислота, хлор, фтор, бром, оксиди азоту тощо. Залежно від агрегатного стану та ступеня подрібненості речовин, горюче середовище може утворюватися твердими речовинами, легкозаймистими, та горючими рідинами, горючим пилом та горючими газами за наявності окиснювача. Процес горіння призводить до пожежі.

Пожежа – неконтрольоване горіння по за спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі. Для ліквідації пожежі у початковій стадії їх розвитку силами персоналу об'єктів застосовуються первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, ломи, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння. Первинні засоби пожежогасіння, в залежності

від категорії приміщень, можуть розташовуватися окремо, так і в складі пожежних щитів.

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» приміщення відноситься до класу можливої пожежі А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір), та класу Е - пожежі, пов'язані з горінням електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В.

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною безпекою, який регламентується ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» приміщення (лабораторія) відповідає категорії Д – наявність не займистих речовин і матеріалів в холодному стані.

Відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», ступінь вогнестійкості дослідницької лабораторії - II.

В приміщення (лабораторія) пожежний інвентар з пожежним інструментом і вогнегасниками розташовано на двох спеціальних пожежних щитах (стендах), відповідно до "Правил пожежної безпеки в Україні". Серед первинних засобів пожежогасіння особливе місце займають вогнегасники, які відзначаються високою ефективністю дії. В приміщення (лабораторія) встановлено 2 вуглекислотних вогнегасника місткістю 5 л. Доцільність використання даного вогнегасника пояснюються його властивостями. Вогнегасник ВВК-3 призначений для гасіння загорання різних речовин, горіння яких не може відбуватися без доступу повітря, загорання електроустановок, що знаходяться під напругою, загорання в офісних приміщеннях при наявності оргтехніки. Головною особливістю вуглекислотних вогнегасників є відсутність слідів гасіння так як вуглекислота після використання не залишає слідів і бруду.

Також, для адміністративних приміщень рекомендується використання сповіщувачів пожежі, тому в офісне приміщення буде обладнане адресованим автоматичним сповіщувачем ДПП-1, який буде реагувати на дим. Своєчасне виявлення ознак займання й виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації, а отже, створює можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Адресований сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищуваному приміщенні та про власну працездатність із зазначенням свого номера (адреси). Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я. Для адміністративних приміщень використовується димові пожежні сповіщувачі.

Визначимо рівень загального освітлення в приміщенні, довжина якого $A=24$ м . ширина приміщення $B=18$; $H = 4,5$ м - висота приміщення. рекомендоване освітлення становить 400 лк.

Вибираємо Газорозрядні ;(люміноесцентні лампи), в яких встановлено люмінесцентні лампи типу ЛБ-білого кольору , світловий потік 4800лм, довжина світильника-1,5м.

Тип світильника ЛВП, довжина світильника - 0,650м.

IP-54 - ступінь захисту світильника; $L/h-1,3$ - числове значення коефіцієнта світильника.

Переважно прямого світла 60-80% для приміщення, в яких стіни та стелю мають високий коефіцієнт відбиття.

$K_z = 1,5$ - коефіцієнт запасу; $z = 1,1$ - коефіцієнт нерівномірності освітлення.

$\rho_{ст} = 30\%$, $\rho_{п} = 10\%$, $\rho_{с} = 50\%$ - з незначним виділенням пилу.

1. Розраховуємо кількісні значення індекса приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \quad (5.1)$$

де А- довжина приміщення, м;

В - ширина приміщення, м;

h - висота приміщення, м;

$$i = \frac{24 \cdot 18}{4,5 \cdot (24 + 18)} = 2,29$$

$$h = H - h_p - h_3, \quad (5.2)$$

де Н- висота приміщення, м;

h_p - висота робочої поверхні над підлогою, м (висота умовної робочої поверхні - 0,8 м);

h_3 - висота підвісу світильника від стелі, м (вибирається за технологічною доцільністю);

$$h = 4.5 - 0,8 - 0,12 = 3,08 \text{ м}$$

а) Розраховуємо кількість рядів світильників в приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H-h_p) \cdot \left(\frac{L}{h}\right)} \quad (5.3)$$

де L/h числове значення коефіцієнта світильника

$$N_p = \frac{18}{(4.5 - 0,8) \cdot 1,3} = 3$$

б) Розраховуємо максимально допустима відстань між рядами світильників:

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p}, \quad (5.4)$$

$$L_{\max} = \frac{18}{3} = 6$$

в) Розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{\max}}{[L/h]}, \quad (5.5)$$

$$h = \frac{6}{1,3} = 4.6$$

г) Розраховуємо висоту звисання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h \quad (5.6)$$

$$h_3 = 4.5 - 0.8 - 3.08 = 0,62$$

2. Коефіцієнт використання світлового потоку:

$$\eta = 54\% = 0,54$$

3. Розраховуємо світловий потік лампи і загальна кількість світильників:

а) Розраховуємо сумарний світловий потік освітленій установці в даному приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\eta}, \quad (5.7)$$

де Φ_{Σ} - розрахункове значення сумарного Светого потоку в приміщенні, лм

E_n - нормоване значення освітленості, лк;

S - площа освітленої поверхні, м²;

k_з- коефіцієнт запасу;

z - коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η - коефіцієнт використання світлового потоку

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{400 \cdot 432 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,54} = 528000 \text{ лм}$$

б) Визначимо умовно загальна кількість світильників у приміщенні, виходячи з позицій розташування їх у вершин квадрата:

$$N^* = \frac{AB}{L_{max}^2}, \quad (5.8)$$

$$N^* = \frac{432}{36} = 12$$

в) Розрахуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{л}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{л}} = \frac{528000}{24} = 22000, \text{ лм} \quad (5.9)$$

де N_л- загальна кількість ламп в приміщенні, шт;

Загальна кількість ламп в приміщенні:

$$N_{л} = N^* \cdot n, \text{ шт} \quad (5.10)$$

$$N_{л} = 12 \cdot 2 = 24 \text{ шт}$$

де n - кількість ламп в світильнику

г) Вибираємо вид стандартної лампи з методичних вказівок з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{л}$ і знаходимо коефіцієнт m:

$$m = \frac{\Phi_{\text{л}}^*}{\Phi_{\text{л}}}, \quad (5.11)$$

$$m = \frac{22000}{19000} = 1,16$$

д) Визначаємо оптимальну кількість світильників в приміщенні:

$$N = N^* \cdot m, \quad (5.12)$$

$$N = 12 \cdot 4,08 = 48,88 = 48$$

3. Визначаємо загальну розраховану освітленість E_p в приміщенні, яка створюється при використанні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{л}} \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z}, \text{ лк} \quad (5.13)$$

$$E_p = \frac{5400 \cdot 48 \cdot 0,54}{432 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 196,36 \text{ лк}$$

При правильному виборі типу і кількості стандартних ламп повинно виконуватися умова:

$$E_p = (-10\% \dots + 20\%) \cdot E_{\text{н,лк}} \quad (5.14)$$

4. Розраховуємо загальну потужність освітленій установки:

$$P_{\Sigma} = N_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}}, \text{ Вт} \quad (5.15)$$

$$P_{\Sigma} = 48 \cdot 800 = 3840 \text{ Вт}$$

5 Розташування світильників на плані приміщення, враховуючи розмір світильників представлено на рис.5.1

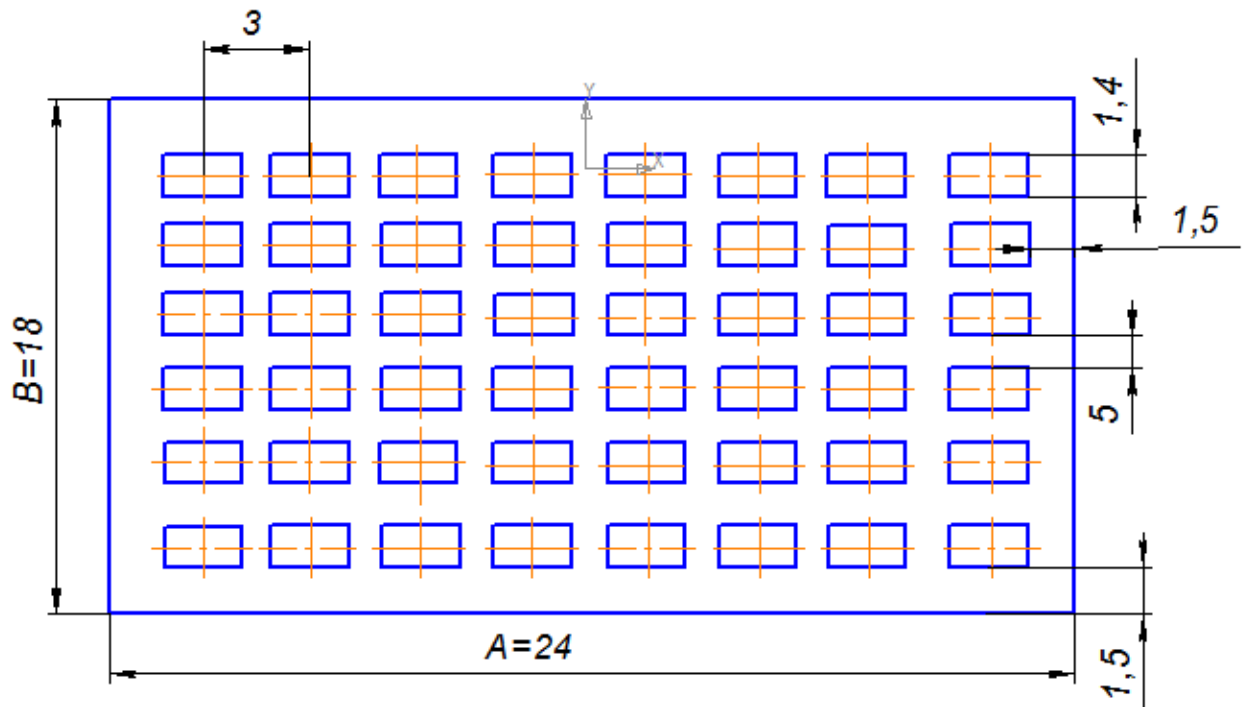


Рисунок 5.1 - Ескіз розташування світильників на плані приміщення

5.5 Одяг спеціальний для захисту від підвищених температур теплового випромінювання, конвективної теплоти. Загальні технічні вимоги.

Сфера застосування

Справжній стандарт поширюється на спеціальний одяг (далі - одяг), призначений для захисту від підвищених температур, викликаних тепловим випромінюванням і конвективною теплою, і встановлює загальні технічні вимоги до одягу вказаних призначень. Стандарт не поширюється на спеціальний одяг для зварювальників, пожежників і одяг, на який при виконанні робіт безпосередньо впливає відкрите полум'я.

Визначення

У справжньому стандарті застосовують наступні терміни з відповідними визначеннями :

1 конвективна теплота: Теплова енергія, що передається від поверхні з більш високою температурою до шару менш нагрітого, внаслідок теплопровідності матеріалу одягу

2 теплове випромінювання: Енергія, що передається електромагнітними хвилями завдовжки від 0,8 мкм до 0,8 мм, яка при поглинанні їх матеріалом одягу перетворюється на тепловий

3 рівень захист : число, характеризує захисні властивості одяг. Чим більше його числове значення, тим вище захисні властивості одягу

4 захисна здатність: Здатність матеріалів одягу зберігати на заданому рівні температуру не опромінюваної інфрачервоним випромінюванням сторони одягу

5 пакет матеріалів : Комплект матеріалів, що входять у багатошаровий одяг.

5.5.1 Технічні вимоги

Характеристики

1. Одяг виготовляють відповідно до вимог справжнього стандарту, базових конструкцій і промислової технології спеціального одягу, зразка-еталону, затвердженого по ГОСТ 15.004, технічного опису або технічних умов, затверджених в установленому порядку.

2. Одяг повинен забезпечувати захист від дії небезпечних виробничих чинників, що викликаються тепловим випромінюванням і конвективною теплою, при відповідності умов роботи, режиму і охорони праці встановленим вимогам. Матеріали одягу не повинні чинити шкідливої дії на організм людини. Одяг повинен мати санітарно-епідеміологічний висновок

встановленого зразка про відповідність державним санітарно-епідеміологічним правилам і нормам.

Регламент роботи на робочому місці має бути складений відповідно до фізіолого-гігієнічеськими вимог, затверджених органами охорони здоров'я.

3. Розміри одягу повинні відповідати зростанню і обхвату грудей типової фігури людини. Об'єднані розміри типових фігур по зростанню і обхвату грудей відповідно до ГОСТ 12.4.044, ГОСТ 12.4.045.

Допускається виготовляти одяг інших розмірів за узгодженням із споживачем і відповідно до нормативних документів.

4. Виміри готового одягу : ширина на рівні глибини пройми куртки, довжина куртки (спинки, переду), довжина рукавів, довжина брюк, ширина брюк на рівні середнього шва мають бути не менш вказаних у ГОСТ 12.4.044, ГОСТ 12.4.045.

5. Тип одяг встановлює за захисними властивостями ГОСТ 12.4.103:

- від конвективної теплоти;
- від теплового випромінювання;
- від теплового випромінювання і конвективної теплоти.

5.5.2 Вимоги до матеріалів

Тип одягу	Дія полум'я	Залишкове горіння	Залишкове тління
T_T	15	0	Не більше 2
$T_{и}, T_{ит}$	30	0	0

Таблиця 5.1 - Одежду изготовляют из материалов, устойчивость которых к воздействиям пламени соответствует требованиям (в секундах)

Примітка - Проби при випробуваннях не повинні запалюватися, горіти, розплавлятися ("крапати"), в них не повинні з'являтися наскрізні діри.

Стійкість до дії полум'я повинна зберігатися після п'яти хімічних чищень або прань.

Рівень захисту одягу, бал, $T_{и}$	Інтенсивність теплового випромінювання, кВт/м ²	Час опромінення,с
1	Не більше 2,0 включ.	1200
2	Св. 2,0 до 8,0 "	780
3	" 8,0 " 15,0 "	390
4	" 15,0 " 20,0 "	180
Примітка - Час опромінення не регламентує тривалості безперервної дії теплового випромінювання на працюючого.		

Таблиця 5.2 - Пакет матеріалів одягу для захисту від теплового випромінювання повинен відповідати вимогам

Рівень захисту одягу $T_{т}$, бал	Сумарний тепловий опір, м ² К/Вт
1	От 0,15 до 2,0 включ.
2	Св. 0,25 " 0,35 "
3	" 0,35 " 0,45 "
4	Не менш 0,45

Таблиця – 5.3 Пакет матеріалів одягу для захисту від конвективної теплоти при контакті з нагрітими до 100 °З поверхнями повинен відповідати вимогам

Найменування показника	Значення
Поверхнева щільність, г/м ² , не менш	250
Розривне навантаження, Н, не менш	800
Роздираюче навантаження, Н, не менш	70
Повітропроникність, дм ³ /м ² ·с, не менш	30
Зміна лінійних розмірів після мокрої обробки, %, не більше	±3,5
Зміна лінійних розмірів в гарячому повітрі, %, не більше	±2,0

Таблиця 5. 4 - Тканини за фізико-механическим показниками повинні відповідати вимогам

Стійкість забарвлення тканин повинна відповідати нормам ГОСТ 12930 по групі "Тканини з вогнезахисним просоченням ОП".

Найменування показника	Значення
Міцність зв'язку покриття з основою, Н/см, не менш	30
Стійкість до багатократного вигину, тис. цикл., не менш	9
Световідбиття, %, не менш	50

Таблиця 5.5 - Матеріали для відображення променистої енергії за показниками светоотраження, зносостійкістю покриття повинні відповідати вимогам

5.5.2. Вимоги до виготовлення

1. Підкладка в спеціальному одязі має бути з бавовняних або змішаних (натуральних і хімічних волокон) тканин. Гігроскопічність підкладки має бути не менше 5%.

Стойка коміра, верхня частина спинки і переду, передні половинки брюк у

виробах, виготовлених з матеріалів типу "сукно шинельне", повинні мати підкладку з бавовняної тканини.

2. Стежки, рядки і шви спеціального одягу повинні відповідати вимогам ГОСТ 29122.

Ушивання рукавів, з'єднання плечових зрізів, крокових і середніх зрізів брюк виконують двома рядками. Розривне навантаження сполучних швів (бічні шви куртки і брюк, крокові, середній шов брюк, шви ушивання рукавів) має бути не менше 250 Н.

3. Вимоги до конструктивних елементів:

- застібки на лицьовій поверхні одягу мають бути закриті тканиною верху;
- застібки повинні легко розстібатися, щоб забезпечити швидке видалення одягу при аварійній ситуації;
- брюки мають бути прямі, без манжет;
- зовнішні (зовнішні) кишені курток і брюк мають бути з клапанами шириною не менше 40 мм;
- одяг для захисту від теплового випромінювання повинен мати накладки, що закривають груди, живіт, шию, ноги.

При інтенсивності опромінення більше 2 кВт/м в комплект одягу повинні входити додаткові вироби (фартухи, накидки і так далі) або накладки, розташовані з урахуванням топографії дії теплового випромінювання, виготовлені з матеріалів, що відбивають променисту енергію. Одяг, виготовлений з матеріалів з повітропроникністю менш вказаної в таблиці 5.4, для забезпечення повітрообміну повинна мати вентиляційні отвори під проймою, кокеткою спинки і в області крокових швів брюк. Контроль якості одягу - по ГОСТ 4103.

5.5.3 Вимоги до випробувань

1. Відбір зразків - по ГОСТ 23948 з доповненням: для руйнівного контролю відбирають методом випадкового відбору вибірку не менше трьох виробів. Розмір проб і умови випробувань - відповідно до нормативного документу на метод випробувань.

2. Випробування стійкості матеріалів до дії полум'я проводять по нормативному документу. Умови випробувань наступні: висота полум'я приблизно 40 мм - при вертикальній, резервній установці пальника, (25 ± 2) мм - при горизонтальному, робочому положенні пальника; відстань від стабілізатора полум'я пальника до поверхні елементарної проби - (17 ± 1) мм; час дії полум'я не менш вказаного в таблиці 5.1. Залежно від виду одягу використовують одношарові або багатошарові елементарні проби.

Стійкість матеріалів до дії полум'я оцінюють до і після мокрої обробки або хімічного чищення. Вид дій встановлює виготівник продукції. За відсутності рекомендацій виготівника проводиться 5-кратне хімічне чищення матеріалу по ГОСТ 21050, одяг - по ГОСТ 12.4.169.

3. Захисну здатність матеріалів визначають по ГОСТ 12.4.074 за наступних умов: інтенсивність і час теплового випромінювання - відповідно до таблиці 5.3, максимальна температура неопромінюваної сторони матеріалу не повинна перевищувати 40 °С.

4. Светоотражение визначають фотометром, який забезпечує освітлення поверхні випробовуваного зразка світловим потоком під кутом 45°. При вимірі використовують чорне скло, що калібрується, з коефіцієнтом заломлення 1,567.

5. Визначення теплового опору - по ГОСТ 20489.

6. Визначення товщини - по ГОСТ 12023 за наступної умови: тиск 196 Па.

7. Визначення повітропроникності - по ГОСТ 12088.

8. Визначення гігроскопічності - по ГОСТ 3816.

9. Визначення поверхневої щільності - по ГОСТ 3811.

10. Розривні характеристики визначають - по ГОСТ 3813.

11. Визначення зміни розмірів після мокрої обробки - по ГОСТ 30157.1,
в гарячому повітрі –по ГОСТ 29104.9.

12. Міцність зв'язку між шарами визначають по ГОСТ 17317.

13. Стійкість до багатократного вигину - по ГОСТ 8978.

14. Визначення розривного навантаження швів - по ГОСТ 28073.

5.5.4 Маркіровка і упаковка

Маркіровка одягу - по ГОСТ 10581, ГОСТ 12.4.115 з вказівкою рівня захисних властивостей. Наприклад: 3, 2 або 3.

Рівень захисних властивостей допускається вказувати на логотипі.

Упаковка - по ГОСТ 10581.

ВИСНОВКИ

За результатами роботи можна зробити такі висновки:

1. обробка валів і дисків у загальному обсязі тіл обертання займає найбільшу долю і оптимізація конструкції токарно фрезерних верстатів для обробки саме цих деталей є актуальною.
2. Оцінка ефективності використання принципів компоновок верстатів можливо використовуючи багатокритеріальний аналіз оптимізації технологічних систем.
3. На основі аналізу критеріїв оптимальності визначені оптимальні розмірні характеристики токарно-фрезерного верстата призначеного для обробки деталей типу валів:
 - Діаметр оброблюваної деталі $\varnothing 160$ мм
 - Діаметр отворів $\varnothing 25$ мм
 - Оптимальна партія обробки ≤ 60 шт
4. На основі аналізу компоновок токарно-фрезерних верстатів запропонована оптимальна компоновка верстата для обробки деталей типу валів. Це компоновка верстата з наявними осями переміщень Х та С, одним шпинделем, задньою бабкою та супортом з револьверною головкою, що має приводні позиції для інструмента.
5. Визначені технічні характеристики верстата.
 - частота обертання шпинделя
 - потужність приводу головного руху
 - частота обертання інструмента у револьверній головці
 - потужність приводу інструмента у револьверній головці
6. Розроблено конструкцію приводу головного руху та подач.

7. Виконані проектні та перевірочні розрахунки елементів конструкції зазначених вузлів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. В. Є. Карпусь, О. В. Котляр, В. О. Іванов. Оптимізація обробки тіл обертання. 2012. 229 с.
2. Технология машиностроения (специальная часть) : учеб. для машиностроит. специальностей вузов / Гусев А. А., Ковальчук Е. Р., Колесов И. М. и др. – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с
3. Карпусь В. Є. Технологічні основи машинобудування : навч. посібник / В Є. Карпусь. – Харків : Акад. ВВ МВС України, 2007. – 294 с.
4. Зуев А. А. Технология машиностроения / А. А. Зуев. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Изд-во «Лань», 2003. – 496 с.
5. Филонов И. П. Проектирование технологических процессов в машиностроении / И. П. Филонов – Минск : Технопринт, 2003. – 909 с.
6. Карпусь В. Є. Ефективне використання верстатів з ЧПК у авіаційному агрегатобудуванні / В. Є. Карпусь, В. О. Границя. – Харків : ДП ХМЗ «ФЕД», 2009. – 228 с.
7. Локтев Д. А. Обработывающие центры в программе поставок группы «Технополис» / Д. А. Локтев // Мир техники и технологий. – 2008. – №8 (81). – С. 32–37.
8. Швец И. Б. Управление энергетическими ресурсами на предприятии / И. Б. Швец. – Донецк : Ин-т экономики промышленности, 2002. – 184 с.
9. Лищинский Л. Ю. Номенклатура показателей и принципы построения обобщенной модели гибких производственных систем / Л. Ю. Лищинский // Станки и инструмент. – М. : Машиностроение, 1985. – № 10. – С. 5–10.
10. Лищинский Л. Ю. Выбор структур гибких производственных систем / Л. Ю. Лищинский, А. Л. Генис // Станки и инструмент. – М. : Машиностроение, 1989. – № 9. – С. 4–6.

11. Пуш В. Э. Оценка оптимальности решений при выборе автоматизированного оборудования / В. Э. Пуш, Л. Ю. Лищинский // Станки и инструмент. – М. : Машиностроение, 1986. – № 3. – С. 2–4.
12. Проскурянов А. В. Модель многоуровневой иерархической системы оперативного планирования процесса механической обработки / А. В. Проскур'янов, А. В. Осипов // Вестник машиностроения. – М. : Машиностроение, 1986. – № 8. – С. 69–72.
13. Проскурянов А. В. Оперативное планирование механообработки в многономенклатурном производстве / А. В. Проскурянов, А. В. Осипов // Вестник машиностроения. – М. : Машиностроение, 1987. – № 9. – С. 70–72.
14. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ : в 2 ч. – М. : Экономика, 1990. – 208 с.
15. Режимы резания металлов: Справочник / под ред. Ю. В. Барановского. – М. : Машиностроение, 1972. – 407 с.
16. Локтев Д. А. Современные методы обработки на токарных металлообрабатывающих центрах HYUNDAI-KIA / Д. А. Локтев // Мир техники и технологий. – 2008. – №2 (75). – С. 26–29.
17. Павлюченко И. Н. Высокопроизводительное оборудование компании SPINNER для современного производства / И. Н. Павлюченко // Мир техники и технологий. – 2008. – №11 (84). – С. 36–38.
18. Локтев Д. А. Обработывающие центры в программе поставок группы «Технополис» / Д. А. Локтев // Мир техники и технологий. – 2008. – №8 (81). – С. 32–37.
19. Бондаренко Д. В. Фрезерные станки компании QUASER / Д. В. Бондаренко // Мир техники и технологий. – 2008. – №5 (78). – С. 32–36.
20. Карпусь В. Є. Ефективне використання верстатів з ЧПК у авіаційному агрегатобудуванні / В. Є. Карпусь, В. О. Границя. – Харків : ДП ХМЗ «ФЕД», 2009. – 228 с.