

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Дослідження компоновальних схем багатоцільових верстатів
на базі розмірних критеріїв робочої зони»

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МВм-61
спеціальності _____

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

_____ Кулешко А.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Скляр Р.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Кобельник В.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач
кафедри _____ Крупа В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль 2023

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Крупа В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)
студенту Кулешко Андрій Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема роботи «Дослідження компоновальних схем багатоцільових верстатів на базі розмірних критеріїв робочої зони»

Керівник роботи Склярів Руслан Анатолійович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «16» листопада 2023 року № 4/7-1063

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23.12.2023

3. Вихідні дані до роботи креслення та технологічний процес на виготовлення деталі «Кронштейн спеціальний ВБУ 211223», паспорт базового верстату

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітичний розділ. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи. Інформаційно-патентний пошук. Постановка мети та задач дослідження. Технологічні розрахунки. Розробка структурно-кінематичної схеми верстата. Оптимізація компоувальної схеми верстату. Силкові та міцнісні розрахунки. Науково-дослідна частина. Заходи з охорони праці та безпеки в НС.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів) Тема, мета та завдання дослідження - 2 слайди, Інформаційно-патентні дослідження – 2-3 слайди; Дослідно-проектний розділ – 3-4 слайдів (Аналіз формоутворюючих рухів - 1 арк. ф.А1, Кінематична та структурно-кінематична схема верстату - 1 арк. ф.А1; Привід головного руху верстату – 2 арк.ф.А1), Науково-дослідна частина – 5-6 слайдів; Висновки по роботі -2-3 слайди. Всього 16-17 слайдів (4 арк. ф. А1).

Анотація

Дослідження компоувальних схем багатоцільових верстатів на базі розмірних критеріїв робочої зони // Дипломна робота магістра. Кулешко Андрій Анатолійович. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет інженерії машин, споруд та технологій, кафедра конструювання верстатів інструментів та машин, група МВм-61 : ТНТУ, 2023.

Ключові слова: багатоцільовий верстат, компоувальна схема, критерії відбору компоувань верстатів.

Метою роботи є підвищення технічного рівня багатоцільових верстатів та розробка їх нових компоувальних схем з покращеними характеристиками.

В кваліфікаційній роботі магістра здійснено інформаційно-патентні дослідження стосовно проектування багатоцільових верстатів. Розглянуто стан питання стосовно кодування компоувань багатоцільових верстатів. Здійснено розрахунок режимів різання для деталі «Кронштейн спеціальний ВБУ 211223». Здійснено проектування конструкції приводу верстата. Розроблено критерії, на основі яких можна оцінити компоування багатоцільових верстатів. В роботі знайшли висвітлення питання охорони праці та безпеки життєдіяльності людини стосовно тематики роботи.

Annotation

KULESHKO A. Study of layout schemes for multi-purpose lathes based on dimensional criteria of the working zone. Thesis work for obtaining the educational qualification of Master degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2023.

Key words: multi-purpose machine, layout scheme, criteria for selecting layouts of machines.

The purpose of the work is to increase the technical level of multi-purpose machines and to develop their new layout schemes with improved characteristics.

In the master's qualification work, information and patent research was carried out regarding the design of multi-purpose machines. The status of the issue regarding the coding of the layouts of multi-purpose machines has been considered. The calculation of the cutting modes for the part "Bracket special VBU 211223" was carried out. The design of the machine's drive design was carried out. Criteria have been developed on the basis of which it is possible to evaluate the layout of multipurpose machines. Thesis work includes issues related to the industrial safety and the safety of human life.

Зміст

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ.....	7
Вступ.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ	10
1.1. Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу	10
1.2. Огляд та аналіз проблематики кваліфікаційної роботи	11
1.3. Класифікація БЦВ	13
1.4. Аналіз принципу роботи та області застосування БЦВ.....	14
1.5. Аналіз розвитку компоновань БЦВ з горизонтально розміщеним шпиндельним вузлом.....	15
1.6. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження	19
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ	20
2.1. Технологічні розрахунки.....	20
2.2. Аналіз формоутворюючих рухів та розробка структурно-кінематичної схеми верстату	24
2.3. Розрахунок приводу головного руху верстату.....	27
2.4. Висновки по розділу	36
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	37
3.1. Методика та план проведення наукових досліджень.....	37
3.2. Конструкторсько-технологічний аналіз розвитку БЦВ	37
3.3. Визначення оптимального компоновання БЦВ	41
3.4. Критеріальне дослідження компоновань БЦВ.....	46
3.5. Обговорення та аналіз отриманих результатів* (*опубліковані результати досліджень подані в додатках)	54
3.6. Висновки до розділу	54
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	55
4.1. Нормування параметрів мікроклімату	55
4.2. Сховища, як один з видів захисних споруд цивільного захисту.....	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	62
ДОДАТКИ.....	67

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

БЦВ – багатоцільовий верстат;

ГВМ – гнучкий виробничий модуль;

ГВС – гнучка виробнича система;

ККД – коефіцієнт корисної дії

ТП – технологічний процес;

ТС – технічна система;

ФУР – формоутворюючі рухи

ЧПК – числове програмне керування.

Вступ

Актуальність роботи. За останній рік в Україні змінилось відношення до машинобудівної галузі, оскільки суттєво зросли потреби в таких підприємствах та продукції, яку вони випускають. В умовах військового стану перед верстатобудівною галуззю виникає завдання забезпечити ріст продуктивності праці та якості продукції при мінімальних затратах. Саме тому зараз мають широке застосування багатоопераційні та багатоцільові верстати (БЦВ), а також гнучкі виробничі системи (ГВС).

На сьогоднішній день багато уваги приділяють питанням вдосконалення структури верстатів та різноманітних верстатних систем, ведуться розробки в напрямку вдосконалення їх компоувальних структур [1, 2, 3].

Підприємствам, які оснащені верстатами-автоматами та автоматичними лініями, важко перейти на випуск нової продукції, оскільки таке устаткування налаштоване на конкретний заготовок, воно немає необхідної гнучкості.

На сьогоднішній день перспективними є ГВС побудовані на основі багатоцільових верстатів. Дані верстати дозволяють виконувати велику кількість операцій (свердління, розточування внутрішніх циліндричних поверхонь, фрезерування площин та пазів, нарізання різі і т. ін.) [4].

При створенні сучасного технологічного обладнання необхідно передбачити можливість проведення комплектної обробки, а також забезпечити автоматизацію допоміжних операцій. Новостворені верстати повинні мати більш високу продуктивність, в порівнянні з існуючими моделями. При виборі обладнання, на якому буде проводитись обробка деталі, слід врахувати розмір робочої зони верстату. Встановивши розмір робочої зони верстату, можна визначити його габаритні розміри та умови ефективної роботи [5].

На величину розміру робочої зони верстату також впливає загальне компоування верстату та його інструментальне забезпечення [6].

Саме тому тема «Дослідження компоувальних схем багатоцільових верстатів на базі розмірних критеріїв робочої зони» є актуальною.

Мета дослідження. Метою роботи є підвищення технічного рівня багатоцільових верстатів та розробка їх нових компоувальних схем з покращеними характеристиками.

Задачі дослідження:

- здійснити аналіз праць в області проектування багатоцільових верстатів та їх компоувальних схем;
- здійснити технологічні розрахунки стосовно деталі «Кронштейн спеціальний ВБУ 211223»;
- здійснити проектування одного із виконавчих вузлів багатоцільових верстатів;
- розробити перспективні компоування багатоцільових верстатів;
- сформуванати критерії для оцінки робочого простору багатоцільових верстатів;
- здійснити розробку заходів, що стосуються охорони праці та організації безпеки життєдіяльності людини.

Об'єкт дослідження – багатоцільовий верстат.

Предмет дослідження – робочий простір та компоувальні схеми багатоцільових верстатів.

Методи дослідження – системний аналіз, основи теорії компонетики, методи математичного моделювання.

Структура і обсяг роботи. кваліфікаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів і основних висновків, розміщених на 61 сторінці, 39 рисунків та 2 таблиці на 17 сторінках, списку літературних джерел з 39 найменувань на 5 сторінках і додатків на 6 сторінках, всього 72 сторінки.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ

1.1. Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу

Вихідними даними на кваліфікаційну роботу було креслення базової деталі, це деталь «Кронштейн спеціальний ВБУ 211223», її 3D модель приведена на рис. 1.1, а також технологічний процес (ТП) її виготовлення. Дана деталь відноситься до опорних, її можна використати для кріплення складових вузлів машин чи споруд до стіни або колони (як правило, вертикальної).

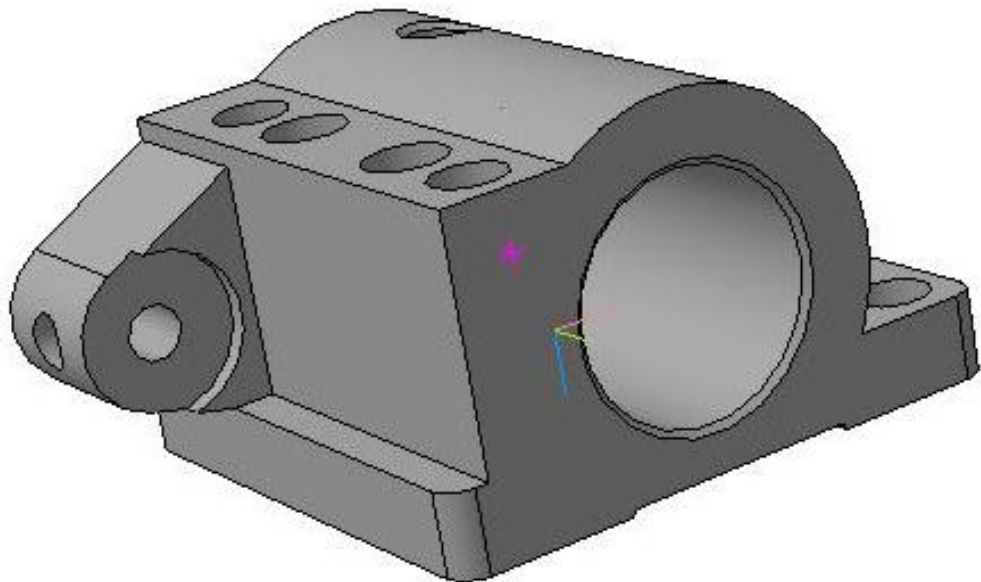


Рис. 1.1. Загальний вигляд оброблюваної деталі

Обробка даної деталі передбачає виконання цілого ряду операцій, це розточування внутрішніх отворів, обробка осьовим інструментом (свердлування, зенкерування, розвертування), операції фрезерування та шліфування. Також при виготовленні даної деталі передбачено нарізання різі.

В умовах крупносерійного та масового виробництва деталі типу кронштейн виготовляються з використанням верстатів з ЧПК, а також багатоцільових верстатів (БЦВ) та оброблюваних центрів. Використання такого обладнання дозволить здійснити автоматизацію найбільш трудомістких процесів.

БЦВ відносяться до верстатів з ЧПК четвертого покоління, вони як правило будуються з використанням агрегатно-модульного принципу. Для них характерна наявність коротких кінематичних ланок, вони оснащуються приводами з двигунами постійного струму, до їх складу входять різноманітні хрестові столи та супорти, револьверні головки, їх оснащують інструментальними магазинами.

Аналіз базового ТП показав, що для збільшення продуктивності обробки доцільно застосувати більш продуктивне обладнання, з розширеними технологічними властивостями, а саме БЦВ. Це дозволить суттєво зменшити час обробки виробу та зменшити собівартість його виготовлення, деталь при цьому отримує вищі технологічні якості.

1.2. Огляд та аналіз проблематики кваліфікаційної роботи

Металорізальні верстати, до яких відносяться БЦВ, можуть бути представлені у вигляді складної технічної системи (ТС) [7, 8, 9].

Важливо при проведенні проектних процедур застосовувати системний підхід, він дозволяє розглянути процес проектування як один із засобів досягнення цілей, при якому об'єкт проектування може бути представлений у вигляді єдиної системи, яка складається з окремих підсистем, які керовано взаємодіють між собою певним чином [10, 11].

Досить ефективним при проектуванні об'єктів нової техніки є багатоцільовий підхід, він складається з цілого ряду проектних процедур, його основною особливістю є використання прогнозування на різних етапах його виконання [9].

Для формування технічного завдання на проектування слід встановити параметри технічного обладнання які мають технічні характеристики, що перевищують кращі світові взірці. Тому надзвичайно важливим є здійснення прогнозування на початкових стадіях проектування [12, 13].

Багато науковців вважають, що верстат – це складна ТС, що складається з уніфікованих вузлів (елементів), які можуть взаємодіяти між собою певним чином [14, 15, 16].

На думку фахівців при проектуванні верстатів, а саме їх компоувальних схем, вихідними даними є обраний метод формоутворення та виконавчі вузли верстату, які дозволяють його реалізувати [17, 18]. Актуальними є дослідження в яких подано теоретичні передумови переходу від обраного методу формоутворення до його реалізації в компоувальній схемі верстату (математичний опис даної процедури).

В роботі [19, 20] розглянуто питання використання методу морфологічного аналізу для синтезу компоувань металорізальних верстатів та верстатного оснащення. Авторами було запропоновано підхід, який дозволяє здійснити структурно-схемний синтез компоувань верстатів використовуючи трьохрівневий морфологічний аналіз.

При проектуванні верстатів та прогнозуванні їх параметрів можуть використовуватись різноманітні математичні моделі. Так в роботах [21, 22, 23, 24] приведені результати теоретичних та експериментальних досліджень що стосуються питань точності при проектуванні металорізальних верстатів, а також розглядаються питання використання моделей на основі малої вибірки даних.

Також є ряд публікацій в яких автори досліджують структуру верстатів з ЧПК та пропонують форму опису, яка передбачає використання структурного коду формоутворюючої системи і враховує коди матриць переміщень та поворотів [26, 27].

В роботі луцьких фахівців [28] показана можливість застосування критеріальних, морфологічних та поведінкових моделей при проектуванні металорізальних верстатів.

1.3. Класифікація БЦВ

В різноманітній літературі, яка присвячена конструкціям верстатів з ЧПК зустрічаються різноманітні підходи ко класифікації багатоцільових верстатів, на основі їх аналізу ми розробили власні, які приведені на рис. 1.2 та рис. 1.3.

Перша передбачає поділ БЦВ за типом базового верстату (які верстати з традиційним компоунанням лежать в основі їх створення, а друга – за ступенем поширеності (традиційні компоунання та оригінальні чи унікальні).

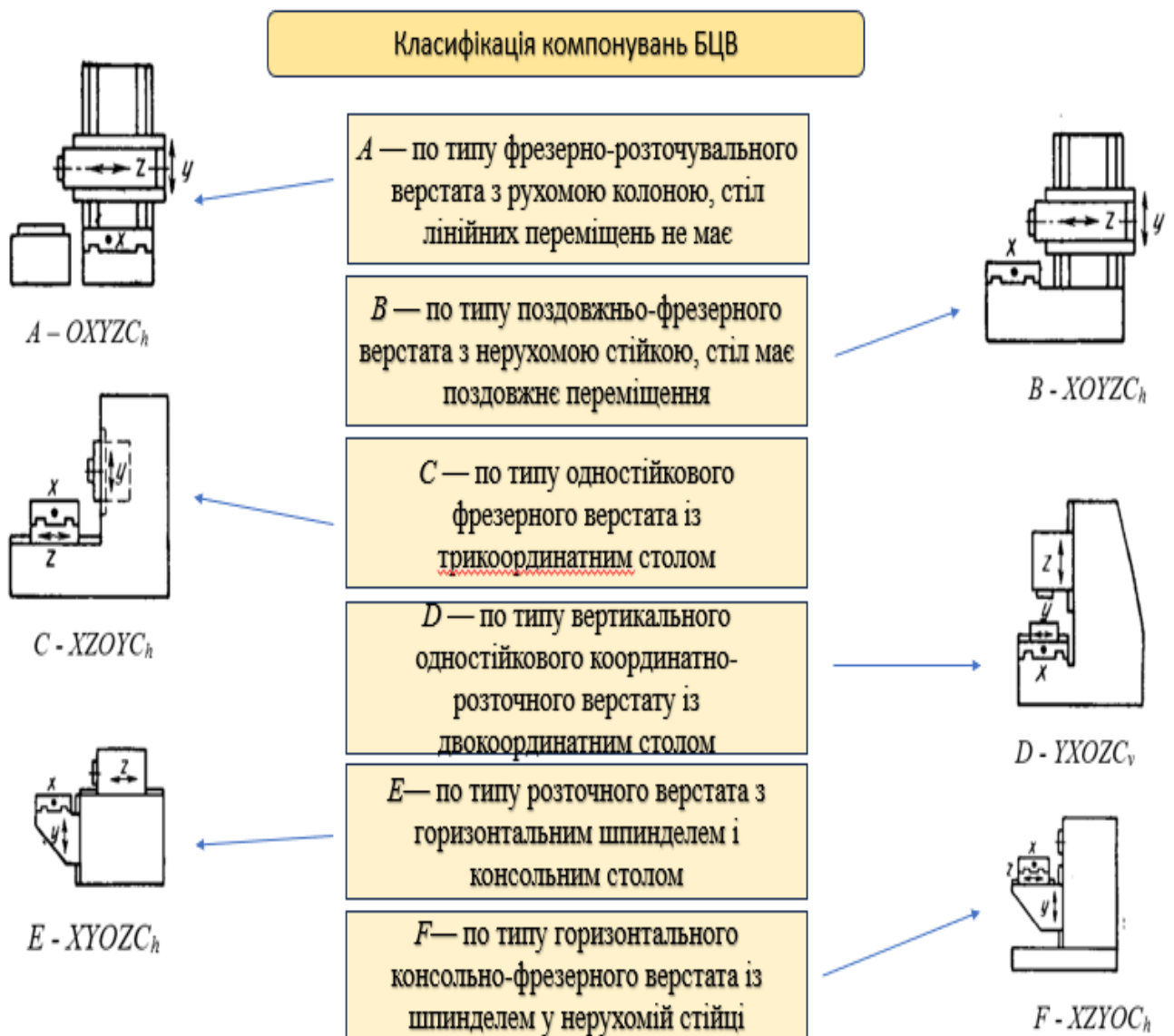


Рис. 1.2. Класифікація БЦВ за типом базового верстату

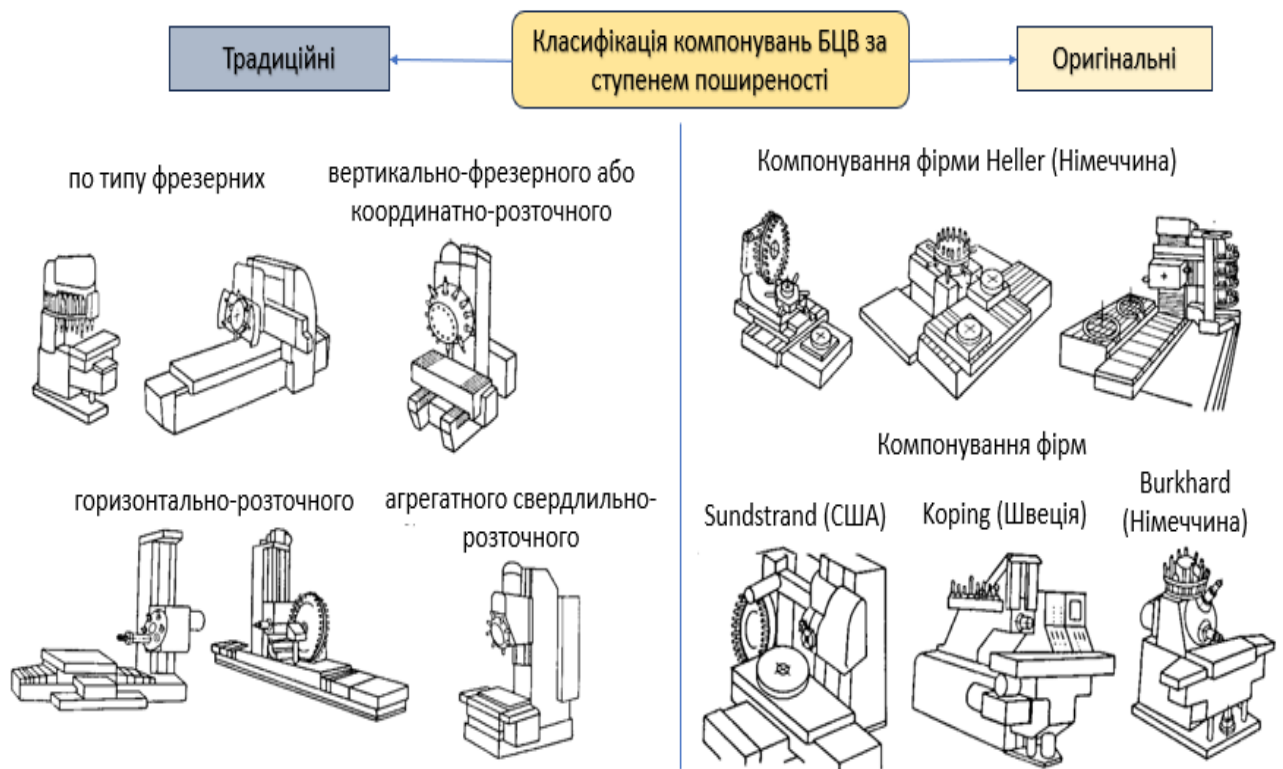


Рис. 1.3. Класифікація БЦВ за ступенем поширеності

1.4. Аналіз принципу роботи та області застосування БЦВ

До БЦВ переважно відносять верстати з ЧПК, які оснащені системами, що дозволяють здійснювати автоматичну заміну інструмента в процесі виконання роботи. Однією з їх технологічних особливостей є висока концентрація обробки. Дані верстати дозволяють здійснювати на них всі види обробки (чорнову, напівчистову, чистову) різним видом інструментів. Як зазначалось раніше, це свердлильно-фрезерно-розточні операції.

Дані верстати також характеризуються тим, що їх конструкція передбачає наявність інструментального магазину. Якщо в звичайних верстатах з ЧПК переважно використовуються револьверні головки, то в БЦВ місткість інструментального магазину може становити 15-30, а деколи навіть 50-100 і більше інструментів [29]. Автори в своїй праці провели статистичний аналіз технічних характеристик БЦВ, особливостей їх технологічного оснащення. Все це в роботі подано у вигляді таблиць та діаграм.

На БЦВ можуть оброблятися корпусні деталі різного типорозміру, тому їх конструкція може передбачати наявність поворотного стола або ділильного пристосування, що здійснює періодичний або неперервний рух. Це дозволяє провести обробку деталей без переустановлення. Новіші покоління БЦВ можуть оснащуватися додатковими столами та спеціальними пристроями (столами-супутниками), які дозволяють здійснювати автоматичну заміну заготовок. Такий підхід дозволяє здійснювати установку деталі і її зняття після закінчення процесу обробки під час його роботи. Це дозволяє мінімізувати допоміжний час під час роботи на даному виді обладнання.

1.5. Аналіз розвитку компоновань БЦВ з горизонтально розміщеним шпindelним вузлом

Вивчаючи промислові каталоги, підручники та праці фахівців ми виявили, які фірми займаються випуском БЦВ, ознайомилися з їхніми технічними характеристиками, для обраних для аналізу моделей ми побудували їх компоновальні схеми та записали їх структурні формули.

Верстат IP500ПМФ4 – оснащений комбінованою системою ЧПК, до його складу входить система автоматичної заміни інструментів, він має поздовжньо-рухому стійку та поперечно-рухомий поворотний стіл (рис. 1.4). Основне призначення даного БЦВ - обробка корпусних заготовок середніх розмірів [30].

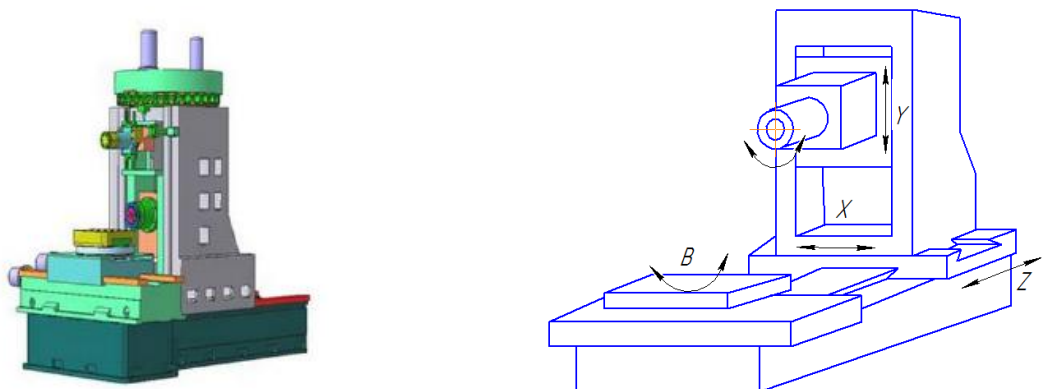


Рис. 1.4. Загальний вигляд та компоновання верстату IP500ПМФ4

Розглянемо технологічні та компоувальні особливості гнучкого виробничого модуля (ГВМ) IP200ПМФ4 (рис. 1.5). Даний верстат оснащений комбінованою системою ЧПК, до його складу входить модуль автоматичної зміни інструментів. Він може застосовуватись для роботи в складі ГВС при комплексній обробці корпусних деталей високої складності.

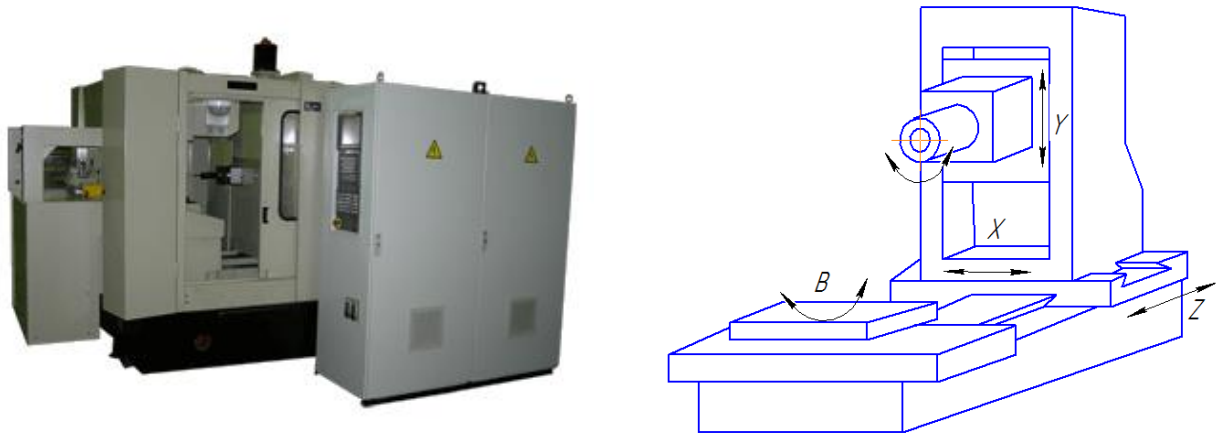


Рис. 1.5. Загальний вигляд та компоування ГВМ IP200ПМФ4

Також заслуговує на увагу ГВМ IP320ПМФ4 (рис. 1.6), основне призначення даного БЦВ - комплексна обробка складних малогабаритних корпусних деталей. Верстат має комбіновану систему ЧПК, шпиндельний вузол може здійснювати переміщення вздовж вертикальної осі, а поперечний супорт має стіл з вертикальним розташуванням робочої поверхні. БЦВ дозволяє проводити токарну обробку, кругове фрезерування та має змогу обробки складних криволінійних профілів. Станина має Г-подібну форму.



Рис. 1.6. Загальний вигляд та компоування верстату IP320ПМФ4

Для обробки корпусних деталей середніх розмірів може використовуватись БЦВ 2204ВМ1Ф4 (рис. 1.7). Це верстат високої точності, він оснащений інструментальним магазином, в якому розміщується кінцевий інструмент. Дозволяє проводити операції свердління, фрезерування, розточування, на ньому можна здійснювати обробку пазів та криволінійних поверхонь, нарізати метричну різь. До його складу може входити пристрій з двопозиційним столом-супутником.

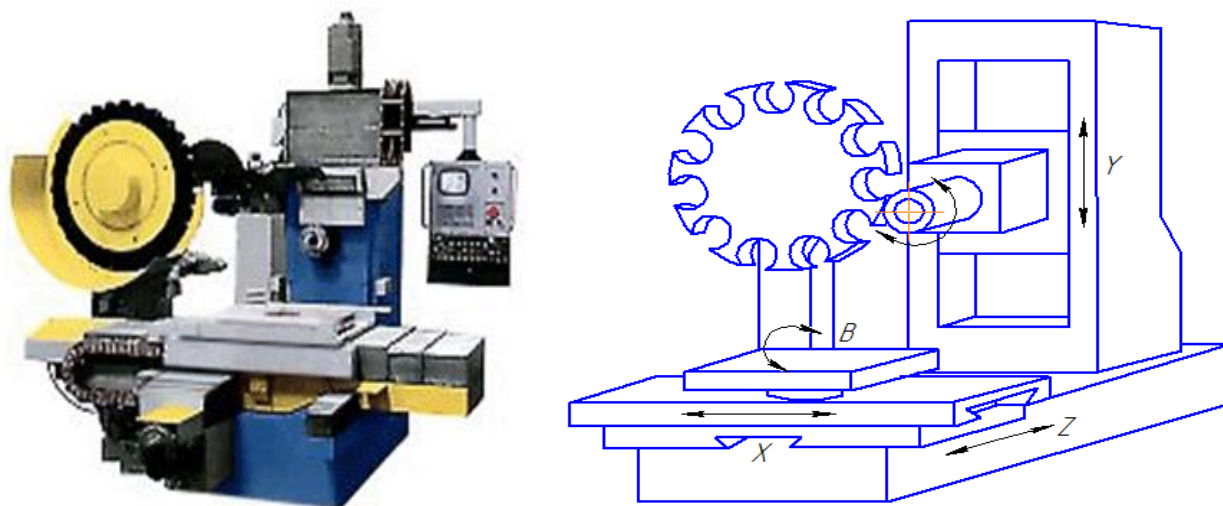


Рис. 1.7. Загальний вигляд та компоновання верстату 2204ВМ1Ф4

Цікавою є компоновальна схема БЦВ моделі 2627ПМФ4М (рис. 1.8). Даний верстат дозволяє обробляти великі корпусні деталі. Він може входити до складу ГВС або працювати в автономному режимі.

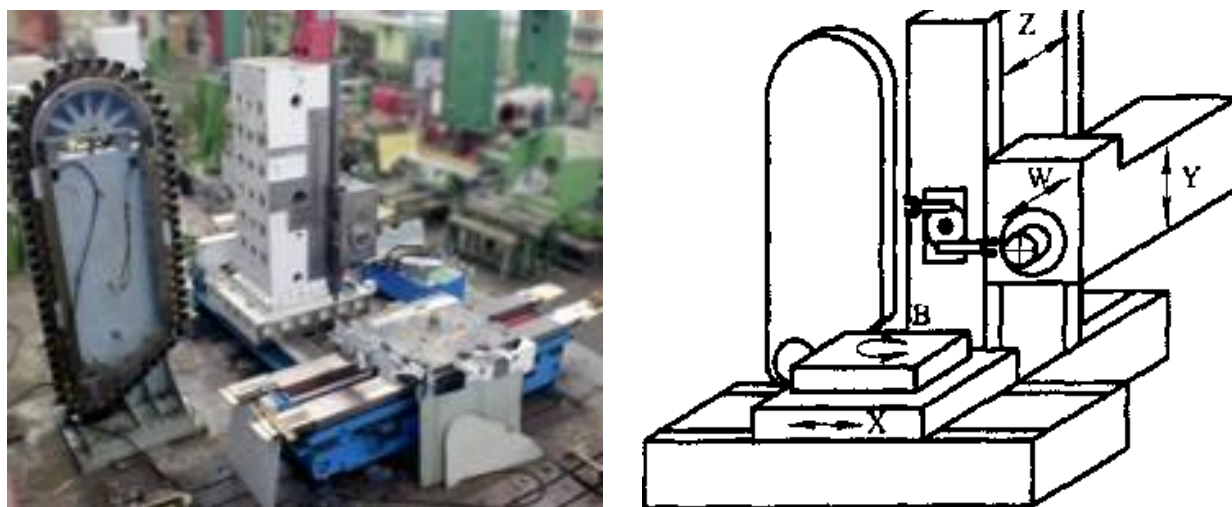


Рис. 1.8. Загальний вигляд та компоновання верстату 2627ПМФ4М

Оброблюваний центр MC 826/MT-S (рис. 1.9) дозволяє здійснювати обробку корпусних деталей та тіл обертання, він містить чотири шпинделі, два з яких фрезерні, а два – токарні. Є два положення затиску, обробка може проводитися в п'яти осьових площинах [31].

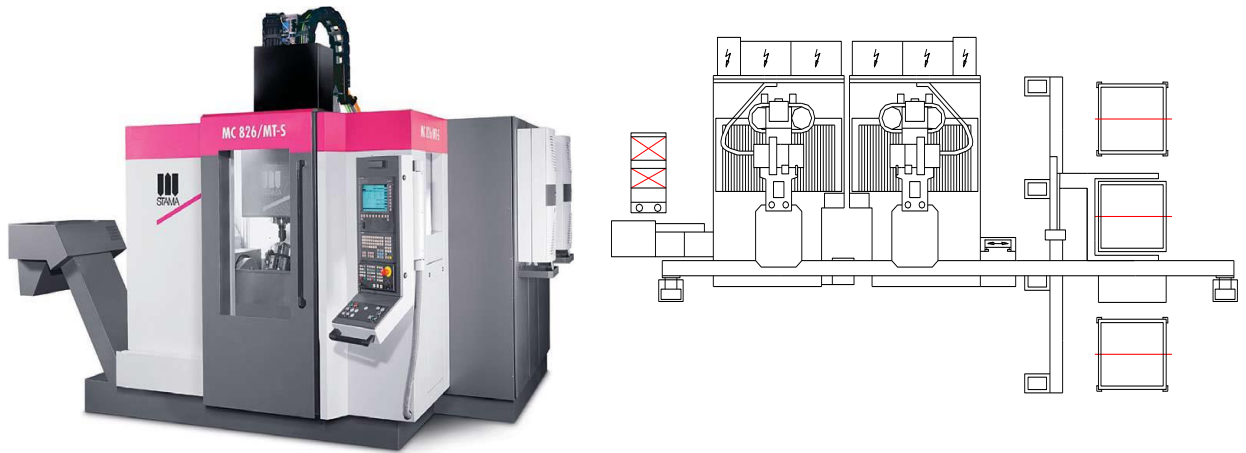


Рис. 1.9. Загальний вигляд та компоновання верстату MC 826/MT-S

Оброблюваний центр CW-400 (рис. 1.10), він дозволяє здійснювати обробку корпусних деталей з чотирьох сторін, в основному на ньому виконуються свердлувальні та фрезерні операції.

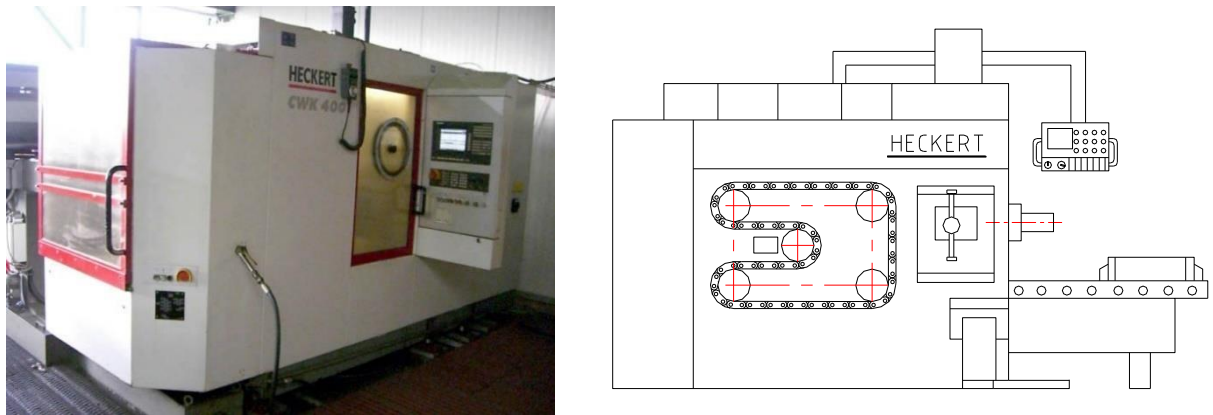


Рис. 1.10. Загальний вигляд та компоновання верстату CW-400

Цікавою є компоновальна схема БЦВ моделі 630VN, який дозволяє здійснювати комплексну обробку деталей з 5-ти сторін без переустановлення (рис. 1.11). До складу верстату входить поперечно-рухомий поворотний стіл та поворотна двопозиційна шпиндельна головка, він оснащений інструментальним магазином.

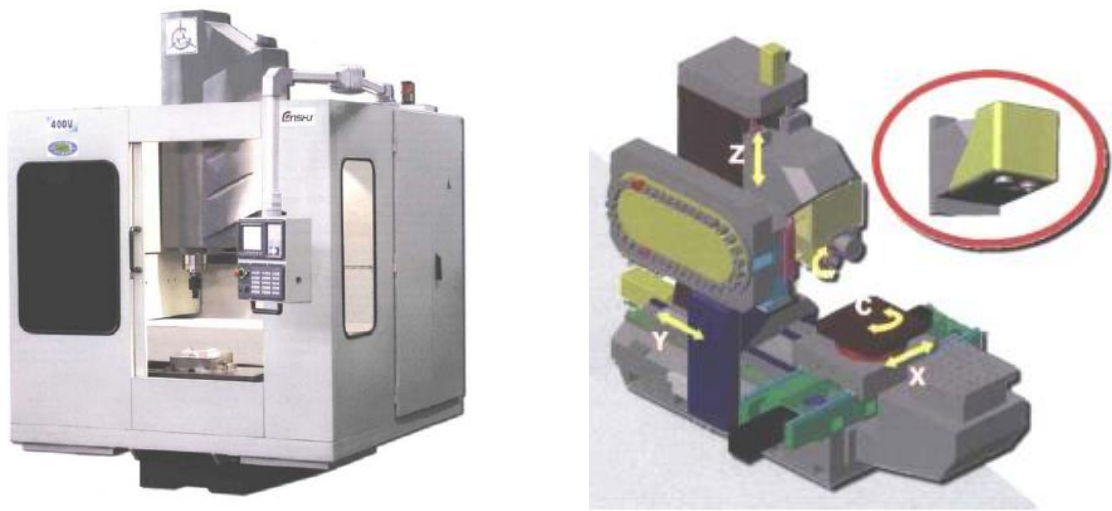


Рис. 1.11. Загальний вигляд та компонування БЦВ моделі 630V

1.6. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження

В результаті аналізу базового ТП ми визначили, що для збільшення продуктивності обробки слід використати сучасне обладнання з розширеними технологічними властивостями, а саме БЦВ.

БЦВ можуть бути представлені у вигляді ТС, при цьому важливу роль відіграє системний аналіз та багатоцільовий підхід. На початкових стадіях проектування обов'язковими є прогностичні процедури, вони дозволяють сформулювати технічне завдання на проектування.

Актуальним також є застосування математичного опису компонування верстату, яке може бути отримане на основі аналізу методів формоутворення, які слід забезпечити, для проведення процесу обробки.

Проведені класифікації БЦВ та здійснено аналіз, який дозволив визначити особливості конструкції цього обладнання та області їх раціонального використання.

Також здійснено аналіз компоновальних схем БЦВ, які мають промислове використання.

РОЗДІЛ 2.

ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ

2.1. Технологічні розрахунки

В результаті аналізу базового ТП було виявлено його слабкі сторони, ми пропонуємо використати БЦВ IP320ПМФ4 на двох операціях, при цьому ми замінимо 4 верстати з ЧПК.

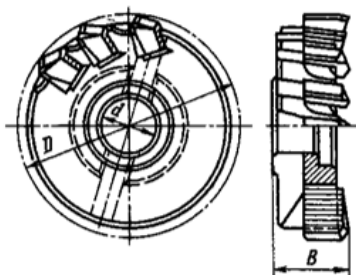
Для конструкторських розрахунків нам потрібно отримати дані по необхідній потужності приводу головного руху, яку повинно забезпечити проектоване обладнання.

Розрахунки проведемо по найбільш навантаженій операції та її операційних переходах. Це операція 030 Комплексна з ЧПК (в якості базового верстату приймаємо БЦВ IP 320ПМФ4). Вона передбачає виконання шести технологічних переходів, а саме:

1. Фрезерувати торці отвору витримуючи розмір $52 \pm 0,1$ мм;
2. Розточити отвір $\varnothing 35H7$ витримуючи розмір $\varnothing 35 - 0,2$ мм;
3. Зенкерувати отвір $\varnothing 35H7$ витримуючи розмір $\varnothing 35 - 0,2$ мм;
4. Розвернути отвір $\varnothing 35H7$ витримуючи розмір $\varnothing 35 - 0,2$ мм;
5. Свердлити отвір $\varnothing 8H7$;
6. Розвернути отвір $\varnothing 8H7$.

1. Технологічний перехід: фрезерувати торець отвору $\varnothing 35H7$ остаточно.

Для фрезерування поверхні витримуючи розмір $52 \pm 0,1$ мм використовуємо торцеву фрезу зі швидкорізальної сталі (рис. 2.1).



Фреза торцева насадна із вставними
ножами зі швидкорізальної сталі
ДСТ 1092-80
 $D = 100$ мм; $B(h16) = 40$ мм;
 $d = 32$ мм; $z=10$
Матеріал ножів P18

Рис. 2.1. Фреза та її характеристики на перший технологічний перехід

Для розрахунків використовуємо наступні величини режимів різання [32]:
 $t = 1,5$ мм; $S_z = 0,2$ мм; $T_m = 130$ хв.

Швидкість фрезерування обчислюємо за формулою, що приведена нижче, при цьому приймаємо коефіцієнти [32]:

$$V = V_{\text{табл.}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (2.1)$$

де K_1 – коефіцієнт, що залежить від розмірів обробки;

K_2 – від оброблюваного матеріалу;

K_3 – від стійкості й матеріалу інструмента;

$$V_{\text{табл.}} = 33 \text{ м/хв}; K_1 = 1,0; K_2 = 0,9; K_3 = 0,9.$$

$$V = 33 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 26,73 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{табл.}} = 35 \text{ м/хв}; K_1 = 1,0; K_2 = 0,9; K_3 = 1,0.$$

$$V = 35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 35 \text{ м/хв}$$

Визначаємо потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = E \cdot \frac{V \cdot t \cdot z_u}{1000} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (2.2)$$

де E – таблична величина;

V – швидкість різання в м/хв;

t – глибина різання в мм;

z_u – число зубів фрези;

K_1 – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу;

K_2 – від типу фрези й швидкості різання (для твердосплавних фрез).

Приймаємо [32]: $E = 2,3$; $K_1 = 1$; $K_2 = 1$.

$$N_{\text{різ}} = 2,3 \cdot \frac{35 \cdot 1,5 \cdot 18}{1000} \cdot 1 \cdot 1 = 2,17 \text{ кВт}$$

Потужність електродвигуна головного руху верстата 7,5 кВт.

Оскільки розрахункова потужність різання є меншою за величину потужності приводу верстата, то ми можемо проводити обробку із заданими режимами різання.

Розрахуємо максимальний крутний момент на шпинделі $M_{\text{шп.мах}}$

$$M_{\text{шп.мах}} = C_{1\Phi} \cdot t \cdot s_z \cdot z_\phi \cdot K_{1\Phi}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.3)$$

$C_{1\Phi}$ – коефіцієнт, що враховує значення питомого крутного моменту, Нм/мм²;

$K_{1\Phi}$ – коефіцієнт динамічності навантаження при фрезеруванні;

$$C_{1\Phi} = 40 \text{ Нм/мм}^2 ; K_{1\Phi} = 1,2; z_{\Phi} = 18$$

$$M_{\text{шп.мах}} = 40 \cdot 1,5 \cdot 0,3 \cdot 18 \cdot 1,2 = 108 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розрахуємо значення ефективної потужності різання при фрезеруванні, для цього скористаємось виразом:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{\text{мп}} \quad (2.4)$$

При цьому значення коефіцієнтів приймаємо із таблиць [32]:

$$C_p = 825; x = 1,0; y = 0,75; u = 1,1; q = 1,3; w = 0,2; K_{\text{мп}} \approx 1.$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 1,5^{1,0} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 53^{1,1} \cdot 5}{63^{1,3} \cdot 820^{0,2}} \cdot 1 \approx 2367 \text{ Н}$$

$$N_{\text{еф}} = \frac{2367 \cdot 162}{1000 \cdot 60} = 6,4 \text{ кВт}$$

4. Технологічний перехід: Ø35H7 витримуючи розмір Ø35 – 0,2 мм

В якості різального інструменту обираємо розвертку машинну насадну із пластинами із твердого сплаву з конічним хвостовиком (рис. 2.2).



Розвертка машинна насадна із пластинами із твердого сплаву з конічним хвостовиком $D=35\text{мм}$; $L=40\text{мм}$; $l=32\text{мм}$ ГОСТ 11175-80

Рис. 2.2. Розвертка на четвертий технологічний перехід

При здійсненні технологічного переходу обираємо наступні режими різання [32]:

$$S_z = 1,0 \text{ мм}; T_m = 60 \text{ хв}; V_{\text{табл}} = 20 \text{ м/хв}; K_1 = 1,3; K_2 = 1,2; K_3 = 1,0.$$

$$V = 20 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1,2 = 31,2 \text{ м/хв}$$

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 31,2}{3,14 \cdot 35} \approx 285 \text{ хв}^{-1} \quad (2.5)$$

$$N_{\text{різ.}} = N_{\text{табл.}} \cdot K_N \cdot \frac{n}{1000} \quad (2.6)$$

При цьому $N_{\text{табл.}} = 25$; $K_N = 0,9$.

$$N_{\text{різ.}} = 25 \cdot 0,9 \cdot \frac{285}{1000} = 6,4 \text{ кВт}$$

Визначаємо значення осьової сили при розвертуванні та величину крутного моменту:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (2.7)$$

де: $C_p = 68$; $q = 1,0$; $y = 0,7$

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 35^{1,0} \cdot 1^{0,7} \cdot 0,9 = 21420 \text{ Н}$$

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (2.8)$$

де: $C_M = 0,035$; $q = 2,0$; $y = 0,8$; $K_p \approx K_{mp} = 0,9$.

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 35^2 \cdot 1^{0,8} \cdot 0,9 = 240 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Визначаємо величину ефективної потужності різання:

$$N_{\text{еф.}} = \frac{M_{\text{кр.}} \cdot n_{\text{ст.}}}{9750} \quad (2.9)$$

$$N_{\text{еф.}} = \frac{240 \cdot 285}{9750} = 7,01 \text{ кВт}$$

В обидвох випадках розрахункове значення ефективної потужності різання менше від потужності привода верстата, що дозволяє вести обробку із заданими режимами різання.

2.2. Аналіз формоутворюючих рухів та розробка структурно-кінематичної схеми верстату

Як зазначалось раніше метод формоутворення чинить істотний вплив на формування компоувальної схеми верстату [17], тому вивчимо які рухи слід забезпечити при обробці деталі «Кронштейн спеціальний ВБУ 211223».

При фрезеруванні складнопрофільних поверхонь (рис. 2.3) необхідно надати фрезі обертовий рух O_1 та поступальні переміщення Π_2, Π_4 .

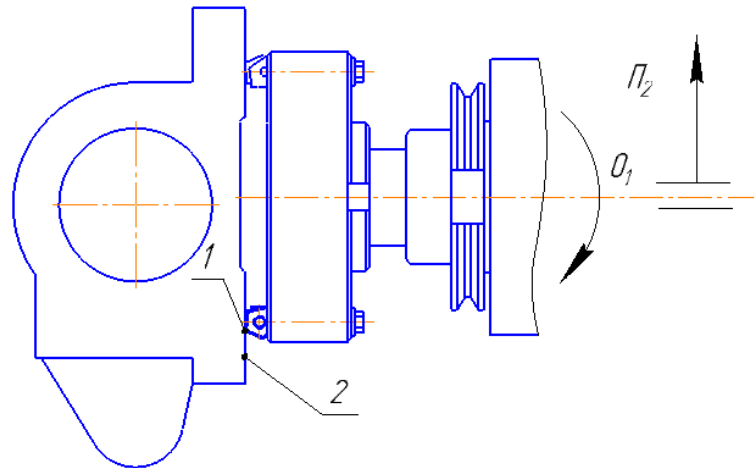


Рис. 2.3. Схема утворення фрезерування складного профілю

Також при обробці деталі нам потрібно здійснити одночасне фрезерування торців деталі в розмір (рис. 2.4), для цього слід забезпечити наступні формоутворюючі рухи (ФУР): $\Phi_v(O_1)$, $\Phi_s(\Pi_2)$, Уст. (Π_3), Уст. (Π_4).

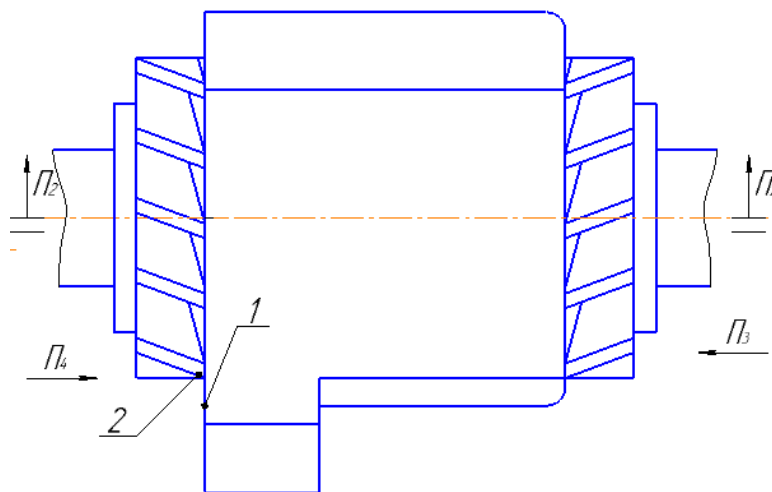


Рис. 2.4. Схема формоутворення при фрезеруванні торців деталі

Розглянемо основні ФУР, які нам необхідно реалізувати при розточуванні отвору (рис. 2.5).

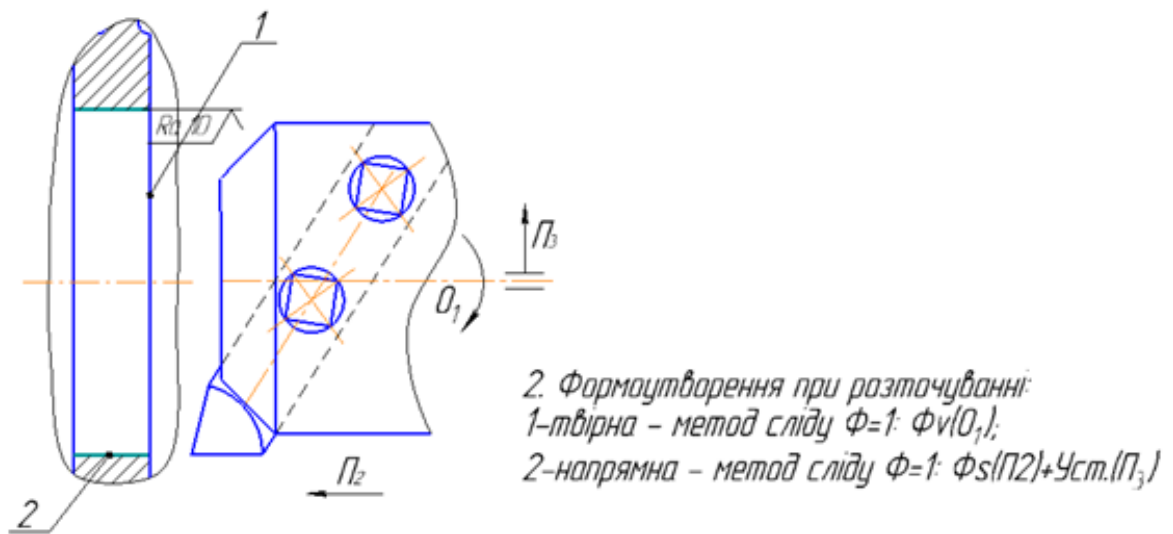


Рис. 2.5. Схема формоутворення при розточуванні

Представимо необхідні ФУР для здійснення операції розточування фаски, вони приведені на рис. 2.6.

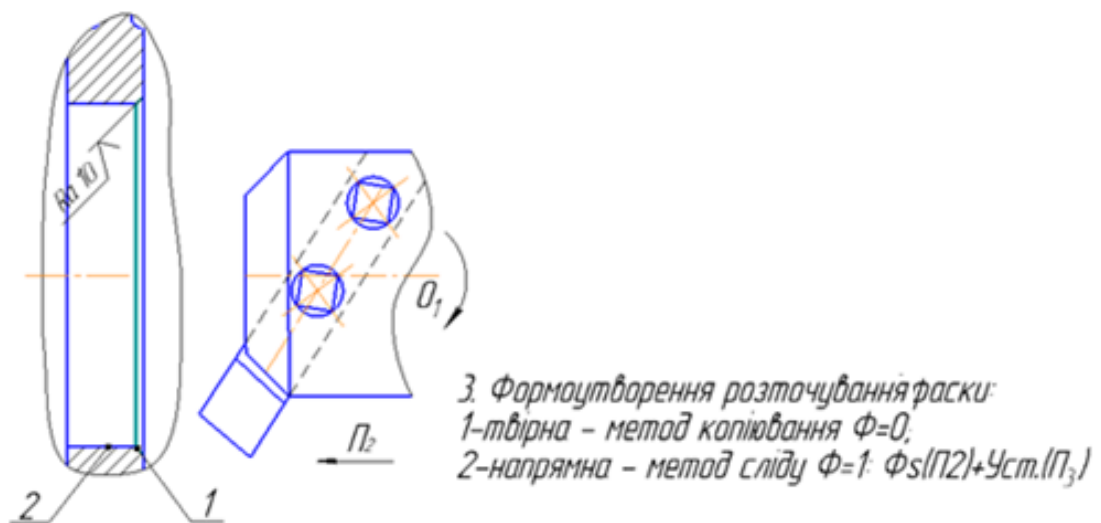
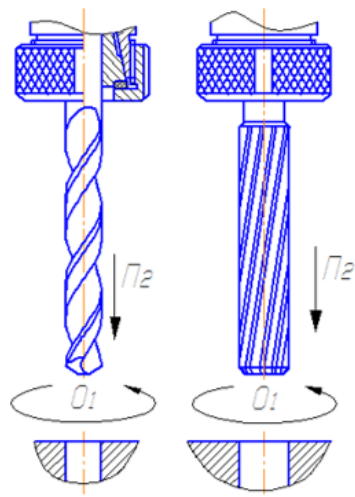


Рис. 2.6. Схема формоутворення при розточуванні фаски

Розглянемо який комплекс ФУР необхідно забезпечити, щоб провести обробку отворів кінцевим інструментом (рис. 2.7), а саме свердлами та розвертками. Інструмент отримує обертовий рух $\Phi_v(O_1)$ і поступальний $\Phi_s(P_2)$. Для здійснення процесу обробки слід надійно закріпити заготовку.



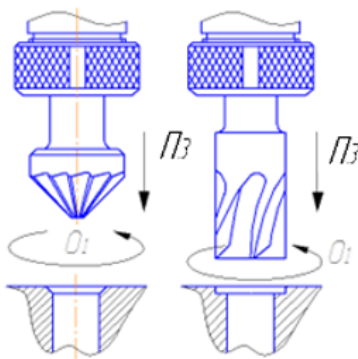
1. Твірна – коло - Метод сліду $\Phi_1, \Phi_v(O_1)$

2. Направляюча - відтворююча лінія –
Метод сліду $\Phi = 1, \Phi_s(P_2)$.

Сумарний рух $\Phi_\Sigma = 2, \Phi_v(O_1), \Phi_s(P_2)$.

Рис. 2.7. Схема формоутворення при обробці свердлами та розвертками

При обробці деталі «Кронштейн спеціальний ВБУ 211223» ми також можемо використовувати в якості інструмента зенкери. На рис. 2.8 приведено необхідний набір ФУР при виконанні операції зенкерування.



Інструменту надається обертовий рух O_1
і поступальний $\Phi_s(P_3)$

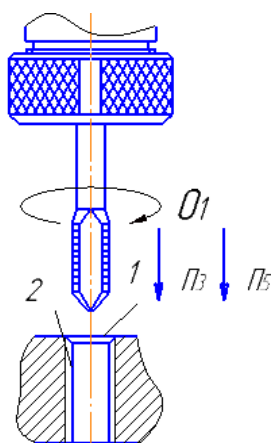
1. Твірна лінія – коло - Метод копіювання $\Phi = 0$

2. Направляюча лінія – пряма - Метод сліду
 $\Phi = 1, \Phi_s(P_3)$.

Сумарний рух: $\Phi_\Sigma = 1, \Phi_v(O_1 P_3)$

Рис. 2.8. Схема формоутворення при обробці зенкерами

Розглянемо необхідні ФУР для здійснення процесу нарізання внутрішньої різі (рис. 2.9).



1-твірна-профіль різі-метод
копіювання $\Phi=0$
2-направляюча-гвинтова лінія-ме-
тод сліду
 $\Phi=1: \Phi_v=(O_1, P_3), \Phi_s=1: \Phi_v=(O_1, P_3), Vp(P_3)$

Рис. 2.9. Схема формоутворення при нарізанні різі

На основі проведеного аналізу розробляємо структурно-кінематичну схему верстату, вона приведена на рис. 2.10. При її формуванні слід врахувати, що для всіх кінематичних ланцюгів використовуються окремі двигуни.

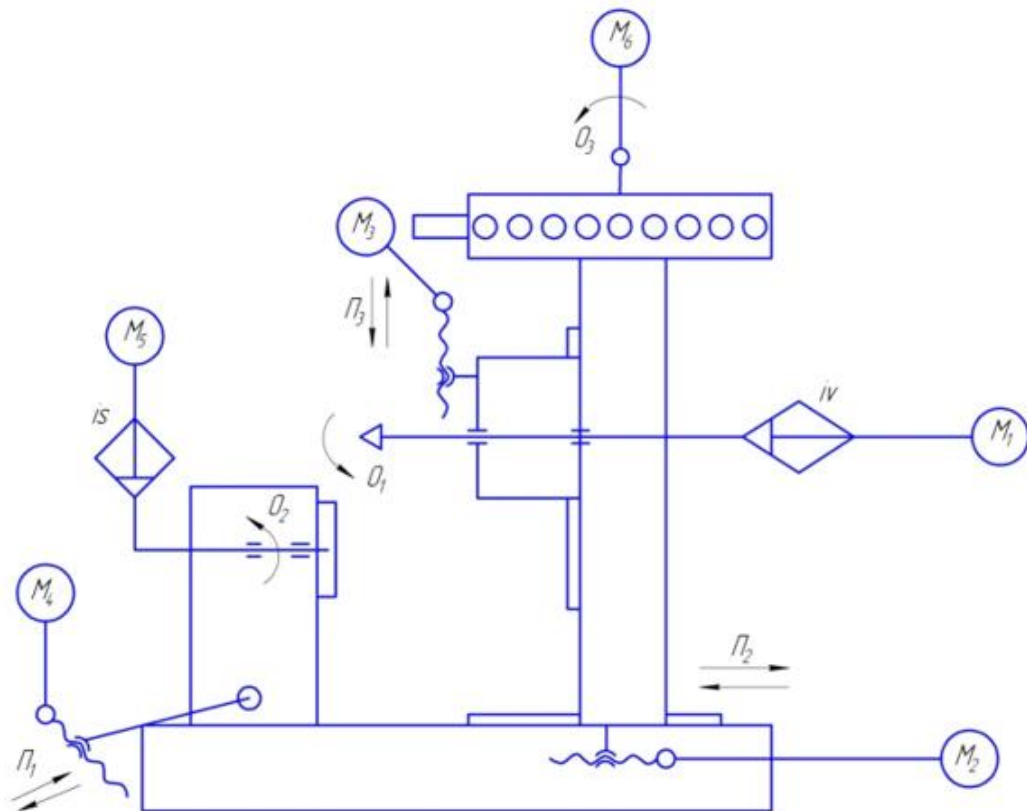


Рис. 2.10. Структурно-кінематична схема проектованого верстату

2.3. Розрахунок приводу головного руху верстату

Взявши за основу розроблену структурно-кінематичну схему переходимо до конструювання кінематичної схеми верстата. Згідно рекомендацій для приводів будуть використовуватися двигуни постійного струму (згідно схеми див. рис. 2.10, їх всього буде шість).

На основі проведених розрахунків приймаємо:

$$N_{\text{еф}} = 7,01 \text{ кВт}$$

Згідно існуючих рекомендацій, БЦВ оснащують двигунами постійного струму, для запуску яких використовується тиристорна система керування. Як правило для приводів використовується двозонне регулювання

$$R_{\partial} = R_{\partial M} \cdot R_{\partial P} \quad (2.10)$$

де $R_{\partial M}$ - діапазон регулювання двигуна при постійному моменті;

$R_{\partial P}$ - діапазон регулювання двигуна при постійній потужності.

Тоді загальна величина приводу визначається:

$$R_{\partial} = R_{\partial M} \cdot R_{\partial P}$$

В приводах таких верстатів також використовують двозонне регулювання, при цьому діапазон його регулювання при постійному моменті рівний $R_{\partial M}$, при постійній потужності рівний $R_{\partial P}$, а діапазон регулювання механічної коробки швидкостей -.

Загальний діапазон приводу, якщо є механічна частина:

$$R = R_{\partial} \cdot R_M \quad (2.11)$$

де R_M - діапазон регулювання механічної коробки.

Для коробок приводів верстатів застосовують колеса з $\varphi = 1,12$.

Попередні розрахунки показали, що частота обертання шпинделя буде знаходитись в межах від 1000 до 3150 об/хв – при постійній потужності, а при постійному моменті від 21 до 1000 об/хв.

Згідно попередніх розрахунків привід повинен забезпечити наступний діапазон регулювання: зміна частоти обертання шпинделя від 1000 до 3150 об/хв. при постійній потужності та від 21 до 1000 об/хв при постійному моменті.

Розрахуємо значення діапазону регулювання приводу:

$$R = \frac{n_{max}}{n_{min}} \quad (2.12)$$

$$R = \frac{3150}{22,4} \approx 140;$$

$$R_{\partial} = \frac{n_{\partial max}}{n_{\partial min}} \quad (2.13)$$

$$R_{\partial} = \frac{1000}{22,4} = 44,64 \approx 45;$$

Далі визначаємо діапазон регулювання двигуна при постійній потужності:

$$R_{\partial P} = \frac{n_{\partial max}}{n_{\partial н.}} \quad (2.14)$$

$$R_{\partial P} = \frac{3150}{600} = 5,25 \approx 5;$$

Наступним кроком є визначення діапазону регулювання двигуна при постійному моменті:

$$R_{\partial M} = \frac{R_{\partial}}{R_{\partial P}} \quad (2.15)$$

$$R_{\partial M} = \frac{45}{5} = 9$$

Значення діапазону регулювання шпинделя по постійній потужності:

$$R_P = \frac{R}{R_{\partial M}} \quad (2.16)$$

$$R_P = \frac{140}{9} \approx 16.$$

Для приводу БЦВ розраховуємо необхідне число коробки швидкостей:

$$z = \frac{\lg R_P}{\lg \varphi_1} \quad (2.17)$$

Підставивши розраховані раніше значення, отримаємо:

$$z = \frac{\lg 16}{\lg 5} = \frac{1.204}{0.698} = 1,724$$

Отримане значення округлюємо до найближчого цілого:

$$z = 2$$

Виходячи з цього ми будемо використовувати двоступеневу коробку швидкостей

Обчислимо значення діапазону регулювання коробки:

$$R_M = \varphi^{z-1} \quad (2.18)$$

$$R_M = 5^{2-1} = 5$$

Проведемо розрахунок електричного діапазону регулювання приводу:

$$R_e = \frac{R}{R_M} \quad (2.19)$$

$$R_e = \frac{140}{5} = 28$$

Далі слід визначити значення мінімальних частот обертання для всіх діапазонів регулювання:

$$n_{1min} = 22,4 \text{ об/хв}$$

$$n_{2min} = n_{1min} \cdot \varphi_1 \quad (2.20)$$

$$n_{2min} = 22,4 \cdot 5 = 120 \text{ об/хв}$$

Після наступних підстановок отримаємо:

$$R_p = R_{\partial P} \cdot R_M = 5 \cdot 5 = 25$$

Визначаємо мінімальну частоту обертання при регулюванні по постійній потужності:

$$n_{Pmin} = \frac{n_{max}}{R_p} \quad (2.21)$$

$$n_{Pmin} = \frac{1000}{25} = 40 \text{ об/хв}$$

Далі визначимо числа обертів шпинделя для всіх піддіапазонів регулювання:

$$n_{1max} = n_{Pmin} \cdot \varphi_1 = 40 \cdot 5 = 200 \text{ об/хв}$$

$$n_{2max} = n_{1max} \cdot \varphi_1 = 200 \cdot 5 = 1000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Для подальших обчислень приймаємо $\varphi = 1,26$.

Результати розрахунку чисел зубів для приводу головного руху верстату зведемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 Розрахункові числа зубів приводу головного руху

№ колеса	φ	Число зубів
z_1	1,26	43
z_2	1,26	30
z_3	1,26	78
z_4	1,26	32
z_5	1,26	68

На рис. 2.11 приведено кінематичну схему приводу головного руху проектованого БЦВ. Для даної схеми побудуємо графік чисел обертів, його приведено на рис. 2.12.

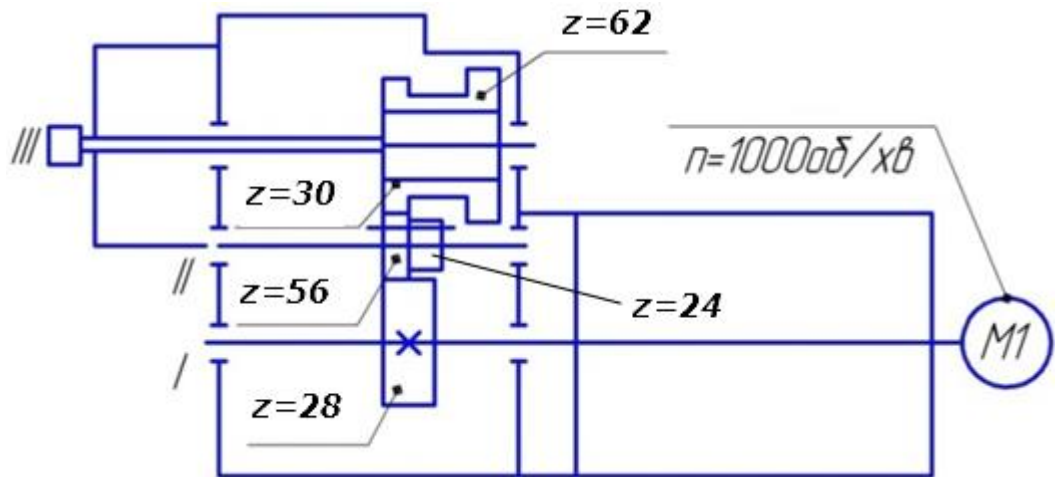


Рис 2.11. Кінематична схема приводу головного руху верстату

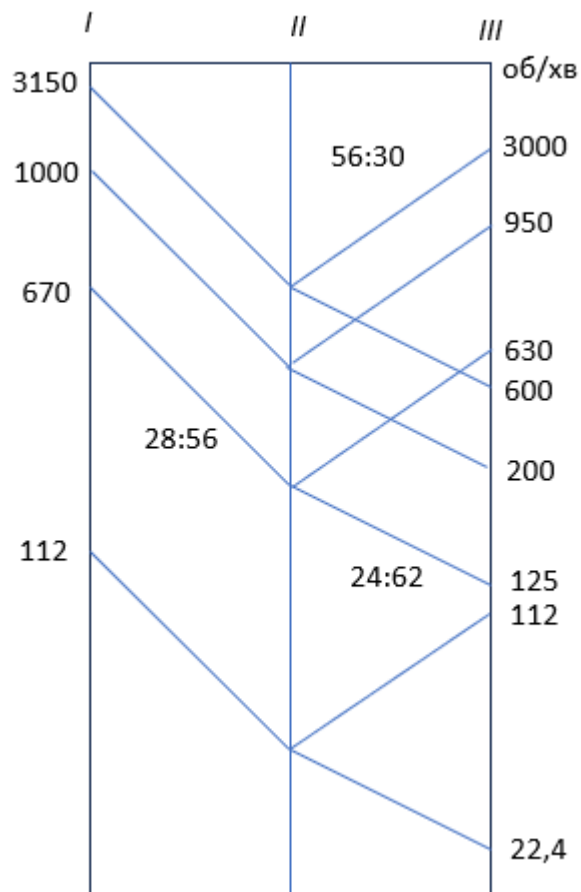


Рис. 2.12. Розроблений графік чисел обертів приводу верстату

На наступному кроці на основі попередньо розрахованої потужності різання проведемо підбір електродвигуна.

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{эф}}}{\eta \cdot 0.8} + N_{\text{х.х.}} \quad (2.22)$$

Ефективна потужність різання $N_{\text{эф}} = 7,01$ кВт

Враховуючи розроблену кінематичну схему визначаємо ККД приводу головного руху:

$$\eta = \eta_{\text{зн}}^2 \cdot \eta_{\text{підш}}^3 \quad (2.23)$$

$$\eta = 0,99^2 \cdot 0,985^3 = 0,937$$

де $\eta_{\text{зн}} = 0,99$ – ККД зубчастої передачі;

$\eta_{\text{підш}} = 0,985$ – ККД підшипників кочення.

Для визначення втрат потужності на холостому ході скористаємось виразом:

$$N_{\text{х.х.}} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot d_{\text{ср}} \cdot (n_I + n_{II} + \dots + c \cdot \frac{d_{\text{шп}}}{d_{\text{ср}}} n_{\text{шп}}) \quad (2.24)$$

де $d_{\text{ср}} \approx 60$ мм – значення середнього арифметичного \emptyset усіх опорних шийок валів (без шпинделя), мм;

$d_{\text{шп}}$ – значення середнього арифметичного \emptyset опорних шийок шпинделя, мм;

$d_{\text{шп}} = 110$ мм;

c – коефіцієнт, що враховує опори шпинделя, $c = 4$;

$n_I, n_{II}, \dots, n_{\text{шп}}$ – розраховані частоти обертання валів приводу (об/хв).

$$n_I = n_{\text{дв}} = 1000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

$$n_{\text{шп}} = 3000 \text{ об/хв}$$

$$N_{\text{х.х.}} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 60(1000 + 500 + 4 \cdot \frac{110}{60} \cdot 200) = 0.712 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{дв}} = \frac{7,01}{0.937 \cdot 0.8} + 0.712 = 10,09 \text{ кВт}$$

Приймаємо $N_{\text{дв}} = 11$ кВт

Для приводу БЦВ обираємо електродвигун 2ПБВ100L.

Згідно існуючих рекомендацій [33] здійснимо розрахунок крутного моменту на усіх валах приводу, для цього скористаємось виразом:

$$T_{\text{пр}} = 9930 \cdot \frac{N_{\text{еф}}}{n_{\text{розр}}} \quad (2.25)$$

де $n_{\text{розр}}$ – розрахункова частота обертання валу на якій відбувається максимальна передача потужності від двигуна.

По рекомендаціях приймаємо:

$$n_{\text{розр}_1} = 670 \text{ об/хв}$$

Тоді для інших валів будемо мати:

$$n_{\text{розр}_2} = n_{\text{розр}_1} \cdot i_1 = 670 \cdot \frac{28}{56} = 335 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{розр}_3} = n_{\text{розр}_1} \cdot i_2 = 670 \cdot \frac{56}{30} = 1250 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{розр}_{\text{ун}}} = n_{\text{розр}_2} \cdot i_2 = 335 \cdot \frac{24}{62} = 130 \text{ об/хв}$$

Проведемо розрахунки крутного моменту на валах згідно виразу 2.25.

$$T_{\text{пр}_1} = 9930 \cdot \frac{4,7}{670} = 167 \text{ Нм}$$

$$T_{\text{пр}_2} = 9930 \cdot \frac{4,7}{335} = 337 \text{ Нм}$$

$$T_{\text{пр}_3} = 9930 \cdot \frac{4,7}{1250} = 90 \text{ Нм}$$

$$T_{\text{пр}_{\text{ун}}} = 9930 \cdot \frac{4,7}{130} = 868 \text{ Нм}$$

Далі слід визначити значення кутових швидкостей на всіх валах, для цього скористаємось аналітичною залежністю:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (2.26)$$

де n – значення, що відповідає частоті обертання валу, об/хв.

Після відповідних підстановок отримаємо:

$$\omega_1 = \frac{3,14 \cdot 670}{30} = 70 \text{ 1/с}$$

$$\omega_{21} = \frac{3.14 \cdot 335}{30} = 131 \text{ 1/c}$$

$$\omega_{22} = \frac{3.14 \cdot 1250}{30} = 35 \text{ 1/c}$$

$$\omega_{un} = \frac{3.14 \cdot 130}{30} = 13,6 \text{ 1/c}$$

На основі попередньо проведених розрахунків приймаємо модуль зубчастої передачі $m = 3$.

Для геометричного розрахунку зубчастих коліс можемо скористатись онлайн калькулятором [34]. На рис. 2.13. приведено вікно програми з прикладом виконаного розрахунку для вітки 28: 56.

Module m :	<input type="text" value="3"/>	Tooth Thickness at Tip (mm):	<input type="text" value="2.193"/> mm
Teeth z :	<input type="text" value="28"/>	Tooth Thickness at Base (mm):	<input type="text" value="5.605"/> mm
Pressure Angle α (°):	<input type="text" value="20.0"/>	Outside (Tip) Diameter d_a (mm):	<input type="text" value="90.00"/> mm
Profile Shift Coefficient (-0.9 to 0.9):	<input type="text" value="0.0"/>	Base Diameter (mm):	<input type="text" value="78.934"/> mm
Include a central bore:	<input checked="" type="checkbox"/>	Tooth Angular Pitch (°):	<input type="text" value="12.857"/> °
Bore Diameter (mm):	<input type="text" value="45"/> mm	Tip & Root Clearance c (mm):	<input type="text" value="0.75"/> mm
Include a keyway:	<input checked="" type="checkbox"/>	Show Root Circle(s):	<input checked="" type="checkbox"/>
Keyway Size (mm):	<input type="text" value="12"/> mm	Show Pitch Circle(s):	<input checked="" type="checkbox"/>
Tooth Depth h (mm):	<input type="text" value="6.75"/> mm	Show Outer Circle(s):	<input checked="" type="checkbox"/>
Addendum h_a (mm):	<input type="text" value="3.00"/> mm	Show Base Circle(s):	<input checked="" type="checkbox"/>
Dedendum h_f (mm):	<input type="text" value="3.75"/> mm	Primary Gear DXF:	<input type="button" value="Download"/>
Tooth Pitch p (mm):	<input type="text" value="9.425"/> mm	Primary Gear SVG:	<input type="button" value="Download"/>
Tooth Thickness s_0 (mm):	<input type="text" value="4.71"/> mm	Show Meshing Gear:	<input checked="" type="checkbox"/>
Pitch Circle Diameter d (mm):	<input type="text" value="84.00"/> mm	Meshing Gear Teeth z :	<input type="text" value="56"/>
Circular Pitch CP (mm):	<input type="text" value="9.425"/> mm	Centre Distance (mm):	<input type="text" value="126"/> mm
Root Diameter d_f (mm):	<input type="text" value="76.50"/> mm	Ratio:	<input type="text" value="1:2"/>

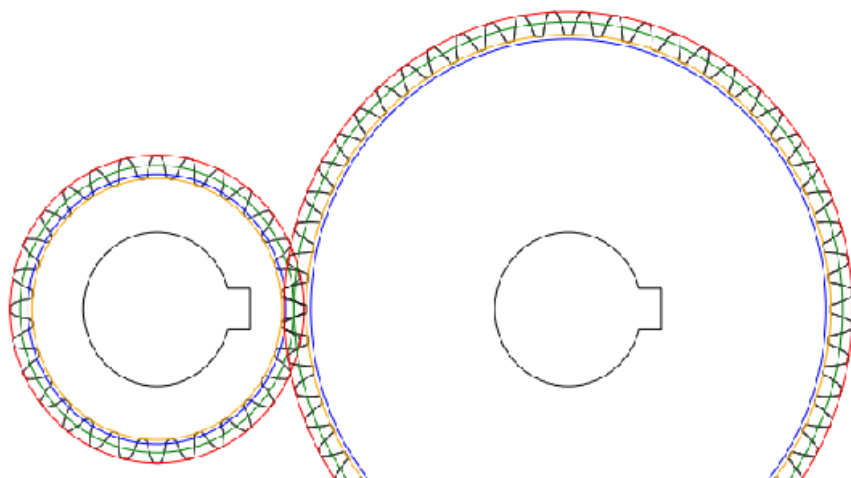


Рис. 2.13. Приклад проведеного розрахунку для вітки 28: 56

Аналогічно здійснюємо розрахунок для інших віток приводу головного руху (див. рис. 2.14 та рис. 2.15), на їх основі проводимо розробку конструкції приводу верстату (приведено в графічній частині роботи).

Module m :	<input type="text" value="3"/>	Tooth Thickness at Tip (mm):	<input type="text" value="2.147"/> mm
Teeth z :	<input type="text" value="24"/>	Tooth Thickness at Base (mm):	<input type="text" value="5.437"/> mm
Pressure Angle α (°):	<input type="text" value="20.0"/>	Outside (Tip) Diameter d_a (mm):	<input type="text" value="78.00"/> mm
Profile Shift Coefficient (-0.9 to 0.9):	<input type="text" value="0.0"/>	Base Diameter (mm):	<input type="text" value="67.658"/> mm
Include a central bore:	<input checked="" type="checkbox"/>	Tooth Angular Pitch (°):	<input type="text" value="15.000"/> °
Bore Diameter (mm):	<input type="text" value="45"/> mm	Tip & Root Clearance c (mm):	<input type="text" value="0.75"/> mm
Include a keyway:	<input checked="" type="checkbox"/>	Show Root Circle(s):	<input checked="" type="checkbox"/>
Keyway Size (mm):	<input type="text" value="3.0"/> mm	Show Pitch Circle(s):	<input checked="" type="checkbox"/>
Tooth Depth h (mm):	<input type="text" value="6.75"/> mm	Show Outer Circle(s):	<input checked="" type="checkbox"/>
Addendum h_a (mm):	<input type="text" value="3.00"/> mm	Show Base Circle(s):	<input checked="" type="checkbox"/>
Dedendum h_f (mm):	<input type="text" value="3.75"/> mm	Primary Gear DXF:	<input type="button" value="Download"/>
Tooth Pitch p (mm):	<input type="text" value="9.425"/> mm	Primary Gear SVG:	<input type="button" value="Download"/>
Tooth Thickness s_0 (mm):	<input type="text" value="4.71"/> mm	Show Meshing Gear:	<input checked="" type="checkbox"/>
Pitch Circle Diameter d (mm):	<input type="text" value="72.00"/> mm	Meshing Gear Teeth z :	<input type="text" value="62"/>
Circular Pitch CP (mm):	<input type="text" value="9.425"/> mm	Centre Distance (mm):	<input type="text" value="129"/> mm
Root Diameter d_f (mm):	<input type="text" value="64.50"/> mm	Ratio:	<input type="text" value="12:31"/>

Рис.2.14. Приклад проведеного розрахунку для вітки 24: 62

Module m :	<input type="text" value="3"/>	Tooth Thickness at Tip (mm):	<input type="text" value="2.346"/> mm
Teeth z :	<input type="text" value="56"/>	Tooth Thickness at Root (mm):	<input type="text" value="6.571"/> mm
Pressure Angle α (°):	<input type="text" value="20.0"/>	Outside (Tip) Diameter d_a (mm):	<input type="text" value="174.00"/> mm
Profile Shift Coefficient (-0.9 to 0.9):	<input type="text" value="0.0"/>	Base Diameter (mm):	<input type="text" value="157.868"/> mm
Include a central bore:	<input checked="" type="checkbox"/>	Tooth Angular Pitch (°):	<input type="text" value="6.429"/> °
Bore Diameter (mm):	<input type="text" value="45"/> mm	Tip & Root Clearance c (mm):	<input type="text" value="0.75"/> mm
Include a keyway:	<input checked="" type="checkbox"/>	Show Root Circle(s):	<input checked="" type="checkbox"/>
Keyway Size (mm):	<input type="text" value="3.0"/> mm	Show Pitch Circle(s):	<input checked="" type="checkbox"/>
Tooth Depth h (mm):	<input type="text" value="6.75"/> mm	Show Outer Circle(s):	<input checked="" type="checkbox"/>
Addendum h_a (mm):	<input type="text" value="3.00"/> mm	Show Base Circle(s):	<input checked="" type="checkbox"/>
Dedendum h_f (mm):	<input type="text" value="3.75"/> mm	Primary Gear DXF:	<input type="button" value="Download"/>
Tooth Pitch p (mm):	<input type="text" value="9.425"/> mm	Primary Gear SVG:	<input type="button" value="Download"/>
Tooth Thickness s_0 (mm):	<input type="text" value="4.71"/> mm	Show Meshing Gear:	<input checked="" type="checkbox"/>
Pitch Circle Diameter d (mm):	<input type="text" value="168.00"/> mm	Meshing Gear Teeth z :	<input type="text" value="30"/>
Circular Pitch CP (mm):	<input type="text" value="9.425"/> mm	Centre Distance (mm):	<input type="text" value="129"/> mm
Root Diameter d_f (mm):	<input type="text" value="160.50"/> mm	Ratio:	<input type="text" value="28:15"/>

Рис.2.14. Приклад проведеного розрахунку для вітки 56: 30

2.4. Висновки по розділу

В процесі виконання другого розділу кваліфікаційної роботи магістра ми провели технологічні розрахунки по двох найбільш навантажених технологічних переходах, які стосуються обробки деталі «Кронштейн спеціальний ВБУ 211223» на БЦВ. При цьому ми знайшли значення максимальної потужності різання, воно становить 7,01 кВт.

На наступному етапі, ми здійснили аналіз необхідних для обробки деталі «Кронштейн спеціальний ВБУ 211223» формоутворюючих рухів. Провівши їх аналіз ми розробили структурно-кінематичну схему БЦВ.

З врахуванням особливостей раніше спроектованої структурно-кінематичної схеми ми розробили кінематичну схему приводу головного руху. Для якої розрахували діапазон регулювання, провели підбір зубчастих коліс та знайшли їх геометричні розміри.

РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Методика та план проведення наукових досліджень

В даній частині кваліфікаційної роботи нам необхідно здійснити аналіз параметрів БЦВ, що дозволяють охарактеризувати їх технологічні можливості, а також їх компоновань.

Вибрати критерії на основі яких може бути здійснений вибір оптимального компоновання багатоцільових верстатів та запропонувати власні.

3.2. Конструкторсько-технологічний аналіз розвитку БЦВ

В дослідно-проектному розділі ми розглядали компоновання БЦВ які випускали різноманітні фірми. Дані верстати відрізняються за технологічними можливостями (рис. 3.1).

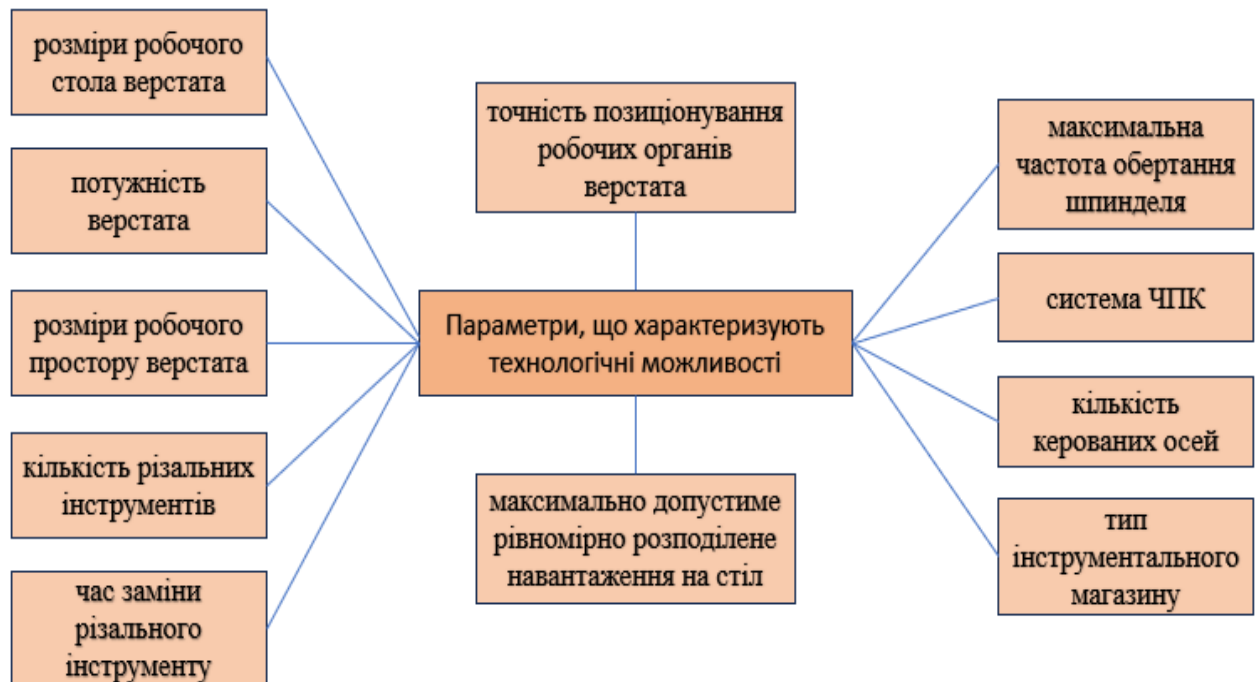


Рис. 3.1. Параметри, що характеризують технологічні можливості БЦВ

Виробники металообробного обладнання випускають БЦВ двох типів – з горизонтальною та вертикальною віссю шпиндельного вузла.

Проведені раніше дослідження [29] дозволяють здійснити порівняльний аналіз параметрів БЦВ, з різним компоуванням шпинделів.

На рис. 3.2 та рис. 3.3 приведено відповідно розподіл компоувань верстатів за розмірними параметрами, а саме довжиною та шириною робочого столу.

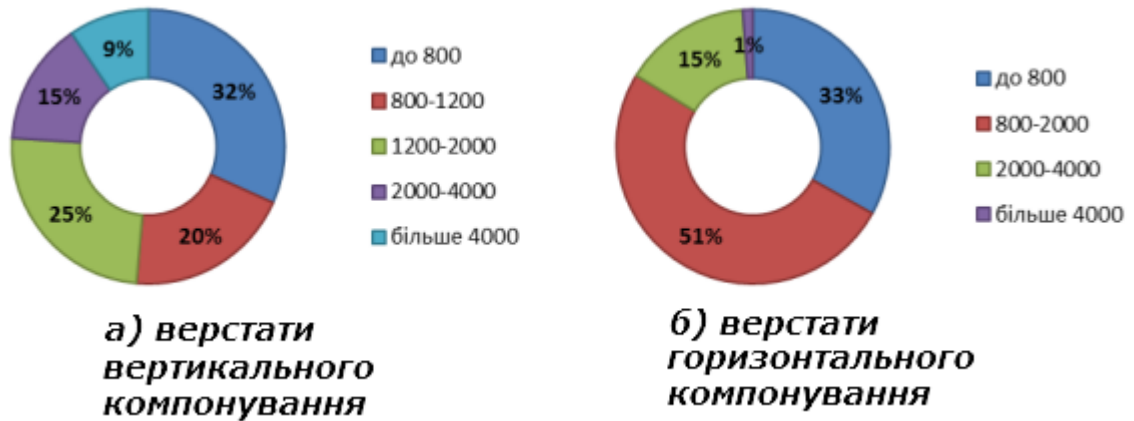


Рис. 3.2. Дані стосовно розподілу БЦВ за довжиною робочого столу

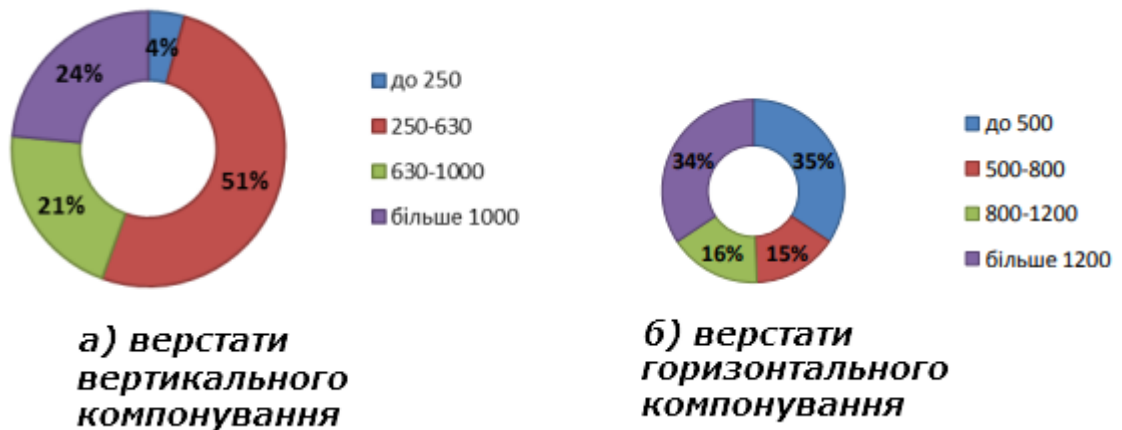


Рис. 3.3. Дані стосовно розподілу БЦВ за шириною робочого столу

Як видно із даних діаграм, виробники переважно випускають БЦВ, на яких можна здійснювати обробку негабаритних деталей. Найчастіше виробники випускають БЦВ вертикального компоування з довжиною столу 1200 мм, та шириною 250–630 мм, що становить 51% від загальної кількості. А стосовно горизонтальних компоувань відповідно найбільш поширеною є довжина столу - 800 – 2000 мм, а ширина столу до 800 мм.

Є також ряд параметрів, які характеризують розміри робочого простору БЦВ. Параметром, що характеризує робочий простір є розмір від поверхні столу до осі шпинделя. Виробники в своїх технічних характеристиках вказують параметри, що характеризують мінімальну та максимальну відстань від робочої поверхні столу до торця шпинделя. На рис. 3.4 та 3.5 приведено діаграми, на яких відповідно приведений розподіл БЦВ за мінімальною та максимальною відстанню.

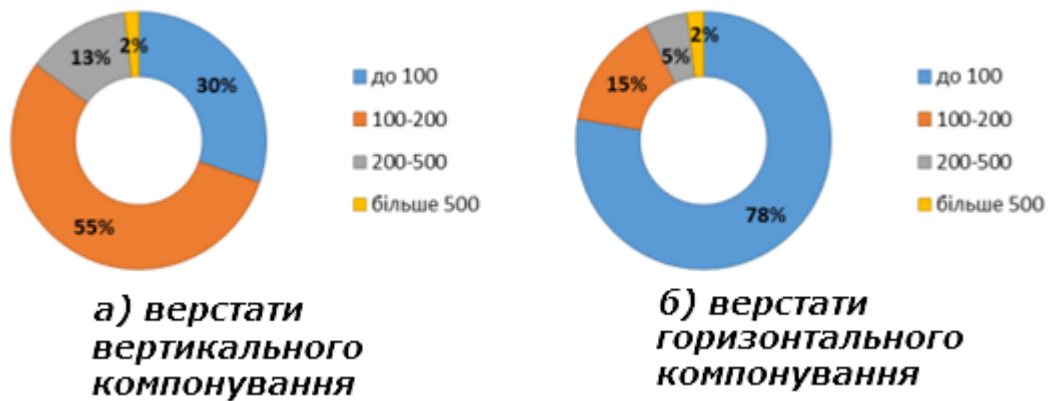


Рис. 3.4. Дані стосовно розподілу БЦВ за мінімальною відстанню від робочої поверхні столу до торця шпинделя

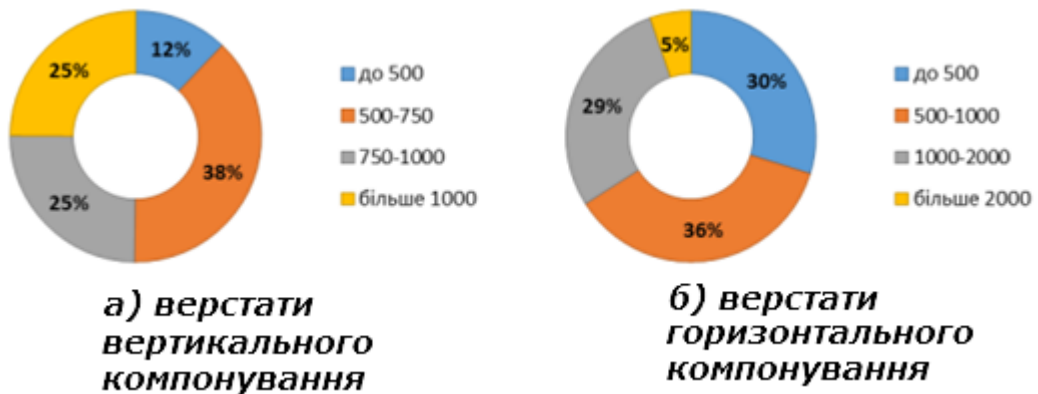


Рис. 3.5. Дані стосовно розподілу БЦВ за максимальною відстанню від робочої поверхні столу до торця шпинделя

Виробники найчастіше випускають обладнання в якому мінімальне значення знаходиться в межах 100–200 мм до 750 мм – для верстатів вертикального компонування, та від 100 мм до 1000 мм для верстатів горизонтального компонування.

Також здійснимо кількісний аналіз компоновань на основі аналізу структурних формул. Найбільш часто застосовуються БЦВ вертикальних компоновань, які відповідають структурним формулам: $XYOZC_v$ і $XOYZC_v$, а для горизонтальних - $XZOYC_h$ і $XOZYC_h$.

На рис. 3.6 наведено матриці, на яких вказано який відсоток компоновань знайшов промислову реалізацію, та якою структурною формулою вони можуть бути описані.

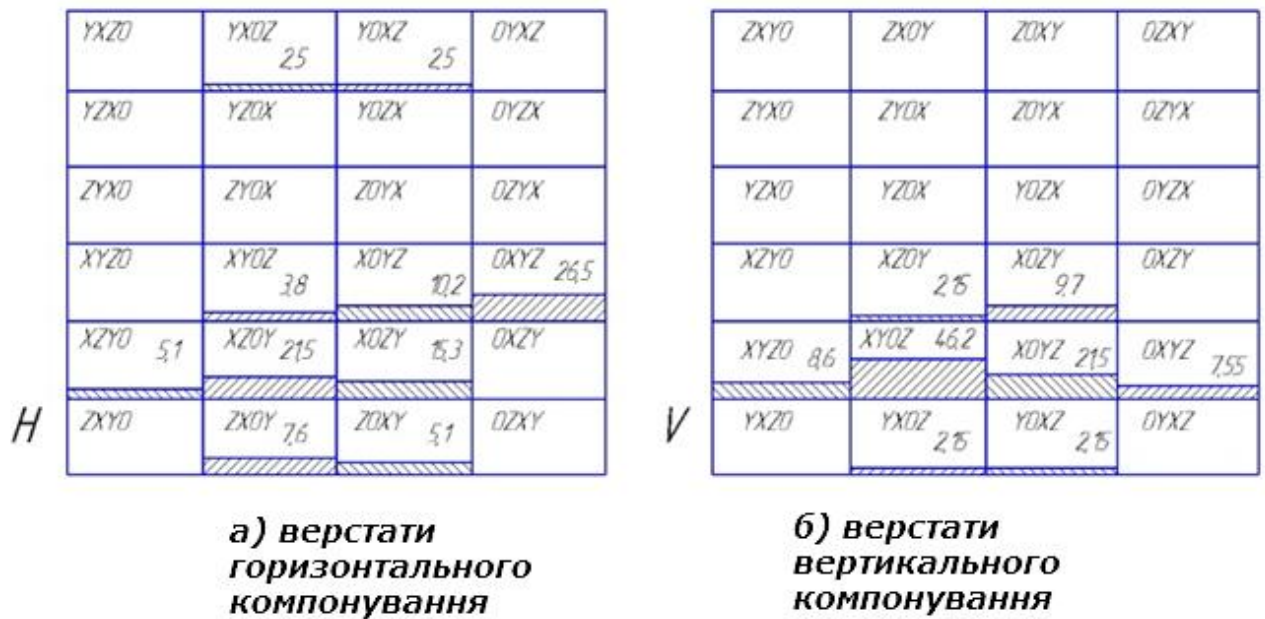


Рис. 3.6. Дані стосовно розподілу БЦВ за реалізованими структурними формулами

Проведемо аналіз БЦВ, а саме кількості інструментів, яка може використовуватись на них, статистичні дані про це приведені на рис. 3.7.

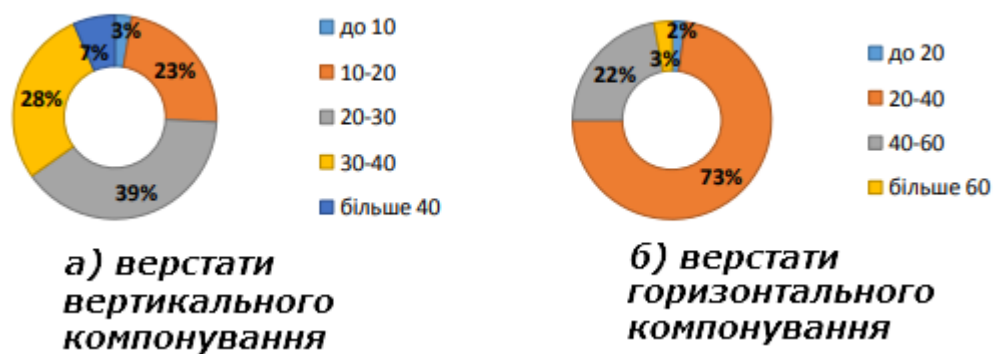


Рис. 3.7. Дані стосовно кількості інструментів, які можуть використовуватись на БЦВ

В результаті проведеного статистичного аналізу, ми вияснили, що оптимальними є компоновання БЦВ в яких реалізована горизонтальна схема розміщення шпindelного вузла, такі верстати оснащуються хрестовим столом, для обробки може застосовуватись інструментальний магазин, з кількістю позицій від 30 до 60.

3.3. Визначення оптимального компоновання БЦВ

В процесі проектування та проведення технологічної підготовки виробництва, з врахуванням особливостей деталі, необхідно здійснити вибір раціонального компоновання верстату.

Вибір конкретного компоновання верстату може бути здійснений шляхом вибору варіантів альтернатив за певним критерієм. Одним із методів, який дозволяє обрати раціональне компоновання є логіко-математичний метод, його було розроблено в 80-х роках, основні положення даного методу були сформульовані Ю. Враговим [17].

На основі запропонованого ним математичного апарату можна записати структурну формулу компоновання, накладаючи ті чи інші технологічні та конструктивні умови.

Як відомо, БЦВ складається з рухомих та стаціонарних блоків (вузлів верстату). Коли ми записуємо структурну формулу, то ми вказуємо як ці вузли взаємодіють між собою, та яке їх взаємне розміщення.

Коли ми маємо декілька варіантів компоновань БЦВ, то вибір раціонального може бути здійснений за умови їх порівняння за різними показниками. Це можуть бути конструктивна складність, технологічність конструкції, їх вартість чи зручність обслуговування.

Розмірні параметри верстату визначають його жорсткість, яка, як відомо впливає на його техніко-економічні показники, а саме (продуктивність, надійність, точність).

Проведемо вибір компоновання БЦВ на прикладі верстату моделі IP320ПМФ4. На даному верстаті ми можемо обробляти корпусні далі $300 \times 300 \times 300$ мм. Верстат на якому проводиться обробка має пристрій автоматичної заміни на 40 інструментів.

При обробці корпусної деталі приймаємо верстат з горизонтально розміщеним шпиндельним вузлом, згідно рекомендацій ISO [35] приймаємо систему координат, в якій вісь Z збігається з віссю шпинделя, а в якості осі X — приймаємо горизонтальну вісь верстата.

На рис. 3.8 приведено послідовність процедур, якої слід дотримуватись при виборі компоновання БЦВ.

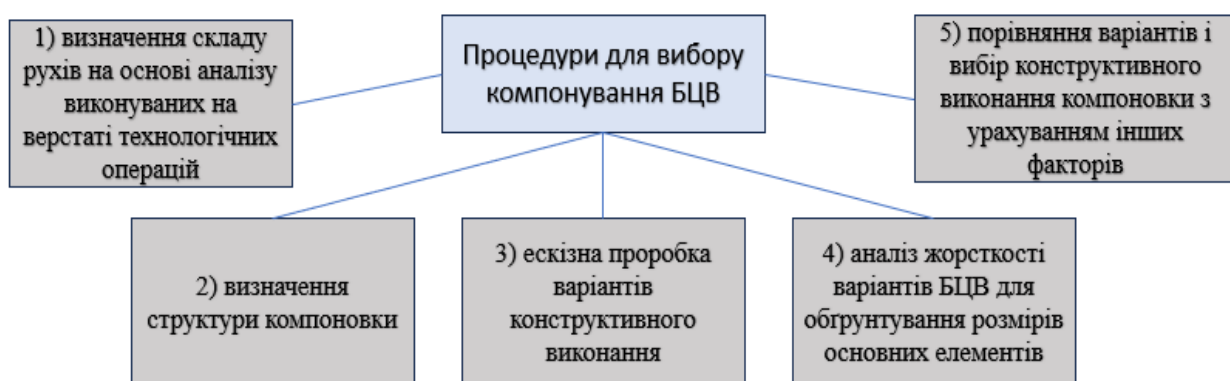


Рис. 3.8. Послідовність процедур при виборі оптимального компоновання

У таблиці 3.1. приведений перелік основних технологічних операцій, які можуть бути виконані на верстаті IP320ПМФ4, а також склад потрібних для забезпечення процесу обробки формоутворюючих та установчих рухів.

Таблиця 3.1 - Структурні формули формоутворюючих і установчих рухів

Вид технологічної операції	Структурні формули формоутворюючих рухів	Установчі рухи
Фрезерування прямолінійне вздовж координатних осей X і Y	XOC, YOC, OXC, OYC	x, y, z
Фрезерування контурне в площині XU	$XUOC, XUOC, OXUC, YOXC$	x, y, z
Фрезерування по дузі	DOC	d, x, y, z
Свердління отворів	OZC, ZOC	d, x, y, z
Свердління і розточування отворів	$OZC, DOZC, DZOC$	x, y, z
Точіння циліндричне	$DXO, DYO, DOX, DOY, DOZ, DZO$	x, y, z
Точіння торцеве	DOZ, DOY	x, y, z
Точіння контурне	$DXOZ, DOXZ, DOYZ$	x, y, z

Щоб забезпечити виконання перерахованих в табл. 3.1. технологічних операцій, верстат повинен мати блоки (виконавчі вузли), які можуть забезпечити переміщення по осях X , Y , Z та обертові рухи деталі та інструменту. Також на верстаті потрібно реалізувати установчі та допоміжні рухи x , y , z , d .

При визначенні структури компоновання нам слід записати вираз в якому буде відображатися послідовність розташування блоків, це виконують за допомогою символів [17]. Для вибору оптимального компоновання сформулюємо умови основних обмежень.

Умова 1. Переміщення столу, яке забезпечує можливість одночасної обробки з двох сторін і більше, горизонтальне переміщення столу може здійснюватися по осі X :

$$K_1 = \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} \quad (4.1)$$

Умова 2. Деталь, яка обробляється має кубічну або призматичну форму, вузли, що переміщують деталь і інструмент, розділені через стаціонарний блок:

$$K_2 = \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} + \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0}K_1 = \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} \quad (4.2)$$

Умова 3. Виконавчий вузол, який забезпечує операції свердління, розточування, розвертування та нарізання різі у структурних формулах записується останнім:

$$K_3 = \bar{Z}\bar{Z}\bar{Z}\bar{Z} + Z0\bar{Z}\bar{Z}K_1 = \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} \quad (4.3)$$

Умова 4. Стіл може мати додаткове переміщення та видовження без зміни конструкції інших вузлів верстата:

$$K_4 = X0\bar{X}\bar{X} + 0X\bar{X}\bar{X}K_1 = \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} \quad (4.4)$$

Умова 5. До складу верстату входять пристрої автоматичної заміни заготовок (можуть входити змінні столи-супутники):

$$K_5 = \bar{Y}0\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0}K_1 = \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} \quad (4.5)$$

Умова 6. Інструмент не повинен мати поздовжнього переміщення, він повинен забезпечити зручність видалення стружки з зони обробки:

$$K_6 = X\bar{X}0\bar{X} + X0\bar{X}\bar{X}K_1 = \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} \quad (4.6)$$

Умова 7. Рух шпинделя по двох і більше координатах, що повинно забезпечити процес автоматичної заміни інструментів без автооператора:

$$K_7 = \bar{0}\bar{0}\bar{0}Z + 0\bar{0}\bar{0}ZK_1 = \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} \quad (4.7)$$

Тобто нам необхідно створити компоновку яка буде відповідати вимогам:

$$\begin{aligned} K_1 &= \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} \\ K_2 &= \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} + \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} \\ K_3 &= \bar{Z}\bar{Z}\bar{Z}\bar{Z} + Z0\bar{Z}\bar{Z} \\ K_4 &= X0\bar{X}\bar{X} + 0X\bar{X}\bar{X} \\ K_5 &= \bar{Y}0\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} \\ K_6 &= X\bar{X}0\bar{X} + X0\bar{X}\bar{X} \\ K_7 &= \bar{0}\bar{0}\bar{0}Z + 0\bar{0}\bar{0}Z \end{aligned} \quad (4.8)$$

В результаті вирішення системи рівнянь 4.7, ми отримаємо компоновальну схему, яка задовольняє цим умовам, а саме: $XOYZ$.

Якщо верстат буде оснащений поворотним столом та шпинделем, то його компоновальна схема буде мати вигляд: $DXOYZC$.

На рис. 3.9. приведено варіант компоновальної схеми верстату, до складу якого входить магазин інструментів та накопичувач, що складається із змінних столів. На рис. 3.10 приведено промислову реалізацію даної компоновальної схеми.

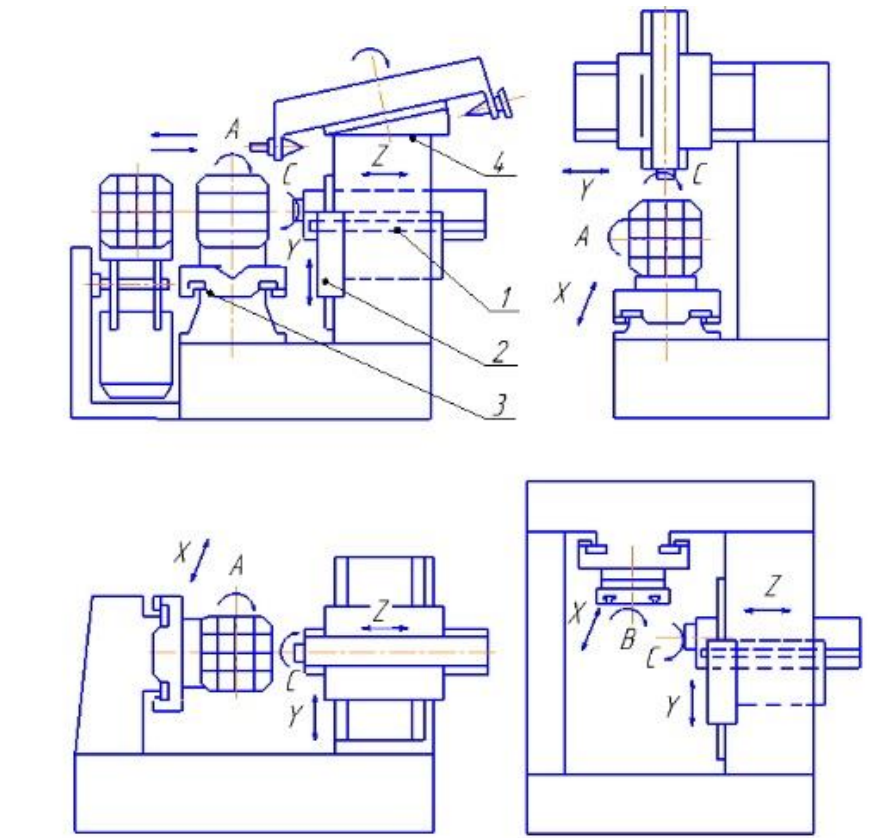


Рис. 3.9. Приклад конструктивного виконання компоновання БЦВ (1- направляючі повзуна; 2- направляючі шпindelної бабки; 3- направляючі салазок столу; 4- корпус стійки)



Рис. 3.10. Промислова реалізація запропонованого компоновання верстата

Такий підхід дозволяє обрати компоновальні схеми з меншими витратами часу. Число варіантів які отримані математичним методом, в 2-3 рази менше, ніж відібраних традиційним методом.

3.4. Критеріальне дослідження компоувань БЦВ

На сьогоднішній день актуальною є задача формування критеріїв, що дозволяють провести оцінку компоувань багатоцільових верстатів. Одним із таких критеріїв є критерій жорсткості та компактності.

Основою побудови компоування верстату є його кінематична структура, яка забезпечується складом формоутворюючих та додаткових рухів, які він повинен забезпечувати. Розробляючи технологічну схему верстату, ми визначаємо склад необхідних робочих та допоміжних рухів, кількість шпинделів, форму обробки і т. ін.

Обробка на БЦВ передбачає застосування паралельно-послідовної схеми обробки, при якій стіл може здійснювати обертові та поперечно-поздовжні переміщення.

Так при оптимізації компоувальної схеми верстата може використовуватися функція виду:

$$F = k \cdot mK_1 = \bar{0}0\bar{0}\bar{0} + 0\bar{0}\bar{0}\bar{0} \quad (4.9)$$

де k – податливість елемента,

m – маса елемента.

Проводячи аналіз даної функції ми можемо підібрати раціональні форми та співвідношення розмірів корпусних деталей, а також направляючих верстата, виходячи з їх жорсткості та металоємності.

Для цього розглянемо стійку верстата, яку навантажимо просторовими силами різання (рис. 3.11). Найбільший вплив на стійку будуть чинити деформації згину та сила кручення, яка виникає від дії сили P_x . Ці сили значно переважають деформації, що можуть виникати від дії інших сил, особливо при збільшенні розміру s .

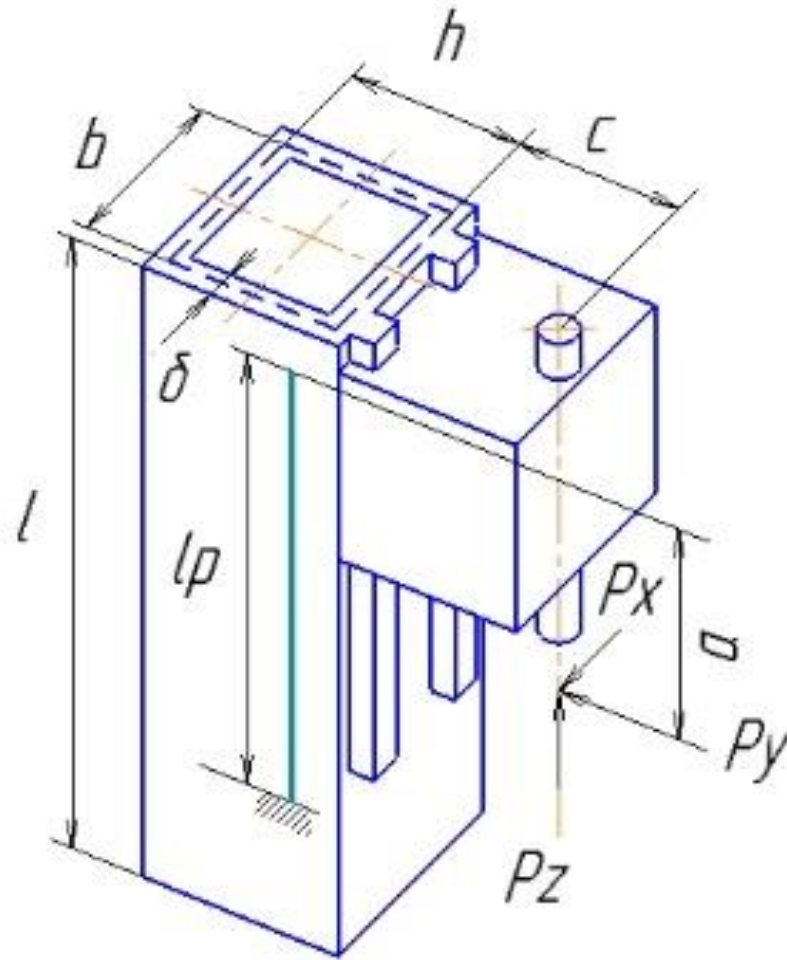


Рис. 3.11. Схема для розрахунку стійки верстата

Нехай b – задана ширина стійки, k_x – податливість, а m - маса стійки. Тоді значення сили можна обчислити за виразом:

$$F = m \cdot k_x = F_1 + F_2 \quad (4.10)$$

При цьому F_1 та F_2 відповідно можуть бути обчислені за виразами:

$$F_1 = \frac{A \cdot (h + 2c)^2 \cdot (b + h)^2}{h^2} \quad (4.11)$$

$$F_2 = \frac{B \cdot (b + h)}{(3 \cdot h + b)} \quad (4.12)$$

Для визначення A та B відповідно скористаємось виразами:

$$A = \frac{l \cdot l_p \cdot \rho}{4 \cdot G \cdot b^2} \quad (4.13)$$

$$B = \frac{4 \cdot l \cdot l_p^3 \cdot \rho \cdot (1 - 3 \cdot \gamma + 3 \cdot \gamma^2)}{E \cdot b^2} \quad (4.14)$$

де l – загальна висота стійки;

l_p – розрахункова висота;

$$\gamma = a/l_p$$

a і c – розрахункові координати точки прикладання сили;

h – довжина поперечного січення;

ρ – густина металу;

E – модуль пружності 1-го роду;

G – модуль пружності 2-го роду;

k_x – податливість стійки.

Дану задачу можна вирішити графічним методом, рішення приведено на рис. 3.12. Аналіз даного графіку показав, що параметр h має вирішення в області точки, що описується виразом:

$$h = \sqrt{2bc} \quad (4.15)$$

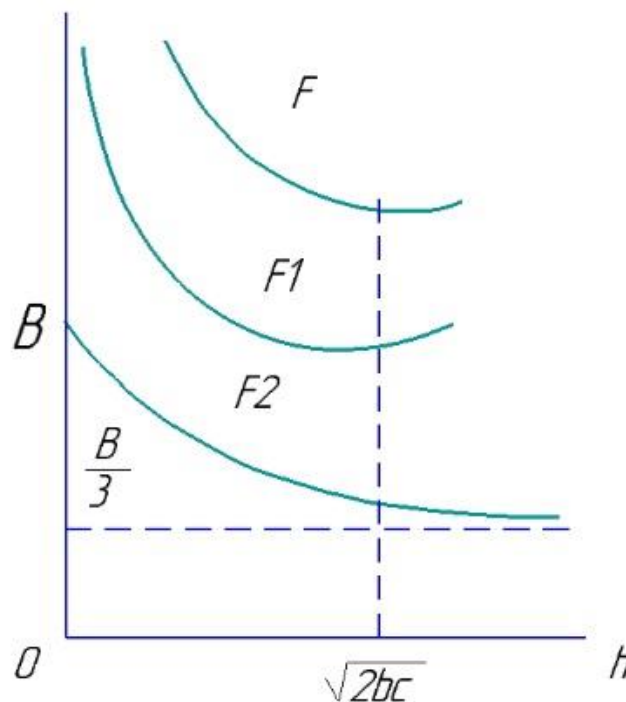


Рис. 3.12. Графічне представлення функції F

Даний вираз може бути застосований до верстатів середніх та великих розмірів. Для практичного застосування інтерес представляє відносна величина h/b , тому скористаємось виразом:

$$h/b = \sqrt{2c/b} \quad (4.16)$$

Якщо функція F не має яскраво вираженого мінімуму, то її можна застосувати для визначення розмірів направляючих вузлів.

Розглянемо це на прикладі запропонованої компоновки БЦВ, а саме його стійки. Розрахункова схема приведена на рис. 3.13.

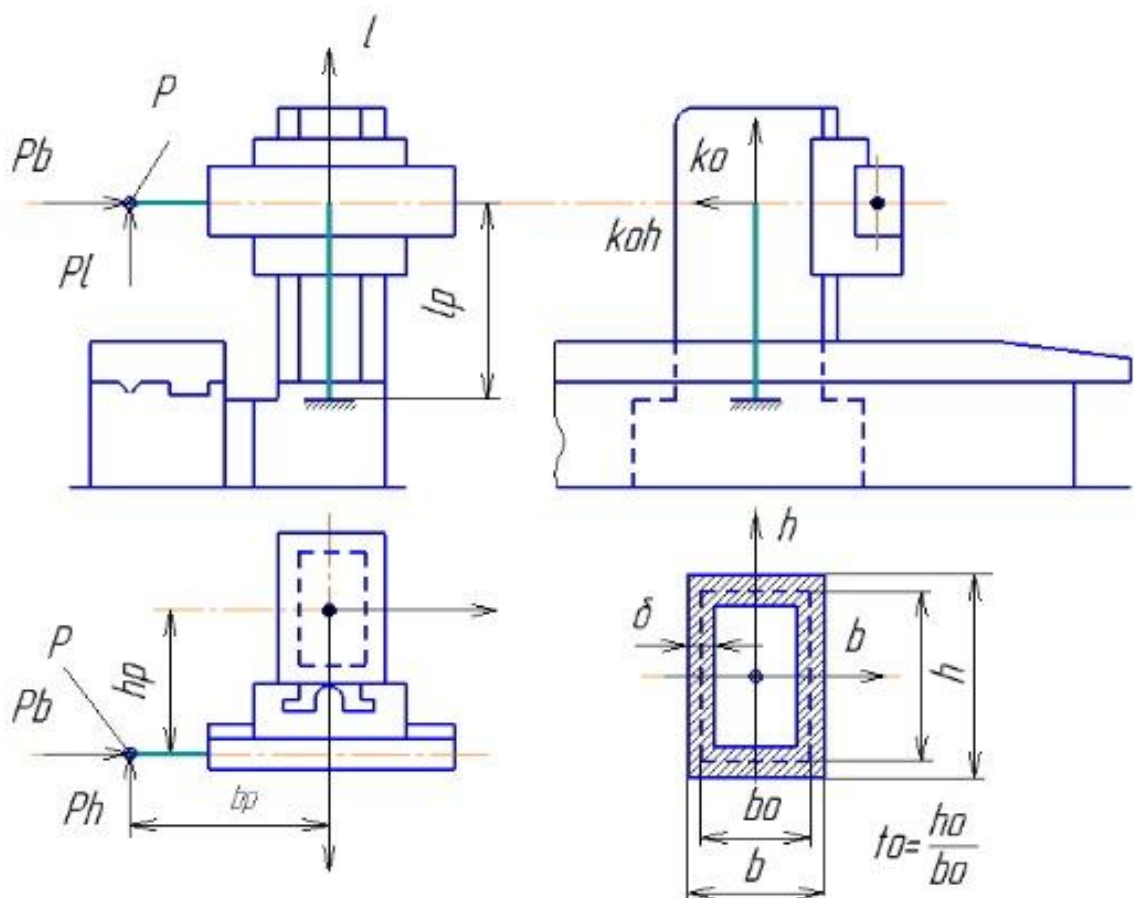


Рис. 3.13 Схема для визначення податливості стійки верстату

Розглянемо стійку верстата в частковій системі координат $b - h - l$, її навантажено силами різання (її складові визначаються через Pb , Ph , Pl). Податливість верстату слід привести до точки p , яка є точкою прикладання навантаження.

Важливими критеріями для оцінки податливості верстатів є вильоти, які є категоріями асиметрії та ексцентричності.

Для розрахунків скористаємось виразами які враховують співвідношення сторін січення, які можуть бути виміряні по середнім значенням ліній стінок:

$$t_0 = h_0/b_0 \quad (4.17)$$

Визначимо розрахункові відносні вильоти $\alpha_p, \beta_p, \gamma_p$, враховуючи наступні вирази:

$$\begin{aligned} \alpha &= 2S_p/L; \\ \beta &= 2S_p/B \end{aligned} \quad (4.18)$$

Відносно осей $b, h, i l$, можуть бути визначені три радіуси інерції r_b, r_l, r_h , і шість різних розрахункових відносних точки вильотів.

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{ph} &= \frac{h_p}{r_b} & \beta_{pb} &= \frac{b_p}{r_l} & \gamma_{pb} &= \frac{b_p}{r_h} \\ \alpha_{pl} &= \frac{l_p}{r_b} & \beta_{ph} &= \frac{h_p}{r_l} & \gamma_{pl} &= \frac{l_p}{r_h} \end{aligned} \right\} \quad (4.19)$$

Так радіуси інерції r_b, r_l, r_h , відносяться до січення деталі. Для прямокутного січення, коли товщина стінок є постійною, їх можна визначити за виразами:

$$r_b = \frac{h_0}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{h_0 + 3b_0}{h_0 + b_0}} = \frac{h_0}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{t_0 + 3}{t_0 + 1}}; \quad (4.20)$$

$$r_h = \frac{b_0}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{b_0 + 3h_0}{h_0 + b_0}} = \frac{b_0}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{3t_0 + 1}{t_0 + 1}}; \quad (4.21)$$

$$r_l = \frac{b_0 h_0}{b_0 + h_0} = \frac{h_0}{t_0 + 1}. \quad (4.22)$$

Визначаємо приведені податливості корпусу стійки в напрямках b , h , і l з врахуванням згину, кручення і розтягу (стиску):

$$k_h = \frac{l_p^3}{3EJ_b} + \frac{b_p^2 l_p}{GJ_{kp}} = \frac{l_p^3}{3EF} \left(\frac{l_p}{r_b} \right)^2 + \frac{l_p}{GF} \left(\frac{b_p}{r_l} \right)^2; \quad (4.23)$$

$$k_b = \frac{l_p^3}{3EJ_h} + \frac{h_p^2 l_p}{GJ_{kp}} = \frac{l_p^3}{3EF} \left(\frac{l_p}{r_h} \right)^2 + \frac{l_p}{GF} \left(\frac{h_p}{r_l} \right)^2; \quad (4.24)$$

$$k_l = \frac{l_p}{EF} + \frac{h_p^2 l_p}{EJ_b} + \frac{b_p^2 l_p}{GJ_h} = \frac{l_p}{EF} + \frac{l_p}{EF} \left(\frac{h_p}{r_b} \right)^2 + \frac{l_p}{EF} \left(\frac{b_p}{r_h} \right)^2. \quad (4.25)$$

де E , G – модулі пружності;

J_b, J_h, J_{kp} - моменти інерції при згині та крученні;

F - площа січення;

величини в дужках – відносні вильоти.

При проведенні розрахунків скористаємось виразами, які є аналогічними, що і розрахунку направляючих:

$$k_h = \xi_h \cdot k_0; \quad k_b = \xi_b \cdot k_0; \quad k_l = \xi_l \cdot k_0, \quad (4.26)$$

де в якості номінальної податливості k_0 розглядається податливість при центральному розтягу (стиску) на повній довжині стійки k_0 .

$$k_0 = \frac{l}{E \cdot F} \quad (4.27)$$

Дана податливість не залежить від того, як розміщена стійка по відношенню до робочого поля компоновки.

Коефіцієнти приведення ξ_h, ξ_b, ξ_l можуть бути виражені через відносні вильоти і відносну величину робочої довжини стійки

$$\lambda_p = l_p/l: \quad (4.28)$$

$$\xi_h = \left(\frac{1}{3} \cdot \alpha_{pl}^2 + \frac{E}{G} \cdot \beta_{pb}^2 \right) \cdot \lambda_p; \quad (4.29)$$

$$\xi_b = \left(\frac{1}{3} \cdot \gamma_{pl}^2 + \frac{E}{G} \cdot \beta_{ph}^2 \right) \cdot \lambda_p; \quad (4.30)$$

$$\xi_l = (1 + \alpha_{pl}^2 + \gamma_{pb}^2) \cdot \lambda_p. \quad (4.31)$$

В дані аналітичні залежності входять безрозмірні величини, які враховують особливості компоновальних факторів.

Іншим критерієм, що дозволяє оцінити компоновання на початкових стадіях проектування є **ступінь компактності компоновання**.

Для створення верстату більш високої жорсткості, він повинен бути компактнішим. Більш жорстка конструкція здатна забезпечити вищу точність, при цьому верстат буде мати меншу металоємність, а отже і меншу вартість.

Кількісно ступінь компактності компоновання може бути розрахований за виразом, який враховує особливості розміщення та розміри направляючих, по яких переміщуються робочі органи верстата. Об'єм компоновання може визначатися за виразом:

$$V_k = \sum_{i=1}^n [B_i \cdot (b_{pi} + l_{pi} + 2 \cdot h_{pi}) + (b_{pi} + l_{pi})] \cdot (L_i + l_{xi}) \quad (4.32)$$

де n - число всіх направляючих в компоновці верстата, що розглядається;

B, H, L - розміри вузла;

L_x - довжина переміщення вузла;

b_p, l_p, h_p - вильоти від центра O жорсткості направляючих до деякої розрахункової точки p робочого простору;

V_k - об'єм компоновки.

Для того, щоб здійснити оптимізацію компоновання по критерію компактності необхідно знайти мінімальне значення V_k . До недоліків даного критерію слід віднести те, що він не враховує залежність жорсткості направляючих від напрямків і взаємного відношення сил різання, що будуть виникати в результаті зниження жорсткості клину і планок.

Також ми пропонуємо інші критерії, які не вимагають складних обчислень та дозволяють швидко здійснити оцінку компоновання верстата по критеріям компактності.

Критерій габаритності компоновання. Його можна розрахувати як відношення об'єму зони обробки до загального об'єму компоновання (B, H, L - габарити верстата)

$$K_{vy} = \frac{V_{з.о.}}{V_{габ.}} \quad (4.33)$$

де $V_{з.о.}$ – об'єм зони обробки;

$V_{габ.}$ – об'єм верстата за габаритними розмірами.

Дану залежність можна застосувати для порівняння компоновань верстатів різних типорозмірів.

Компактність технологічних модулів. Даний критерій дозволяє оцінити ступінь насиченості верстата технологічними модулями:

$$K_{v\phi} = \frac{V_{з.о.}}{n_{в.ф.}} \quad (4.34)$$

де $n_{в.ф.}$ - кількість вузлів, що приймають участь в формоутворенні верстата.

Критерій насиченості модульними комплектами. Даний критерій дозволяє оцінити ступінь концентрації інструментів при виконанні операції:

$$K_{vмк} = \frac{V_{з.о.}}{n_{в.о.}} \quad (4.35)$$

де $n_{в.о.}$ - кількість вузлів та блоків, що одночасно приймають участь в обробці при виконанні технологічної операції.

3.5. Обговорення та аналіз отриманих результатів* (*опубліковані результати досліджень подані в додатках)

Основні результати КР магістра були представлені на студентській науковій конференції, про що свідчать опубліковані тези [36], вони приведені в Додатку А кваліфікаційної роботи.

3.6. Висновки до розділу

Проведено аналіз БЦВ, які серійно випускаються різними виробниками, в результаті проведених досліджень узагальнено статистичні дані щодо розмірних параметрів цих верстатів (довжина та ширина робочого столу, відстань від робочої поверхні столу до торця шпинделя).

Визначено які компоновання верстатів є найбільш поширеними, та відповідно якими структурними формулами їх можна описати.

Запропонована послідовність якої слід дотримуватися при виборі оптимального компоновання БЦВ.

Сформовані критеріальні умови відбору, на їх основі вибрано оптимальне компоновання верстату, його можна описати виразом: $XOYZ$. Приведено приклад промислової реалізації даної компоновальної схеми.

Проведено критеріальне дослідження компоновань верстатів, при цьому використано критерій податливості.

Запропоновані альтернативні критерії оцінки компоновань верстатів, які можуть бути використані на початкових стадіях проектування.

РОЗДІЛ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Нормування параметрів мікроклімату

Основними параметрами мікроклімату, що впливають на життєдіяльність і працездатність людини, є температура виробничого приміщення, відносна вологість і швидкість руху повітря [37, 38].

Необхідність обліку основних параметрів мікроклімату може бути пояснена на підставі розгляду теплового балансу між організмом людини й навколишнім середовищем виробничих приміщень. Людина постійно перебуває в процесі теплової взаємодії з навколишнім середовищем. Для того, щоб фізіологічні процеси в його організмі протікали нормально, теплота, що виділяється організмом повинна відводиться в оточуюче людину середовище.

Відповідність між кількістю цієї теплоти й охолоджуючою здатністю середовища характеризує її як комфортну. В умовах комфорту в людини не виникає його температурних відчуттів, що турбують, холоду або перегріву. Віддача теплоти організмом людини в навколишнє середовище відбувається в результаті теплопровідності, конвекції, випромінювання, випару вологи з поверхні шкіри, а також на нагрівання вдихуваного повітря.

Кількість теплоти, що віддає організм людини різними шляхами, залежить від величини того або іншого параметра мікроклімату. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Повітря робочої зони. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги» установлює оптимальні й припустимі величини температури, відносної вологості й швидкості руху повітря для робочої зони виробничих приміщень.

Нормування параметрів мікроклімату здійснюють залежно від пори року, категорії робіт, характеристики виробничого приміщення за надлишками явної теплоти. За порами року розрізняють холодний і перехідний періоди із середньодобовою температурою зовнішнього повітря нижче 10°C; теплий період з температурою 10° С и вище.

Всі роботи по тяжкості поділяються на категорії:

Легкі фізичні (категорія I) з енерговитратами до 138 Дж/с (категорія Ia), з енерговитратами від 138 до 172 Дж/с (категорія Ib); до них відносяться, наприклад, основні процеси точного приладобудування і машинобудування;

Фізичні середньої тяжкості (категорія II) з енерговитратами від 172 до 232 Дж/с (категорія IIa), з енерговитратами від 232 до 293 Дж/с (категорія IIb), до них відносяться роботи в механоскладальних, механізованих ливарних, прокатних, термічних цехах і т.п.;

Важкі фізичні (категорія III) з енерговитратами більше 293 Дж/с, до них належать роботи, пов'язані з систематичними фізичними напругою і перенесенням значних (понад 10 кг) вантажів, - в ковальських цехах з ручною ковкою, ливарних з ручним набиванням і заливкою опок і т.п.

По надлишку явної теплоти всі виробничі приміщення поділяються на приміщення з незначними надлишками явної теплоти, якщо на 1 м³ обсягу припадає 23,2 Дж/с і менше (холодні цехи), і зі значними надлишками, якщо на 1 м³ об'єму виділяється більше 23,2 Дж/с (гарячі цехи).

Явна теплота – теплота, яка надходить в робоче приміщення від обладнання, опалювальних приладів, нагрітих матеріалів, людей та інших джерел в результаті інсоляції та впливає на температуру повітря в цьому приміщенні. Нормуються допустимі та оптимальні параметри мікроклімату. Оптимальні поширюються на всю робочу зону, допустимі – на постійні робочі місця і місця тимчасового перебування. Допустимі показники встановлюються у випадку, коли з технологічних, технічних чи економічних причин неможливо забезпечити оптимальні норми.

На виробництві можуть застосовуватися спеціальні засоби нормалізації мікроклімату. Вони поділяються на наступні групи:

- усувають джерело тепловиділень;
- захищають від теплової радіації (поглинають і відображають стаціонарні і рухомі екрани);
- полегшують тепловіддачу тіла людини (передбачають застосування засобів місцевого кондиціонування, використання повітряного душа);

- індивідуальна захист (спецодяг з сукна, брезенту, фетру, спецвзуття, окуляри зі світлофільтрами).

Для оздоровлення повітряного середовища виробничих приміщень можуть застосовуватись наступні заходи:

- механізація і автоматизація виробничих процесів, дистанційне керування ними;
- застосування технологічних процесів і обладнання, що виключають утворення шкідливих речовин або попадання їх у робочу зону;
- захист від джерел теплових випромінювань;
- пристрій вентиляції та опалення;
- застосування засобів індивідуального захисту.

4.2. Сховища, як один з видів захисних споруд цивільного захисту

Захисні споруди цивільного захисту – це споруди, які призначені для захисту людей від дії факторів ураження надзвичайних ситуацій техногенного, природного, екологічного та воєнного характеру. Захисні споруди за своїми властивостями поділяються на сховища і протирадіаційні укриття [39].

Сховища. За умовами зведення сховища можуть бути, які завчасно зводяться в мирний час або швидко будуються із введенням ступеня повної готовності.

Сховища які завчасно будуються в мирний час, проектуються, як правило, вбудованими в підвальні поверхи споруд і будинків. При неможливості створення вбудованих сховищ, допускається будівництво окремо розташованих сховищ.

В сховищах передбачаються: приміщення для укриття людей і фільтровентиляційної установки; місця для розміщення баків з водою, переносної печі і ємності з відходами; вхід і аварійний лаз (якщо головний вхід розташовується в зоні можливого завалу).

Норма площі основних приміщень на одну людину повинно складати не менше 0,4 – 0,5 м². Використання сховищ в мирний час для виробничих потреб має становити не більше 40% загальної площі сховища. Об'єм приміщень на одну людину повинний бути не менше 1,5 м³.

Приміщення для укриття людей обладнуються нарами для сидіння розміром 0,45x0,45 м, для лежання 0,55x1,8 м (на одну людину), ширина проходу між нарами повинна становити 0,7 – 0,85 м, а ширина загального проходу в сховищі повинна становити 0,9 – 1,2 м.

Основними конструктивними елементами сховищ є:

- огорожуючі конструкції (зовнішні стіни, перекриття, фундаментна плита);
- внутрішні конструкції (стіни, колони);
- елементи входів і аварійних виходів, захисні елементи в прорізах (захисні герметичні двері і вікна), захисні елементи в технологічних проходах, входах (виходах) до інженерних комунікацій (рис. 4.1).

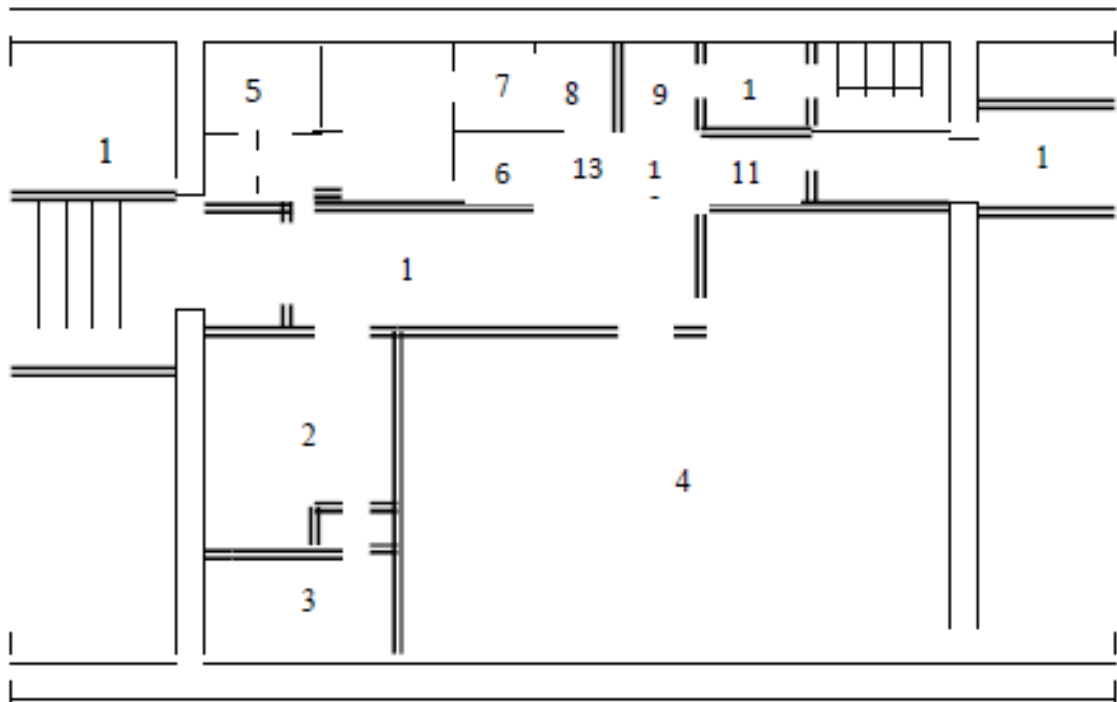


Рис. 4.1. План сховища: 1 - тамбури і шлюзи; 2 - приміщення фільтро-вентиляційних установок; 3 - дизельна; 4 - підсобні виробничі приміщення (приміщення для укриття людей); 5 - чоловічий гардероб робочого одягу; 6 - переддушова; 7 - чоловіча душова; 8 - чоловічий гардероб домашнього одягу; 9 - чоловічий туалет; 10 - жіночий туалет; 11 - жіночий гардероб робочого і домашнього одягу; 12 - переддушова; 13 - жіноча душова

Система вентиляції сховищ повинна забезпечувати нормальну її роботу в режимі чистої вентиляції (48 годин) і в режимі фільтровентиляції (12 годин).

Сховища обладнують центральним опаленням у вигляді самостійного відгалуження від загальної опалювальної мережі об'єкту або будинків і споруд.

Для забезпечення водою сховище обладнується підключеним до зовнішньої водогінної мережі. На вході водогінної мережі встановлюється засувна арматура. На випадок виходу з ладу зовнішніх водогінних мереж передбачаються ємності для аварійного запасу води.

Електрозабезпечення сховища здійснюється від зовнішньої мережі міста або суб'єкта господарської діяльності. В сховищах великої місткості або на групу близько розташованих сховищ робиться захисна дизельна електростанція на випадок виходу з ладу зовнішнього джерела електрозабезпечення, також їх оснащують телефонним зв'язком, радіо- та телетрансляційною точкою.

Для будівництва сховищ, які швидко зводяться, можуть бути використані серійні елементи промислового і цивільного будівництва, інші конструкції, а також спеціальні залізобетонні елементи і лісоматеріали.

Сховища, які швидко зводяться, оснащуються найпростішими засобами забезпечення повітрям, водою, каналізацією, освітленням і зв'язком.

Під сховища можуть бути пристосовані:

- підвальні поверхи виробничих, допоміжних і адміністративно-побутових будинків і споруд;
- окремо розташовані заглиблені споруди виробничого, господарського і побутового призначення;
- пішохідні тунелі, вентиляційні галереї і тунелі, пустоти в великих фундаментах та інші;
- підвали в жилих будинках.

Сховища, що обладнуються в пристосованих приміщеннях існуючих будинків і споруд, повинні максимально задовольняти вимогам сховищ, що спеціально будуються. Ці сховища можуть бути побудовані з використанням посилених конструкцій із довговічних матеріалів (метал, залізобетон, цегли, каменю) або із дерева.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При проектуванні БЦВ доцільно використовувати підхід, який дозволяє забезпечити їх представлення у вигляді складної технічної системи. Важливу роль при проектуванні займає прогнозування, яке дозволяє сформулювати технічне завдання.

При розробці компоувальних схем верстатів необхідно врахувати який метод формоутворення буде реалізований, та які вузли при цьому будуть задіяні.

В роботі приведені класифікації багатоцільових верстатів за типом базового верстату та ступенем їх поширеності.

Визначено, що для багатоцільових верстатів характерна висока концентрація операцій, вони оснащуються системою ЧПК та містять інструментальні магазини. Верстати можуть оснащуватись спеціальним поворотним столом або ділильним пристосуванням.

В роботі здійснено аналіз моделей БЦВ, що серійно випускаються, приведено аналіз їх технологічних особливостей та побудовані відповідні компоувальні схеми.

В дослідно-проектному розділі проведені технологічні розрахунки по обробці деталі «Кронштейн спеціальний ВБУ 211223» на верстаті моделі IP320ПМФ4. Розраховані режими різання по найбільш важким режимам роботи. Розраховано величину ефективної потужності різання, вона становить 7,01 кВт.

Проведено аналіз формоутворюючих рухів, які необхідно забезпечити для обробки деталі «Кронштейн спеціальний ВБУ 211223» на БЦВ.

Здійснено розрахунок приводу головного руху, розроблено його кінематичну схему. На основі отриманих даних здійснено геометричний розрахунок зубчастих коліс.

В науково-дослідній частині здійснено конструкторсько-технологічний аналіз розвитку багатоцільових верстатів. Для аналізу обрані такі параметри, як довжина та ширина робочого столу, мінімальна та максимальна відстань від робочої поверхні столу до торця шпинделя, кількість інструментів, які можуть використовуватись на БЦВ.

Проведений аналіз показав, що оптимальними є компоновання БЦВ в яких реалізована горизонтальна схема розміщення шпиндельного вузла, вони оснащуються хрестовим столом, також для обробки може застосовуватись інструментальний магазин, з кількістю позицій від 30 до 60.

Здійснені теоретичні дослідження, які передбачали формулювання умов обмежень вибору компоновань БЦВ. Вибрано оптимальне компоновання верстату, яке задовольняє ці умови, а саме *XOYZ*.

Також в даному розділі проведені критеріальні дослідження компоновань БЦВ, для цього було використано критерії жорсткості та компактності. Запропоновано альтернативні критерії, які дозволяють врахувати особливості робочої зони верстату.

Також в роботі знайшли висвітлення питання стосовно нормування параметрів мікроклімату на виробництві та особливостям організації сховищ.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бочков В. М., Сілін Р. І. Обладнання автоматизованого виробництва. Навчальний посібник / За ред. Сіліна Р. І. – Львів: Видавництво Державного університету “Львівська політехніка”, 2000. – 380с.
2. Крижанівський В. А., Кузнецов Ю. М., Валявський І. А., Скляр Р. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. Під ред. Ю. М. Кузнецова. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
3. Павленко І. І., Мажара В. А. Роботизовані технологічні комплекси. Монографія – Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД». 2019. – 382 с.
4. В. Б. Струтинський, Н. Р. Веселовська, «Окремі аспекти автоматизації гнучких виробничих систем механообробки», Вібрації в техніці та технологіях, № 1(53), с. 74 – 79, 2009.
5. Павленко І. І., Вахніченко Д. В. Аналіз робочого простору верстата з паралельною кінематикою. / Павленко І. І., Вахніченко Д. В. / Збірник наукових праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2012. – Вип.25. ч.1. - С.117-124.
6. Дмитрієв Д. О. Компонетика верстатів з механізмами паралельної структури /Д. О. Дмитрієв // Науковий журнал "Технологічні комплекси". – №3. – 2011 – С.18-30
7. Кузнецов Ю. М. Теорія технічних систем / Ю. М. Кузнецов, І. В. Луців, С. А. Дубиняк. – К. – Тернопіль, 1997. – 310 с.
8. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови створення та розвитку: навчальний посібник / Володимир Крупа. – Тернопіль : Осадца Ю. В., 2023. – 308 с.
9. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А., Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Скляр; під ред. Ю. М. Кузнецова. – К.: ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

10. Безклубенко І. С., Лесько В. І. Принципи системного підходу – як основа розробки САПР інженерних мереж. – Збірник «Містобудування і територіальне планування». – Випуск 62, ч.1, 2016р. – С. 56-58.

11. Скляр Р.А. Четвержук Т. І., Полінкевич Р.М., Редько Р. Г., Системний підхід як основа автоматизації проектування та модернізації токарного верстатного обладнання // Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали V міжнар. наук.-прак. конф., 5-7 квіт. 2021 р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г. М. – 2021. – 436с, - С. 157-159

12. Використання багатофункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів / Р. Скляр, В. Шанайда // Збірник тез доповідей XVI наукової конференції ТНТУ ім. Ів. Пулюя, 5-6 грудня 2012 року — Т. : ТНТУ, 2012 — Том II: Матеріалознавство та машинобудування. — С. 69.

13. Сукова Т. О. Підвищення ефективності автоматизованого виробництва за допомогою використання інформаційної системи прогнозування параметрів важких верстатів. Важке машинобудування. 175 Проблеми та перспективи розвитку: матеріали XIII міжнар. наук.-техн. конф. / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2015. С. 88.

14. Кріль О. С., Соколов В. І. Тривимірне моделювання металорізальних верстатів та інструментального оснащення. - Сєверодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2016. - 160 с.

15. Четвержук Т. І., Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів / Четвержук Т. І., Полінкевич Р. М., Редько Р. Г., Залета О. М., Скляр Р. А. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, - 2021. Випуск №71, С. 322-329.

16. Shynkarenko V., Kuznetsov Y. Interdisciplinary Approach to Modeling and Synthesis of difficult Technical Systems. // Journal of the Technical University of Gabrovo, Vol. 52, 2016. - P. 24-28.

17. Первинна генерація координатних кодів металорізальних верстатів [Електронний ресурс] / Ю. М.Данильченко, А. В. Кривошея, А. О. Карська, М. Г. Сторчак, С. І. Пастернак. – 2011. – Режим доступу до ресурсу:

18. Moriwaki T. Multi-functional machine tool // CIRP Annals - Manufacturing Technology, 57 (2008). – p.p. 736–749.

19. Кузнецов Ю. М., Хамуйела Жоакім А. Г., Хамуйела Т. О. Морфологічний синтез верстатів і їх механізмів: Монографія / За ред. Кузнецов Ю. М. - К.: ТОВ «Гнозис», 2012р. - 416с.

20. Кузнецов Ю.М. Багаторівневий морфологічний синтез малогабаритних фрезерних верстатів з комп'ютерним управлінням / Ю.М. Кузнецов, О.О. Степаненко, Герра Ж.А. Хамуйела // Scientific Journal Technological Complexes, №2(8), Луцьк, ЛНТУ 2013, ISSN 2304-4519. - С.19 - 26.

21. Кобельник В. Р. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів / Кобельник В. Р, Крупа В. В., Тимошенко Н. М. // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези допов. – Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.

22. Кривий, П. Д., Крупа, В. В. (2016). Геометричні та математичні моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь при точінні та розточуванні. Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки", 1(2(53)). [https://doi.org/10.26642/tn-2010-2\(53\) T.1-C.45-56](https://doi.org/10.26642/tn-2010-2(53) T.1-C.45-56)

23. Математична модель впливу стохастичності подачі на величину сили різання в імовірнісному аспекті / Володимир Крупа, Володимир Кобельник, Надія Тимошенко, Ігор Петречко // МММТЕС, 22-23 листопада 2022 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 41–42.

24. Уточнений метод апіорно-емпіричних функцій визначення закону розподілу та його характеристик на основі малої вибірки / П.Д. Кривий, Н.М. Тимошенко, В.О. Дзюра, В.Р. Кобельник // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — С. 132–133.

25. Луців І. В. Модель точності двосупортних токарних верстатів з ЧПК при дворізцевій обробці/ І. В. Луців, В. Н. Волошин, В. М. Буховець // Прогресивна техніка технологія та інженерна освіта: міжнародна науково-технічна конференція, 12-16 вересня 2018 р.: матеріали конференції. – Київ-Херсон, 2019. – С. 220-222.

26. Волошин В. Н. Векторний баланс точності двошпindelного вертикального токарного верстату з ЧПК / В. Н. Волошин, М. І. Рекис // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — Том 1. — С. 56–57. — (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).

27. Волошин В. Н. Формоутворюючі можливості п'ятикоординатного фрезерного верстату з чпк / В. Н. Волошин, В. В. Луців // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 28-29 листопада 2018 року. — Т. : ТНТУ, 2018. — Том 1. — С. 56–57. — (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).

28. Системи автоматизованого проектування верстатів. Навчальний посібник./ О. Ф. Гордєєв, П. О. Захаров. – Луцьк: ЛП, 1997, 123с.

29. Іванов В. О., Карпусь В. Є., Дегтярьов І. М. Конструкторсько-технологічний аналіз сучасних свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів / В. О. Іванов, В. Є. Карпусь, І. М. Дегтярьов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. Харків : НТУ «ХПІ», 2016. № 33 (1205). С. 95–105.

30. Зубовецька Н. Т. Аналіз використання багатоцільових верстатів з чпу на прикладі IP-500 / Н. Т. Зубовецька, Р. Г. Редько, І. В. Марчук // Наукові нотатки. - 2015. - Вип. 51. - С. 81-85. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2015_51_17.

31. www.stama.de – Компанія «Stama».

32. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний

посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

33. Расчет деталей и узлов металлорежущих станков с использованием ЭВМ/ С. А. Дубиняк, С. Г. Нагорняк, И. В. Луцив, И. Д. Дубецкий :Киев УМК ВО, 1989. – 152 с.

34. Gear Calculator / Generator [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cgtk.co.uk/metalwork/calculators/gears>.

35. Кузнецов Ю. Н. Целевые механизмы станков-автоматов и станков с ЧПУ.- К. - Тернополь: ООО "ЗМОК" - ПП "ГНОЗИС", 2001.-354 с.

36. Кулешко А. А. Особливості аналізу компонувальних схем багатоцільових верстатів / А. А. Кулешко, Р. А. Скляр // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023.– С.129.

37. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці: Навчально-методичний комплекс для підготовки спеціалістів ступеня «бакалавр» III-IV рівнів акредитації для всіх напрямків підготовки / М. М. Сакун, І. В. Москалюк, В. Ф. Нагорнюк; за редакцією Сакуна М. М. – Одеса: Видавництво , 2017. – 400 с.

38. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» / В. С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., –156 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39196>.

39. Сисоєнко Н. В., Плахута В. В., Пакушина Л. З. Цивільний захист. Навчально-методичний посібник / Н. В. Сисоєнко, В. В. Плахута, Л. З. Пакушина – Черкаси: 2012. – 308 с.

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошицях (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Збірник
тез доповідей**

**XII Міжнародної науково-практичної
конференції молодих учених та студентів
6-7 грудня 2023 року**



**УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2023**

63.	А. А. Сенюк, В. Б. Котляницький ВПЛИВ ОРІЄНТАЦІЇ ЗГОРТНИХ ВТУЛОК НА ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ КОНТАКТНИХ КРОКІВ ПРИВІДНИХ РОЛИКОВИХ ВТУЛКОВИХ ЛАНЦЮГІВ	117
64.	В. О. Яцок, А. Ю. Фараонов, В. В. Лазарюк ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КАПІЛЯРНОГО МЕТОДУ НЕРУЙНЛИВОГО КОНТРОЛЮ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ	118
65.	О. С. Кобельник, Н. Т. Войцешук, М. В. Саларчик, В. В. Кузьмук МАГНІТНО-АБРАЗИВНА ОБРОБКА, ЯК МЕТОД ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	120
66.	О. С. Кобельник, Р. Я. Лещук, М. В. Підгайний, О. С. Ласкевич РОЗРАХУНОК КОМБІНОВАНИХ ПІДШИПНИКІВ ДВОСТОРОННЬОЇ ДІЇ В ХОДОВИХ ГВИНТАХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ	121
67.	В. Б. Іванів, Н. І. Кицькай ПРОЦЕС ЗВАРЮВАННЯ НЕПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ ТРУБИ МАЛОГО ДІАМЕТРА	123
68.	Я. В. Койій, В. З. Козій, Д. Б. Магеронський ПРОЦЕС ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ГАБАРИТНИХ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ	125
69.	І. Ю. Малишкеняч, Т. Б. Рибак ПРОЦЕС ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ЗВАРНИХ ВИРОБІВ	127
70.	А. А. Кулешко, Р. А. Скітаров ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТІВ	129
71.	І. М. Козак, А. Р. Сокальський ПІДВИЩЕННЯ ЗВАРЮВАНІСТІ ВИСОКОХРОМІСТИХ СТАЛЕЙ	130

СЕКЦІЯ: СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ

1.	В. М. Лотоцька, М. В. Іванюк ПІДПРИЄМНИЦЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ	131
2.	Ю. Я. Вонк, Я. Ю. Вонк, Н. В. Губич, В. В. Іванюк АНАЛІЗ РОЛІ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕЛЕМАТИКИ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (IoT) В ТРАНСПОРТІ	134
3.	О. А. Лозоний, В. І. Табул, О. П. Цюнь ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА УКРАЇНИ	136
4.	О. П. Цюнь, О. П. Тимошів, В. В. Ковалик ОРГАНІЗАЦІЯ ЕФЕКТИВНОГО РУХУ ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ	137
5.	О. П. Цюнь, В. Л. Бордуя ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТУ	138
6.	О. П. Цюнь, Ю. В. Юркевич, І. Р. Пилип'як ТРАНСПОРТНА ПОЛІТИКА МІСТА ТЕРНОПІЛЬ	139
7.	Л. Дюбановська ЕЛЕКТРИЧНІ АВТОМОБІЛІ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ В УМОВАХ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИКЛИКІВ	140

УДК 621.91.06

А. А. Кулешко, Р. А. Склярів, к.т.н., доц.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ВЕРСТАТІВ

A Kuleshko, R. Skliarov, Ph.D., Associate Professor

FEATURES OF THE ANALYSIS OF DESIGN SCHEMES OF MULTIPURPOSE MACHINES

Виробники металорізального обладнання випускають велику кількість багатоцільових верстатів (БЦВ), які відрізняються кінематичною структурою та функціональними можливостями. Функціональні особливості верстатів визначаються складом виконавчих вузлів та їх власним розташуванням, тобто компоувальною схемою.

Багато фахівців використовують методи математичної статистики для пошуку найбільш поширених компоувальних схем БЦВ. Для цього слід зібрати інформацію про моделі, що випускаються серійно різними виробниками, описати їх певним математичним апаратом та провести обробку зібраних статистичних даних.

Використання логіко-математичного методу дозволяє на практиці проводити відбір компоувальних схем БЦВ на основі законів алгебри логіки із застосуванням структурних формул. Для математичного опису компоувальних схем слід за допомогою спеціальних символів записати послідовність розташування блоків верстату [1]. Отриманий вираз дасть нам математичну формулу компоувальної схеми, яку можна в подальшому використати для визначення раціональних компоувальних схем.

Компоувальні схеми верстатів можна обрати шляхом зіставлення запропонованих варіантів та перевірки їх на відповідність за обраними критеріями. В якості таких критеріїв можна взяти такі показники, як вартість виготовлення, зручність обслуговування, конструктивна складність, розмір робочої зони [2].

Як показали проведені дослідження, для кількісної оцінки компоувальних схем БЦВ доцільно застосувати критерії жорсткості та компактності.

Література.

1. Куликов Ю. М., Склярів Р. А. Формалізований опис шпіндельного вузла як основної компоненти багатошпіндельного токарного автомата. Надійність, інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. - Краматорськ : ДДМА, 2009. - Вип. 25. - С. 139-146.
2. Склярів Р. А. Розробка критеріальних оцінок для аналізу компоунок верстатів з паралельною кінематикою / Р. А. Склярів, В. В. Шанайда // Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. Ів. Пулюя, 18-19 травня 2016 року — Т. : ТНТУ, 2016 — С. 74. — (Машинобудування).