

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

До кваліфікаційної роботи
для освітнього ступеня «МАГІСТР»
за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

на тему:

**Синтез структурно-модульної побудови технологічного обладнання з
паралельною кінематикою**

**Synthesis of structural and modular design of technological equipment with
parallel kinematics**

Виконавець: здобувач гр. ПМ-22М-3

_____ Ярослав ПШЕНИЧНИЙ

Керівник: к.т.н., доцент

_____ Іван ВАЛЯВСЬКИЙ

Рецензент: к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

Завідувач кафедри ММР

_____ Андрій ГРЕЧКА

Кропивницький – 2023-2024

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Механіко-технологічний

Кафедра Машинобудування, мехатроніки і робототехніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової комісії _____

« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ

Пшеничному Ярославу Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Синтез структурно-модульної побудови технологічного обладнання з паралельною кінематикою

Керівник роботи Валявський Іван Анатолійович, канд. техн. наук

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 4 » 08 2023 р. № 53-13

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до роботи

3.1. Поставлена наукова задача керівником; 3.2. Аналіз компонок багатокординатного технологічного обладнання; 3.3. Вимоги до результатів досліджень;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Аналіз компонок технологічного обладнання з паралельною кінематикою

4.2. Визначення морфологічних ознак і побудова морфологічної матриці

4.3. Побудова компонок обладнання на основі морфологічної матриці

4.4. Техніко-економічні розрахунки

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

1. Синтез структурно-модульної побудови технологічного обладнання з паралельною кінематикою (1 арк.); 2. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою типу «дельта» (1 арк.); 3. Схема верстата з паралельною кінематикою типу «дельта» (1 арк.); 4. Морфологічна таблиця (1 арк.); 5. Морфологічна матриця (1 арк.); 6. Варіанти компонок верстатів з паралельною кінематикою типу «дельта» (4 арк.)

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Економічна частина	к.е.н., доц. Журило І.В.		

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних джерел	Вересень 2023	вик.
2.	Вступ, мета та задачі роботи	Вересень - жовтень 2023	вик.
3.	Розробка морфологічної матриці	Жовтень - Листопад 2023	вик.
4.	Синтез компоновок технологічного обладнання	Листопад 2023	вик.
5.	Висновки	Листопад – грудень 2023	вик.
6.	Визначення економічної ефективності	Грудень 2023	вик.
7.	Оформлення роботи	Грудень 2023 – січень 2024	вик.
			вик.

Здобувач _____ Пшеничний Я.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Валявський І.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Пшеничний Я.А. Синтез структурно-модульної побудови технологічного обладнання з паралельною кінематикою. Випускна кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр» – ЦНТУ, 2023-2024. – 63 с., 16 іл., 8 бібліогр.

В роботі розглянуто основні напрямки і тенденції розвитку технологічного обладнання з паралельною кінематикою типу «дельта», їх функціональну та структурну побудову. Запропоновано метод морфологічного аналізу для отримання нових компоновок верстатів з паралельною кінематикою.

Розглянуто узагальнену конструкцію верстата типу «дельта», та визначені основні морфологічні ознаки. Складено морфологічну таблицю ознак та запропоновано методику використання морфологічної матриці для повного перебору всіх можливих варіантів компоновок верстатів.

Виконано економічні розрахунки введення у виробництво верстатів з паралельною кінематикою.

Ключові слова: верстат, верстат-дельта, морфологічна матриця, синтез компоновок.

Annotation

Pshenychnyi Y.A. Synthesis of structural and modular design of technological equipment with parallel kinematics. Graduation qualification thesis for the educational degree "master" - Central Ukrainian National Technical University, 2023-2024. - 63 pp., 16 illustrations, 8 bibliographies.

The paper examines the main directions and trends in the development of technological equipment with parallel kinematics of the "delta" type, their functional and structural construction. A method of morphological analysis for obtaining new layouts of machines with parallel kinematics is proposed.

The generalized design of the "delta" type machine was considered, and the main morphological features were determined. A morphological table of features was compiled and a method of using the morphological matrix was proposed for a complete search of all possible variants of machine layouts.

All economic calculations of introduction into production of machines with parallel kinematics.

Keywords: machine tools, delta machine tools, morphological matrix, synthesis of layouts.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ВИБІР НАПРЯМКУ РОБОТИ	9
1.1. Основні напрямки і тенденції розвитку обладнання з паралельною кінематикою	9
1.2. Компоновки технологічного обладнання з паралельною кінематикою	12
РОЗДІЛ 2 СИНТЕЗ СТРУКТУРНОЇ ПОБУДОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ПАРАЛЕЛЬНОЮ КІНЕМАТИКОЮ	23
2.1. Функціональна структура технологічного обладнання з паралельною кінематикою	23
2.2. Структурна побудова технологічного обладнання з паралельною кінематикою	27
2.3. Морфологічний аналіз	31
РОЗДІЛ 3 СИНТЕЗ СТРУКТУРНО-МОДУЛЬНОЇ БУДОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ПАРАЛЕЛЬНОЮ КІНЕМАТИКОЮ	36
3.1. Морфологічний аналіз верстата	36
3.2 Побудова структурних схем	39
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ПОБУДОВИ ВЕРСТАТІВ З ПАРАЛЕЛЬНОЮ КІНЕМАТИКОЮ ТИПУ «ДЕЛЬТА»	54
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

ВСТУП

Актуальність теми. Досвід конструкторсько-технологічних розробок останніх років показує, що традиційні концепції, принципи та критерії вибору варіантних рішень в сучасних ринкових умовах не діють. Таким чином, перед сучасним машинобудуванням висувуються дві актуальні проблеми:

- автоматизація виробництва, включаючи створення гнучких виробничих систем, властивості якої дозволяють бути адекватним поточним умовам виробництва та забезпечити параметри функціонування виробничого процесу на заданому рівні;

- підвищення точності, продуктивності, надійності та довговічності технологічного обладнання при розширенні його функціональних можливостей.

Конкурентна боротьба за ринки збуту верстатобудівної продукції вимагає постійного удосконалення технологічного обладнання. Одним з перспективних напрямків такого удосконалення є створення технологічного обладнання з паралельною кінематикою, яке внаслідок своїх специфічних властивостей спроможне вирішити більшу кількість задач, які ставляться сучасним виробництвом:

- високий рівень гнучкості виробництва та переналагоджування технологічного обладнання при переході на іншу номенклатуру виробів;

- реалізація надвисоких швидкостей робочих, допоміжних та установчих переміщень рухомих виконавчих органів;

- модульна конструкція технологічного обладнання;

- геометрична симетрія побудови технологічного обладнання;

- замкненість кінематичних ланцюгів, які створюють жорстку конструкцію;

- висока точність позиціонування та динамічні характеристики.

У зв'язку з цим, створення та дослідження технологічного обладнання з паралельною кінематикою, що дозволить розширити функціональні

можливості, підвищити продуктивність, ефективність проектування та експлуатації, є актуальною науковою задачею.

Метою даної роботи є синтез структурно-модульної будови верстатів з паралельною кінематикою.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні **задачі**:

1. проведено морфологічний аналіз компоновок верстатів типу «дельта»;
2. розроблено морфологічну матрицю компоновок верстатів;
3. розроблені варіанти компоновок верстатів на основі морфологічної матриці.

Об'єкт дослідження – верстат з паралельною кінематикою «дельта».

Предмет дослідження – структурно-модульна будова верстатів типу «дельта».

Практичне значення – виконано морфологічний аналіз механізму «дельта».

Особистий внесок – запропоновано метод синтезу компоновок подібних механізмів за допомогою морфологічної матриці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ВИБІР НАПРЯМКУ РОБОТИ

1.1. Основні напрямки і тенденції розвитку обладнання з паралельною кінематикою

Розвиток сучасного машинобудування неможливий без пошуку нових нетрадиційних шляхів конструювання технологічного обладнання. Методики розрахунку, компоновки, виробництва обладнання існують вже давно, постійно вдосконалюються, але обладнання, створене за цими методиками не завжди спроможне задовольнити вимоги сучасного виробництва. Можливості модернізації і вдосконалення такого обладнання вже досягли своєї межі. Тому зараз виникла необхідність у нових принципах проектування, новому обладнанні, побудованому не шляхом модернізації вже існуючого, а шляхом застосування інших підходів до його проектування.

Один з таких нових нетрадиційних шляхів розвитку технологічного обладнання - використання механізмів паралельної структури [1, 3, 5, 6]. Сучасні верстати, створені на базі таких механізмів, не є доповненням чи модернізацією вже відомого металообробного обладнання, а являються результатом втілення нових нетрадиційних методів проектування технологічного обладнання.

Перші розробки технологічного обладнання з паралельною кінематикою з'явилися на початку 1990-х років. З цього часу було створено багато технологічного обладнання з використанням механізмів паралельної структури, наприклад роботизовано обробні центри, вимірювальні системи, пристрої для позиціонування, маніпулювання та орієнтації тощо.

Аналіз кількості верстатобудівних товарів на міжнародних виставках показує, що найширше представлені 5-координатні верстати з паралельною кінематикою (рис. 1.1), практично вдвічі менша кількість обладнання – трьохкоординатні (28%), 14% технологічного обладнання має

шестикоординатне переміщення і всього 6% має два або чотири координатних переміщення виконавчого органу.



Рис. 1.1. Розподіл технологічного обладнання з паралельною кінематикою за кількістю ступенів вільності

Аналіз існуючого технологічного обладнання (в тому числі й обладнання з паралельною кінематикою) визначає основні тенденції розвитку верстатобудування:

- метод послідовності обробки декількох деталей на одному робочому столі
- обробка усіх поверхонь деталей за одну її установку;
- інтеграція методів обробки з різним за фізичною природою технологічним впливом;
- побудова компактного технологічного обладнання за рахунок паралельної передачі енергетичних потоків та впровадження стрижневих просторових конструкцій рухомих вузлів з одночасним підвищенням їх жорсткості;
- модульна побудова технологічного обладнання.

Проаналізувавши характеристики технологічного обладнання, можна побачити що вони удосконалювались нерівномірно.

Виходячи з параметрів технологічного обладнання можна побачити майбутні напрямки досліджень:

- параметрів, потенціал яких ще не розкрито у повній мірі;
- розвиток загально нового методу побудови обладнання;
- розробки нових пристроїв ЧПУ, приводів, механізмів перетворення рухів;
- запровадження нетрадиційних підходів до управління технологічним обладнанням.

Порівнявши традиційне технологічне обладнання з обладнанням з паралельною кінематикою, можна зробити висновок що паралельна кінематика розширює функціональні та технологічні можливості й це у загальній ієрархічній структурі технологічного обладнання знаходяться біля гнучких виробничих систем (рис. 1.2).

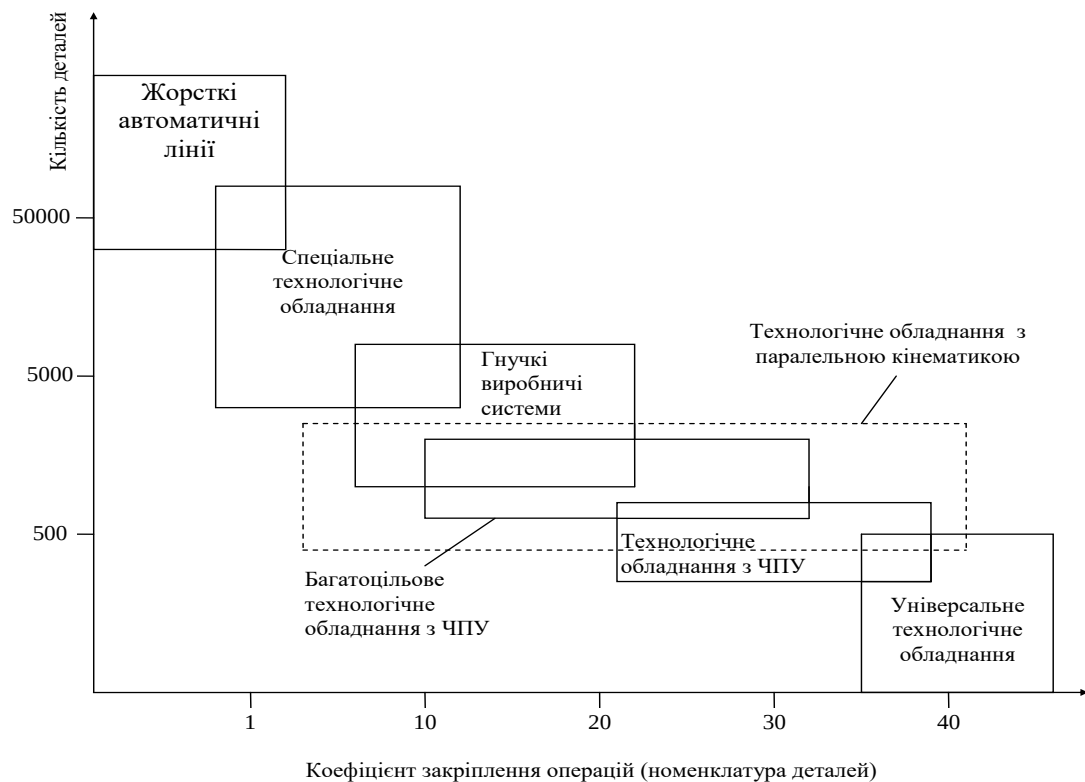


Рис. 1.2. Спеціалізація технологічного обладнання

Застосування механізмів паралельної структури дозволяє здійснити:

- інтенсифікацію режимів виконання відповідних технологічних операцій;
- компенсацію вібрацій та покращення динамічних характеристик
- підвищення жорсткості кінематичних ланок та точності позиціонування виконавчого органу;
- суміщення на одному технологічному обладнанні методів обробки з різним за фізичною природою технологічним впливом та таких, що дозволяють здійснити їх різну послідовність.

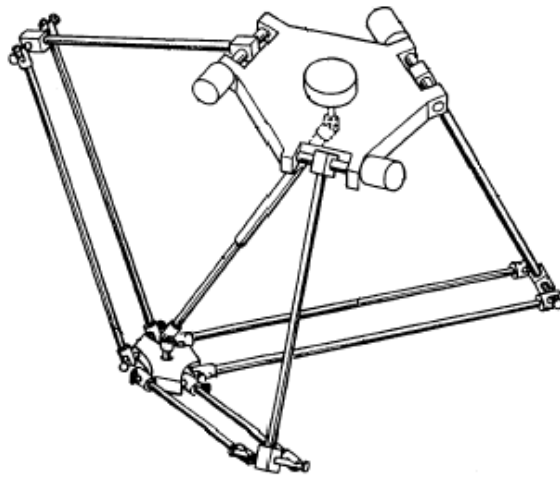
Нові методи побудови технологічного обладнання з паралельною кінематикою пропонують перехід до новітніх технологічних процесів, універсальності механічної системи обладнання та можливості отримання заданої поверхні деталі за рахунок математичного програмування рухів виконавчого органу.

1.2. Компоновки технологічного обладнання з паралельною кінематикою

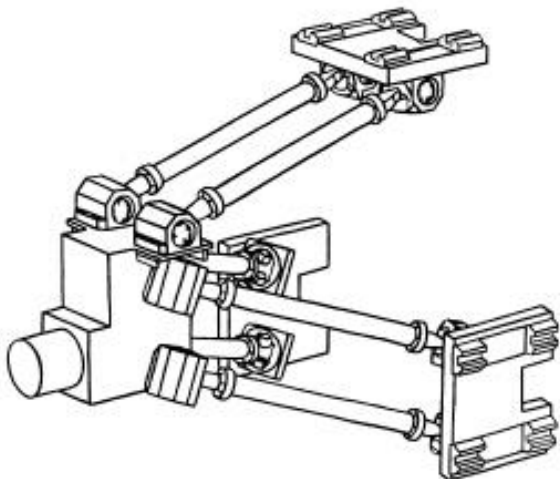
Незважаючи на те, що перші розробки обладнання з паралельною кінематикою були конструкції з кінематичними ланками змінної довжини (гексапод, трипод), найбільшу популярність отримали компоновки з ланками постійної довжини. Такі компоновки отримали назву «дельта» і з'явилися на початку 80-х років, коли професор Реймон Клавель (École Polytechnique Fédérale de Lausanne) застосував паралелограмні конструкції для побудови свого механізму (рис. 1.3, а) [1].

Кінематичні ланки механізму «дельта» виконуються у вигляді паралелограмів, що складаються з двох попарно-паралельних шарнірно з'єднаних штанг постійної довжини, один кінець яких з'єднаний з виконавчим органом, а інший – з приводом. Три таких паралелограмних кінематичних ланки забезпечують три ступені вільності виконавчому органу, високу

точність його позиціювання та жорсткість конструкції. В якості приводів застосовують поворотні пристрої (рис. 1.3, а) або лінійні двигуни (рис. 1.3, б).



а



б

Рис. 1.3. Компонівка механізму паралельної структури типу «дельта» з обертальним (а) і лінійним (б) приводом

Додаткова кінематична ланка забезпечує головних рух від двигуна, розміщеного на нерухомій несучій системі обладнання, до виконавчого органу, змонтованого на рухомій платформі. Це дає можливість зменшити рухомі маси кінематичних ланок та досягти швидкості руху виконавчого органу до 10 м/с та прискорень до 50 м/с².

Технологічне обладнання та робототехнічні системи з паралельною кінематикою типу «дельта» з приводом обертального руху (рис. 1.4, 1.5) знайшли широке використання у харчовій, фармацевтичній промисловості та приладобудуванні.

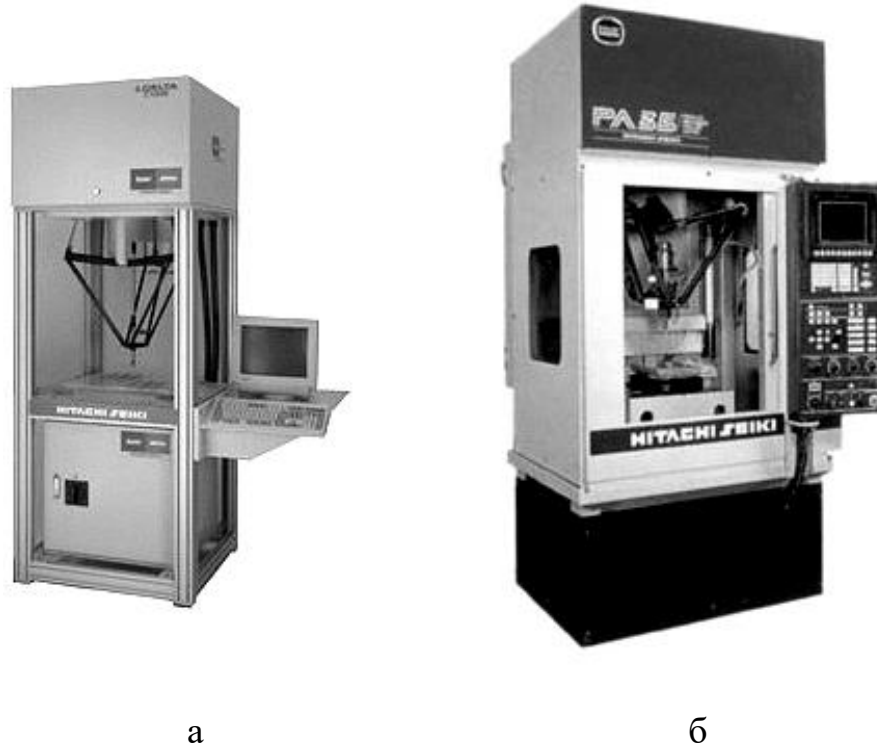


Рис. 1.4. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою типу «дельта» для складальних робіт (а) та свердління (б) фірми HITACHI SEIKI (Японія)



Рис. 1.5. Робот типу «дельта» мод. IRB 340 FLEXPICKER фірми ABB
FLEXIBLE AUTOMATION

Механізми паралельної структури «дельта» з лінійними приводами знайшли використання у верстатобудуванні.

Верстат мод. URANE SX фірми RENAULT AUTOMATION (рис. 1.6) [1] – трикоординатний верстат з рухомою піноллю, в якого швидкість переміщень виконавчого органу складає 100 м/хв, а прискорення досягає 50 м/с². Розміри робочого простору 500 × 500 × 200 мм.



Рис. 1.6. Верстат мод. URANE SX фірми RENAULT AUTOMATION

Моделювання обробки на верстаті мод. URANE SX 16 невеликих за розмірами отворів картеру коробки передач (за 5.8 с) показало, що цей час менше, ніж час обробки з використанням багатошпindelної головки (6.3 с).

Горизонтальний багатоцільовий верстат мод. QUICKSTEP HS 500 фірми KRAUSECO&MAUSER (рис. 1.7) містить шість кінематичних ланок однакової та постійної довжини, що попарно з'єднані шарнірами між собою та зі шпindelним вузлом. Робочі та установчі переміщення виконавчого органу можуть здійснюються зі швидкістю 80 м/хв та з прискореннями більше 20 м/с².

Даний верстат має робочий простір розміром $630 \times 630 \times 500$ мм, що є достатнім для обробки складних та крупних деталей (блоки циліндрів, картери коробок передач, корпуси компресорів). Дисковий інструментальний магазин з горизонтальною віссю обертання розрахований на 12 інструментів. Привод головного руху потужністю 45 кВт забезпечує частоту обертання шпинделя 15000 хв^{-1} .

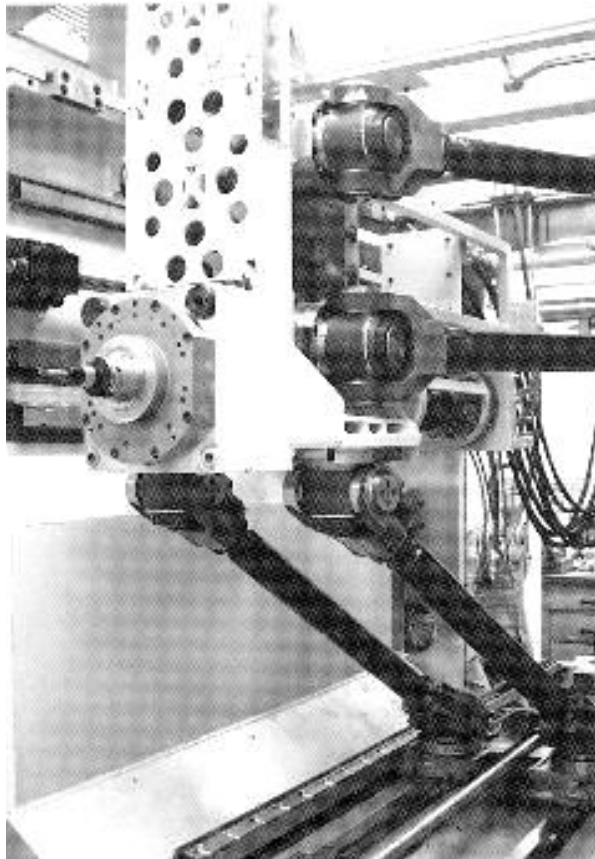


Рис. 1.7. Верстат мод. QUICKSTEP HS 500 фірми KRAUSECO&MAUSER

Однією з особливостей верстата є його невелика ширина (1600 мм) при значній довжині (6300 мм), що дозволяє вбудовувати верстат у гнучкі автоматичні лінії та гнучкі виробничі системи.

На початку 1998 р. фірма REICHENBACHER (Німеччина) розпочала роботу по проектуванню нового технологічного обладнання для деревообробки, а у 2000 році запропонувала свою розробку – верстат з паралельною кінематикою мод. PEGASUS (рис. 1.8), побудований за схемою «дельта» з лінійними двигунами.



Рис. 1.8. Верстат для деревообробки мод. PEGASUS фірми REICHENBACHER (Німеччина)

Несуча система верстата вагою 26 т виготовлена з матеріалу з високими демпфуючими властивостями та стійкого до високої температури. Шість штанг постійної довжини виготовлені з вуглецевого волокна, укріпленого пластмасою (CFK). Теплове розширення матеріалу CFK приблизно у 60 разів менше сталі та має таку саму жорсткість, як і сталь. Ці особливості дозволяють забезпечити високі механічні та динамічні характеристики. Швидкість переміщення робочого органу досягає 120 м/хв, а прискорення 10 м/с². Шпиндель має частоту обертання 40000 хв⁻¹. Розміри робочого простору 5000 × 1400 × 200 мм та можуть бути збільшені на невелику величину, а можливість збільшення довжини робочого простору необмежена.

Серед переваг верстату можна виділити:

- порівняно мала вага рухомих елементів;
- можливі надзвичайно високі швидкості подачі та прискорення;
- вільний доступ до столу верстата з 3-х сторін;

- теоретично дуже висока точність позиціонування з допусками в мікрометровому діапазоні;
- порівняно невелика кількість деталей, що обумовлює низьку схильність до дефектів;
- теоретично дуже великий робочий діапазон рухів. Зокрема, діапазон переміщення по осі Z може бути дуже великим у порівнянні зі звичайними верстатами;
- базова конструкція може бути використана в широкому діапазоні сфер застосування, наприклад, обробка заготовок, пакування тощо. Необхідно лише замінити інструмент на прототип.

Також можна вказати недоліки:

- на сьогоднішній день немає задовільного гасіння вібрації та коливань;
- економічне виробництво поки що неможливе, оскільки на сьогоднішній день немає досвіду серійного виробництва;
- системи, створені на сьогоднішній день, мають порівняно великі просторові вимоги;
- робочий простір не прямокутний, тому велика частина фактичного робочого простору не може бути використана для більшості застосувань.

Задача збільшення довжини робочого простору подібним чином вирішується й у верстатах мод. HEXAGLIDE фірми ETH (Німеччина) та мод. TRIAGLIDE та LINAPOD фірми ISW (Німеччина) (рис. 1.9-1.12).

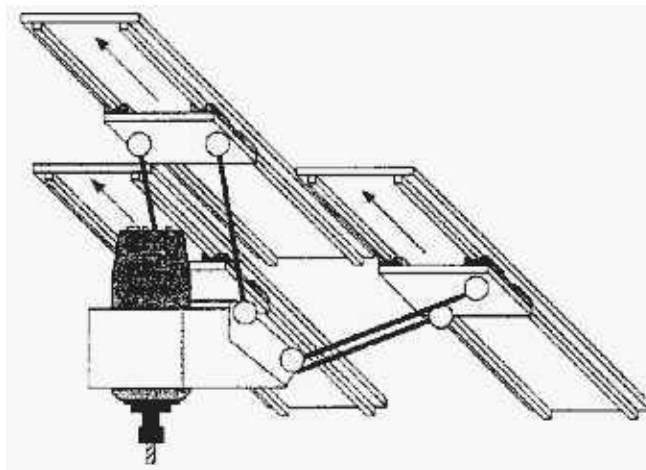
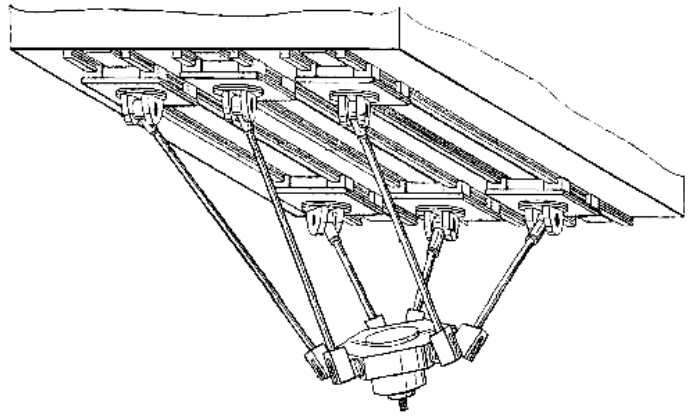


Рис. 1.9. Верстат мод. TRIAGLIDE фірми ISW (Німеччина)



а



б

Рис. 1.10. Верстат мод. HEXAGLIDE фірми ETH (Німеччина): а – зовнішній вигляд; б – схема верстата

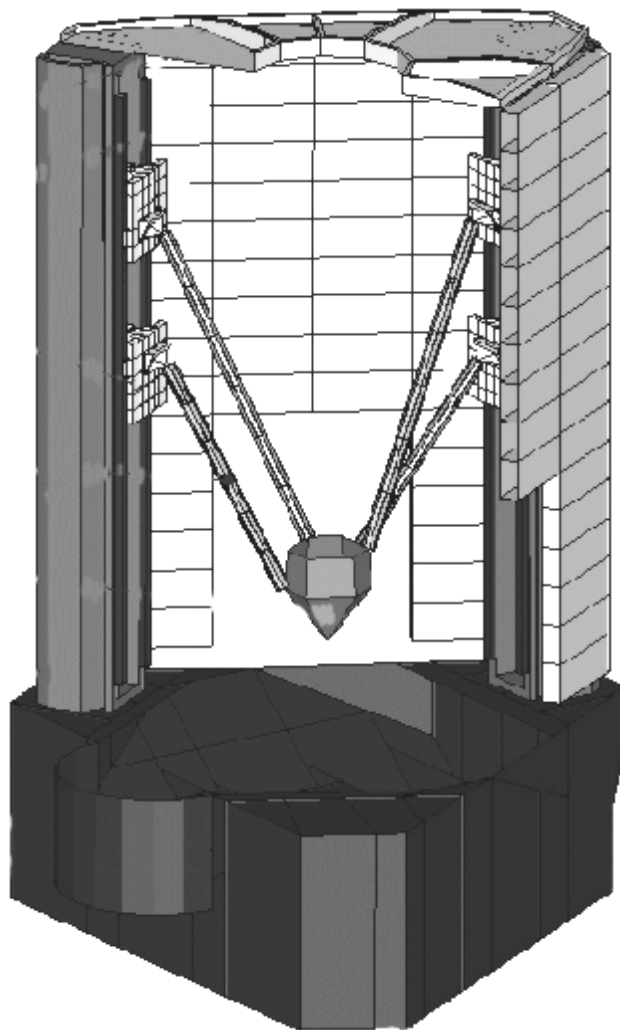


Рис. 1.11. Верстат мод. LINAPOD фірми ISW (Німеччина)

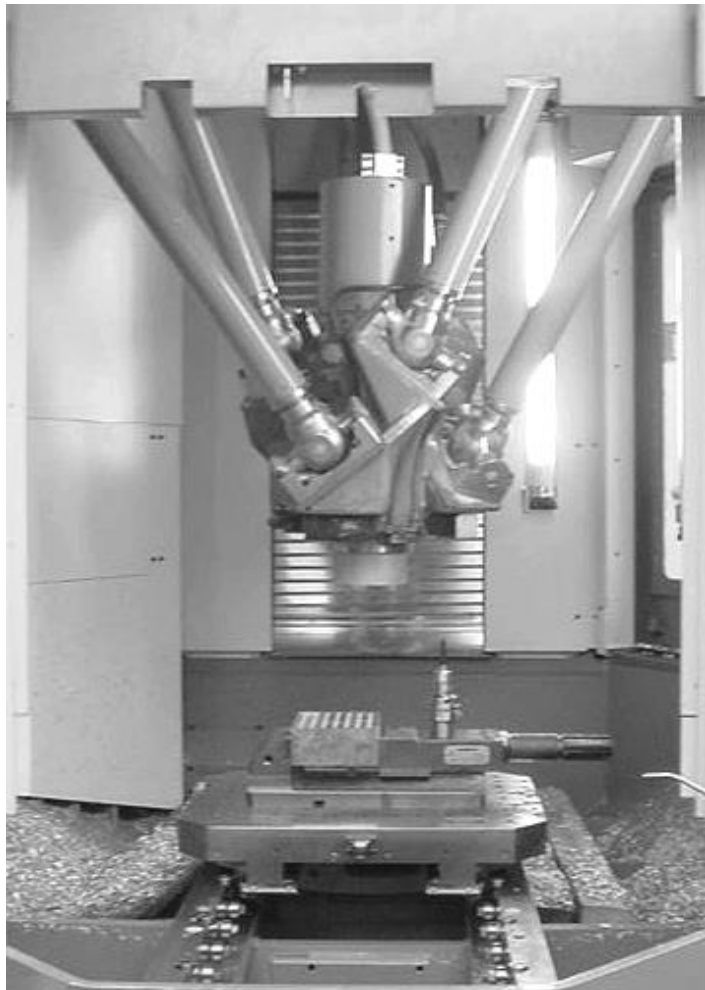


Рис. 1.12. Виконавчий орган верстата мод. LINAPOD

Фрезерна головка мод. SPRINT Z3 фірми DS TECHNOLOGIE (Німеччина) (рис. 1.13) забезпечує 3-координатний рух виконавчого органу та побудована за принципом трипода [1], що дає можливість обробки складних поверхонь. Вмонтований мотор-шпиндель за допомогою трьох штанг постійної довжини має можливість переміщення у просторовому конусі з кутом 80° .

В циліндричному корпусі головки під кутом 120° розташовані три лінійні напрямні. Вздовж них переміщуються три рухомі штанги, шарнірно з'єднані з мотор-шпинделем. Переміщення штанг відбувається за допомогою лінійних приводів. Максимальна швидкість переміщення виконавчого органу 50 м/хв. Частота обертання шпинделя до 24000 хв^{-1} забезпечується приводом потужністю 72 кВт, а його переміщення вздовж осі Z (у горизонтальному

положенні 670 мм) при встановленні під кутом 40° додатково збільшується на 350 мм.

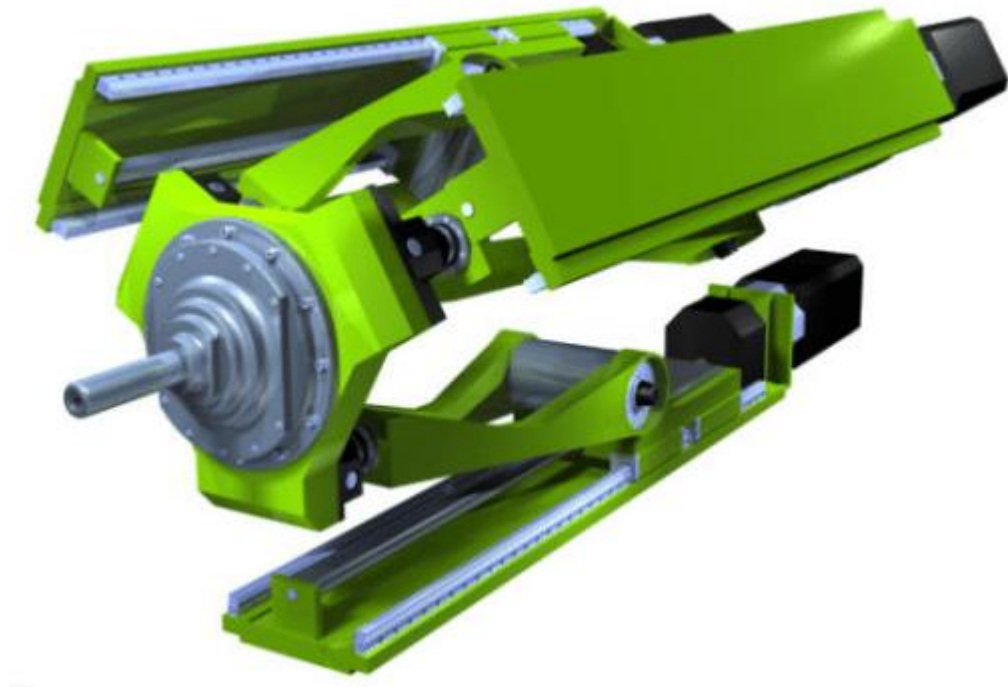


Рис. 1.13. Фрезерна головка мод. SPRINT Z3 фірми DS TECHNOLOGIE

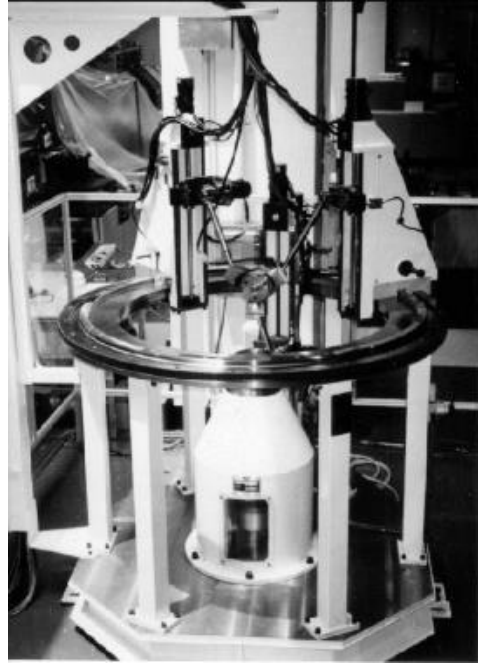
Концепцію багатоцільового верстата з паралельною кінематикою (рис. 1.14), призначеного для фрезерування та точіння, запропонувала південно-корейська фірма SENA TECHNOLOGIES.

Верстат мод. ECLIPSE (рис. 1.14, б) має вертикальну компоновку з трьома кінематичними ланками 2 постійної довжини, один кінець яких з'єднаний з шпиндельною головкою 1, а інший може переміщатися вздовж вертикально розташованих лінійних напрямних 3, які, в свою чергу, рухаються по круговій траєкторії 4 відносно робочого столу 5.

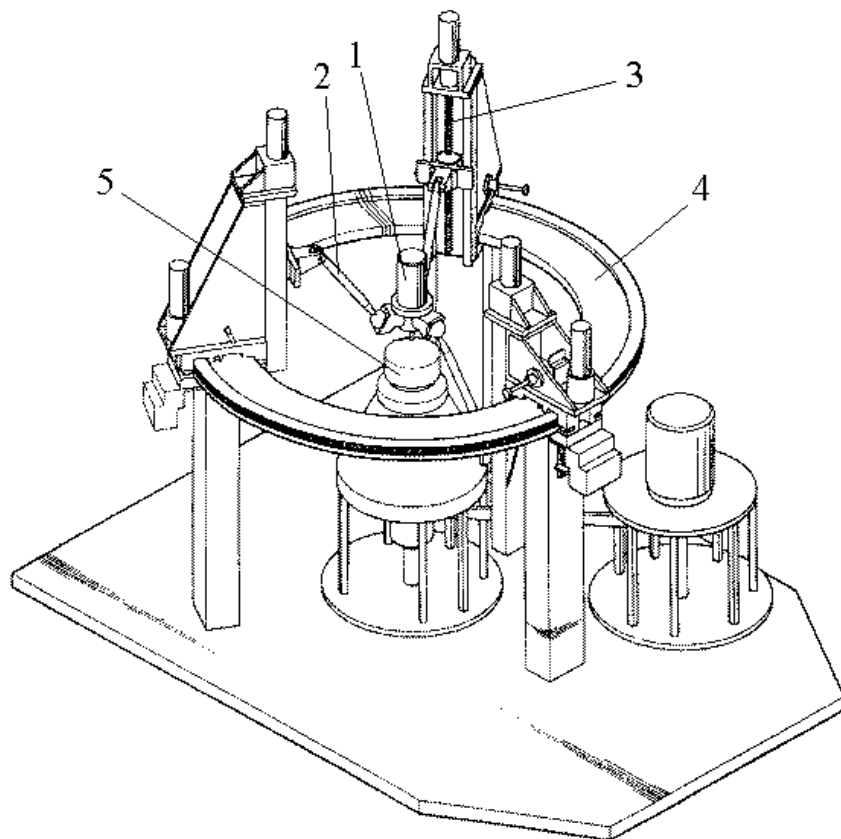
Така компоновка дозволяє забезпечити нахил шпинделя майже до горизонтального положення та виконувати обробку з управлінням по п'яти координатним осям.

Робочий стіл за допомогою приводу потужністю 15 кВт може обертатися з частотою 3000 хв^{-1} , тому на ньому можна виконувати операції фрезерування та точіння з точністю до 0,05 мм. Потужність фрезерного

шпинделя складає 2.2 кВт, а частота його обертання може регулюватися у діапазоні 20000-40000 хв⁻¹.



а



б

Рис. 1.14. Верстат мод. ECLIPSE фірми SENA TECHNOLOGIES:

а – загальний вигляд; б – схема

РОЗДІЛ 2

СИНТЕЗ СТРУКТУРНОЇ ПОБУДОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ПАРАЛЕЛЬНОЮ КІНЕМАТИКОЮ

2.1. Функціональна структура технологічного обладнання з паралельною кінематикою

Задачею технологічного обладнання є виготовлення деталі необхідної якості з заданою продуктивністю, воно розрізняється за функціональним і технологічним призначенням, рівнем автоматизації, кінематичними структурами та компоновками, системами управління, габаритними розмірами та відповідним інструментом. Як і кожна технічна система, технологічне обладнання складається з визначених основних компонентів, кожний з яких виконує певну функцію, а сукупність функціональних елементів технологічної системи (заготовка, затискний пристрій, інструмент, деталі, вузли і відповідні системи) та зв'язки між ними утворюють функціональну структуру технологічного обладнання.

Функціональна структура технологічного обладнання дозволяє чітко виділити кожний його функціональний компонент, показати їх зв'язки, визначити їх функціональне та технологічне призначення, а також особливості проектування кожного компонента залежно від функцій, для виконання яких він призначений.

Повний комплекс функціональних елементів, реалізований у вигляді окремих вузлів, модулів, систем та деталей утворює елементну базу для проектування та виробництва технологічного обладнання, призначеного для обробки деталей визначеної номенклатури.

Функціональна структура технологічного обладнання з паралельною кінематикою також визначає необхідний комплекс уніфікованих елементів, що підлягають проектуванню. Структура технологічного обладнання з паралельною кінематикою, конструктивне виконання його компонентів, їх

розміри та компоновочна схема, потужність приводів головного руху, робочих, додаткових та установчих переміщень виконавчого органу залежать від конструкторсько-технологічних параметрів деталей визначеної номенклатури.

Можна виділити три основні системи технологічного обладнання з паралельною кінематикою [1]:

- виконавчу;
- інформаційну;
- систему управління.

Виконавча система є основним елементом технологічного обладнання з паралельною кінематикою. Її функціональне призначення – забезпечення необхідних рухів інструмента відповідно до заданого режиму обробки (швидкість виконання режимів процесу, відповідні переміщення інструменту згідно заданої траєкторії з необхідною швидкістю та прискоренням).

Виконавча система складається з приводу головного руху та відповідного механізму паралельної структури, який є приводом подач. Привод головного руху може виконуватися як мотор-шпиндель.

Механізм паралельної структури здійснює задані рухи інструментів за відповідною траєкторією у просторі. Виконавча система може виконуватись у сукупності з модулем напрямних або без них.

Функціональна структура технологічного обладнання з паралельною кінематикою наведена на рис. 2.1.

Відповідні інструменти закріплюють на шпинделі виконавчого органу, для чого він повинен мати спеціальні приєднувальні поверхні, або за допомогою швидкозмінних патронів, оправок тощо.

З метою реалізації автоматичної зміни інструменту необхідно передбачити відповідний функціональний компонент обладнання.

Заготовка орієнтується відносно системи координат верстату та базується у робочій зоні за допомогою затискних пристроїв, які можуть бути

встановлені безпосередньо на нерухому стаціонарному блоці або на його рухомому елементі (якщо необхідно здійснити додаткові рухи заготовки).

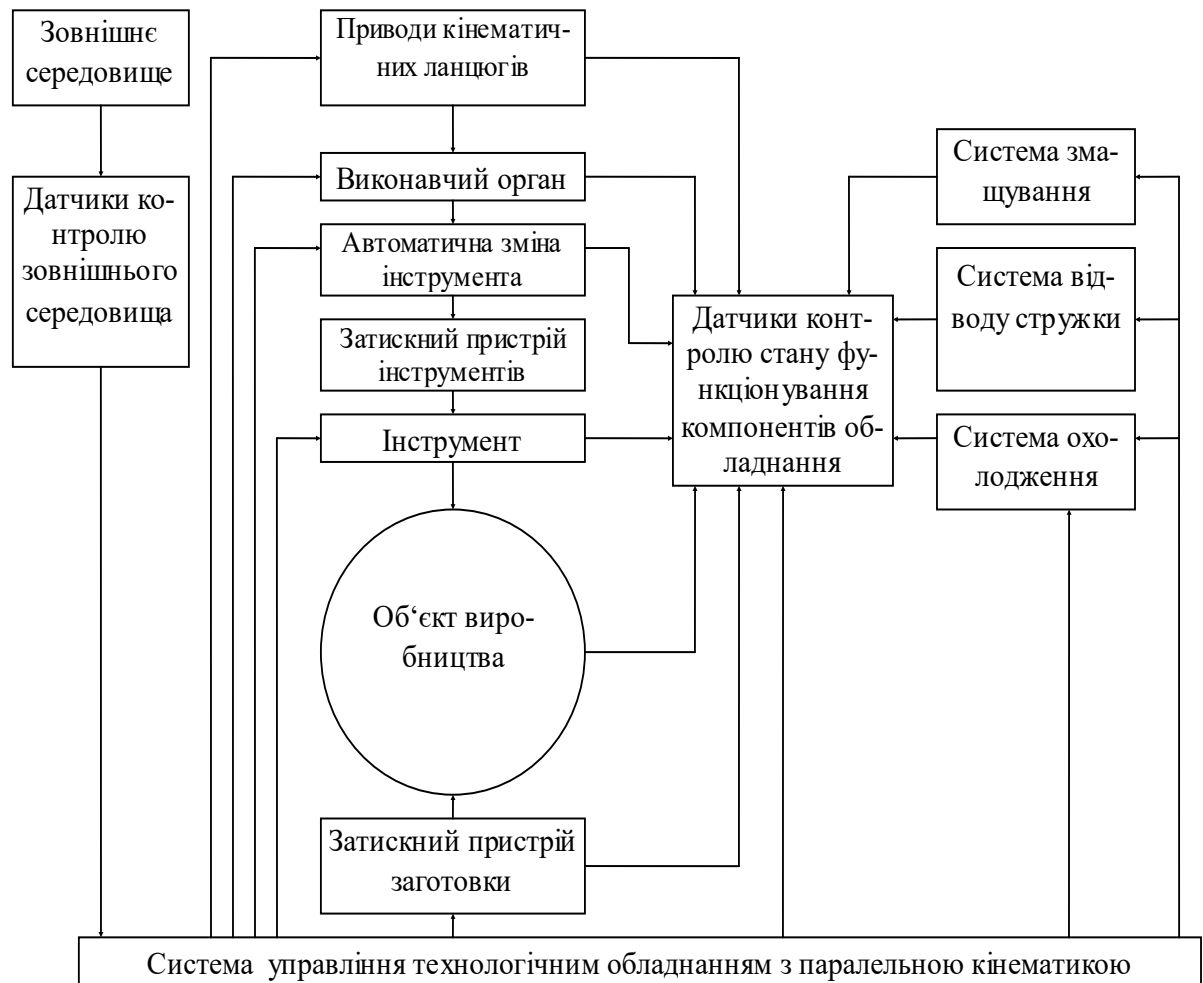


Рис. 2.1. Функціональна структура технологічного обладнання з паралельною кінематикою

Конструкція затискного пристрою визначається параметрами заготовок та вимогами до їх обробки.

В структурі технологічного обладнання наявний ще один функціональний елемент – привод пристосування (пневмо-, гідро- або електромеханічний), використання якого залежить від рівня автоматизації обладнання.

Оптимальне функціонування технологічного обладнання з паралельною кінематикою неможливе без систематичного контролю основних параметрів

функціонування відповідного процесу обробки та поточного стану основних його компонентів.

Основними задачами контрольно-вимірювальної (інформаційної) системи є:

- забезпечення якості обробки;
- діагностика поточного стану основних елементів технологічного обладнання, інструменту та технологічного оснащення;
- передача інформації в систему управління з метою впливу на функціонування процесу обробки.

Також необхідно систематично порівнювати реальне поточне положення інструменту з заданою точкою траєкторії руху виконавчого органу, що обумовлює застосування датчиків зворотного зв'язку. Задача контролю робочого процесу реалізується окремим функціональним елементом.

Один з основних функціональних елементів – система управління – забезпечує функціонування в автоматичному режимі всіх елементів функціональної структури технологічного обладнання з паралельною кінематикою.

Технологічне обладнання має також допоміжні системи, до яких відносяться:

- централізована система змащування рухомих з'єднань, яка складається з насосної станції з маслобаком, трубопроводів для циркуляції мастила, пристроїв регулювання та контролю подачі мастильного матеріалу;
- система охолодження робочої зони, що забезпечує подачу змащувально-охолоджувальної рідини до різальних інструментів та її повернення у резервуар для очищення;
- система виведення стружки з зони різання, яка складається з уніфікованих вузлів та механізмів (механічних та пневматичних).

Одним з найбільших відповідальних функціональних елементів технологічного обладнання є нерухомий стаціонарний блок – несуча система, яка з'єднує окремі компоненти в єдиний комплекс та забезпечує їх незмінне

положення в його координатній системі. Складовими елементами несучої системи є уніфіковані станини, стінки, кронштейни, тощо.

Таким чином, функціональна структура технологічного обладнання з паралельною кінематикою за побудовою є аналогічною традиційному технологічному обладнанню.

2.2. Структурна побудова технологічного обладнання з паралельною кінематикою

Кінематичні ланки механізмів паралельної структури, як правило, виконані у вигляді стрижнів, які утворюють замкнену просторову стрижневу ферму досить жорсткої конструкції. Такі кінематичні ланки працюють тільки на розтягування та стискання (тобто напруження згину у них відсутні) [1, 6].

Інтенсивний розвиток механізмів паралельної структури та їх впровадження у виробництво обумовив значну кількість їх компоновок, які відрізняються структурними та кінематичними схемами, ступенями вільності, методами перетворення рухів відповідних виконавчих органів, компоновками та конструктивним виконанням основних елементів, а також кількістю рухомих кінематичних ланок.

З метою підвищення ефективності конструювання механізмів, їх зображають у вигляді спрощених моделей, які мають назву структурні, кінематичні або динамічні залежно від мети їх аналізу.

Первинними структурними одиницями кінематичних схем є ланки, а їх з'єднання – кінематичними парами. Сукупність декількох кінематичних пар створюють механізми з рухомими або нерухомими з'єднаннями.

Відносно переміщення приводних кінематичних ланок здійснюється за допомогою індивідуального привода. Усі існуючі механізми технологічного обладнання побудовані шляхом послідовного або паралельного з'єднання кінематичних ланок.

У порівнянні з послідовним з'єднанням двох та більше приводних пар кінематичних схем паралельного з'єднання може бути побудовано більша кількість, тому у даній роботі буде розглянуто метод систематизації і синтезу нових компоновок технологічного обладнання з паралельною кінематикою за допомогою морфологічного аналізу.

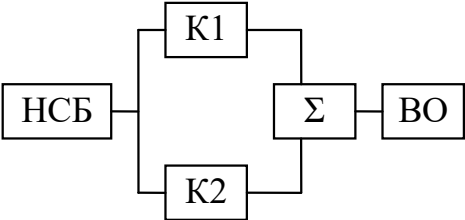
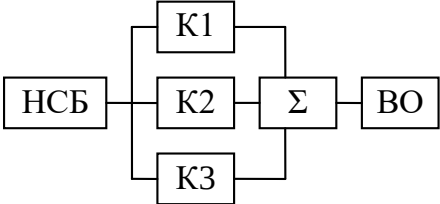
Загальний принцип побудови механізмів паралельної структури полягає у тому, що виконавчий орган (ВО) технологічного обладнання шарнірно зв'язаний з її нерухомим стаціонарним блоком (НСБ) визначеною кількістю кінематичних ланок ($K_1, K_2 \dots K_6$).

Рухи виконавчого органу при паралельному з'єднанні кінематичних ланок підсумовуються аналогічно застосуванню диференціального механізму, тому у структурних схемах будь-якого механізму паралельної структури повинен бути підсумовуючий елемент Σ .

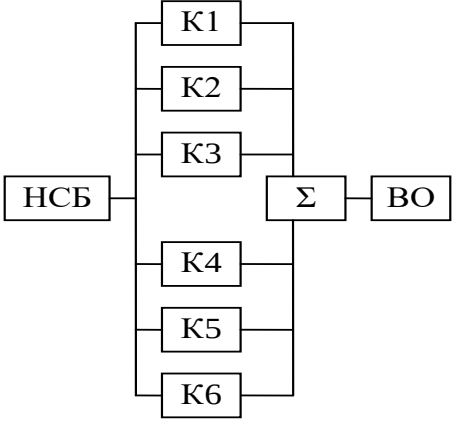
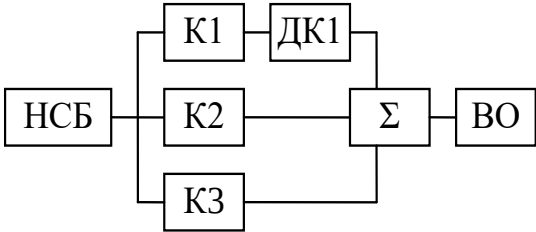
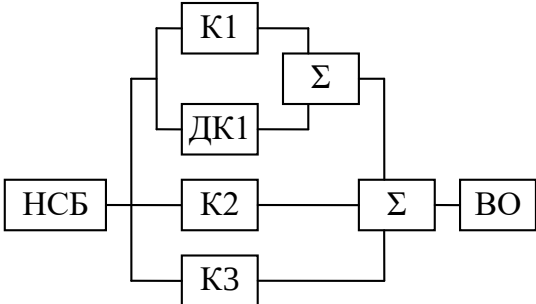
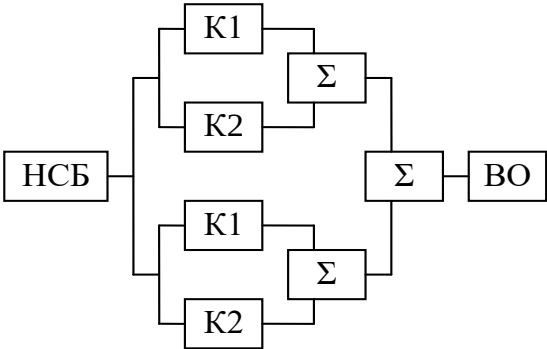
Структурні схеми багатокоординатних механізмів паралельної структури наведені у табл. 2.1 [1].

Таблиця 2.1

Структурні схеми механізмів паралельної структури

№	Кількість координат	Вид з'єднання	Структурна схема
1	2	3	4
1	Дві	Паралельне	
2	Три	Паралельне	

Продовження табл.2.1

1	2	3	4
3	Шість	Паралельне	
4	Чотири	Послідовне з'єднання додаткової кінематичної ланки	
5	Чотири	Паралельне з'єднання додаткової кінематичної ланки	
6	Чотири	Паралельне з'єднання двох двох-координатних механізмів	

Продовження табл.2.1

1	2	3	4
7	Чотири	Послідовне з'єднання двох двох-координатних механізмів	
8	П'ять	Послідовне з'єднання двох додаткових кінематичних ланок	
9	П'ять	Паралельне з'єднання двох додаткових кінематичних ланок	

В наведених структурних схемах прийняті наступні позначення: НСБ – нерухомий стаціонарний блок відповідного механізму; K1...K6 – основні кінематичні ланки; ДК1, ДК2 – додаткові кінематичні ланки; Σ – підсумовуючий механізм; ВО – виконавчий орган.

З таблиці можна побачити, що складні механізми можна отримати шляхом поєднання більш простих. Так, наприклад, чотирьох- та п'ятикоординатні механізми паралельної структури можуть бути створені шляхом поєднання трьохкоординатного механізму паралельної структури з

додатковими кінематичними ланками (ДК), кількість яких залежить від заданої кількості ступенів вільності механізму або числу координатних переміщень його виконавчого органу. Таке з'єднання може бути послідовним або паралельним та принципово має наступні вірогідні варіанти (поз. 4, 5; табл. 2.1.), де передбачено приєднання додаткової кінематичної ланки до однієї з основних.

Для побудови чотирьохкоординатного механізму можна з'єднати (паралельно або послідовно) два двохкоординатних механізми (поз. 6, 7; табл. 2.1).

Аналогічно створюються п'ятикоординатні механізми паралельної структури (поз. 8, 9; табл. 2.1).

Таким чином, шляхом поєднання двох-, трьох- або шестикоординатних механізмів можна побудувати механізм паралельної структури з будь-якою кількістю ступенів вільності виконавчого органу.

Як можна побачити, наведені принципи побудови механізмів паралельної структури дозволяють створити технологічне обладнання з паралельною кінематикою, у якому заготовка та інструмент будуть мати задану кількість ступенів вільності залежно від технологічних задач, які на ньому вирішуються.

2.3. Морфологічний аналіз

Метод морфологічного аналізу спрямований на послідовний перебір усіх можливих варіантів рішення і є яскравим прикладом системного підходу до рішення творчих задач [2]. Мета методу – системно досліджувати усі можливі варіанти рішення задач, які витікають із закономірностей будови (морфології) удосконалюваного об'єкту (технологічної системи), таким чином, врахувати, крім відомих, незвичайні варіанти, які при простому переборі могли бути знехтувані.

Суть методу полягає в тому, що в удосконалюваній технічній системі виділяють декілька характерних для неї структурних, морфологічних ознак, по кожній з яких складають максимально повний перелік різних конкретних варіантів (альтернатив) конструктивного виконання. Таким чином, кожна ознака може характеризувати якийсь конструктивний вузол (елемент структури) технічної системи, якусь функцію (або зв'язок між елементами), якийсь режим роботи (або стану) технічної системи, якусь форму взаємодії вузлів (елементів), тобто параметри, характеристики, від яких залежить вирішення проблеми і досягнення основної мети.

Ознаки записують в таблицю, яка зветься морфологічною таблицею (матрицею), що дозволяє краще уявити межі пошуку. Матриці можуть бути записані у буквеному або цифровому вигляді по рядках або по стовпчиках.

Перевага методу – його багатоваріантність. Метод дозволяє систематично аналізувати всі можливі комбінації морфологічних ознак. При цьому на відміну від простого перебору виключається пропущення якихось варіантів, що дозволяє подолати інерцію мислення фахівців, знайти оригінальні рішення на неосяжній в розумінні повного перебору множині.

Серед недоліків методу можна виділити те, що поряд з реально можливими комбінаціями варіантів характеристик морфологічна матриця має велику кількість несумісних варіантів. Таким чином, треба перебрати всі варіанти і проаналізувати їх з точки зору «можливості існування».

Зараз для вирішення задачі перебирання і аналізу варіантів доцільно використовувати комп'ютер. Але на сьогодні ще не існує дійсно практичного і універсального методу оцінки ефективності застосування того чи іншого варіанту, який дозволяє, виходячи тільки з теоретичних міркувань, обирати оптимальну комбінацію елементів для кожної проектованої технічної системи.

Область застосування методу - рішення технічних задач, які відносяться до об'єкту (технічної системи) в цілому при наявності повної інформації про об'єкт (технічну систему) і направлені на удосконалення об'єкту (технічної системи). Застосування методу вимагає систематизованого логічного

мислення. Найбільш доцільна область використання методу - рішення конструкторських задач загального плану (проектування машин, їх вузлів, механізмів, технологічного оснащення, інструменту, пошук технологічних принципів, компоновок, схем, способів формоутворення, тощо).

Метод можна використовувати при прогнозуванні розвитку технічних систем, при визначенні можливості патентування в тому чи іншому абстрактному вигляді комбінацій основних параметрів з метою «заблокувати» можливі майбутні винаходи.

Є п'ять послідовних етапів морфологічного аналізу [2].

1. Точне формулювання задачі (проблеми), яка відображає основну вимогу до об'єкту.

2. розподіл об'єкту на функціональні елементи (ознаки) і складання списку усіх морфологічних ознак і вимог до них, тобто усіх важливих характеристик об'єкту, його параметрів, від яких залежать рішення проблеми і досягнення основної мети.

3. Незалежний розгляд усіх елементів (ознак) і вибір для кожного повного набору різних варіантів реалізації, тобто складання усіх можливих варіантів за кожною характеристикою і побудова морфологічної таблиці (матриці).

4. Аналіз функціональної цінності рішень, які визначаються з матриці визначенням цінності усіх одержаних варіантів, тобто синтез варіантів об'єкту.

5. Вибір раціональних варіантів конкретних рішень, тобто вибір кращих сполучень згідно заданого критерію.

Розглянемо особливості виконання кожного етапу.

Етап 1. Формулювання задачі. Метод потребує точного формулювання. Проте цю вимогу нелегко виконати. Часто початкове формулювання задачі не містить прямої вказівки про потребу вести конструкторський пошук її компоновання. Пряме розуміння задачі буває захищене за багатослівністю її викладення або за невдало обраною термінологією.

При аналізі початкового формулювання задачі вияснюють, що повинно бути удосконалено, доопрацьовано - спосіб або пристрій. Далі необхідно змінити назви елементів об'єкту термінами, які відбивають їх функціональне призначення. Потім розглядають вимоги, які висуваються до результату рішення задачі, виділяють головну (головні) і пов'язують її з тими елементами об'єкту, які повинні забезпечити його виконання. Після чого уточнюють формулювання задачі.

Етап 2. Розподіл об'єкту на морфологічні ознаки. Точне формулювання задачі дозволяє виділити характеристики об'єкту, від яких в основному залежить виконання заданих вимог. В загальному випадку для конструкцій в якості морфологічних ознак можуть бути обрані функціонально важливі елементи (деталі, вузли, прилади тощо), взаємний зв'язок між елементами або взаємне розташування елементів.

Необхідність відокремлення функціонально важливих елементів викликана вимогою не створювати в морфологічній таблиці великого обсягу несуттєвої інформації, яка перешкоджає вибору корисної. При пошуку варіантів конструктивних схем варіюють елементами структури і зв'язками між ними.

Етап 3. Складання морфологічної матриці. Основна вимога до цього етапу - недопустимість критичної оцінки по відношенню до сформульованих варіантів характеристик об'єкту. Таку критичну оцінку здійснюють на наступному етапі стосовно до одного або декількох варіантів у цілому. При цьому не враховують взаємозв'язки між різними варіантами інших характеристик. Щоб підвищити вірогідність внесених в морфологічну матрицю нових, оригінальних варіантів об'єкту, необхідно використовувати інформацію, яка відноситься не тільки до даного об'єкту або класу об'єктів, ефективним є функціональний підхід, який дозволяє використовувати інформацію з інших галузей техніки. При цьому спочатку складають загальний перелік варіантів розглядуваної характеристики, потім групують їх за принципом близьких властивостей, з кожної групи варіантів

відокремлюють найбільш важливі. Скорочений перелік включають в морфологічну таблицю. Ця процедура скорочує кількість несуттєвої інформації.

Етап 4. Синтез варіантів об'єкту. Після заповнення морфологічної матриці переходять до синтезу варіантів.

Враховуючи велику кількість варіантів безсистемний їх перебір неефективний. Оскільки доводиться оперувати декількома характеристиками з великим числом варіантів (10 і більше), однозначних правил вибору немає, частіше - це інтуїтивний вибір. Кожен варіант рішення - це сукупність одиничних варіантів усіх характеристик. Синтез варіанту рішення здійснюють, починаючи з вибору варіантів основних елементів і більш суттєвих ознак. Кількість варіантів обмежують, виходячи з можливості проробки їх в обмежений (сприятливий) час.

Етап 5. Вибір раціональних (кращих) варіантів. На цьому етапі вибирають не більше 2-3 варіантів кращих рішень для детальної конструктивної проробки.

Рекомендується такий порядок вибору кращих рішень: 1) скласти рейтинг вимог по їх значимості; 2) здійснити ранжування варіантів рішення з врахуванням числа вимог, що задовольняються, і їх значимості; 3) використовуючи експертні оцінки або інший метод неформальних процедур, вибрати декілька найбільш сприятливих варіанти.

Одним з ефективних суб'єктивних методів якісної оцінки варіантів є метод розставлення пріоритету, який служить для багатокритеріального, якісного аналізу на підставі експертизи варіантів побудови об'єктів [2].

РОЗДІЛ 3

СИНТЕЗ СТРУКТУРНО-МОДУЛЬНОЇ БУДОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ПАРАЛЕЛЬНОЮ КІНЕМАТИКОЮ

3.1. Морфологічний аналіз верстата

На початку здійснення аналізу необхідно визначити складові частини верстата з паралельною кінематикою типу «дельта» та розробити варіанти компоновок верстатів шляхом комбінування різноманітних конструктивних рішень складових частин.

На рис. 3.1 зображена загальна схема технологічного обладнання з паралельною кінематикою типу «дельта».

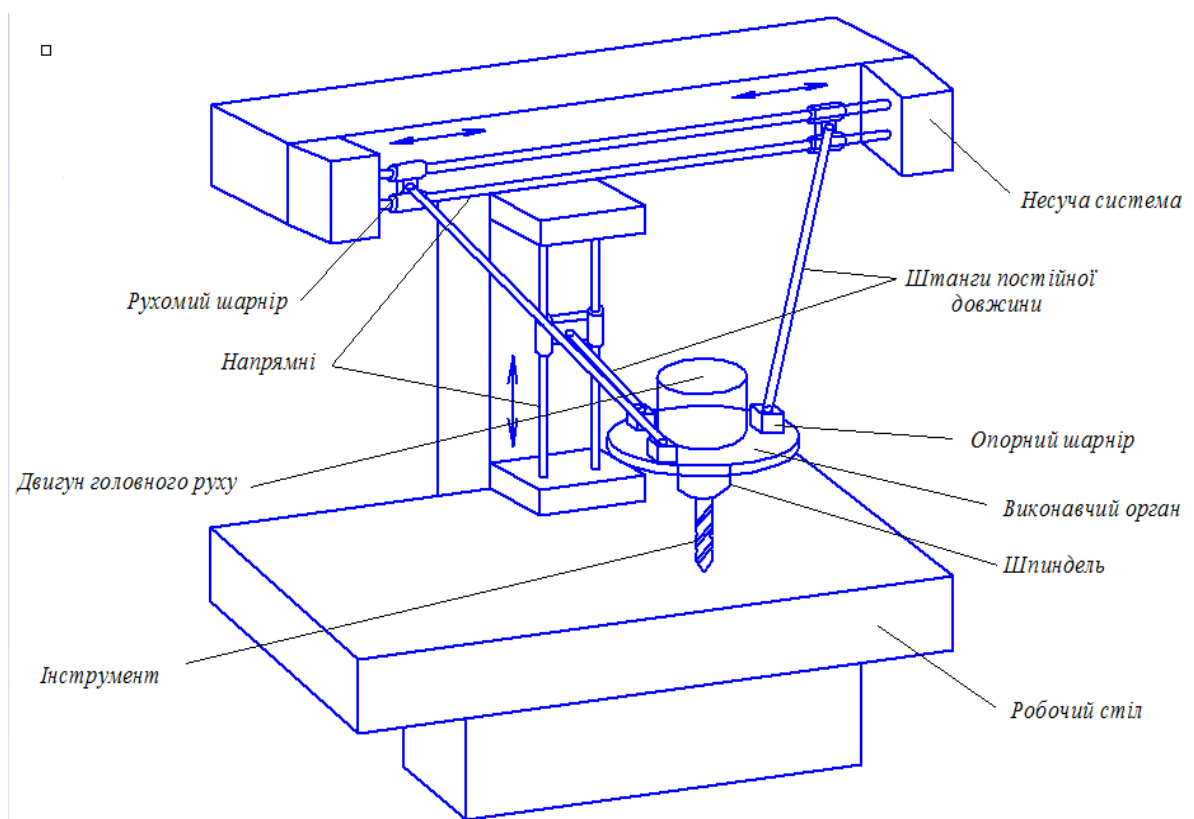


Рис. 3.1. Схема верстата з паралельною кінематикою типу «дельта»

Відокремлюємо функціонально важливі елементи: напрямні, робочий орган, кінематичні ланки постійної довжини та шарніри і визначаємо їх можливі варіанти виконання.

Напрямні можуть варіюватись:

- по розташуванню в просторі: вертикально, горизонтально та вертикально і горизонтально;
- по розташуванню в площині: в одній, двох та трьох;
- по кількості; три, чотири, п'ять та шість.
- по розташуванню вздовж осей X , Y , Z : окремо по кожній з них, по декільком одразу (наприклад по осям X , Z), під кутом до осей.

Шарніри розташовуються на робочому органі та на повзунах.

Кількість кінематичних ланок постійної довжини та шарнірів на робочому органі:

- три;
- чотири;
- п'ять;
- шість.

Робочий орган може розташовуватись горизонтально або вертикально.

Далі складаємо морфологічне таблицю, в яку заносимо морфологічні ознаки компоновки та можливі варіанти їх конструктивного виконання (табл. 3.1).

Для спрощення подальшого синтезу можливих варіантів верстату «Дельта» представимо морфологічну таблицю у вигляді матриці (табл. 3.2), в якій назви ознак представлені у вигляді кодів, які складаються з порядкових номерів рядка і стовбця ознаки. Наприклад, значення 1.1 це перший стовбець та перший рядок морфологічної матриці, 1.2 - перший стовбець та другий рядок тощо.

Таблиця 3.2

Морфологічна матриця

1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1
1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2
1.3	2.3	3.3	4.3		6.3	7.3
1.4	2.4	3.4				7.4
						7.5
						7.6
						7.7
						7.8

Перемноживши кількість варіантів по кожному стовпчику, визначимо загальну кількість комбінацій морфологічних ознак (тобто, загальну кількість варіантів компоновок технологічного обладнання з паралельною кінематикою типу «Дельта»):

$$N = 4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 8 = 9216$$

3.2 Побудова структурних схем

Для визначення всіх можливих варіантів компоновок верстатів «дельта» можна застосувати наступний порядок дій.

З морфологічної матриці (табл. 3.2) записуємо числові коди, що знаходяться в першому рядку:

$$1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1$$

Цей код означає, що варіант має Три напрямні (1.1), розташовані вертикально (4.1); три шарніри (2.1) на робочому органі, розташованому

вертикально (5.1); три кінематичні ланки постійної довжини (3.1); всі напрямні розташовані в одній площині (6.1) паралельно осі X (7.1).

Далі в цьому варіанті змінюємо останній код (7.2) на наступний (7.2). Цей варіант буде відрізнятися від попереднього тільки тим, що його напрямні будуть розташовані паралельно осі Y (7.2).

Змінюємо останній код і записуємо варіанти, поки не дійдемо до кінця стовпчика. Тоді змінюємо передостанній код (6.1) на наступний (6.2), а останній знов починаємо спочатку (7.1):

1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.2 - 7.1

Після того, як закінчаться коди в 6-у стовпчику, переходимо до 5-го, а 6-й і 7-й знов починаємо спочатку. Продовжуємо, поки не отримаємо всі можливі варіанти компоновок:

1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.1

1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.2

.....

1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.8

1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.2 - 7.1

.....

1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.2 - 7.8

1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.3 - 7.1

1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.3 - 7.2

.....

1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.3 - 7.8

1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.2 - 6.1 - 7.1

1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.2 - 6.1 - 7.2

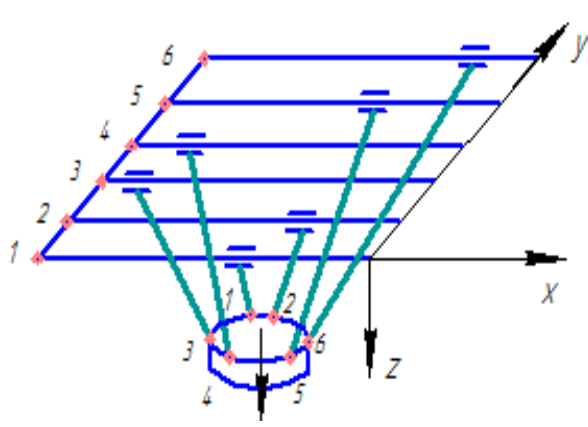
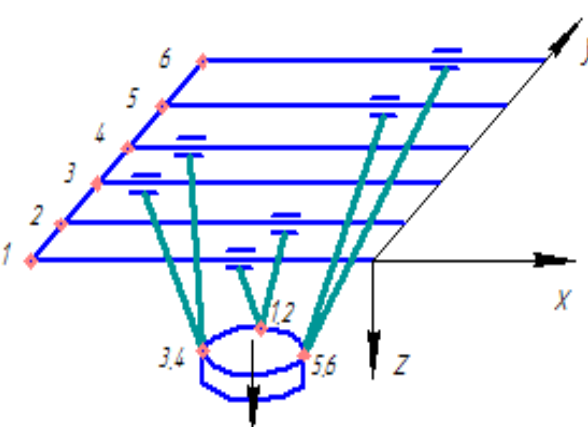
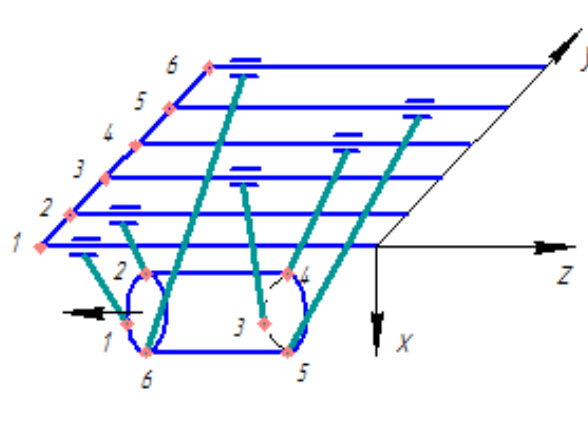
.....

1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.3 - 5.2 - 6.3 - 7.8

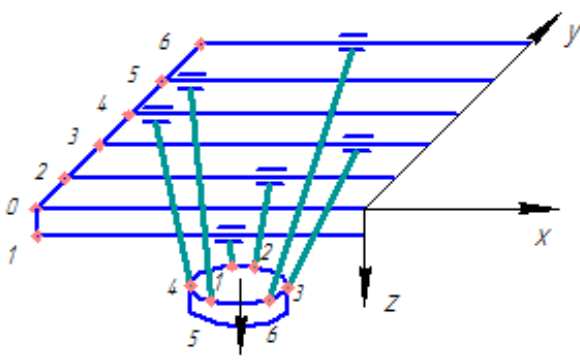
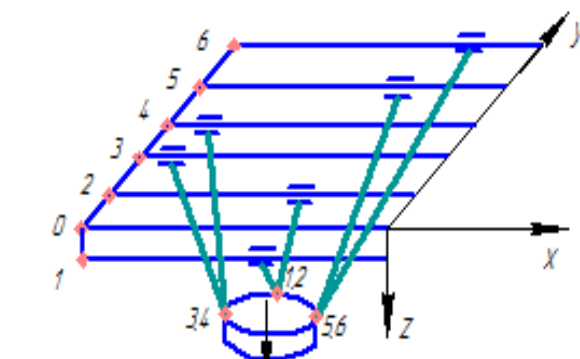
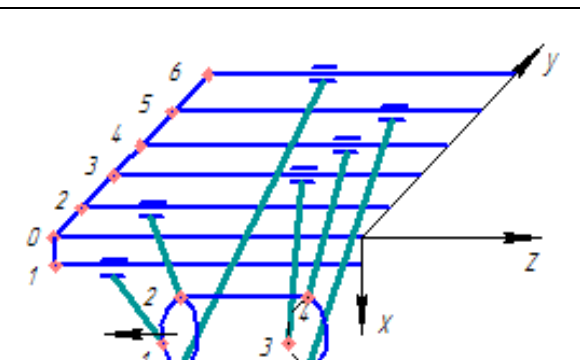
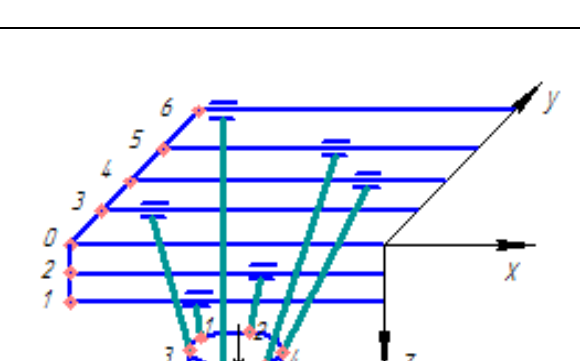
Деякі з отриманих компоновок зведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

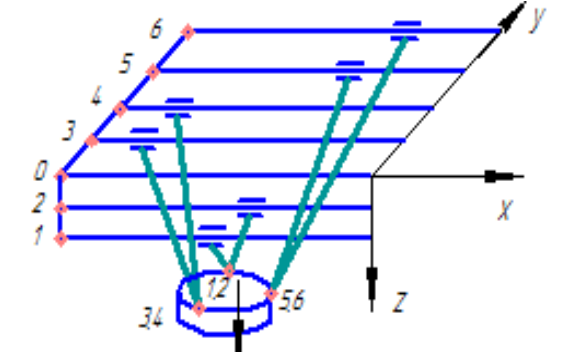
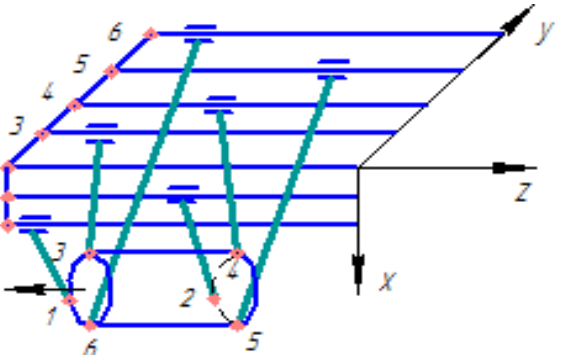
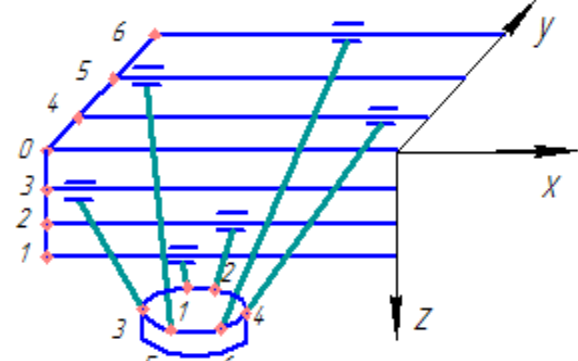
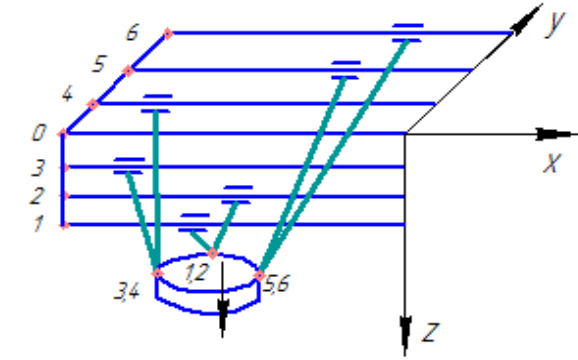
Варіанти компоновок верстатів з паралельною кінематикою типу «дельта»

№	Компоновка варіанту	Код компоновки
1	2	3
1		1.4 - 2.1 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.1 - 7.1
2		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.1 - 7.1
3		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.2 - 6.1 - 7.1

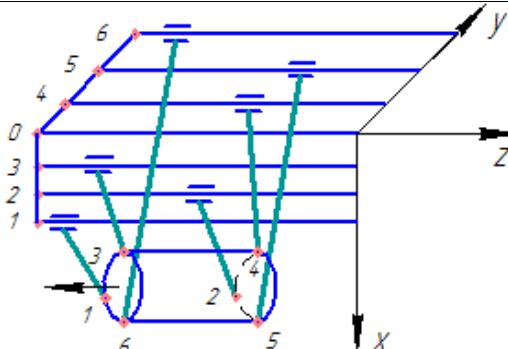
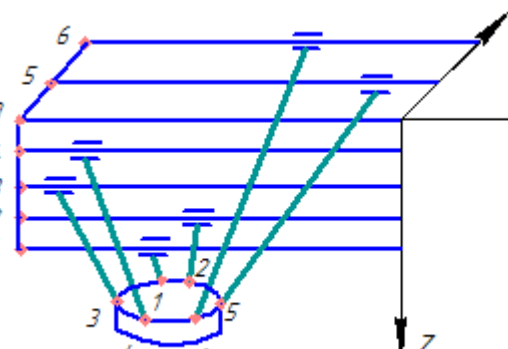
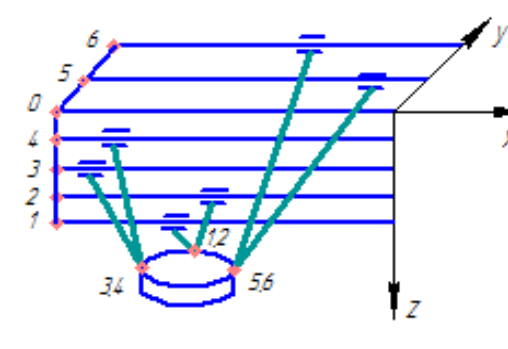
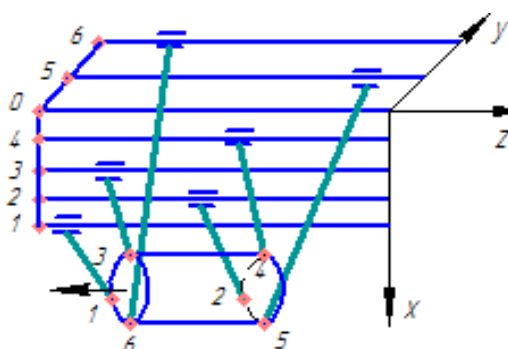
Продовження табл. 3.3

1	2	3
4		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.1
5		1.4 - 2.1 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.1
6		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.2 - 6.2 - 7.3
7		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.1

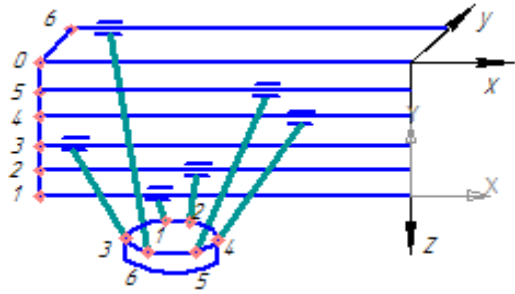
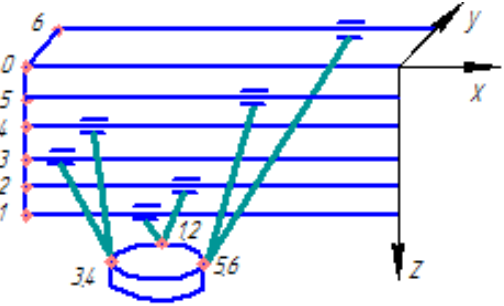
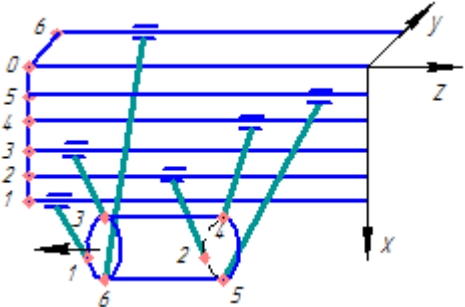
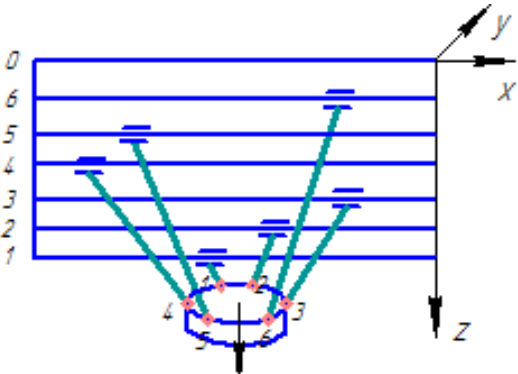
Продовження табл. 3.3

1	2	3
8		1.4 - 2.1 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.6
9		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.2 - 6.2 - 7.4
10		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.6
11		1.4 - 2.1 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.6

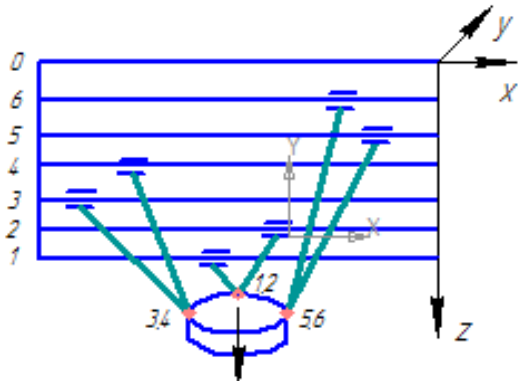
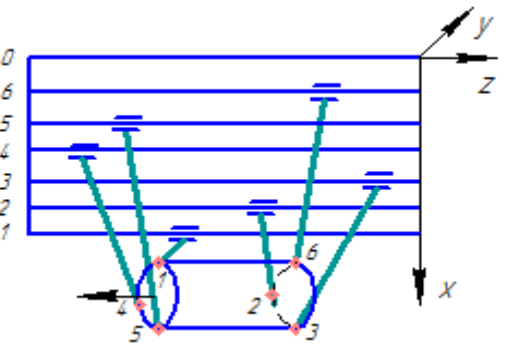
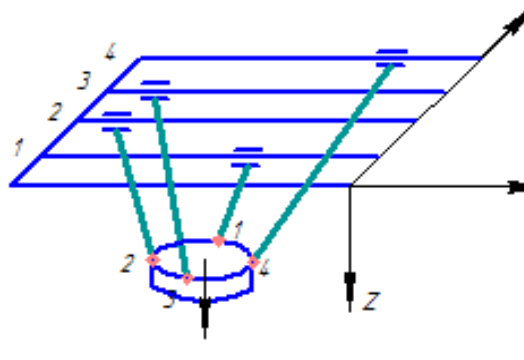
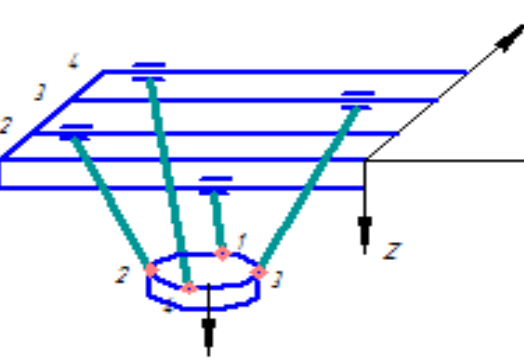
Продовження табл. 3.3

1	2	3
12		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.2 - 6.2 - 7.4
13		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.1
14		1.4 - 2.1 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.1
15		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.2 - 6.2 - 7.3

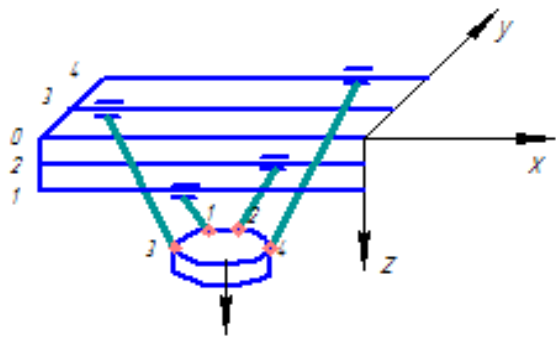
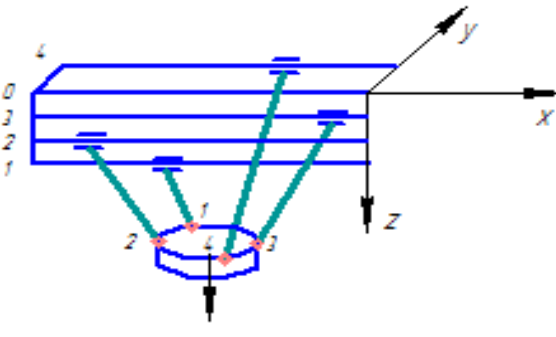
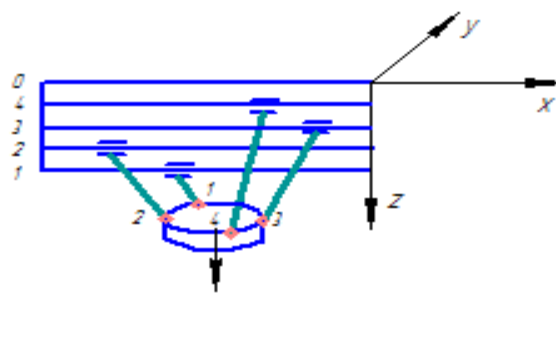
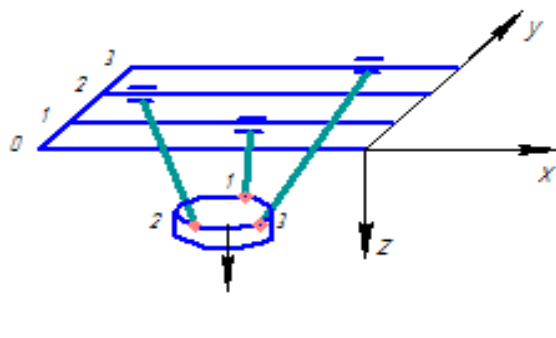
Продовження табл. 3.3

1	2	3
16		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.1
17		1.4 - 2.1 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.1
18		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.2 - 6.2 - 7.3
19		1.4 - 2.4 - 2.4 - 4.2 - 5.1 - 6.1 - 7.1

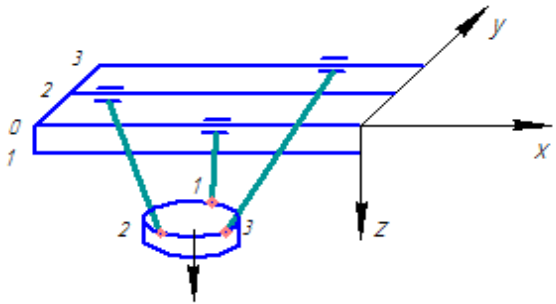
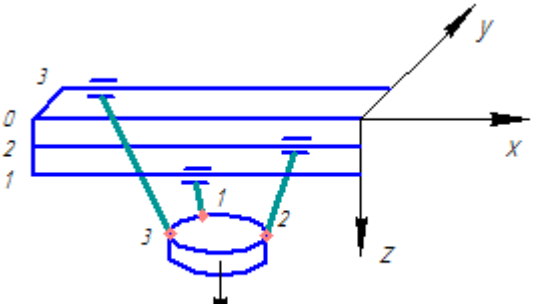
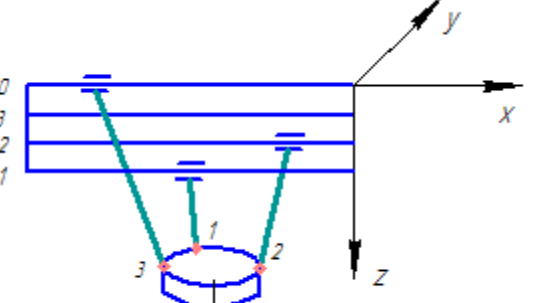
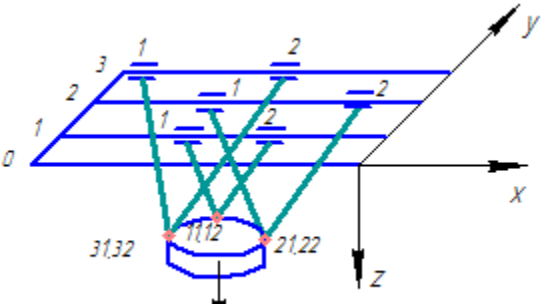
Продовження табл. 3.3

1	2	3
20		1.4 - 2.1 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.1 - 7.1
21		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.2 - 5.2 - 6.1 - 7.3
22		1.2 - 2.2 - 3.2 - 4.2 - 5.1 - 6.1 - 7.1
23		1.2 - 2.2 - 3.2 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.1

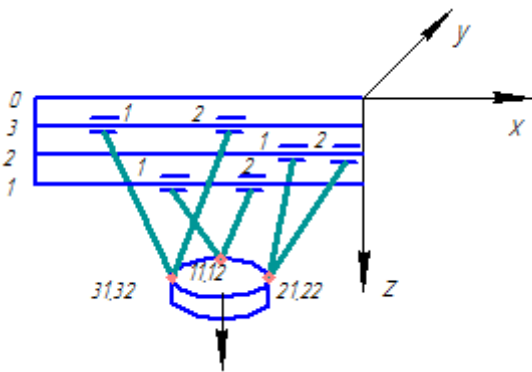
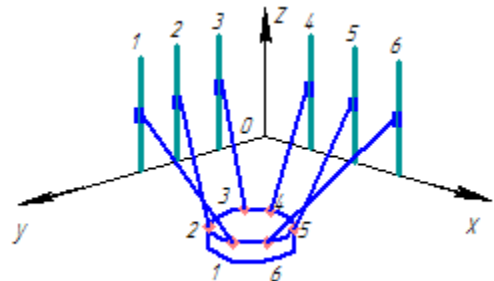
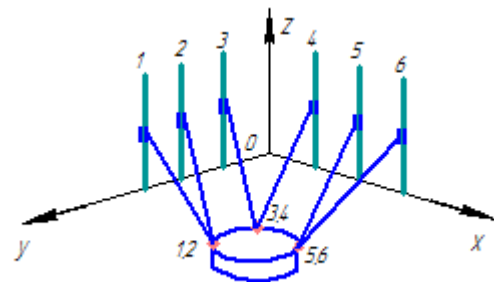
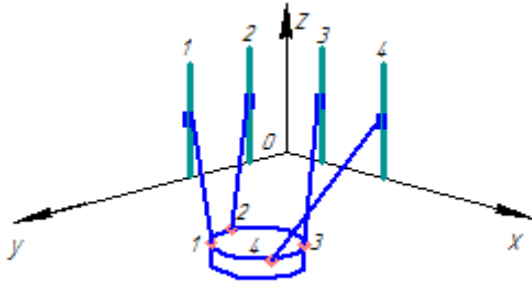
Продовження табл. 3.3

1	2	3
24		1.2 - 2.2 - 3.2 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.1
25		1.2 - 2.2 - 3.2 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.1
26		1.2 - 2.2 - 3.2 - 4.2 - 5.1 - 6.1 - 7.1
27		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.2 - 5.1 - 6.1 - 7.1

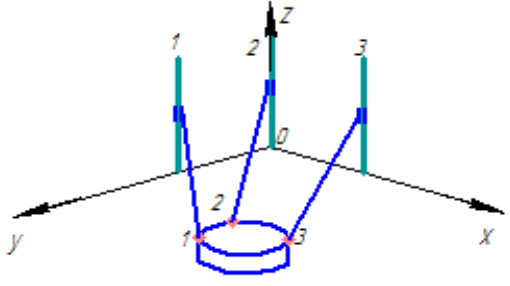
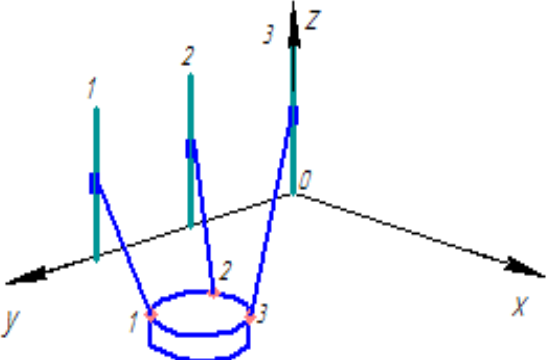
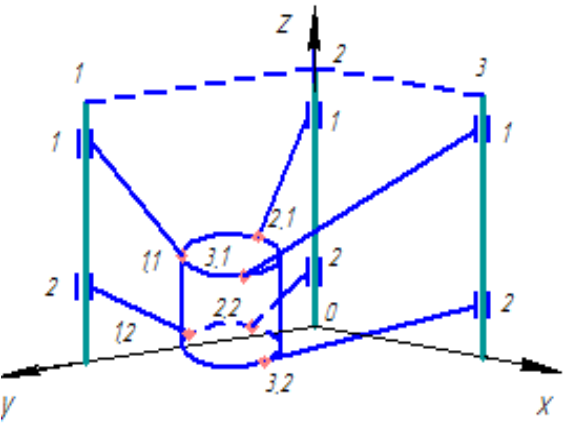
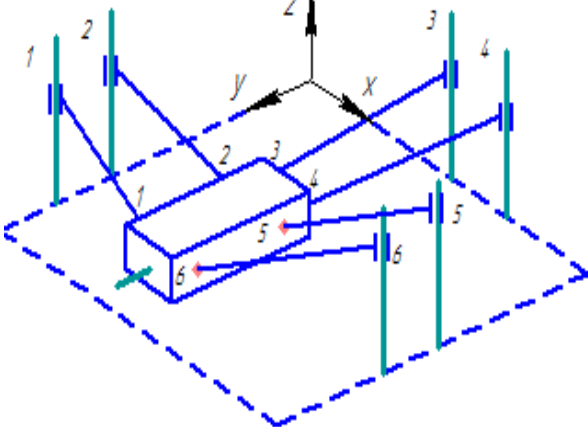
Продовження табл. 3.3

1	2	3
28		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.1
29		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.2 - 5.1 - 6.2 - 7.1
30		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.2 - 5.1 - 6.1 - 7.1
31		1.1 - 2.1 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.1 - 7.1

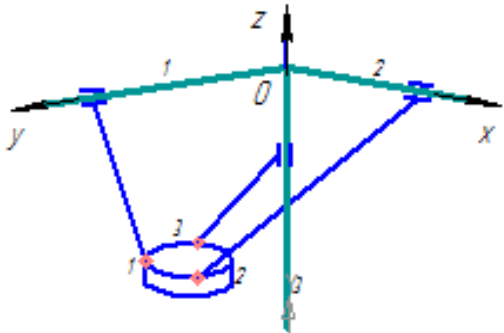
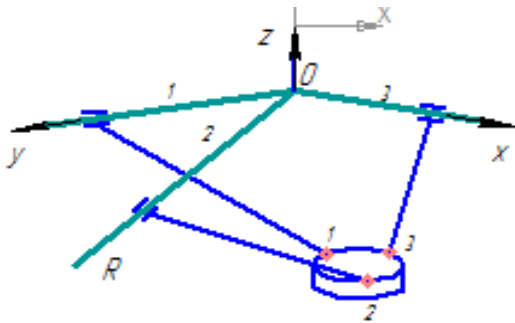
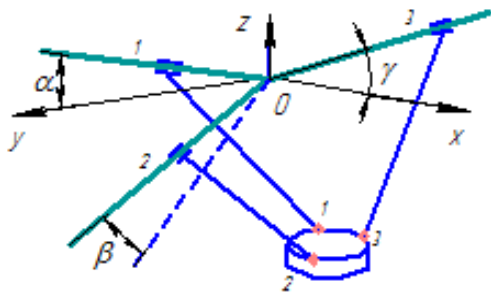
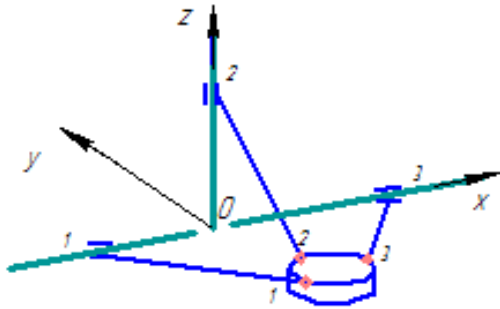
Продовження табл. 3.3

1	2	3
32		1.1 - 2.1 - 3.4 - 4.2 - 5.1 - 6.1 - 7.1
33		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.1 - 5.1 - 6.2 - 7.3
34		1.4 - 2.1 - 3.4 - 4.1 - 5.1 - 6.2 - 7.3
35		1.2 - 2.2 - 3.2 - 4.1 - 5.1 - 6.2 - 7.3

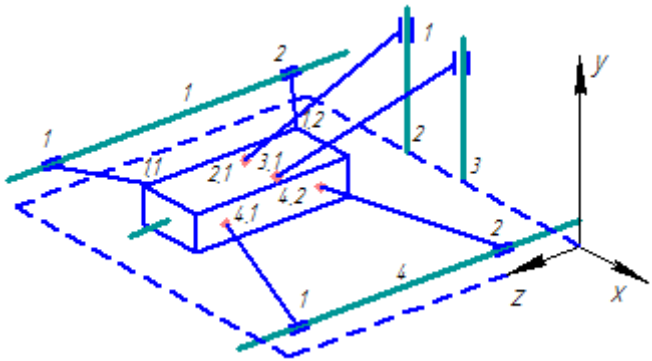
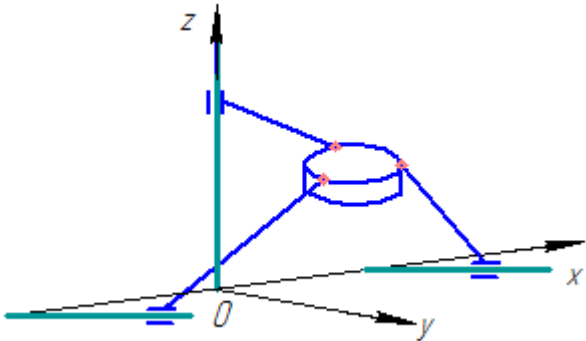
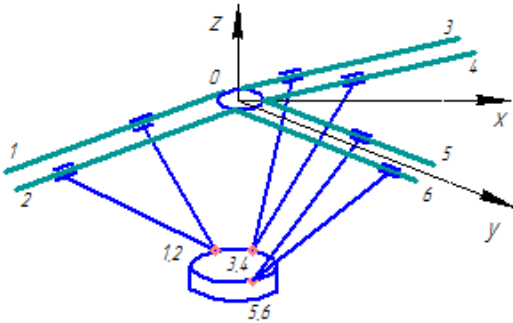
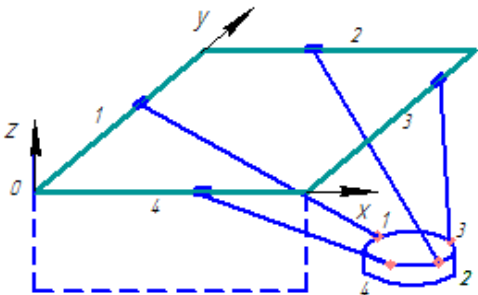
Продовження табл. 3.3

1	2	3
36		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.2 - 7.3
37		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 7.3
38		1.1 - 2.4 - 3.4 - 4.1 - 5.1 - 6.2 - 7.3
39		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.1 - 5.2 - 6.3 - 7.3

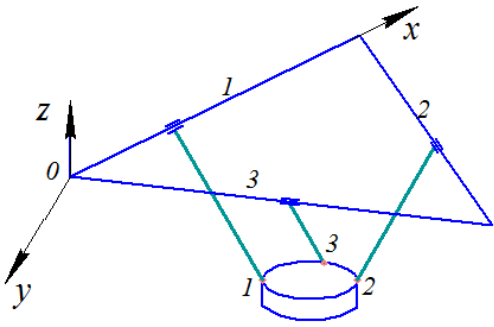
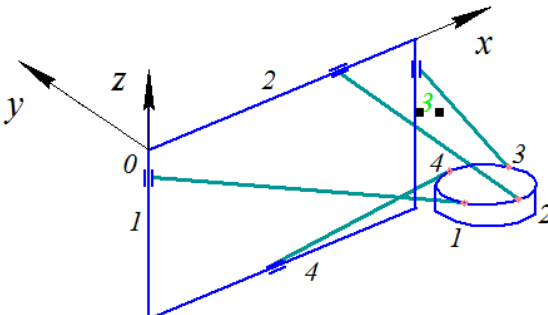
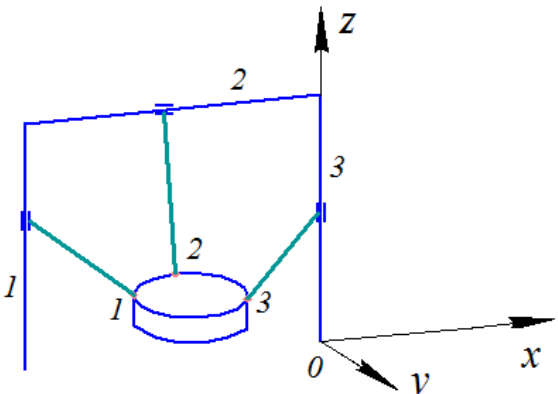
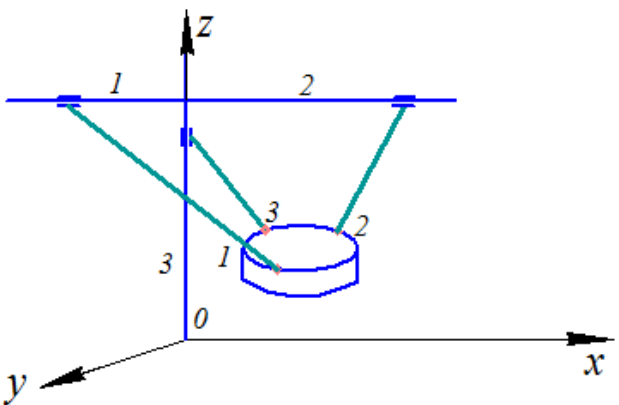
Продовження табл. 3.3

1	2	3
40		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.3 - 5.1 - 6.2 - 7.7
41		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.3 - 5.1 - 6.2 - 7.8
42		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.3 - 5.1 - 6.3 - 7.8
43		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.3 - 5.1 - 6.1 - 7.5

Продовження табл. 3.3

1	2	3
44		1.2 - 2.4 - 3.4 - 4.3 - 5.2 - 6.2 - 7.6
45		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.3 - 5.1 - 6.2 - 7.6
46		1.4 - 2.4 - 3.4 - 4.3 - 5.1 - 6.3 - 7.8
47		1.2 - 2.2 - 3.2 - 4.3 - 5.1 - 6.1 - 7.4

Продовження табл. 3.3

1	2	3
48		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.3 - 5.1 - 6.1 - 7.8
49		1.2 - 2.2 - 3.2 - 4.3 - 5.1 - 6.1 - 7.5
50		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.3 - 5.1 - 6.1 - 7.4
51		1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.3 - 5.1 - 6.2 - 7.5

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ПОБУДОВИ ВЕРСТАТІВ З ПАРАЛЕЛЬНОЮ КІНЕМАТИКОЮ ТИПУ «ДЕЛЬТА».

4.1. Загальні вихідні дані

Для отримання економічного ефекту приймаємо базу для порівняння – трьох координатний фрезерний верстат мод. 6Б75ВФ1. На відміну від базового, проектний має менші розміри, та більшу продуктивність.

Техніко-економічні показники базового та проектного верстатів зведено до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Загальні вихідні техніко-економічні показники

№ п/п	Показники	Одиниця	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1	Штучний час обробки	хв.	2,1	1,44
2	Площа, яку займає верстат	м ²	7,03	5,6
3	Встановлена потужність електродвигунів	кВт	1,5	1,5
4	Категорія ремонтної складності:			
	а) механічної частини	УРО	13	3
	б) електричної частини	УРО	7	12
5	Розряд роботи			
	а) верстатника	розряд	4	4
	б) наладчика	розряд	4	6
6	Оптова ціна базового верстата	грн	240000	400000

4.2 Визначення експлуатаційних витрат, які припадають на одиницю продукції в базовому та проектному варіантах

Розрахунок виконуємо за формулою:

$$B_{\text{е}} = \sum_{i=1}^m B_i \quad (4.1)$$

де B_3 – витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування основних робітників, грн;

$B_{\text{ел}}$ – витрати на силову електроенергію, грн;

$B_{\text{дм}}$ – витрати на допоміжні матеріали, грн;

$B_{\text{р}}$ – витрати на ремонт обладнання, грн;

$B_{\text{п}}$ – витрати на утримання площі, грн;

$B_{\text{а}}$ – витрати на амортизацію обладнання, грн;

$B_{\text{н}}$ – витрати на налагодження верстата.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування:

$$B_3 = C_{\text{г}} \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot (1 + K_{\text{д}}) \cdot (1 + K_{\text{с}}), \quad (4.2)$$

де $C_{\text{г}}$ – середньо-годинна ставка робітника, грн.;

$T_{\text{нор}}$ – час обробки деталі, хв.;

$K_{\text{д}}, K_{\text{с}}$ – коефіцієнти додаткової зарплати та відрахувань у соціальні фонди відповідно.

$$B_3^{\text{баз}} = 77,979 \cdot \frac{2,1}{60} \cdot (1+0,1) \cdot (1+0,22) = 3,6627 \text{ грн}$$

$$B_3^{\text{пр}} = 77,79 \cdot \frac{1,44}{60} \cdot (1+0,1) \cdot (1+0,22) = 2,5115 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію силову:

$$B_{\text{ел}} = \frac{N_{\text{в}} \cdot K_{\text{о}} \cdot K_{\text{Н}} \cdot K_{\text{д}}}{\eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{с}}} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot C_{\text{ел}}, \quad (4.3)$$

де $N_{\text{в}}$ – установлена потужність електродвигунів верстата, кВт;

$K_{\text{о}}$ – коефіцієнт одночасної роботи електродвигунів (приймають 0,65...0,8);

$K_{\text{Н}}$ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймають 0,5...0,8);

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів верстата за часом (приймають 0,3...0,5);

$\eta_{\text{с}}$ – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів – (приймають 0,86...0,9);

$\eta_{\text{м}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі підприємства – (приймають 0,92...0,96);

$C_{\text{ел}}$ – ціна 1 кВт/год силовій електроенергії, грн.

$$B_{\text{ел}}^{\text{баз}} = \frac{1,5 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 0,3}{0,87 \cdot 0,95} \cdot \frac{2,1}{60} \cdot 7,5 = 0,0600 \text{ грн}$$

$$B_{\text{ел}}^{\text{пр}} = \frac{1,5 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,4}{0,88 \cdot 0,92} \cdot \frac{1,44}{60} \cdot 7,5 = 0,0654 \text{ грн}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{дм}} = \frac{M_{\text{гв}} \cdot R_{\text{м}} \cdot T_{\text{нор}}}{60 \cdot 100} \cdot K_{\text{п}} \quad (4.4)$$

де $M_{гв}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали на 1 УРО механічної частини всіх типів верстатів, коп;

R_m – категорія складності ремонту механічної частини верстата, УРО;

$K_{п}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для серійного виробництва приймають 1).

$$B_{дм}^{баз} = \frac{79,5 \cdot 13 \cdot 2,1}{60 \cdot 100} \cdot 1,2 = 0,4334 \text{ грн}$$

$$B_{дм}^{пр} = \frac{79,5 \cdot 3 \cdot 1,44}{60 \cdot 100} \cdot 1,2 = 0,0687 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{R_m \cdot P_{вн} + R_e \cdot P_{вс}}{F_{дрм}} \cdot \frac{T_{нор}}{60}, \quad (4.5)$$

де $P_{вн}, P_{вс}$ – відповідно річні витрати на всі види ремонту на одну категорію ремонтної складності механічної та електричної частини верстата, грн./рік;

$F_{дрм}$ – дійсний річний фонд часу роботи верстата

$$B_p^{баз} = \frac{13 \cdot 880 + 7 \cdot 720}{3980} \cdot \frac{2,1}{60} = 0,1449 \text{ грн},$$

$$B_p^{пр} = \frac{3 \cdot 880 + 12 \cdot 720}{3980} \cdot \frac{1,44}{60} = 0,0680 \text{ грн}.$$

Витрати на утримання площі:

$$B_{п} = \frac{F_o \cdot K_f \cdot C}{F_{дрм}} \cdot \frac{T_{нор}}{60}, \quad (4.6)$$

де F_o – виробнича площа, яку займає одиниця обладнання, m^2 ;

K_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (на проходи, проїзди, побутові та службові приміщення)

C – річні витрати, пов'язані з використанням 1 м^2 виробничого приміщення, грн/м².

$$B_{\Pi}^{\text{баз}} = \frac{7,03 \cdot 2,5 \cdot 780}{3980} \cdot \frac{2,1}{60} = 0,1206 \text{ грн};$$

$$B_{\Pi}^{\text{пр}} = \frac{5,6 \cdot 3,0 \cdot 780}{3980} \cdot \frac{1,44}{60} = 0,0790 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію верстата:

$$B_a = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_a}{F_{\text{дрм}} \cdot 100} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (4.7)$$

де H_a – норма амортизації, %;

$\Phi_{\text{бал}}$ – балансова вартість верстата, грн.

Балансову вартість верстатів знаходимо за формулою:

$$\Phi_{\text{бал}} = C_{\text{опт}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{ф}}) \quad (4.8)$$

де $C_{\text{опт}}$ – оптова ціна верстата, грн;

$K_{\text{тр}}$, $K_{\text{м}}$, $K_{\text{ф}}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують транспортування (0,05...0,1), монтаж (0,04...0,06), улаштування фундаменту (0,02...0,08).

Таким чином:

$$\Phi_{\text{бал}}^{\text{баз}} = 240000 \cdot (1 + 0,08 + 0,04 + 0,05) = 280800 \text{ грн}$$

$$\Phi_{\text{бал}}^{\text{пр}} = 400000 \cdot (1 + 0,08 + 0,04 + 0,05) = 468000 \text{ грн}$$

Верстат, що проектується, на балансі підприємства враховується за повної собівартістю виготовлення

$$B_a^{\text{баз}} = \frac{280800 \cdot 15}{3980 \cdot 100} \cdot \frac{2,1}{60} = 0,3704 \text{ грн}$$

$$B_a^{\text{пр}} = \frac{468000 \cdot 15}{3980 \cdot 100} \cdot \frac{1,44}{60} = 0,4233 \text{ грн}$$

Витрати на налагодження верстата:

$$B_n = C_{\text{гн}} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c) \cdot \frac{T_{\text{нал}} \cdot A}{60 \cdot N_{\partial}} \quad (4.9)$$

де $C_{\text{гн}}$ — годинна тарифна ставка наладчика, грн/год;

A — кількість налагоджень за рік;

$T_{\text{нал}}$ — час налагодження, хв.;

N_{∂} — річна програма випуску деталей, шт./рік.

$$B_n^{\text{баз}} = 77,979 \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot \frac{30 \cdot 12}{60 \cdot 35000} = 0,0179 \text{ грн};$$

$$B_n^{\text{пр}} = 103,972 \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot \frac{20 \cdot 12}{60 \cdot 35000} = 0,0159 \text{ грн}.$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 4.2

Таблиця 4.2

Експлуатаційні витрати (собівартість обробки)

№ п.п	Експлуатаційні витрати	Умовне позначення	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1.	Заробітна плата робітника основна і додаткова з відрахуваннями в фонд соціального страхування	B_z	3,6627	2,5115
2.	Силовa електроенергія	$B_{\text{ел}}$	0,0600	0,0654
3.	Допоміжні матеріали	$B_{\text{дм}}$	0,4334	0,0687
4.	Ремонт обладнання	B_p	0,1449	0,0680
5.	Утримання приміщення	$B_{\text{п}}$	0,1206	0,0790
6.	Амортизація обладнання	B_a	0,3704	0,4233
7.	Налагодження обладнання	B_n	0,0179	0,0159
8.	Загальна сума	B_e	4,8099	3,2318

4.3 Розрахунок показників економічної ефективності

Річний економічний ефект, який отримує підприємство-споживач, розраховуємо за формулою: грн.

$$E_p = (B_e^{\delta} - B_e^{np}) \cdot N_{\delta} - E_n \cdot K_{cn}, \quad (4.10)$$

де K_{cn} – додаткові капітальні витрати у споживача, грн.

$$K_{cn} = \Phi_{bal}^{np} \cdot Q_{np} - \Phi_{bal}^{\delta} \cdot Q_{\delta} \quad (4.11)$$

де $\Phi_{bal}^{np}, \Phi_{bal}^{\delta}$ – відповідно балансова вартість проектного та базового об'єктів, грн;

Q_{np}, Q_{δ} – потреба в об'єктах відповідно в проектному та базовому варіантах для виконання річної програми випуску деталей: шт.

$$Q = \frac{N_{\delta} \cdot T_{нор}}{F_{орм} \cdot 60 \cdot K_{вн}}, \quad (4.12)$$

де $K_{вн}$ – коефіцієнт виконання норм часу ($K_{вн}=1,0 \dots 1,2$).

$$Q^{\delta} = \frac{35000 \cdot 2,1}{3980 \cdot 60 \cdot 1,1} = 0,28$$

$$Q^{np} = \frac{35000 \cdot 1,44}{3980 \cdot 60 \cdot 1,1} = 0,19$$

$$K_{cn} = 468000 \cdot 0,19 - 280800 \cdot 0,28 = 10296 \text{ грн.}$$

$$E_p = (4,810 - 3,232) \cdot 35000 - 0,16 \cdot 10296 = 53580 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень:

$$T_{ок.сн} = \frac{K_{cn}}{(B_e^{\delta} - B_e^{np}) \cdot N_{\delta}} = \frac{10296}{(4,810 - 3,232) \cdot 35000} = 0,3 \text{ років} = 3,7 \text{ міс.} \quad (4.13)$$

Зростання продуктивності праці визначаємо за показником витрат часу ($t_{шт}$) на одиницю продукції в проектному варіанті в порівнянні з базовим,%:

$$P_n = 100 - \frac{t_{шт(проект)}}{t_{шт(баз)}} \cdot 100 = 100 - \frac{1,44}{2,1} \cdot 100 = 31,4 \%, \quad (4.14)$$

У підсумку складаємо зведену таблицю техніко-економічних показників проекту (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Підсумкові техніко-економічні показники базового та проектного варіантів

№ п/п	Показники	Одиниця	Базовий варіант	Проект	Зміна,% (+,-)
1.	Потреба в обладнанні	шт./рік	1	1	-
2.	Програма виробництва деталей	шт./рік	35000	35000	-
3.	Штучний час обробки деталі	хв.	2,1	1,44	-31,4
4.	Коефіцієнт завантаження обладнання	η	0,28	0,19	-32,1
5.	Оптова ціна обладнання	грн.	240000	400000	+66,7
6.	Балансова вартість обладнання	грн.	280800	468000	+66,7
7.	Собівартість одиниці обробки	грн.	4,810	3,232	-32,8
8.	Додаткові капітальні витрати у споживача	грн.	-	10296	-
9.	Строк окупності додаткових капітальних витрат у виробника	міс.	-	3,7	-
10.	Річний економічний ефект у споживача	грн.	-	53580	-

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі для освітнього ступеня «магістр» виконано синтез структурно-модульної побудови технологічного обладнання з паралельною кінематикою.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- проаналізовано існуючі схеми побудови технологічного обладнання з паралельною кінематикою типу «дельта» та їх технічні характеристики;
- розглянуто функціональна структура і структурна побудова технологічного обладнання з паралельною кінематикою;
- запропоновано метод синтезу структурно-модульної побудови технологічного обладнання з паралельною кінематикою;
- визначені морфологічні ознаки та виконано морфологічний аналіз компоновки верстата типу «дельта»;
- побудовано варіанти компоновок верстатів типу «дельта».

В роботі розраховано, що кількість можливих варіантів компоновок верстатів типу «дельта» для визначених морфологічних ознак дорівнює 9216. Запропоновано метод перебору варіантів компоновок та побудовано більше 50 найбільш цікавих варіантів.

В роботі проведено економічне обґрунтування впровадження у виробництво верстатів з паралельною кінематикою. Використання запропонованого верстата дозволить отримати у користувача річний економічний ефект у розмірі 6960 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Валявський І.А., Склярів Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. / Під ред. Ю.М. Кузнєцова. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
2. Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Дубиняк С.А. Теорія технічних систем. Під загальною редакцією проф. Ю.М. Кузнєцова К.: - Тернопіль, 1997 – 310 с.: іл.
3. Кузнєцов Ю. М., Крижанівський В. А., Склярів Р. А. Сучасний стан, прогнозування і перспективи розвитку верстатів з паралельною кінематикою // Зб. наукових праць «Процеси механічної обробки в машинобудуванні». - ЖДТУ, 2005. - Вип. 1
4. Кузнєцов Ю. М. Світові тенденції і перспективи розвитку верстатобудування в Україні / Ю. М. Кузнєцов // Зб. наук. праць за матеріалами науково-методичної конф. «Вища освіта – 2006». – 2007. – С. 45–55.
5. Валявський І.А., Крижанівський В.А. Тенденції розвитку верстатів паралельної структури // Вісник Сумського державного університету. – 2003. – №2(48). – с. 18-22
6. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: / Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Кириченко А.М. та ін. / Під ред. Ю.М. Кузнєцова. Навч. посібник для ВНЗ у 3-х част. – Кіровоград, 2003
7. Склярів І.В., Лебедєва Л.В., Романюк Л.М. Економічні та організаційно-планові розрахунки при розробці нових виробів. – Кіровоград: КДТУ, 2001- 36с.
8. Економічні та організаційно-планові розрахунки при обґрунтуванні доцільності розробки нових виробів //Укладачі: Журило І.В., Полтавець М.М. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. 40 с.