

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *«Прогнозування розвитку параметрів багатопшпindelних  
токарних автоматів з використанням методів математичного  
моделювання»*

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

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_  
(підпис) Лецишин Н.Б.  
(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис) Скляр Р.А.  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_  
(підпис) Кобельник В.Р.  
(прізвище та ініціали)

Завідувач  
кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис) Крупа В.В.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

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.

## З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього  
ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Лецишину Назарію Богдановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

«Прогнозування розвитку параметрів багатошпindelних  
токарних автоматів з використанням методів  
математичного моделювання»

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  
«ШСП-12.12.23-01», 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 – 4-5 слайдів (Карта налагодження - 1 арк. ф.А1,  
Кінематична та структурно-кінематична схема верстату - 1 арк. ф.А1; Шпindelний  
барaban – 3 арк.ф.А1), Науково-дослідна частина – 6-7 слайдів; Висновки по  
роботі -2-3 слайди.



## Анотація

Прогнозування розвитку параметрів багатошпindelних токарних автоматів з використанням методів математичного моделювання // Дипломна робота магістра. Лещишин Назарій Богданович. 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: багатошпindelний токарний автомат, математична модель, параметр, метод прогнозування.

Метою кваліфікаційної роботи є оцінка стану розвитку БТА та розробка їх перспективних конструкцій з покращеними технічними характеристиками.

В кваліфікаційній роботі магістра здійснено інформаційно-патентні дослідження стосовно застосування методів математичного моделювання при проведенні прогнозної процедури. Здійснено розрахунок режимів різання для деталі «ШСП-12.12.23-01». На основі морфологічної матриці проведено синтез компонентів БТА. Здійснено проектування конструкції приводу верстата. Розроблено математичну модель, яка дозволяє здійснити прогноз параметрів БТА. В роботі знайшли висвітлення питання охорони праці та безпеки життєдіяльності людини стосовно тематики роботи.

## **Annotation**

LESHCHYSHYN N. Prediction of the development of parameters for multi-spindle turning machines (MSTM) using mathematical modeling methods. 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-spindle automatic lathe, mathematical model, parameter, prediction method.

The purpose of the qualification work is to assess the state of development of MSTM and develop their promising designs with improved technical characteristics.

In the qualification work of the master's degree, information and patent studies were carried out regarding the application of mathematical modeling methods during the forecasting procedure. Calculation of cutting modes for part "ShSP-12.12.23-01" was carried out. Based on the morphological matrix, a synthesis of MSTM compositions was carried out. The design of the machine's drive design was carried out. A mathematical model has been developed that allows you to forecast MSTM parameters. Thesis work includes issues related to the industrial safety and the safety of human life.

## Зміст

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ .....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ.....	12
1.1. Огляд та аналіз проблематики кваліфікаційної роботи .....	12
1.2. Інформаційно-патентний пошук.....	14
1.2.1. Аналіз робіт за тематикою дослідження.....	14
1.2.2. Аналіз області використання БТА.....	15
1.2.3. Аналіз моделей БТА з ЧПК, що випускаються серійно.....	16
1.3. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження .....	19
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ.....	21
2.1. Технологічні розрахунки .....	21
2.2. Розробка структурно-кінематичної схеми верстату .....	24
2.3. Оптимізація компоувальної схеми верстату .....	29
2.3.1. Структурний відбір компоновок.....	29
2.3.2. Формування схем обробки на верстаті .....	29
2.4. Розрахунок приводу верстату .....	33
2.5. Висновки по розділу.....	40
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....	41
3.1. Методика та план проведення наукових досліджень .....	41
3.2. Обґрунтування математичної моделі .....	41
3.3. Приклад прогнозування розвитку швидкості обробки на БТА.....	44
3.4. Створення БТА нового покоління.....	49
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. Аналіз умов праці під час холодної обробки металів.....	55
4.2. Заходи щодо підвищення стійкості роботи підприємства в умовах надзвичайних ситуацій.....	56
4.3. Система протипожежного захисту підприємства .....	58

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	62
ДОДАТКИ .....	67

## ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

БТА – багатшпиндельний токарний автомат;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

КЛ – кінематичний ланцюг;

КР – кваліфікаційна робота;

МОР – мастильно-охолоджувальна рідина;

САПР – система автоматизованого проектування;

ТЕП – техніко-економічні показники;

ТП – технологічний процес;

ТС – технічна система;

ЧПК – числове програмне керування.



## ВСТУП

Проектування металорізальних верстатів, які є складними технічними системами (ТС) [1, 2, 3], є тривалим та дорогим з фінансової точки зору процесом. Широке використання сучасних комп'ютерних технологій дозволяє суттєво скоротити час на виконання дослідно-проектних робіт [4, 5].

Сучасний верстат може бути представлений у вигляді високоінтелектуальної системи, яка складається з окремих підсистем, що мають різну фізичну природу. Як правило, це механічна, електронна, гідравлічна, пневматична та інші системи. Кожна із цих систем може мати власні тенденції розвитку, що може мати вплив на загальний розвиток обладнання.

Є певні особливості стосовно розвитку багатошпindelних токарних автоматів (БТА), які в основному використовувались в умовах масового виробництва. Дане обладнання повинно бути в певній мірі гнучким, але в той самий час, повинно забезпечувати високий темп виробництва продукції. Саме тому все більше уваги приділяється процесам створення БТА, які можуть бути оснащені системою ЧПК та використовувати в якості базових уніфіковані вузли, що характерно для верстатів побудованих на агрегатно-модульному принципі.

Як відомо, прогнозування дозволяє підготувати інформацію, та подати її так, що її можна застосувати для прийняття керуючих дій, стосовно об'єкту, відносно якого здійснюється прогноз [2]. Правильно підготовлена інформація повинна містити цільові вимоги до об'єкту прогнозування, власне його опис, а також давати уявлення про можливі варіанти його розвитку.

Для прогнозування розвитку параметрів БТА можуть використовуватися прогнозуючі моделі різного типу. Вибір типу моделі буде залежати від багатьох факторів, в тому числі від типу даних [6], на базі яких буде здійснюватися прогноз. В основі різноманітних прогнозуючих моделей лежить певний математичний апарат, тому в подальшому ми будемо використовувати термін математична модель. Обрана математична модель повинна адекватно описувати досліджуваний об'єкт, відображати його властивості, а також бути зручною для використання.

При проектуванні БТА важливо правильно сформування технічне завдання, в якому вказати досяжні технічні характеристики чи параметри обладнання, які можна отримати саме завдяки прогнозуванню. Тому часто таке прогнозування називають параметричним.

В зв'язку з цим тема «Прогнозування розвитку параметрів багатошпindelних токарних автоматів з використанням методів математичного моделювання» є актуальною.

**Мета і задачі дослідження.** Метою кваліфікаційної роботи є оцінка стану розвитку БТА та розробка їх перспективних конструкцій з покращеними технічними характеристиками.

Щоб досягнути поставленої мети, в роботі слід вирішити такі задачі:

- провести аналіз основних методів, якими можна здійснити параметричне прогнозування;
- здійснити літературний огляд публікацій, що стосуються тематики кваліфікаційної роботи;
- провести технологічні та конструкторські розрахунки для розробки одного з виконавчих вузлів БТА;
- здійснити обґрунтування математичної моделі для прогнозування розвитку параметрів БТА;
- запропонувати перспективні компоновання БТА з покращеними технічними характеристиками;
- здійснити розробку основних заходів, що стосуються безпеки життєдіяльності та охорони праці підприємства машинобудівної галузі.

**Об'єкт дослідження** – багатошпindelний токарний автомат.

**Предмет дослідження** – технічні параметри, що характеризують багатошпindelні токарні автомати.

**Методи дослідження.** В процесі виконання досліджень за тематикою кваліфікаційної роботи були використані основні положення системного підходу, застосовано математичні моделі, що дозволяють здійснити параметричне прогнозування.

**Структура і обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота магістра виконана згідно затвердженої структури та складається із вступу, чотирьох розділів і основних висновків, які розміщені на 61 сторінці, 34 рисунків та 3 таблиць на 17 сторінках, переліку використаної літератури з 37 найменувань на 5 сторінках, додатків на 40 сторінках, всього 106 сторінок.

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ

## 1.1. Огляд та аналіз проблематики кваліфікаційної роботи

Прогнозування розвитку технічних систем (до них беззаперечно можна віднести багатошпиндельні токарні автомати (БТА)) дозволяє визначитись в напрямках проведення пошукових і дослідницьких робіт.

При проведенні прогнозних досліджень, а саме при прогнозуванні технічних параметрів БТА можна використовувати різноманітні методи прогнозування, вони можуть бути класифіковані такими критеріями, як часовий інтервал, точність, напрямок та кількість варіантів отриманих рішень (рис. 1.1).

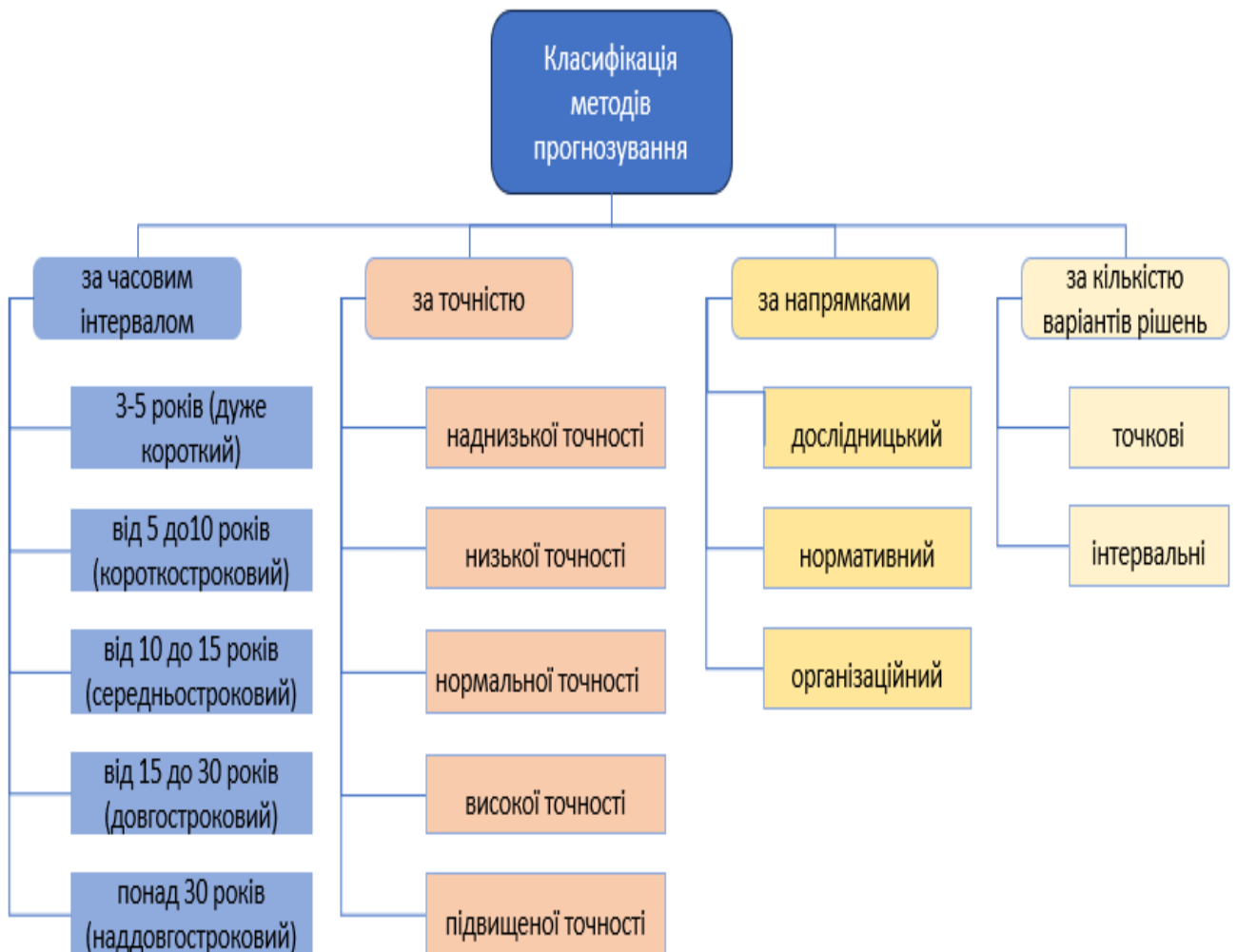


Рис. 1.1. Класифікація методів прогнозування

Процедура прогнозування передбачає аналіз параметричної та непараметричної інформації, що стосується технічної системи, яка розвивається в часі, та зробити наукове передбачення її розвитку від найближчого до далекого майбутнього.

При виконанні конструкторського проектування, стосовно металорізальних верстатів, їх часовий інтервал для прогнозу становить 2-3 роки для іноземних фірм, а для вітчизняних, як правило 4-5 років.

Проводячи прогнозування таких складних об'єктів, як металорізальні верстати, слід врахувати сучасний стан та перспективи розвитку суміжних галузей (наприклад розвиток інструментальних матеріалів, систем ЧПК, появу нових приводів верстатів, особливості затиску інструментів при здійсненні високошвидкісної обробки та т. ін.).

При прогнозуванні слід особливу увагу приділити такому питанню, як рівень насичення, адже розвиток складових частин обладнання може досягнути такого стану, коли в подальшій модернізації обладнання чи вдосконаленні його складових частин не буде економічно обґрунтованого змісту [7].

Ще одну особливість, яку слід врахувати при прогнозуванні розвитку технічних параметрів металорізальних верстатів, це їх природа, вони є стохастичним та детермінованими [7]. Тобто, якщо взяти технічні характеристики чи параметри верстатів, що відносяться до ранніх стадій їх розвитку, то вони не повинні бути визначальними, їх статистична вага має бути набагато нижчою, ніж ті, що стосуються сучасного стану. Тому при прогнозуванні слід особливу увагу звернути на математичні моделі, що дозволяють реалізувати адаптивні методи екстраполяції. До таких методів відноситься експоненційне згладжування.

В літературі, яка присвячена прогнозуванню, розглядаються методи, що дозволяють досліджувати тенденції, в основі яких лежить різна природа, та які розвиваються паралельно. Для таких випадків доцільно застосовувати кореляційні методи прогнозування (прикладом може бути порівняння між розвитком систем керування та технологічними можливостями верстатів) [8].

Оскільки параметри металорізальних верстатів (їх технічні характеристики) є випадковими величинами, їх числові значення стосуються конкретної моделі обладнання, то в такому випадку доцільно розглянути можливість застосування регресійних методів прогнозування, а саме методу нелінійної регресії [9].

Також при прогнозуванні можливим є використання методу парних регресій. Прикладом цього може аналіз того, як поява нових інструментальних матеріалів може вплинути на точність обробки на металорізальному верстаті. Як відомо, при появі нових інструментальних матеріалів, будуть відповідно сконструйовані нові ріжучі інструменти, обробка якими можлива на більш високих швидкостях. Це в свою чергу буде вимагати наявності приводу головного руху, який буде здатний забезпечити таку швидкість різання. При вищій швидкості обробки та менших значеннях подачі (тонке точіння) ми зможемо отримати вищу точність для поверхні, що обробляється.

Перспективним є використання ймовірнісної моделі, вона дозволяє враховувати при обчисленнях випадкові параметри (якими є технічні характеристики верстатів чи параметри інструментів) [5].

Прогнозування параметрів металорізальних верстатів може бути здійснене за допомогою інтерполяційних методів. В основі даних методів лежать математичні моделі, в яких використовуються степеневі поліноми. Вибір степені поліному буде залежати від вхідних даних, згідно яких має проводитись прогнозування.

## **1.2. Інформаційно-патентний пошук**

### **1.2.1. Аналіз робіт за тематикою дослідження**

На початкових етапах проектування широко використовуються основні положення теорії технічних систем та системний аналіз, останній дозволяє визначити рівень декомпозиції системи при її описі [3, 10, 11].

В роботах Кузнєцова Ю.М. багато уваги приділяється використанню основних положень системного підходу та методу морфологічного аналізу [12].

В працях вітчизняних фахівців багато уваги приділяється питанням точності, та визначення факторів які впливають на її формування [13, 14, 15]. Також були проведені дослідження, в яких використовуються моделі, що розглядають процес в ймовірнісному аспекті, а також моделі на основі малої вибірки [16, 17].

В роботі [18] розглянуті питання, що стосуються параметричного моделювання компоновань токарних верстатів, та розглянуті особливості застосування при цьому спеціалізованих пакетів САПР.

При проектуванні металорізальних верстатів можуть використовуватися різні типи моделей, а саме критеріальні (можуть містити інформацію про технічні характеристики обладнання та відображати їх внутрішні зв'язки з конструктивними параметрами), морфологічні (за їх допомогою можна описати структуру, особливості компоувальної схеми, розміри обладнання), а також моделі поведінки (в них описується особливості кінематики верстатів, як в динаміці працюють робочі органи обладнання) [19].

В ряді робіт запропоновано підхід та математичні моделі, які дозволяють на основі аналізу комплексу формоутворюючих рухів, які забезпечує верстат, здійснити оцінку його точності [20, 21].

Заслуговують уваги праці, в яких автори займались синтезом компоувальних схем агрегатних верстатів та здійснювали обґрунтування їх технічних характеристик [22, 23].

### **1.2.2. Аналіз області використання БТА**

БТА мають переважне застосування на підприємствах з крупносерійним та масовим виробництвом. Це було, як правило обладнання з кулачковим керуванням, дані верстати характеризуються високою продуктивністю, вони працювали в автоматичному режимі та є досить надійними. Основний їх недолік, це складність переналагодження на випуск іншої номенклатури виробів, оскільки

потрібно розробити нове технологічне оснащення, спроектувати нові кулачки, та здійснити їх заміну [24].

В праці [25] приведені статистичні дані щодо тривалості процесу переналагодження кулачкових БТА. Так середня тривалість для переналагодження верстату на нову партію виробів складає приблизно 9 годин, з них 57% (311 хв.) займає заміна інструментів, 11% (58 хв.) - час на заміну кулачків та змінних зубчастих коліс, 18% (96 хв) – займає заміна пристосувань та налаштування механізму подачі прутка, 14% (76 хв) – встановлення вимірювальних приладів, а також монтаж нової та демонтаж старої наладки. А при використанні БТА з ЧПК, цей час зменшується майже в 3 рази.

Саме тому провідні фірми, що займаються виробництвом БТА, перейшли на випуск даного обладнання з ЧПК. А сучасний розвиток цих систем керування дозволяє здійснювати обробку деталей будь-якої складності.

### **1.2.3. Аналіз моделей БТА з ЧПК, що випускаються серійно**

В останні роки виробники БТА, як правило надають перевагу конструкціям, в основі яких лежить модульний принцип побудови. Це дозволяє створювати в межах однієї серії різні конфігурації обладнання, що дозволяє забезпечити покупцю максимальну рентабельність виробництва.

Виробники БТА поступово відмовляться від компоновальних схем, в яких наявний поворотний шпindelний барабан та верхнє розміщення розподільчого валу. Такі верстати оснащуються хрестовими столами, багатопозиційними револьверними головками, використовують похилу станину, що дозволяє покращити видалення стружки із зони обробки.

Так пропонується конструкція верстату (рис. 1.2), який містить трипозиційний поворотний баран, який розміщений на похилій площині та обертається навколо центральної осі повороту. Перша позиція є завантажувально-розвантажувальною, в другій проводиться токарна обробка, а в третій – фрезерно-свердловальні операції, які здійснюються при нерухомому шпindelі [26]. Верстат



оснащений промисловим роботом, який здійснює подачу заготовок в першу позицію.

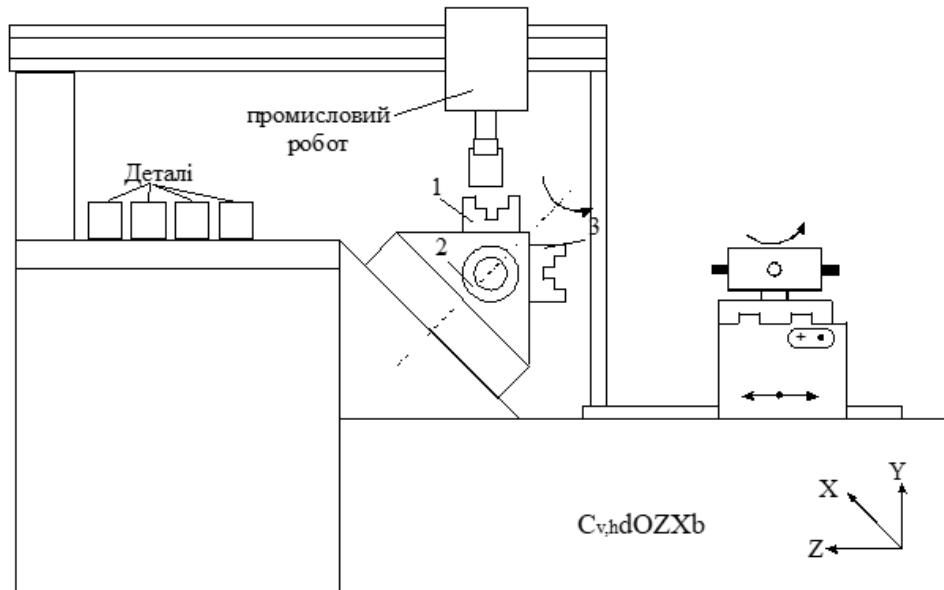


Рис. 1.2. Компонування трьохшпindelного токарно-револьверного автомату

Компанія Traub AG розробила конструкцію двошпindelного токарного автомату [27], в якому в якому реалізована концепція двосторонньої обробки деталі з перезакріпленням деталі в межах верстату (рис. 1.3). Шпindelі розміщені один навпроти іншого, верстат оснащений револьверною голівкою поворотного типу.

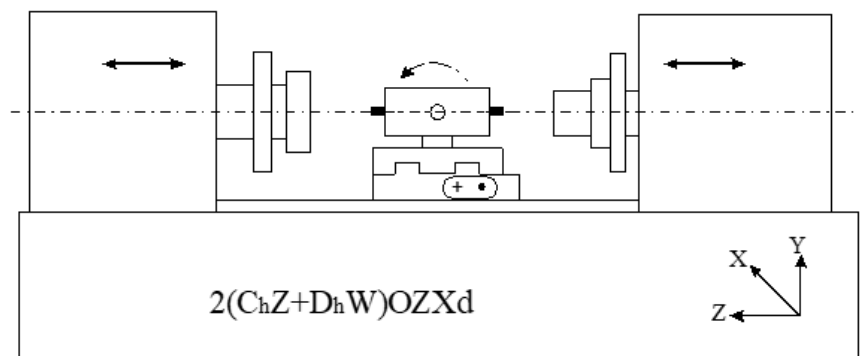


Рис. 1.3. Компонування верстату з рухомими шпindelними бабками

Український виробник, компанія «Веркон», пропонувала конструкцію БТА моделі 1А290П-4КФ30 (рис. 1.4), в якій супорти було розміщено під різними кутами до станини [12]. Верстат був оснащений фрезерно-свердлувальним пристроєм, що дозволяло здійснювати на ньому свердління кутових отворів. Завантаження - розвантаження заготовок виконував промисловий робот.

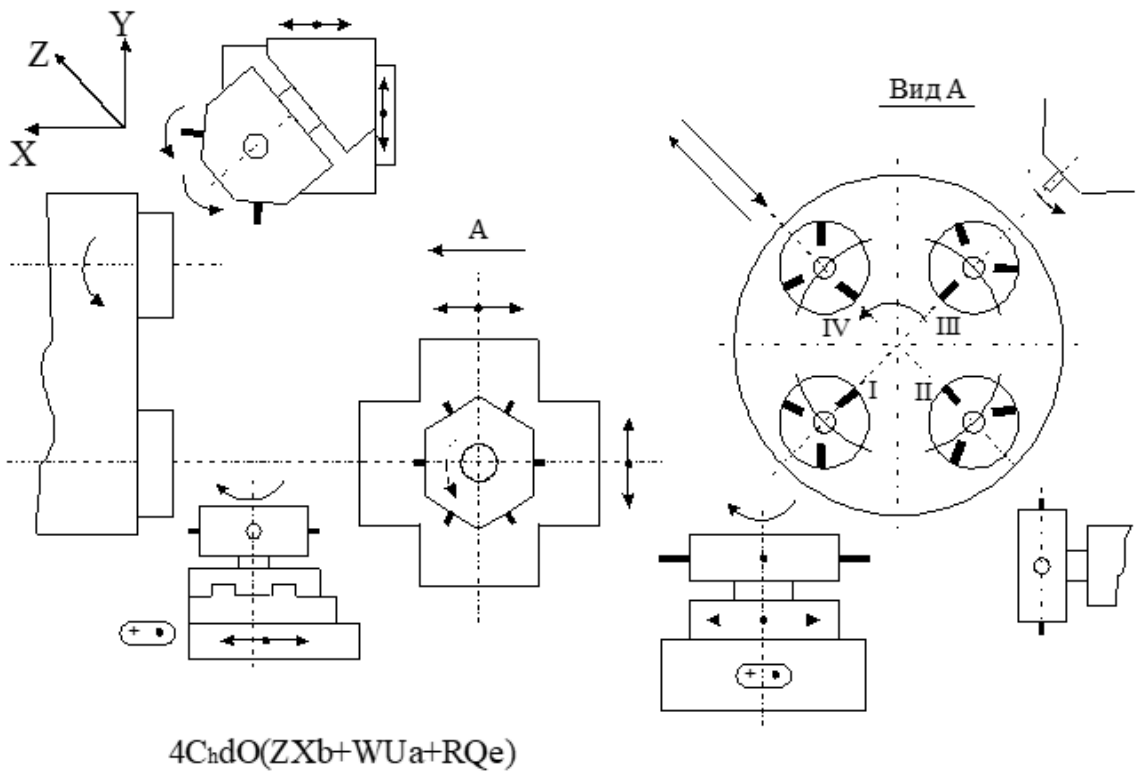


Рис. 1.4. Компонування БТА моделі 1А290П-4КФ30

Компанія «Emag» запропонувала конструкцію шестишпindelного токарного автомата з ЧПК, який має в своєму розпорядженні шість повздовжніх і десять поперечних супортів, останні мають хрестову конструкцію [28].

Ще один відомий виробник БТА, а саме компанія «Heuyligenstaed» запропонувала верстати серії «Heunomat» (рис. 1.5), їх створюють із набору уніфікованих вузлів (всього 20 блоків), вони оснащені системою ЧПК [29]. Основна особливість цих верстатів – похила станина. Верстати можуть використовуватися на підприємствах всіх типів виробництва. В залежності від комплектації, на них можна обробляти як вали, так і прутково-трубні заготовки.

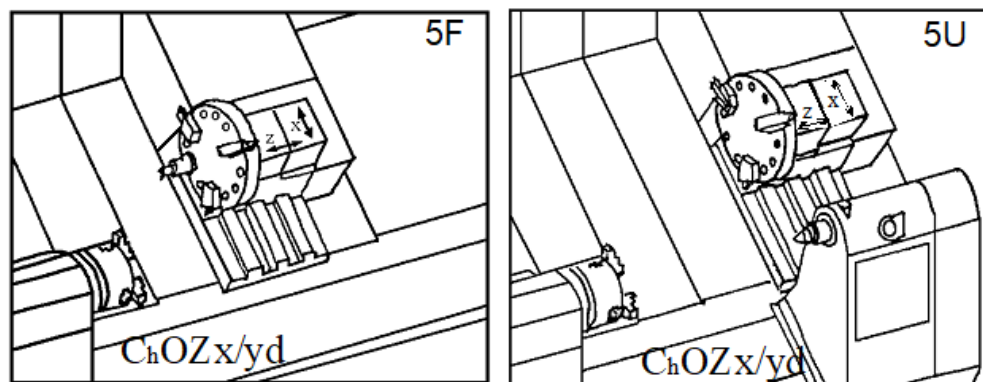


Рис. 1.5. Компонувки ТА з ЧПК серії «Heunomat» фірми Heuyligenstaed

Деякі фірми пішли по шляху створення БТА із стаціонарними шпинделями, з довільним їх розміщенням, а також незалежним приводом. При відсутності поворотного барабану, такі верстати додатково оснащують промисловим роботом чи маніпулятором. Але всі представлені конструкції виробники оснащують сучасними системами ЧПК.

### **1.3. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження**

При проектуванні верстатів, особливо на початкових його стадіях, проводять прогнознi дослідження. При прогнозуванні технічних параметрів БТА можна використовувати різні методи прогнозування. Вибір методу прогнозування буде залежати від типу даних, які взяті для прогнозування. Розглянуті доцільні області використання різноманітних методів прогнозування стосовно металорізальних верстатів.

Проведено аналіз робіт в області проектування багатошпиндельних токарних автоматів, та ролі при цьому основних положень теорії ТС, системного та морфологічного аналізу.

Багато науковців при проектуванні верстатів використовують параметричне моделювання, а при побудові компонування верстату застосовують аналіз комплексу формоутворюючих рухів.

Здійснено аналіз області використання БТА, при цьому здійснено порівняння тривалості налагодження для БТА традиційного компонування та БТА з ЧПК. Останні мають при цьому суттєві переваги.

Здійснено аналіз моделей БТА, що випускають провідні верстатобудівні фірми. Сучасні БТА як правило побудовані на агрегатно-модульному принципі. Для розширення їх технологічних можливостей можуть використовуватись револьверні головки, перевага надається компонуванням з похилою станиною, а також застосуванню хрестових супортів. Переважна більшість фірм відмовляються від традиційного компонування з поворотним шпиндельним барабаном та системою керування на основі розподільчого валу. Основна система керування – система ЧПК.

**Мета і задачі дослідження.** Метою кваліфікаційної роботи є оцінка стану розвитку БТА та розробка їх перспективних конструкцій з покращеними технічними характеристиками.

Щоб досягнути поставленої мети, в роботі слід вирішити такі задачі:

- провести аналіз основних методів, якими можна здійснити параметричне прогнозування;
- здійснити літературний огляд публікацій, що стосуються тематики кваліфікаційної роботи;
- провести технологічні та конструкторські розрахунки для розробки одного з виконавчих вузлів БТА;
- здійснити обґрунтування математичної моделі для прогнозування розвитку параметрів БТА;
- запропонувати перспективні компонування БТА з покращеними технічними характеристиками;
- здійснити розробку основних заходів, що стосуються безпеки життєдіяльності та охорони праці підприємства машинобудівної галузі.

## РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ

### 2.1. Технологічні розрахунки

Згідно виданого завдання, вихідними даними на здійснення проектування є креслення деталі шестерня спеціальна проміжна «ШСП-12.12.23-01» (рис. 2.1), ТП її виготовлення та річна програма випуску, яка становить 6000 деталей. Дана деталь входить до конструкції редуктора ДВ6-341.

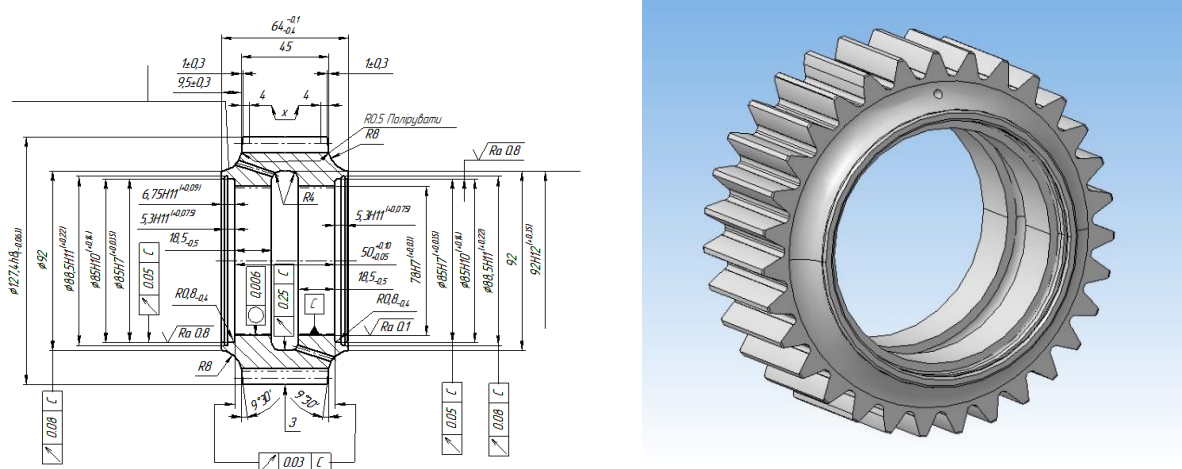


Рис. 2.1. Креслення деталі «ШСП-12.12.23-01» та її 3D - модель

Аналіз базового ТП виготовлення деталі «ШСП-12.12.23-01» виявив ряд недоліків, для їх усунення пропонується використати високопродуктивне обладнання, а саме багатошпindelний токарний напівавтомат та верстати з ЧПК, це дозволить суттєво скоротити час обробки та знизити собівартість виготовлення деталі.

Обробку деталі «ШСП-12.12.23-01» будемо проводити на верстаті 1Б265НП-6К, його технічні характеристики приведені в Додатку А.

Здійснимо вибір ріжучого інструменту та технологічного оснащення [30], яке необхідне для обробки деталі «ШСП-12.12.23-01» на верстаті 1Б265НП-6К. Результати вибору приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Вибір ріжучого інструменту на операцію 010 - Токарна

Назва і зміст переходу	Різальний інструмент та оснащення
<b>Позиція 1</b>	
Встановити і закріпити деталь (зняти деталь)	патрон 3-х кулачковий, 6 шт. ГОСТ 14903-69
<b>Позиція 2</b>	
Точити поверхні 3 і 5	Різець підрізний відігнутий лівий, $\varphi=45^\circ$ , 15x25x100, $r=1,0$ мм, ВК-8 ГОСТ 18880-73.
	Різець прохідний відігнутий правий, $\varphi=45^\circ$ , 16x25x150, $r=1,0$ мм, ВК-8 ГОСТ 18868-73.
<b>Позиція 3</b>	
Точити поверхні 2 і 4	Різець підрізний відігнутий лівий, $\varphi=45^\circ$ , 15x25x100, $r=1,0$ мм, ВК-8 ГОСТ 18880-73.
	Різець підрізний відігнутий лівий, $\varphi=45^\circ$ , 15x25x100, $r=1,0$ мм, ВК-8 ГОСТ 18880-73.
<b>Позиція 4</b>	
Точити поверхні 6 і 5	Різець підрізний відігнутий лівий, $\varphi=45^\circ$ , 15x25x100, $r=1,0$ мм, ВК-8 ГОСТ 18880-73.
	Різець прохідний відігнутий правий, $\varphi=45^\circ$ , 16x25x150, $r=1,0$ мм, ВК-8 ГОСТ 18868-73.
<b>Позиція 5</b>	
Точити поверхні 1 і притуплення гострих кромки	Різець підрізний відігнутий лівий, $\varphi=45^\circ$ , 15x25x100, $r=1,0$ мм, ВК-8 ГОСТ 18880-73.
	Різець прохідний відігнутий правий, $\varphi=45^\circ$ , 16x25x150, $r=1,0$ мм, ВК-8 ГОСТ 18868-73.
	Різець підрізний відігнутий лівий, $\varphi=45^\circ$ , 15x25x100, $r=1,0$ мм, ВК-8 ГОСТ 18880-73.
<b>Позиція 6</b>	
Розвернути поверхню 5	Розвертка спеціальна D78 H9, P6M5

Оскільки розрахунок режимів різання по окремих операційних переходах не входить до задачі дослідження, то обчислення послідовності розрахунку ми тут не приводимо (вони подані в Додатку Б), а їх підсумкові результати зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. Зведена таблиця режимів різання для операції 10 Токарна

Номер	Ріжучий інструмент і його характеристики	Розміри обробки, мм			Подача S, мм/об	Стойкість T, хв	Оберти n, об/хв	Швидкість різання по шугоч, V <sub>різ</sub>	t <sub>м</sub> , хв	Потужність різання, N <sub>різ</sub> , кВт	
		Ø,d	Глибина різ. t	L <sub>р.х</sub>							
позиції	різця										
2	1	Підрізний, φ=45	92,3	1,2	13,8	0,15	120	12,5	30,88	11,35	2,54
	2	Прохідний, φ=45	77,3	1,8	72,5	0,15	120	12,5	18,54	11,35	0,74
3	1	Прохідний, φ=45	92,3	3,1	9,5	0,15	120	12,5	17,09	11,7	0,22
	2	Підрізний, φ=45	133	1,4	22	0,15	120	12,5	13,1	11,7	0,28
4	1	Підрізний, φ=45	133	1,2	17,5	0,15	120	12,5	45,99	13,24	0,379
	2	Прохідний, φ=45	77,3	0,8	67,5	0,15	120	12,5	27,69	13,24	1,11
5	1	Підрізний, φ=45	92,25	0,5	1,5	0,15	120	12,5	15,4	1,3	0,09
	2	Прохідний, φ=45	78,75	1,5	2,5	0,15	120	12,5	9,8	1,3	0,12
	3	Прохідний, φ=45	127,4	1	2	0,15	120	12,5	11,85	1,3	0,07
6	1	Розвертка	77,4	1,5	69	0,5	120	12,5	27,6	12,14	1,11

Згідно рекомендацій слід провести перевірочний розрахунок за величиною сумарної потужності різання.

$$N_{\Sigma} = \sum N_i \quad (2.1)$$

де  $N_{\Sigma}$ - сумарна потужність різання на операції;

$\sum N_i$ - потужність різання на кожній позиції.

$$N_{\Sigma} = \sum N_i = 3,29 + 0,5 + 4,9 + 0,28 + 1,11 = 10,08 \text{ кВт.}$$

$$N_{\Sigma} < N_d \cdot \eta \quad (2.2)$$

де  $N_d$ - потужність двигуна головного руху, кВт;  $N_d = 18$  кВт;

$\eta$  - ККД приводу головного руху верстата,  $\eta = 0,75$ ;

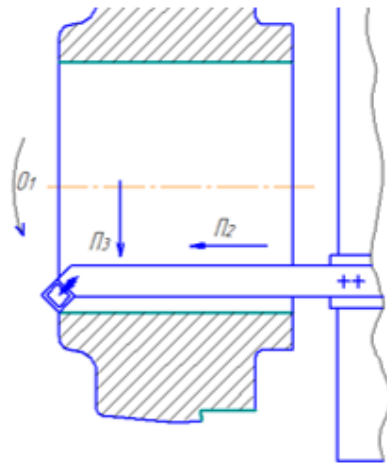
$$10,8 < 18 \cdot 0,75 \quad 10,8 < 13,5$$

Умова виконується.

## 2.2. Розробка структурно-кінематичної схеми верстату

Обробка деталі «ШСП-12.12.23-01» передбачає використання цілого ряду формоутворюючих рухів [31].

На одній з позицій передбачено розточування отвору, формоутворюючі рухи при цьому приведені на рис. 2.2.



1 – твірна – метод сліду  $\Phi=1$ :

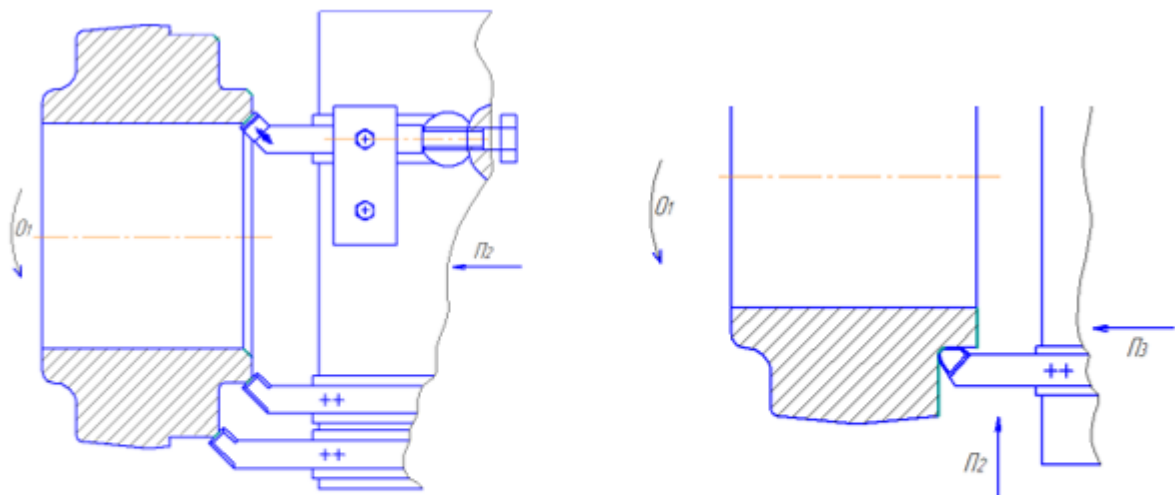
$\Phi_V(O_1)$ ;

2 – напрямна – метод сліду  $\Phi=1$ :

$\Phi_S(\Pi_2) + Уст(\Pi_3)$ ;

Рис. 2.2. Формоутворення при точінні внутрішнього отвору

На інших позиціях здійснюється точіння фаски та обробка фасонної поверхні, на рис. 2.3 приведено схеми, які процес точіння з використанням методу копіювання різальної кромки.



1. Твірна – коло - Метод копіювання  $\Phi=0$ , ( $Уст \Pi_2$ )

2. Напрямна – пряма - Метод сліду  $\Phi=1$ ,  $\Phi_V = (O_1)$ .

а) - точіння фаски

б) - точіння фасонної поверхні

Рис. 2.3. Формоутворення при точінні фаски та фасонної поверхні



При обробці на БТА виконується операція підрізного точіння, комплекс формоутворюючих рухів, які при цьому слід забезпечити приведені на (рис. 2.4).

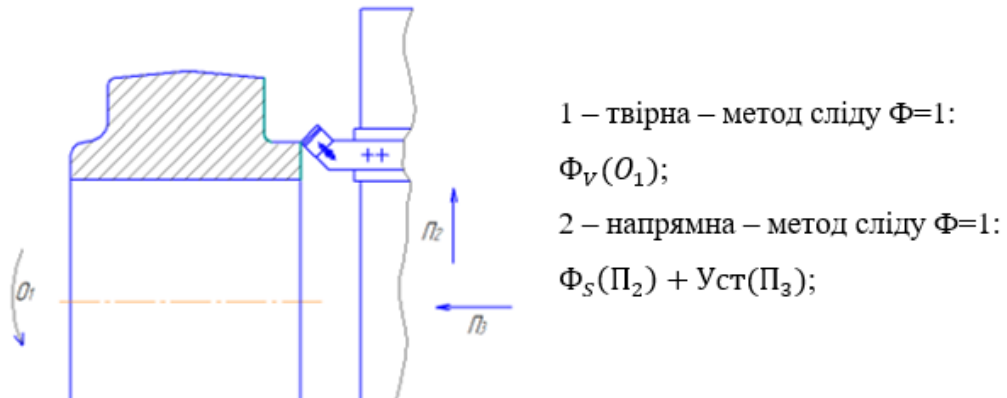


Рис. 2.4. Формоутворення при підрізному точінні

Також обробка деталі передбачає використання кінцевих інструментів, а саме зенкерів та розверток. На рис. 2.5 приведено комплекс формоутворюючих рухів, які необхідно при цьому забезпечити. При виконанні цих операцій заготовка є нерухомою, інструменту надають обертового та поступального рухів.



Рис. 2.5. Формоутворення при обробці кінцевим інструментом

Проведемо розробку структурно-кінематичної схеми верстату, при цьому ми будемо враховувати, що за основу обрано традиційне компонування верстата. В цілому верстат складається із сукупності кінематичних ланцюгів (КЛ), а саме приводу головного руху, приводу розподільчого валу, а також додаткових ланцюгів – приводу розвертування, різенарізання. Також в конструкції верстата передбачено ланцюг приводу шнекового транспортеру та приводу командоапарату.

Так КЛ приводу головного руху містить в своєму складі двигун M1, коробку швидкостей до складу якої входить гітара змінних коліс (рис. 2.6). Оберти передаються від привідного колеса одразу на всі шість шпинделів.

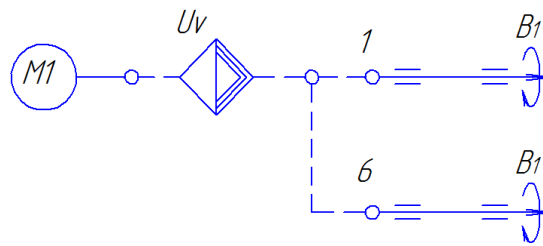


Рис. 2.6. Ланцюг приводу головного руху

Привід обертання розподільчого валу (рис. 2.7) містить в своєму складі три КЛ, а саме робочого та швидкого обертання, а також налагодних переміщень.

Привід робочого обертання отримує оберти від центрального валу, він містить гітару змінних коліс, яка задає частоту обертання розподільчого валу. Привід швидкого обертання отримує оберти від головного електродвигуна, його вмикає електромагнітна муфта. Для приводу налагодних переміщень застосовується окремий електродвигун, його основне призначення – налагодження розподільчого валу.

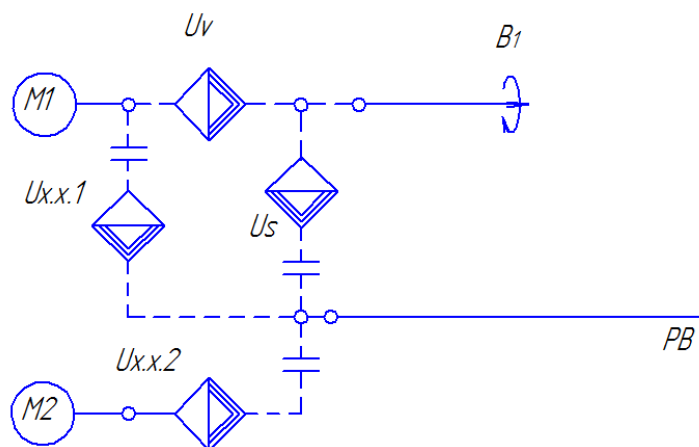


Рис. 2.7. КЛ приводу розподільчого валу

КЛ приводу швидкого свердління та розвертування (рис. 2.8) - забезпечує обертання приводної втулки з інструментальним шпинделем, а привід розвертування отримує рух від центрального валу через КЛ приводу головного руху.

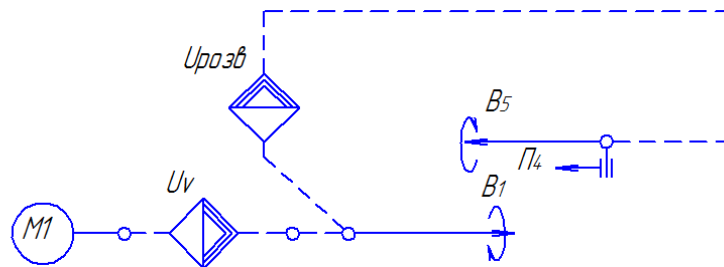


Рис. 2.8. КЛ приводу свердління та розертування

До складу КЛ приводу різенарізання (рис. 2.9) входять два КЛ - нарізання та згвинчування. В них рух задається від центрального валу, при цьому використовується ланцюг приводу головного руху. Величина подачі задається гітарою змінних коліс. До складу КЛ згвинчування входить механізм реверсу, керування яким здійснюється від перемикання електромагнітних муфт.

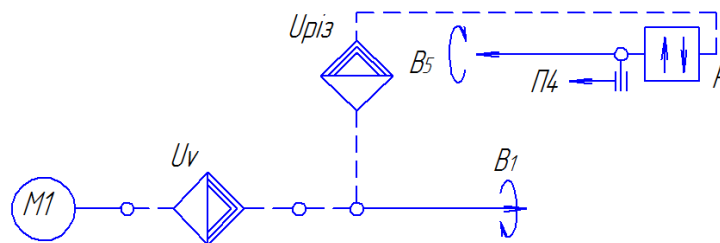


Рис. 2.9. КЛ приводу різенарізання

Для керування роботою розподільчого валу використовується КЛ приводу командоапарату (рис. 2.10). Він забезпечує вмикання робочого і швидкого обертання розподільчого валу (РВ), реверс інструментального шпинделя та інші командні і блокувальні функції.

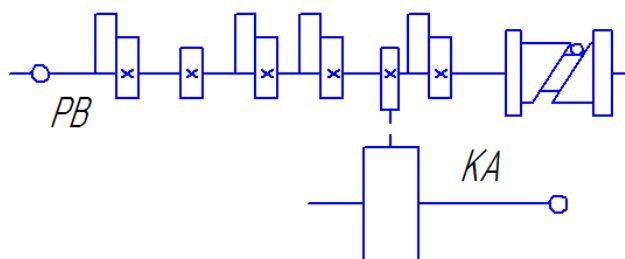


Рис. 2.10. КЛ командоапарату

Для забезпечення видалення стружки на верстаті передбачено КЛ приводу шнекового транспортера (рис. 2.11), для організації його роботи використовується окремий електродвигун і редуктор з черв'ячною парою.

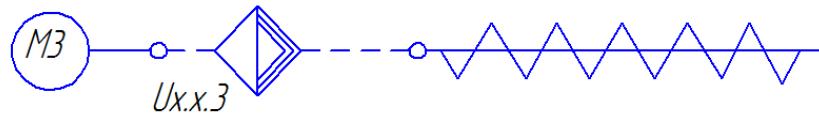


Рис. 2.11. КЛ приводу шнекового транспортеру

На основі розроблених структурно-кінематичних ланок верстату складаємо загальну схему структурно-кінематичну схему верстату (рис. 2.12).

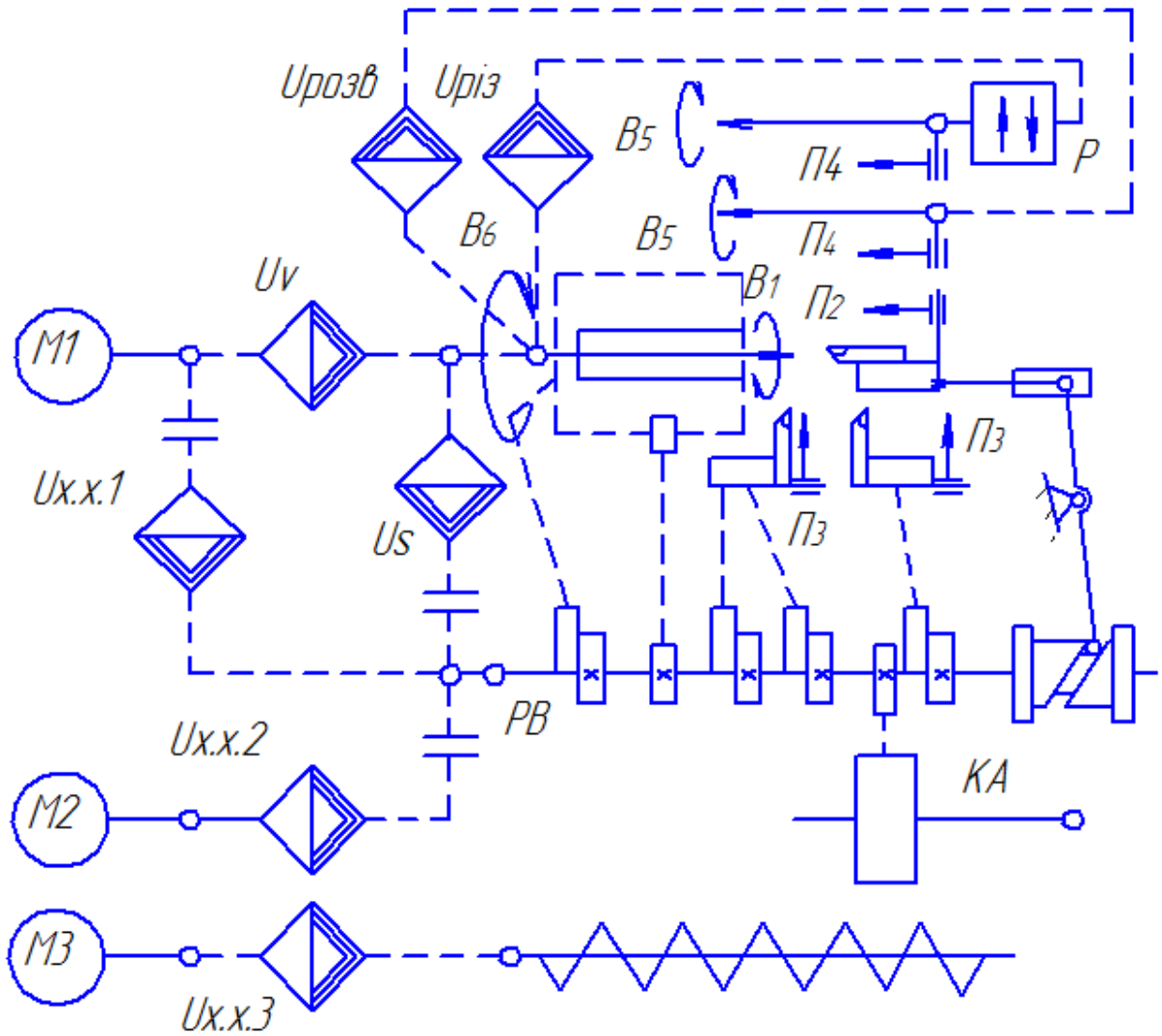


Рис. 2.12. Структурно-кінематична схема верстата

## 2.3. Оптимізація компоувальної схеми верстату

### 2.3.1. Структурний відбір компонок

На проєктованому верстаті необхідно забезпечити наступні операції:

- точіння повздожне  $ChOZ;$   
 $ChOY;$
- точіння поперечне  $ChOX;$   $\rightarrow ChO\bar{Z}$   
 $ChOX/Y;$
- осьову обробку отворів  $ChOZ;$

Тоді загальна структурна формула буде мати вигляд:

$$Ch \{O (Z + \bar{Z} + Z)\} \quad (2.3)$$

### 2.3.2. Формування схем обробки на верстаті

При побудові компоувань БТА можуть бути реалізовані чотири схеми обробки (послідовна, паралельна та паралельно-послідовна (2 варіанти)), основна інформація про ці схеми зведена в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. Варіанти схем шестипозиційного токарного автомата

Варіант схеми	Число позицій		Дія
	$p$	$g$	
1	6	1	послідовна
2	3	2	паралельно-послідовна (подвійна індексація)
3	2	3	паралельно-послідовна (потрійна індексація)
4	1	6	паралельна

Побудуємо розширену морфологічну матрицю компоувань БТА, яка містить десять основних ознак, вона приведена на рис. 2.13.

Заготовка			Шпиндельний блок				Супорти (координатні блоки)			
1. Вид	2. Сторони обробки	3. Рух	4. Геометрична вісь	5. Розміщення робочої зони	6. Розміщення осей в шпинделі	7. Рух	8. Кількість координат	9. Розміщення	10. Обслуговування шпинделя	
1.1. пруток 1.2. шпучна довга 1.3. шпучна коротка 1.4. пруток, шпучна заготовка	2.1. з однієї 2.2. з двох 2.3 з усіх 2.4 з середини	3.1. поступальний 3.2. обертовий 3.3. немає 3.4. комбінований	4.1. горизонтальна 4.2. вертикальна 4.3. похила 4.4. комбінована	5.1. з однієї сторони 5.2. з двох сторін 5.3. з декількох сторін 5.4. по середині	6.1. в лінійно 6.2. по циліндру 6.3. зіркою 6.4. по двом циліндрам 6.5. в одній площині 6.6. в декількох площинах 6.7. сукупність (6.1. і 6.6) 6.8. зустрічно-співвісне 6.9. зустрічне не співвісне 6.10 сукупність (6.2. і 6.6)	7.1. періодичний поворот 7.2. зворотно-поступальний 7.3. поступальний 7.4 комбінований 7.5. немає	8.1. одна 8.2. дві 8.3. три 8.4. чотири	9.1. зіркою 9.2. вздовж геометричної осі 9.3. перпендикулярно до осі 9.4. паралельно до осі 9.5. довільне	10.1 одного 10.2. двох 10.3 декількох 10.4 всіх	

Рис. 2.13. Розширена морфологічна матриця компоновань БТА

На основі даної матриці побудуємо 4 варіанти альтернатив:

I Варіант (1.4 – 2.2 – 3.2) + (4.1 – 5.1 – 6.4 – 7.1) + (8.1 – 9.5 – 10.5)

II Варіант (1.1 – 2.2 – 3.2) + (4.1 – 5.2 – 6.1 – 7.5) + (8.5 – 9.3 – 10.3)

III варіант (1.3 – 2.1 – 3.4) + (4.1 – 5.3 – 6.3 – 7.2) + (8.1 – 9.1 – 10.1)

IV варіант (1.1 – 2.2 – 3.2) + (4.1 – 5.1 – 6.2 – 7.1) + (8.1 – 9.5 – 10.5).

Приклад реалізації I варіанту приведений на рис. 2.14.

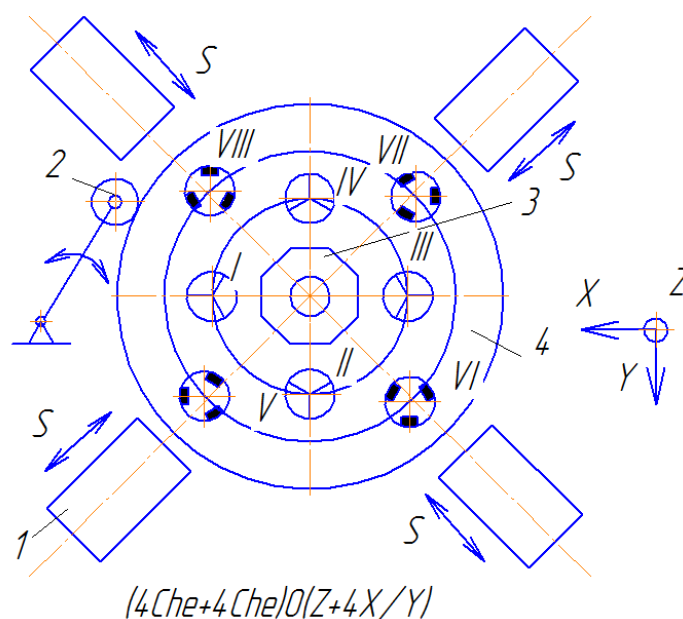


Рис. 2.14. Приклад реалізації схеми за I варіантом

Верстат має 8 шпинделів які розміщені по двох колах та 4 поперечні супорти. Така схема фактично суміщає два верстати, тому отриманий верстат буде відрізнятися великою масою та габаритами. Схему буде важко практично реалізувати.

Розглянемо схему, яка дозволяє реалізувати II варіант, вона приведена на рис. 2.15. На станині 1 розміщено блок нерухомих шпинделів 2, які розміщені в лінію. Паралельно до них в лінію розміщені відрізні супорти 5. Для виконання процесу обробки застосовується багатоярусна револьверна головка 4, яка розташована на хрестовому супорті 7. Також рухомою виконана шпиндельна бабка 3, яка містить ще один набір шпинделів 8.

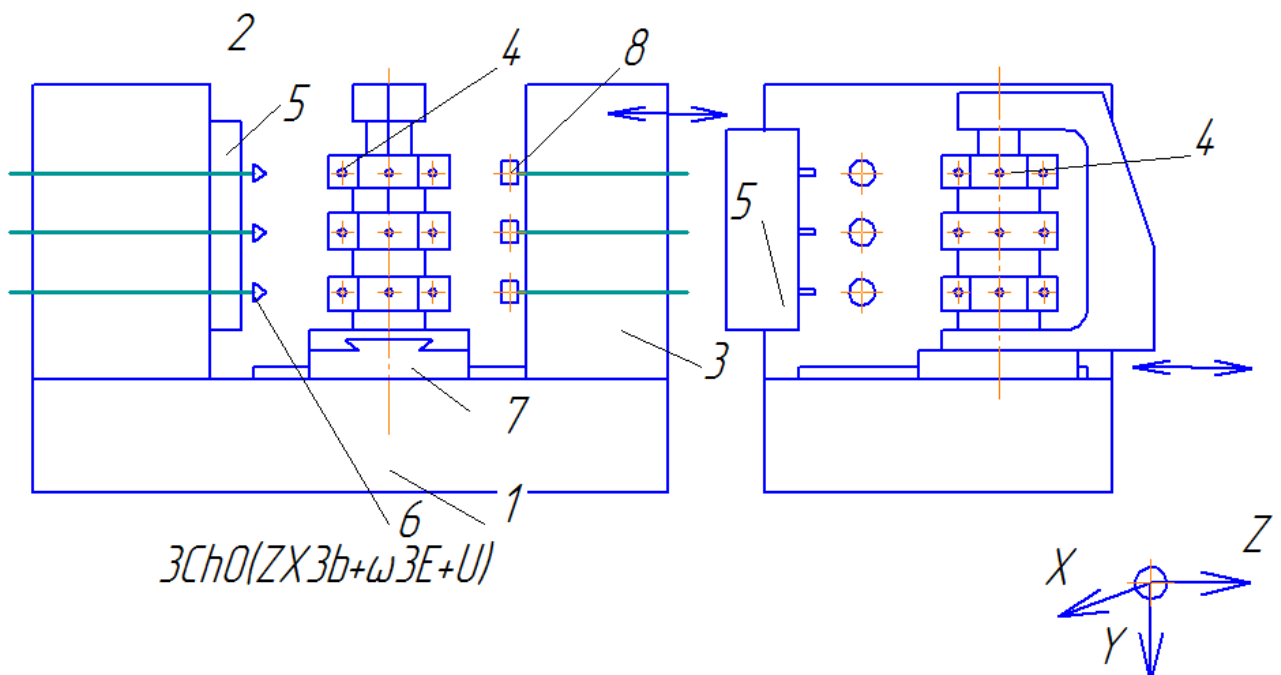


Рис. 2.15. Приклад реалізації схеми за II варіантом

На рис. 2.16 приведено схему, яка реалізовує III варіант з морфологічної матриці. При даному варіанті шпинделі 1 лежать на хрестових супортах по різні сторони багатопозиційної револьверної головки 2. Дана схема має також ряд недоліків, так як верстат займає багато місця, а самі деталі нескладні по формі.

Розглянемо IV варіант компоновки, який реалізує традиційну схему обробки, пропонуване рішення приведенне на рис. 2.17.

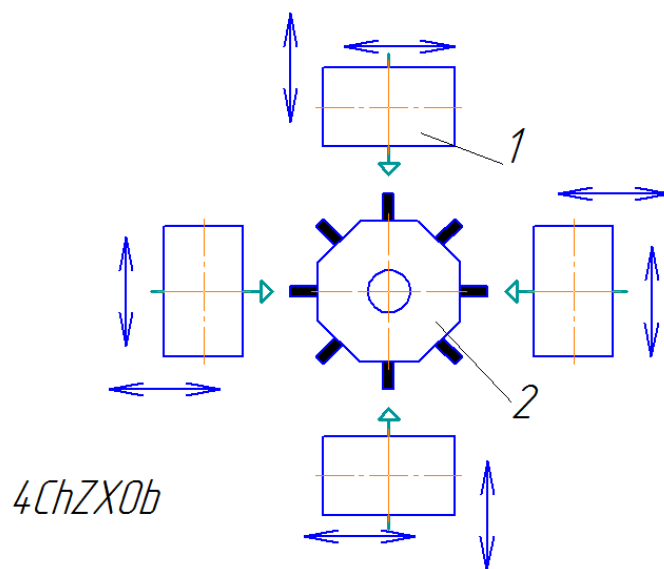


Рис. 2.16. Приклад реалізації схеми за III варіантом

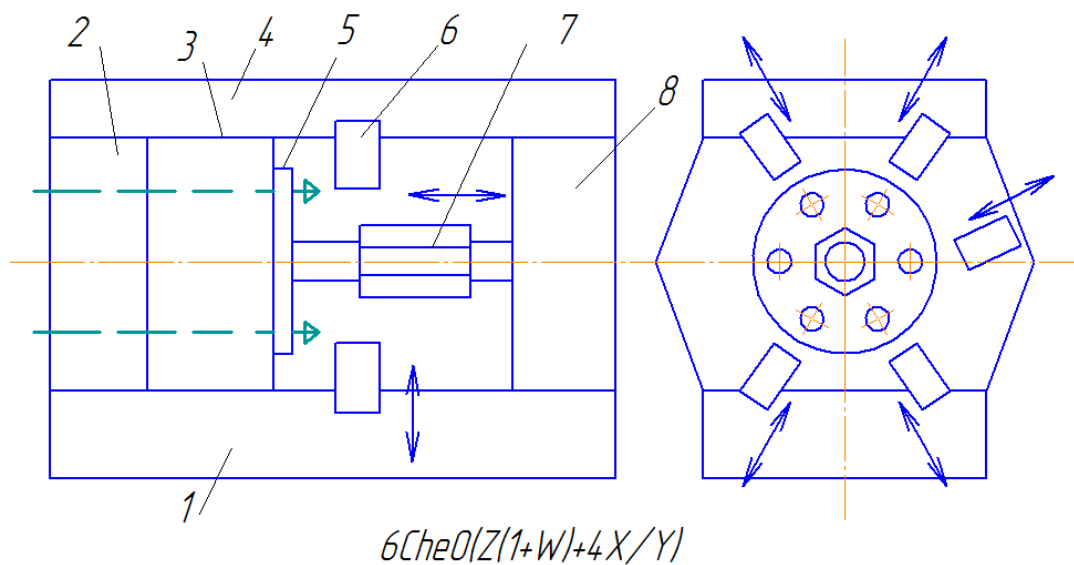


Рис. 2.17. Приклад реалізації схеми за IV варіантом

Запропонована схема у порівнянні із іншими має суттєві переваги, вона дозволяє здійснювати обробку деталей досить складної форми, операції завантаження та розвантаження можуть здійснюватися в одній позиції. Схема дозволяє реалізувати послідовну схему обробки. Пропонований верстат порівняно невеликий по габаритах та масі.

Саме тому за базову компоновку приймаємо рішення, яке дозволяє реалізувати IV варіант з морфологічної матриці.



## 2.4. Розрахунок приводу верстату

Кінематичні схеми багатошпindelних токарних напівавтоматів дуже близькі між собою. Основна відмінність між ними полягає у розміщенні двигунів приводів та в числі зубів в зубчастих передачах. Інша принципова відмінність - максимальний діаметр деталі, яку можна обробити на верстаті.

Для того, щоб провести вибір двигуна приводу подачі необхідно мати інформацію про маси робочих органів, відомості про сили тертя в опорах, направляючих, зубчастих передачах і т. ін., а також передаточні відношення та ККД передач.

Проведемо розрахунки які дозволять визначити чи можливо використати високомоментний двигун ПБВ-132L для приводу РВ шестишпindelного напівавтомата (рис. 2.18). Розрахунки будемо проводити з використанням методики [32], яка була розроблена в НТУУ «КПІ».

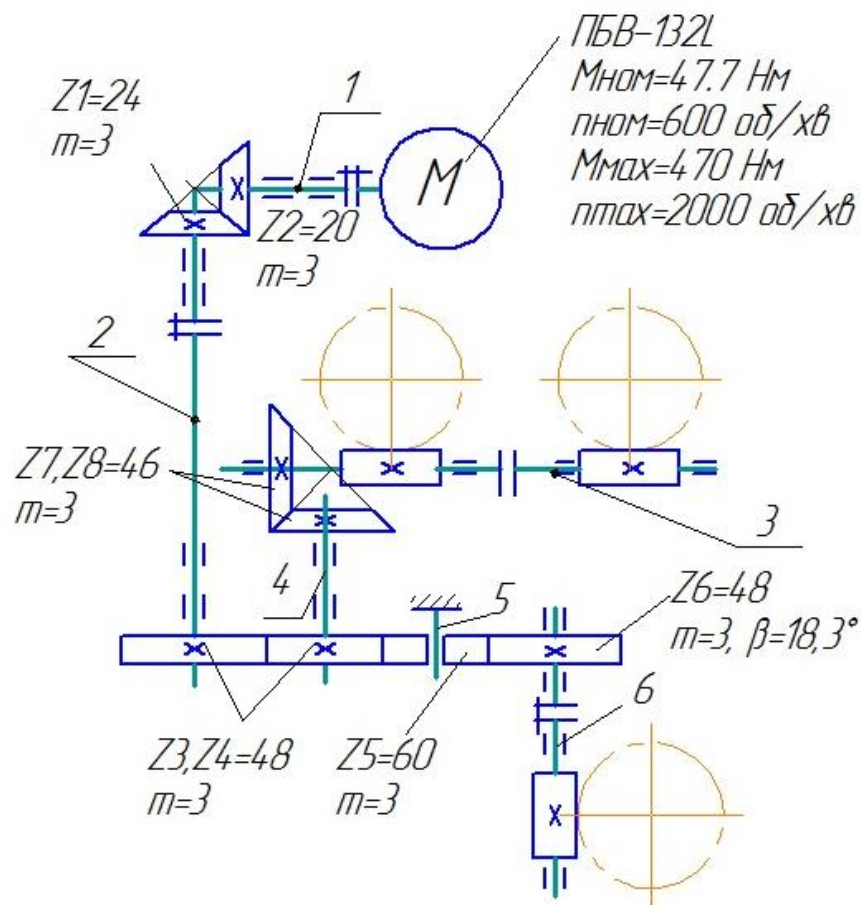


Рис. 2.18. Кінематична схема приводу розподільчого валу БТА

Для розрахунків приймаємо наступні дані:

- маса поперечних супортів - 100 кг;
- сили тертя від попереднього натягу в направляючих поперечних і повздовжніх супортів  $F_H = 800$  Н;
- загальний час обробки деталі  $t_p = 543$  с;
- час допоміжних переміщень  $t_x = 2,8$  с;
- кут робочого ходу розподільчого валу  $\varphi_p = 150^\circ$ .

Проведемо розрахунок сили різання при обробці деталей на шестишпindelному токарному автоматі (розрахункові значення сил різання та крутних моментів отримані при проведенні технологічного розрахунку).

Так в I позиції відбувається свердління отвору  $\varnothing 75$ . При цьому значення осьової сили  $P_{0_{11}} = 14,2$  кН, величина крутного моменту при буде становити:  $M_{кр1} = 331$  Н·м.

На іншому переході відбувається обточування поверхні  $\varnothing 221$  мм, при цьому ми отримаємо наступні значення:

$$P_{z_{12}} = 530 \text{ Н}, P_{x_{12}} = 360 \text{ Н}, P_{y_{12}} = 300 \text{ Н}.$$

Тоді сумарна складова сил різання в напрямку подачі повздовжнього супорта буде визначатися:

$$F_{x_{пр}} = P_{0_{11}} + P_{x_{12}} + P_{y_{12}} + P_{z_{12}} = 15,7 \text{ кН}. \quad (2.4)$$

Здійснимо розрахунок величини сили, яку необхідно прикласти, щоб привести в рух поздовжній супорт:

$$Q_p^{пр} = k \cdot F_{x_{пр}} + f_{тр} \cdot N_{\Sigma} + F_H + G_c \cdot \sin \gamma_c, \quad (2.5)$$

де  $N_{\Sigma} = R_{BH} + R_{KH}$ ;

$R_{BH}$ ,  $R_{KH}$  – реакція відповідно в верхній та в круглій направляючій.

Після цього переходимо до визначення рушійних сил, які необхідно прикласти в кожній позиції поперечного супорта.

Так для I позиції ми скористаємось виразом:

$$Q_p^{пр} = k \cdot P_{x_{13}} + f_{тр} \cdot N_{\Sigma_1} + F_{H_1} + G_c \cdot \sin \gamma_{c_1} = \\ 1,25 \cdot 430 + 0,2 \cdot (480 + 300) + 800 + 100 \cdot \sin 60^\circ = 1720 \text{ Н},$$

де  $k$  - коефіцієнт для розглядуваного супорта,  $k = 1,25$ ;

$f_{тр} = 0,2$  – коефіцієнт тертя;

$N_{\Sigma_1}$  – сумарна реакція

$$N_{\Sigma_1} = P_{z_{13}} + P_{y_{13}}.$$

Аналогічно визначаємо сили зрушення в інших позиціях:

$$Q_{p_2} = 1470 \text{ Н}, Q_{p_3} = 980 \text{ Н}, Q_{p_4} = Q_{p_5} \approx 0 \text{ Н},$$

Розрахункова схема для визначення реакцій в направляючих повздовжнього супорта показана на рис. 2.19.

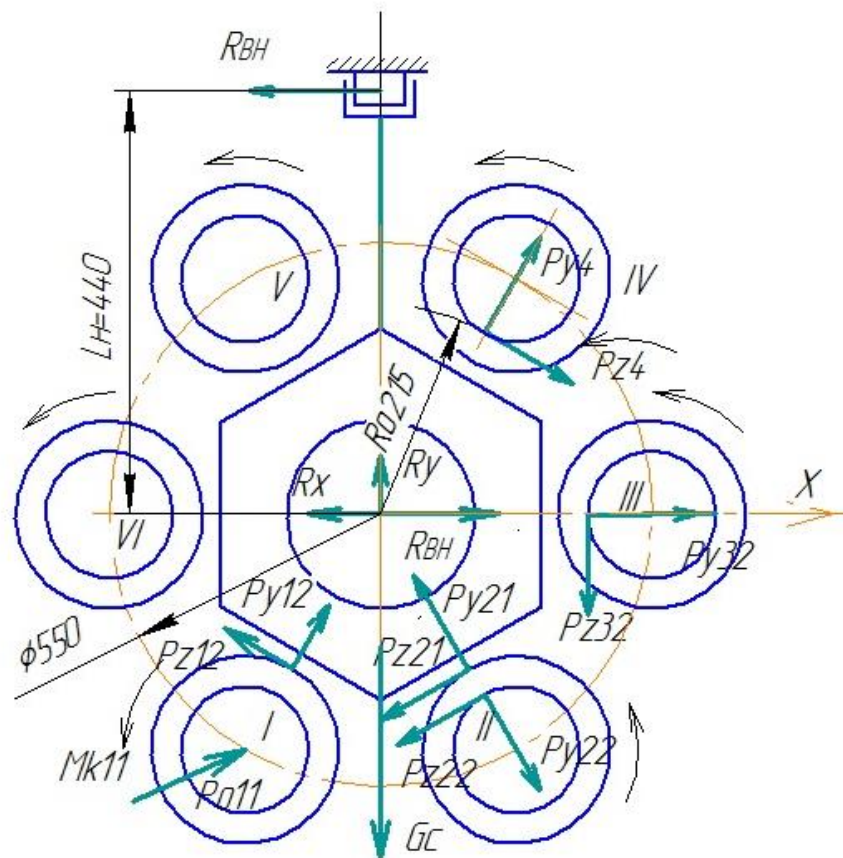


Рис. 2.19. Розрахункова схема для визначення реакцій в направляючих повздовжнього супорта

Проведемо розрахунок реакцій в верхній направляючій від крутних моментів:

$$R_{BH} = (M_{крz} - M_{кр1}) \cdot \frac{1}{L_H} = (2320 - 331) \cdot \frac{1}{0,44} \approx 4500 \text{ Н};$$

$M_{крz}$  – значення крутного моменту, який визначається в залежності від тангенціальних сил різання відносно осі круглої направляючої,

$$M_{крz} = \sum_{i=1}^k P_{z_i} \cdot R_0 = 2320 \text{ Н}.$$

Реакції  $R_x, R_y$  дозволять визначити складові сил різання з врахуванням кутів нахилу.

Сумарна реакція на круглій направляючій від радіальних сил і крутних моментів

$$R_{KH} = \sqrt{(R_{BH} + R_x)^2 + R_y^2} = \sqrt{(1,5 + 2,2)^2 - 1,45^2} = 2,7 \text{ Н.}$$

Визначаємо моменти на розподільчому валу, які необхідні для переміщення поперечних супортів

$$M_Q^p = \frac{\sum_{i=1}^m M_{Q_{p_i}} \cdot V_n}{2 \cdot \pi \cdot n_p} = \frac{4170 \cdot 0,005}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,046} = 72 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де  $\sum_{i=1}^m M_{Q_{p_i}} = 4700 \text{ Н}$ ;

Швидкість подачі визначаємо згідно

$$V_n = 10^{-3} \cdot S \cdot n_{\text{шп}}; \quad (2.6)$$

Підставивши згідно до карти наладки значення  $S_{\text{ш}} = 0,042 \text{ мм/об}$  отримаємо

$$V_n = 10^{-3} \cdot 0,042 \cdot 119 = 0,005 \text{ мм/хв};$$

Тоді частота обертання:

$$n_p = \frac{\varphi_p}{360 \cdot (t_p + t_x)} \quad (2.7)$$

$$n_p = \frac{150^\circ}{360^\circ \cdot 9,05} = 0,046 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Тоді крутний момент на валу повздовжнього супорта буде визначатись:

$$(M_Q^p)_{\text{повз}} = \frac{(Q_p)_{\text{повз}} \cdot V_{\text{повз}}}{2 \cdot \pi \cdot n_p} \quad (2.8)$$

$$(M_Q^p)_{\text{повз}} = \frac{30300 \cdot 0,0112}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,046} = 1174, \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

де  $V_{\text{повз}} = 10^{-3} \cdot S_{\text{повз}} \cdot n_{\text{шп}} = 10^{-3} \cdot 0,094 \cdot 119 = 0,0112 \text{ мм/хв}$ ;  
(тут  $S_{\text{повз}} = 0,094 \text{ мм/об}$  у відповідності із картою наладки).

Момент на двигуні, який необхідний для подачі супортів:

$$(M_Q^p)_{\text{суп}} = \frac{\sum_{i=1}^m (M_Q^p)_{\text{суп}i}}{\eta_{\text{пр}} \cdot u_{\text{дв-рв}}} \quad (2.9)$$

$$(M_Q^p)_{\text{суп}} = \frac{1246}{48 \cdot 0,3} = 86,5 \text{ Н} \cdot \text{ м},$$

де  $\sum_{i=1}^m (M_Q^p)_{\text{суп}i} = M_Q^p + (M_Q^p)_{\text{пр}}$

$$\sum_{i=1}^m (M_Q^p)_{\text{суп}i} = 72 + 1174 = 1246 \text{ Н} \cdot \text{ м};$$

$m$  - модуль зачеплення,

$$\eta_{\text{пр}} = \eta_{\text{к}}^2 \cdot \eta_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{ч}} \cdot \eta_{\text{км}} = 0,96^2 \cdot 0,97 \cdot 0,44 \cdot 0,8 \approx 0,3;$$

$\eta_{\text{к}} = 0,96$ ,  $\eta_{\text{ц}} = 0,97$  - ККД відповідно конічної та циліндричної передачі;

$\eta_{\text{ч}}$  - ККД черв'ячної передачі.

$$\eta_{\text{ч}} = \frac{\text{tg}(\gamma)}{\text{tg}(\gamma + \varphi)} = \frac{\text{tg}(4,76^\circ)}{\text{tg}(4,76^\circ + 6^\circ)} = 0,44$$

$\gamma$  - кут підйому гвинтової лінії черв'яка,

$$\gamma = \text{arctg}\left(\frac{z_r}{q_r}\right) = \text{arctg}\left(\frac{1}{12}\right) = 4,76;$$

$z_r$  - число заходів черв'яка;

$q_r$  - параметр,  $q_r = d_r/m$ ;

$d_r$  - діаметр ділительного кола черв'яка;

$\varphi$  - кут тертя,  $\varphi = f(V_{\text{ск}}) = 6^\circ$ ;

$$V_{\text{ск}} = \frac{\pi \cdot d_r \cdot n_r \cdot u_r}{60 \cdot 1000 \cdot \cos \varphi} \quad (2.10)$$

$$V_{\text{ск}} = \frac{3,14 \cdot 96 \cdot 0,046 \cdot 40}{60 \cdot 1000 \cdot \cos 4,76^\circ} = 0,009 \text{ м/с};$$

$\eta_{\text{км}} = 0,8$  – ККД клинопасової передачі;

$u_{\text{дв-рв}}$  - передаточне відношення від двигуна до розподільчого валу.

$$u_{\text{дв-рв}} = u_r \cdot \frac{z_2}{z_1} = 40 \cdot \frac{20}{24} = 48$$

Також необхідно визначити моменти постійних втрат на тертя в приводі. При цьому враховуються постійні втрати на тертя в підшипниках та ущільненнях.

Момент постійних втрат в підшипниках визначаємо за формулою:

$$(M_{\text{підш}})_{\text{пр}} = \sum_{j=1}^k \frac{C_{\text{оп}}}{2} \cdot d_{\text{вн}j}^2 + \sum_{j=1}^k \frac{Q_{Hj}}{2} \cdot f_j \cdot d_{\text{вн}j} \quad (2.11)$$

Для манжетних ущільнень діаметром  $d = 60 \dots 70$  мм приймаємо значення  $M_{\text{ущіл}} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

Втрати на всіх валах (див. рис. 2.19) визначаються:

$$M_{\text{трI}} = \frac{0,02}{2 \cdot 100} \cdot (2 \cdot 45^2 + 1,0) = 0,405 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{трII}} = \frac{0,02}{2 \cdot 100} \cdot (2 \cdot 45^2 + 2 \cdot 65^2) = 1,25 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{трIII}} = \frac{0,02}{2 \cdot 100} \cdot (2 \cdot 85^2) = 1,445 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{трIV}} = \frac{0,0062}{2 \cdot 100} \cdot (85^2 + 3 \cdot 60^2) + \frac{0,02}{2 \cdot 100} \cdot (85^2 + 60^2) = 1,64 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{трV}} = \frac{0,02}{2 \cdot 100} \cdot (2 \cdot 50^2) = 0,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\begin{aligned} M_{\text{трVI}} &= \frac{0,02}{2 \cdot 100} \cdot (2 \cdot 70^2 + 60^2) + \frac{0,0062}{2 \cdot 100} \cdot (2 \cdot 50^2 + 65^2) + 3 \cdot 1,0 = \\ &= 4,63 \text{ Н} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

Визначаємо значення моменту постійних втрат на тертя приведенного до валу двигуна:

$$M_{\text{тр}}^{\text{п}} = 0,405 + 1,25 + 1,445 + 1,64 + 0,5 + 4,63 \approx 10 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Необхідний момент двигуна при робочому обертанні розподільчого валу визначаємо згідно виразу:

$$M_{\text{ст}}^{\text{р}} = M_Q^{\text{р}} + M_{\text{тр}}^{\text{п}}, \quad (2.12)$$

$$M_{\text{ст}}^{\text{р}} = 86 + 10 = 96 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Проведемо вибір двигуна.

При попередньому виборі двигуна слід врахувати такі обмеження:

$$M_{\text{ном}} \geq M_{\text{ст}}^{\text{р}} \quad (2.13)$$

в інтервалі  $n_{p_{\min}} \cdots n_{p_{\max}}$  робочих частот обертання двигуна;

$$M_{\text{пр}} \geq M_{\text{ст}}^{\text{х}}. \quad (2.14)$$

Розрахуємо значення необхідного моменту двигуна при швидкому обертанні РВ згідно виразу 2.12.

$$M_{\text{ст}}^{\text{х}} = 74 + 10 = 84 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

де

$$M_Q^{\text{х}} = \frac{M_{\text{шп}}^{\text{х}}}{\eta_{n_{\text{Б}}} \cdot u_{\text{дв-рв}}} = \frac{2000}{0,56 \cdot 48} = 74 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$M_{\text{шп}}^{\text{х}} = 2000 \text{ Н} \cdot \text{м}$  – найбільший крутний момент на розподільчому валу при повороті шпиндельного барабану (згідно експериментальних даних);

$\eta_{n_{\text{Б}}}$  - ККД приводу при швидкому обертанні розподільчого валу.

$$\eta_{\text{пр}} = \eta_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{ц}}^2 \cdot \eta_{\text{ч}} \cdot \eta_{\text{км}}^2 = 0,96 \cdot 0,97^2 \cdot 0,7 \cdot 0,96^2 \approx 0,56;$$

$$\eta_{\text{ч}} = \frac{\text{tg}(\gamma)}{\text{tg}(\gamma + \varphi)} = \frac{\text{tg}(4,76^\circ)}{\text{tg}(4,76^\circ + 2^\circ)} = 0,7;$$

$$V_{\text{ск}} = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_{\text{Б}} \cdot u_r}{60 \cdot 1000 \cdot \cos \varphi} = \frac{3,14 \cdot 96 \cdot 12,5 \cdot 40}{60 \cdot 1000 \cdot \cos 4,76^\circ} = 2,6 \text{ м/с};$$

$$\varphi \approx 2^\circ.$$

Граничний момент двигуна на частоті  $n_{\text{Б}} = 600 \text{ об/хв}$ , який відповідає швидкому обертанню розподільчого валу (12,5 об/хв):

$$M_{\text{пр}} = 170 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq M_{\text{ст}}^{\text{х}} = 84 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

тобто умова 2.13. виконується.

Отже двигун вибрано правильно.

## 2.5. Висновки по розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи здійснені розрахунки режимів різання стосовно обробки деталі «ШСП-12.12.23-01» на багатшпіндельному токарному напівавтоматі. Визначена необхідна для обробки потужність різання, яка становить 10,08 кВт.

Визначено склад формоутворюючих рухів, які необхідно забезпечити для обробки деталі «ШСП-12.12.23-01» на проєктованому верстаті. На основі проведеного аналізу розроблено структурно-кінематичну схему верстату.

З використанням системного підходу та методу морфологічного аналізу розроблено морфологічну матрицю компонувань БТА. Синтезовано 4 варіанти альтернатив та здійснено їх опис, а також представлено їх графічну інтерпретацію.

Здійснено розрахунок приводу подач, а саме розподільчого валу. Розраховано величину крутного моменту, яку повинен забезпечити проєктований привід.



## РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 3.1. Методика та план проведення наукових досліджень

В третьому розділі (науково-дослідній частині) нам потрібно здійснити обґрунтування математичної моделі для прогнозування розвитку параметрів багатошпиндельних токарних автоматів.

Для здійснення прогнозу зібрати масив статистичних даних стосовно технічних характеристик токарних автоматів. Розробити перспективні компонування БТА.

### 3.2. Обґрунтування математичної моделі

Для здійснення прогнозу слід обрати адекватну прогнозуючу модель, яка являє собою рівняння (або систему рівнянь), що дозволяють описати передбачуваний хід процесу. В результаті проведених обчислень ми отримуємо прогноз, який може бути представлений у різних формах (таблиці, графіки чи діаграми).

Маючи достатні статистичні дані про певні технічні параметри БТА можна розробити прогнозуючу модель, яка може використовувати один із відомих детермінованих методів. Модель може бути отримана індуктивним, регресійним методом чи методом найменших квадратів.

На сьогоднішній день найбільше застосування мають моделі розв'язком яких є диференціальні рівняння (диференційна модель), а також алгебраїчні моделі (виражають дані через функцію часу) [2].

Розв'язком диференційної моделі буде вираз:

$$y' = a_1(t)y + a_2(t)y^2 \quad (3.1)$$

Дана модель може бути сформована виходячи з того, що обрана характеристика  $y(t)$  описується виразом (3.1). Система характеризується тим, що швидкість зміни обраного параметру системи з часом визначається як многочлен другого степеню стосовно шуканої функції. При цьому коефіцієнти многочлена можуть бути виражені через функцію часу.

При рішенні даної моделі будемо виходити з того, що незалежно від того якою є функція  $y(t)$ , завжди можна отримати функцію  $a_1(t)$ , при якій  $y(t)$  буде розв'язком навіть простішого диференціального рівняння:

$$y' = a_1(t)y. \quad (3.2)$$

$$y = L \left( a + e^{be^{-\beta t}} \right)^{-1} \quad (3.3)$$

де  $L, a, b, \beta$  - сталі числа, що є розв'язком рівняння (3.2) при

$$a_1(t) = - \frac{b\beta e^{-\beta t} - \beta t}{a + e^{be^{-\beta t}}}$$

Вираз (3.3) отримано в результаті вирішення моделі (3.2) в результаті деяких припущень - обмежень на функції  $a_1(t)$ ,  $a_2(t)$ , прийнятих як з міркувань спрощення розв'язку рівняння (3.1).

Основною вимогою, при цьому, є наявність на графіку, що характеризує розвиток технічної системи трьох ділянок: початкової стадії, стадії інтенсивного плавного розвитку та стадії згасання. Тобто графік функції  $y(t)$  є  $S$  подібною кривою (рис. 3.1).

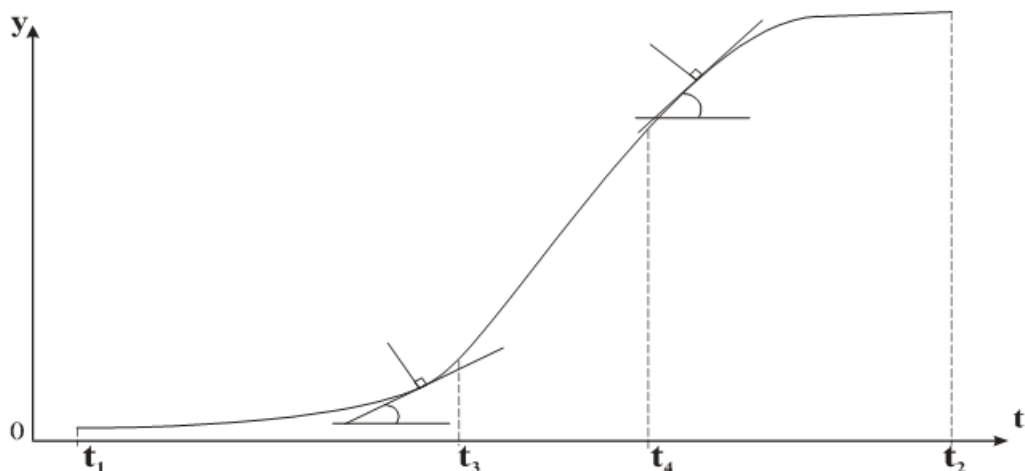


Рис. 3.1. Крива, що характеризує розвиток технічної системи

Для того, щоб крива відносилась до класу  $S$  - подібних, повинно виконуватися дві умови, перша з них, це те, що в декартовій системі координат  $y_0t$  дотична до кривої в будь-якій її точці утворює із додатнім напрямом осі абсцис гострий кут.

Друга умова описує криву (вона повинна містити три ділянки, а саме  $[t_1, t_3]$ ,  $[t_3, t_4]$ ,  $[t_4, t_2]$ , на яких крива є відповідно опуклою вниз, відрізком прямої та опуклою вгору).

Для опису та представлення системи у вигляді  $S$  – подібної (логістичної кривої) може застосовуватись диференційно-поліноміальна модель.

Вона дозволяє здійснити опис системи через поліноми різної степені:

$$f(t) = a_0t^2 + a_1t + a_2 \quad (3.4)$$

$$f(t) = a_0t^3 + a_1t^2 + a_2t + a_3 \quad (3.5)$$

Розглянемо випадок, коли технічна система буде описуватися поліномом в степені  $k$ .

$$f(t) = a_0t^k + a_1t^{k-1} + \dots + a_k \quad (3.6)$$

де  $k$  деяке натуральне число.

Розв'язком буде система рівнянь, яка приведена нижче

$$\begin{cases} a_0t_1^k + a_1t_1^{k-1} + \dots + a_k > 0; \\ a_0t_2^k + a_1t_2^{k-1} + \dots + a_k < 0; \\ ka_0t^{k-1} + (k-1)a_1t^{k-2} + \dots + a_{k-1} \leq 0, \quad t \in (t_1, t_2) \end{cases} \quad (3.7)$$

Дослідимо модель кривих  $y = L(1 + be^{K-\beta t})^{-1}$ .

На рис. 3.2 показано графік деякої функції класу  $S$  (крива 1) на відрізку (1850-2020), який характеризує час існування системи, та її найкраще наближення функціями виду (3.3) (крива 2).

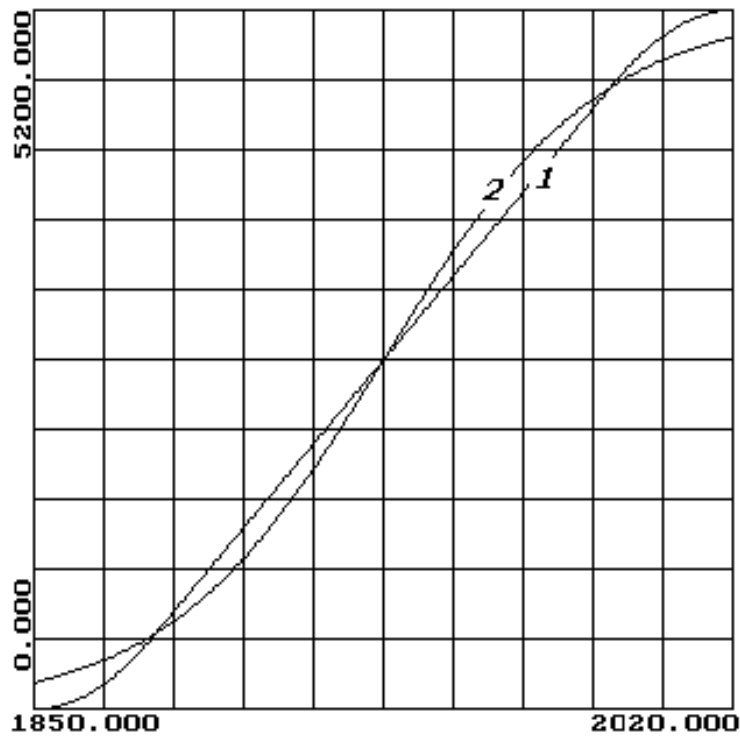


Рис. 3.2. Функція  $y(t)$  та її найкраще наближення моделлю

Здійснимо опис системи у вигляді логістичної кривої, вона буде виражатися системою рівнянь:

$$y = \begin{cases} 0,832(t - 1850)^2, & 1850 < t < 1875 \\ 41,6(t - 1875) + 520, & 1875 \leq t \leq 1990 \\ 5200 - 0,832(t - 2020)^2, & 1990 < t < 2020 \end{cases}$$

Кривій (2) відповідають значення параметрів  $L=5200$ ,  $K=80.85$ ,  $b=1$ ,  $\beta=0.042$ .

### 3.3. Приклад прогнозування розвитку швидкості обробки на БТА

Проведені дослідження показали, що розвиток параметрів БТА, а саме швидкості приводу головного руху та його продуктивності, відбувається з постійним прогресуванням. Тобто кожне нове покоління верстатів дозволяє проводити обробку тих самих деталей за менший проміжок часу.

Тому в якості критерію для аналізу обираємо величину технічної або фактичної продуктивності:

$$Q = \frac{1}{t_p + t_{\text{ц}} + t_{\text{п.ц}}} \quad (3.8)$$

де  $t_p$  – час на здійснення робочих ходів;

$t_{\text{ц}}$  – циклові втрати;

$t_{\text{п.ц}}$  – позациклові втрати.

Розглянемо випадок, при якому

$$t_x = t_{\text{ц}} + t_{\text{п.ц}} = 0$$

Тоді циклова продуктивність верстату може бути визначена за виразом:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{t_p} \quad (3.9)$$

Час виконання технологічної операції буде визначатися об'ємом обробки, тобто він буде залежати від таких параметрів, як:

$L$  – довжина обробки деталі;

$d$  – діаметр оброблюваної поверхні;

$b$  – ширина обробки;

$V$  – швидкість різання;

$S$  – величина подачі.

Час, який необхідно затратити на обточування циліндричної поверхні, може бути обчислений за виразом:

$$t_p = \frac{\pi \cdot d \cdot L}{1000 \cdot V \cdot S} \quad (3.10)$$

Тоді значення величини циклової продуктивності може бути розрахована за формулою:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{t_p} = \frac{1000 \cdot V \cdot S}{\pi \cdot d \cdot L} \quad (3.10)$$

Для обчислень приймаємо що значення  $d$  та  $L$ , є постійними, тоді продуктивність буде залежати від  $V$  та  $S$ .

Для прогнозування ми зібрали інформацію про моделі БТА, які випускалися серійно в період від 1940 по 2020 рік (всього більше ніж 250 моделей).

Інформація була розбита та згрупована по кількох категоріях, а саме числу шпинделів (2, 4, 6, 8); типу верстата (автомат чи напівавтомат); типу системи керування (розподільний вал, система ЧПК). Для аналізу ми використовуємо часовий інтервал 10 років – це базовий період тренду. За початок відліку ми взяли 1940 рік, коли фактично відбулось формування БТА класичного компонування (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Відповідність трендів часовому інтервалу

період тренду	часовий інтервал
30-40	1941-1950 роки
40-50	1951-1960 роки
50-60	1961-1970 роки
60-70	1971-1980 роки
70-80	1981-1990 роки
80-90	1991-2000 роки
90-100	2001-2010 роки
110-120	2011-2020 роки
120-130	2021-2030 роки
130-140	2031-2040 роки

В процесі експлуатації відбувається моральне зношення обладнання, для прогнозування необхідно враховувати значення, які показують дійсний, реальний стан розвитку.

Тому для прогнозування необхідно виключити вплив технічних параметрів, які не мають впливу на формування тенденцій розвитку. Для цього всю часову множину розбито на  $k$  діапазонів (трендів) і проведена селекція даних. Так всі значення  $k + 1$  діапазону, які не перевищували мінімального значення  $k$ -го діапазону вилучено; в  $k + 2$  діапазоні вилучено значення, що не перевищують максимального значення  $k$ -го діапазону. За даним принципом в кожному наступному діапазоні дані менші за мінімальне значення попереднього діапазону були видалені із обчислень.

В процесі попереднього аналізу було виявлено, наступну закономірність: якщо в якомусь часовому діапазоні спостерігалось різке зростання одного чи двох значень, то це свідчило про те, що один із виробників створив верстат, з кращими показниками. Тоді в наступні 10 років фірми-конкуренти будуть створювати обладнання, яке буде мати значення параметрів на рівні передового верстату. Лише деякі фірми зможуть виготовити верстати з характеристиками, що будуть мати вищі значення параметрів.

Для прогнозування ми будемо використовувати математична модель, яка описується поліномом четвертої степені. Це дозволяє відобразити процес розвитку швидкості різання з високим ступенем точності.

Статистичні дані і відповідні їм криві регресії для розвитку швидкості різання при обробці на БТА приведено нижче.

Так на рис. 3.3 приведено криву, що характеризує реальний стан розвитку.

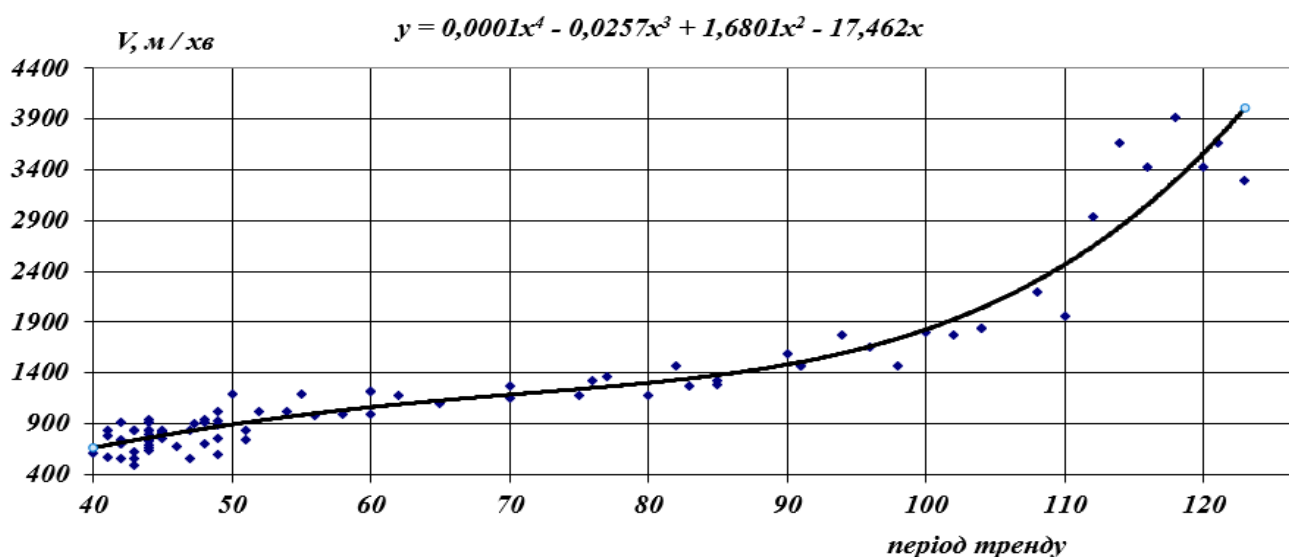


Рис. 3.3. Реальна крива розвитку

Для перевірки адекватності моделі здійснимо умовний прогноз, для цього зменшимо вибірку даних на період тренду від 40 до 100 і здійснимо прогнозування на період 20 років, щоб визначити, чи відповідають отримані результати реальному рівню розвитку параметру (рис. 3.4).

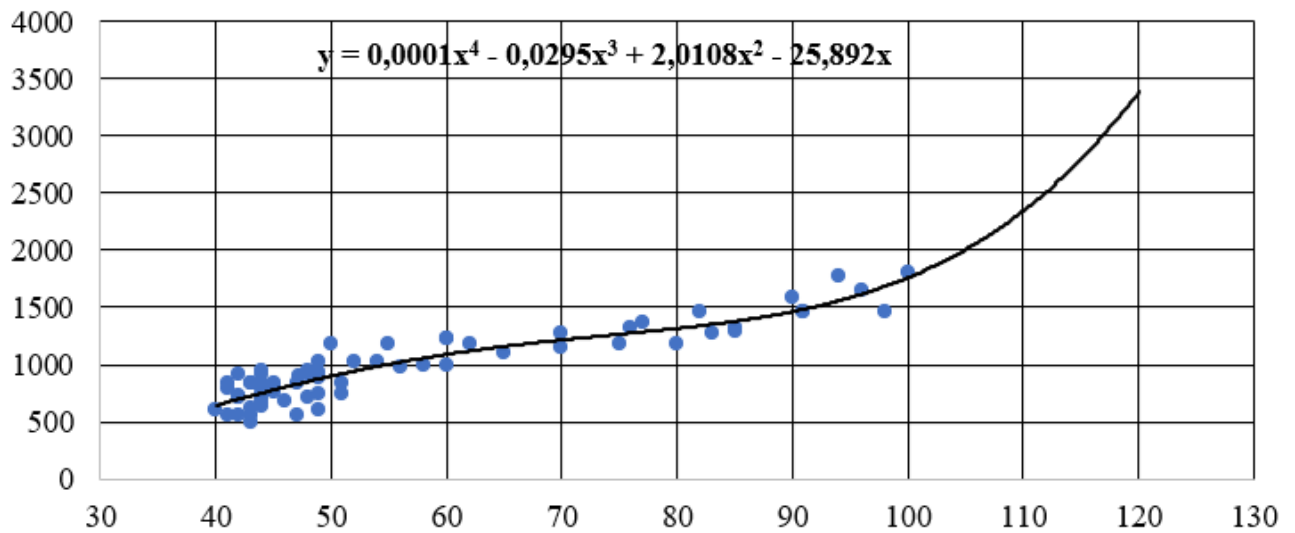


Рис. 3.4. Оцінка моделі умовним прогнозом

На рис. 3.5. проведено моделювання, яке дозволяє здійснити прогнозування параметру на величину тренду (20 років) на основі даних, що описують реальний рівень розвитку системи.

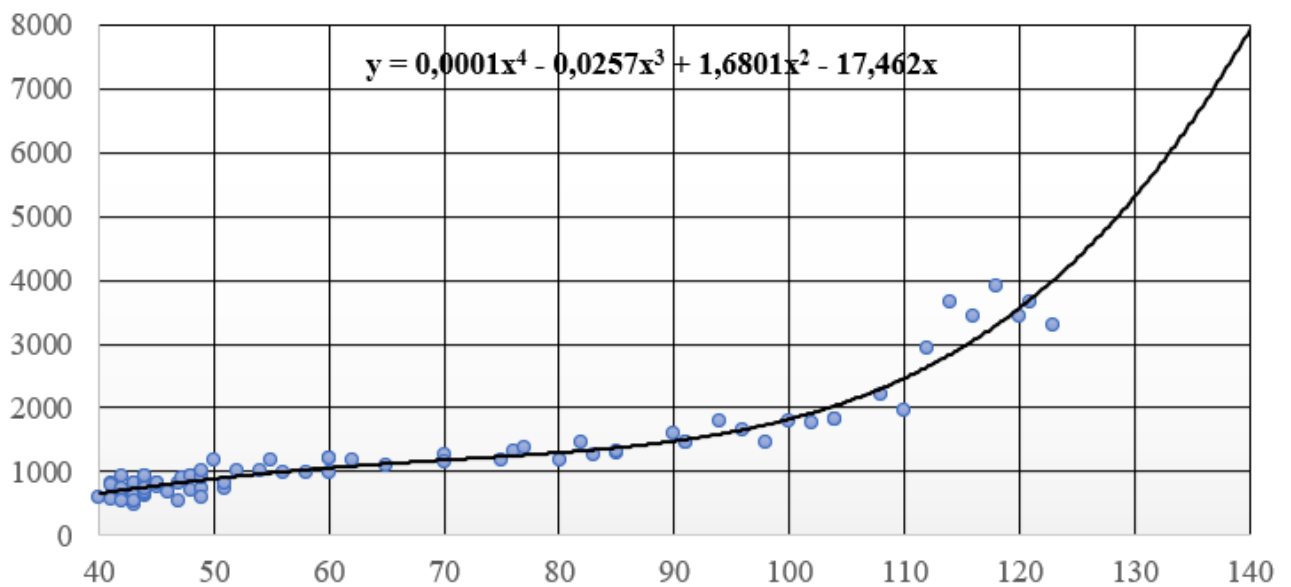


Рис. 3.5. Прогнозна крива на 20 років

Реальна крива розвитку швидкості різання відображена функцією:

$$y = 0,0001 \cdot x^4 + 0,0257 \cdot x^3 - 1,6801 \cdot x^2 + 17,462 \cdot x$$

Її аналіз показує, що на період часу, що відповідає 2020 року максимальна швидкість різання становить 3800 м/хв. Для верифікації прогнозних даних здійснено умовний прогноз розвитку швидкості. Ця крива описується виразом:

$$y = 0,0001 \cdot x^4 - 0,0295 \cdot x^3 + 2,0108 \cdot x^2 - 25,892 \cdot x$$



За вихідні дані взято рівень розвитку швидкості по 2000 рік. Прогноз на 2020 рік показав, що очікувана швидкість різання повинна становити 3490 м/хв, що становить 91,8% реального досяжного значення.

При прогнозуванні відомими аналогічними моделями точність прогнозу становить  $\pm 15\%$ .

Розроблена диференціально-поліноміальна модель дозволяє більш адекватно описати криву розвитку параметрів верстатів, а саме швидкості різання:

$$y = 0,00001 \cdot x^4 + 0,0257 \cdot x^3 - 1,6801 \cdot x^2 + 17,462 \cdot x$$

Згідно прогнозу на 2040 рік максимально досяжна швидкість різання на двошпиндельних токарних автоматах з ЧПК може становити 7800 м/хв.

Аналогічні прогнозні дослідження можна провести для інших моделей та типів верстатів, крім цього можна прогнозувати величину подачі, досягну ступінь точності шпинделя (биття шпинделя) і т. ін.

### 3.4. Створення БТА нового покоління

Для проектування компоувальних схем БТА нового покоління слід широко застосовувати прогнозні процедури на початкових етапах проектування. На рис. 3.6 приведено узагальнений алгоритм проектування БТА на початкових етапах, його особливістю є те, що на певних етапах вводяться прогнозні процедури.



Рис. 3.6. Узагальнений алгоритм проектування БТА на початкових етапах

Використовуючи основні положення методу морфологічного аналізу розроблено розширену матрицю основних вузлів багатшпиндельних токарних автоматів (рис. 3.7), на її основі розроблені перспективні компонування верстатів.

МОРФОЛОГІЧНА МАТРИЦЯ ТИПОВИХ ВУЗЛІВ ТОКАРНОГО МОДУЛЯ																		
Номер варіанта вузла	Непорушний блок	Барaban шпіндельний	Шпіндельна бабка	Шпіндельний вузол	Супорт координатний	Головка револьверна	Стіл поворотний	Труби направляючі	Пристрій підтримки	Робот	Маніпулятор	Приєд зажимних механізмів	Патронні зажими	Пристрій автоматичної загрузки прутка	Автоматична підналадка	Пристрій автоматичної загрузки інструмента	Пристрій автоматичної зміни зажим елементів	Пристрій автоматич. транспорт. Стружки
	1 НБ	2 БШ	3 ШБ	4 ШВ	5 СК	6 ГР	7 СП	8 ТН	9 ПП	10 ПР	11 МП	12 ПЗМ	13 ЗП	14 ПАЗП	15 АП	16 ПАЗІ	17 ПАЗЗ	18 ПАТС
1																		
2																		
3																		
4																		

Рис. 3.7. Розроблена матриця типових вузлів токарного модуля

Пропонується конструкція верстату (рис. 3.8), який містить чотири шпинделі, в двох з яких відбувається обробка пруткових заготовок, далі за допомогою портального робота деталь подається в шпинделі, що знаходяться навпроти. При обробці штучних заготовок використовується револьверні головки, які розміщені на хрестових супортах.

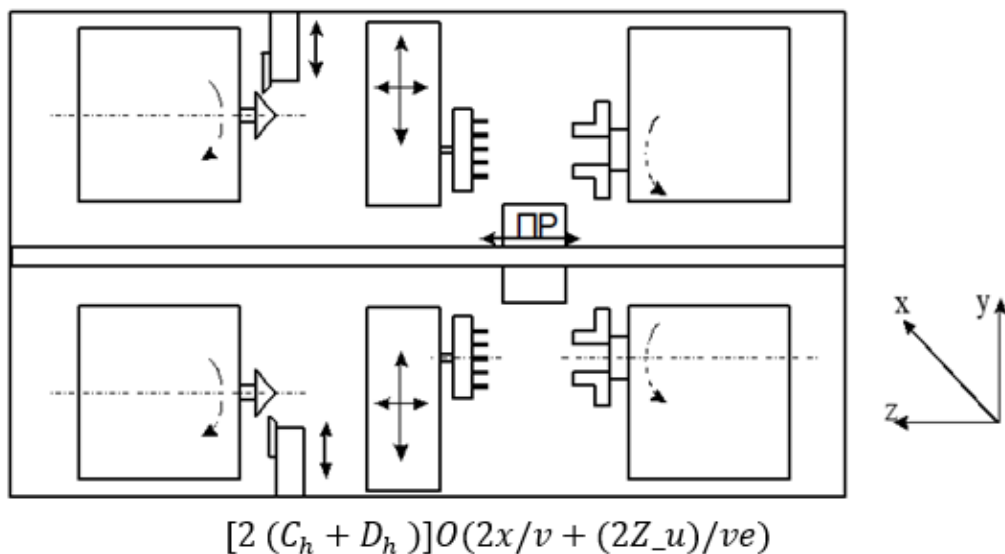


Рис. 3.8. Компонування 4-шпиндельного верстату з промисловим роботом

Заслугує на увагу конструкція верстату (рис. 3.9), який містить чотири шпинделі, вона виконана на базі двошпindelних модулів. Шпинделі виконані нерухомими відносно станини, навпроти них розміщено чотири хрестові супорти з поворотними револьверними головками.

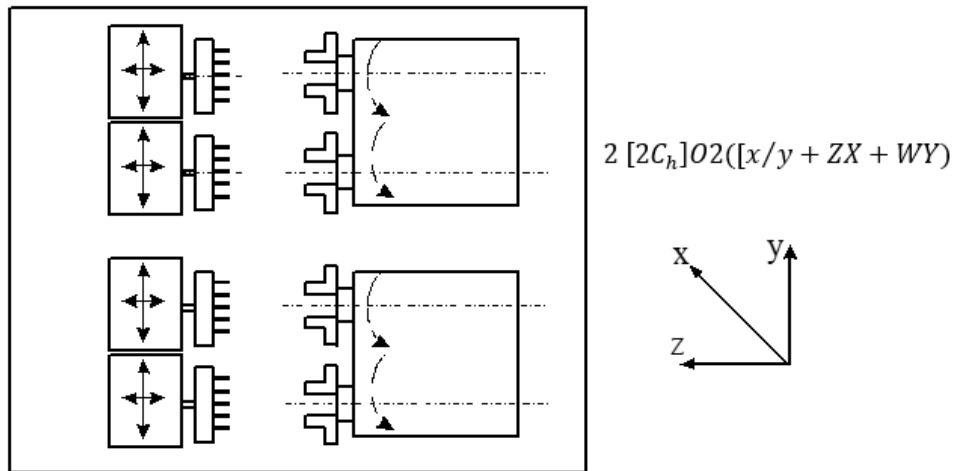


Рис. 3.9. Загальний вигляд БТА з ЧПК на базі двошпindelних модулів

Пропонується компоновання тришпindelного токарного верстату, який призначений для обробки пруткових заготовок (рис. 3.10). Шпинделі блоки розміщені один над одним, з обох сторін відносно кожного з них розміщено по два супорти, один з яких є відрізним. Навпроти них на повздовжньому супорті розміщено три револьверні головки поворотного типу, які розміщені одна над одною.

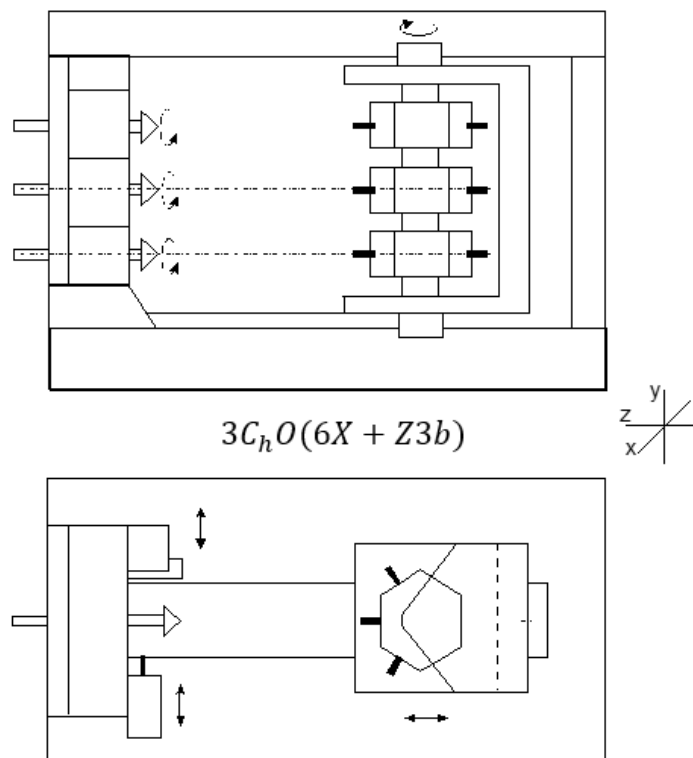


Рис. 3.10. Компоновка БТА з ЧПК на основі одношпindelних модулів

На рис. 3.11 приведено компоновка БТА з ЧПК на основі одношпindelьних модулів з багаторядними револьверними головками. Особливістю приведеної конструкції є те, що в трьох шпинделях відбувається обробка пруткових заготовок, а потім в патронних. Для переустановлення заготовок шпинделі для патронних заготовок переміщуються до нерухомих шпинделів. Для кожної групи шпинделів використовується своя група багаторядних револьверних головок, що переміщуються по хрестових супортах.

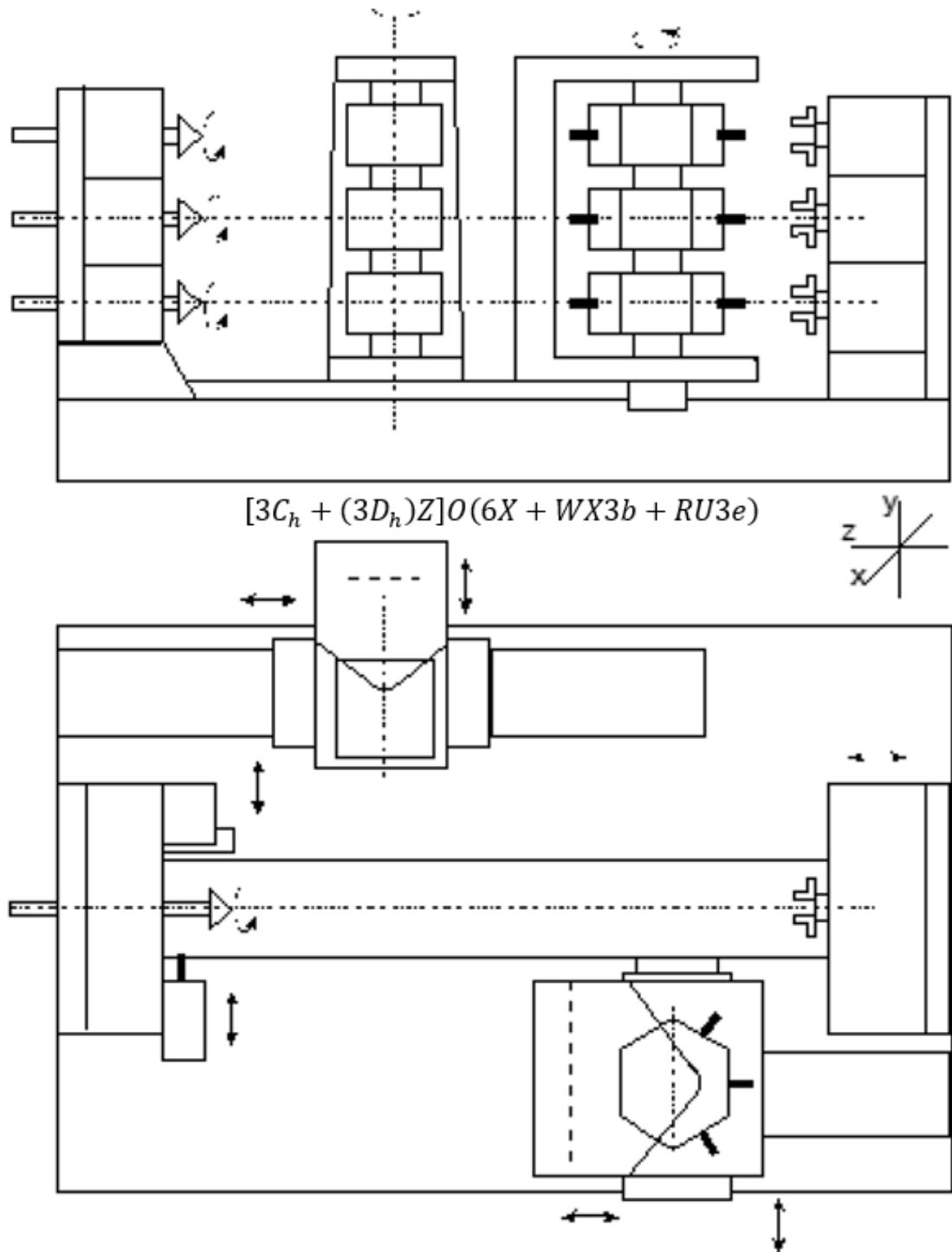


Рис. 3.11. Компоновка БТА з ЧПК на основі одношпindelьних модулів з багаторядними револьверними головками

На рис. 3.12 приведена компоновальна схема БТА з ЧПК на основі двошпindelних модулів з багаторусними револьверними головками. Двошпindelні блоки виконані поворотними і складені в три яруси, всього 6 двошпindelних блоків. Верстат обслуговують чотири багаторусні револьверні головки розміщені на хрестових столах.

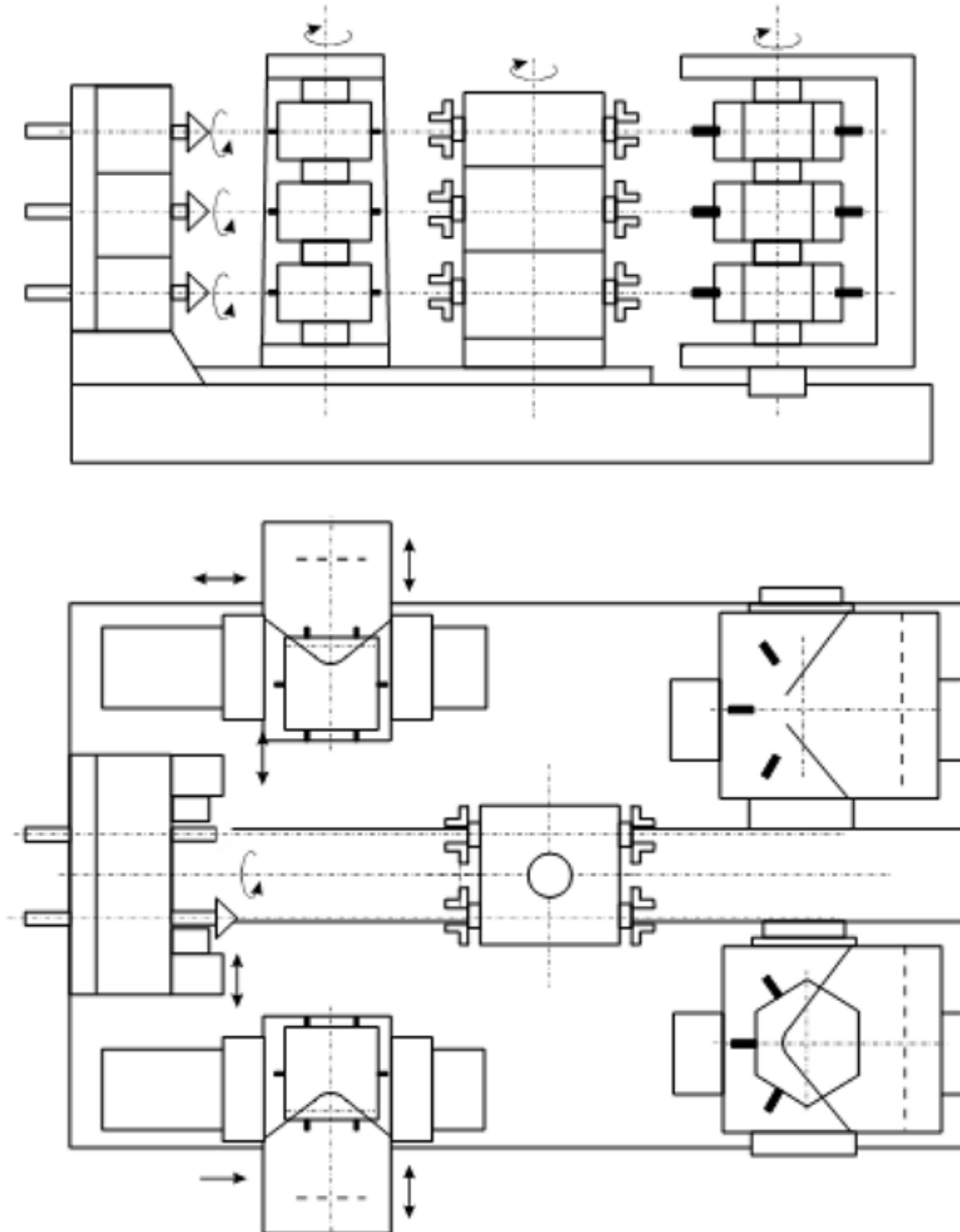


Рис. 3.12. БТА з ЧПК на основі двошпindelних модулів з багаторусними револьверними головками

### **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 [6].

### **3.6. Висновки до розділу**

Проведено обґрунтування вибору базової математичної моделі. За основу прийнято два типи моделей диференційну та алгебраїчну. При розробці математичної моделі слід дотримуватися підходу, згідно якого розвиток будь-якої технічної системи може бути представлений у вигляді  $S$  – подібної кривої.

Проведено прогнозування росту швидкості обробки на багатошпиндельних токарних автоматах, при цьому для опису застосовано поліноміальну модель 4 степені. Перевірка моделі на точність показала, що її точність становить 91,8%. Аналогічні моделі дозволяють отримати результати в межах  $\pm 15\%$ .

Запропоновано узагальнений алгоритм проектування БГА на початкових етапах його створення, розроблено розширену матрицю вузлів верстатів, на основі якої було розроблено перспективні компонування верстатів.

Розроблені перспективні компонування верстатів, які дозволяють здійснити послідовну, паралельну чи комбіновану обробку на верстаті з використанням багаторядного розміщення виконавчих вузлів.

## РОЗДІЛ 4.

# ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1. Аналіз умов праці під час холодної обробки металів

Найбільш вираженим несприятливим фактором при механічній обробці металів є виділення в повітря аерозолів і забруднення відкритих поверхонь тіла та одягу мастильно-охолоджувальними рідинами (МОР) [33].

Вміст вуглеводнів та аерозолів у повітрі коливається у значних межах. Так концентрації вуглеводнів можуть досягати рівня 150–940 мг/м<sup>3</sup>, а масляних аерозолів – 7–45 мг/м<sup>3</sup>.

Основними факторами, що визначають концентрацію МОР у повітрі в цеху, є витрата МОР, характер та режим обробки деталей, наявність та ефективність санітарно-технічних пристроїв. При шліфуванні та заточуванні виробів на штучних абразивах основним несприятливим фактором є пил із вмістом кристалічного двоокису кремнію. В результаті анодно-механічної обробки металів у повітря виділяються луки.

Виробничий шум є одним із суттєвих факторів при холодній обробці металів. Так, токарно-револьверні верстати та автомати, призначені для обробки деталей складної конфігурації та потребують застосування різноманітного різального інструменту, генерують шум з рівнем інтенсивності 82-99 дБ та максимумом звукової енергії в діапазоні частот 250-4000 Гц.

У працівників механічних дільниць можуть виникати порушення стану здоров'я, пов'язані з впливом несприятливих чинників виробничого середовища. Мінеральні мастила, що входять до складу МОР і приготовані на їх основі емульсії при тривалому контакті можуть викликати ураження шкірного покриву у вигляді масляних фолікулітів, вугрів і дерматитів. Можливий також подразнюючий вплив аерозолів МОР на слизові оболонки верхніх дихальних шляхів. Потенційна можливість ураження шкіри може збільшуватися у зв'язку із застосуванням нових мастильно-охолоджуючих рідин складного складу, інгібіторів атмосферної та кислотної корозії [34].

## **4.2. Заходи щодо підвищення стійкості роботи підприємства в умовах надзвичайних ситуацій**

Для підвищення стійкості роботи об'єкта в умовах надзвичайних ситуацій необхідно здійснити [35, 36]:

- моніторинг зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів, щодо діяльності підприємства;
- підвищити надійність роботи та створити дублюючі джерела енерго-, газо- та водопостачання, а також створити запаси сировини, палива, комплектуючих виробів, обладнання та матеріалів;
- вдосконалити технологічні процеси виробництва, забезпечивши автоматичне відключення при виході обладнання з працездатного стану;
- забезпечення співробітників підприємства засобами індивідуального захисту;
- створенням в замській зоні баз для розміщення науково-дослідних, конструкторських відділів та інших невиробничих підрозділів об'єкта;
- проведення навчальних занять для підвищення готовності працівників до проведення рятувальних та невідкладних аварійних робіт;
- будівництво спеціальних сховищ та обладнання їх м сховищ на підприємствах для робітників та службовців (для цього можуть бути використані шахти та інші виробітки);
- створенням на об'єктах захисних споруд для пунктів керування;
- проведенням організаційних та інженерно-технічних заходів щодо підготовки об'єкта до особливого режиму роботи.

Підвищення надійності електропостачання підприємства може здійснюватися підключенням до резервних мереж (ліній електропередач), розподілом схеми мереж на частини, що працюють незалежно, встановленням дизельних електростанцій. Особливу увагу необхідно приділяти надійності електро-, водо-, теплопостачання на комунальних підприємствах, медичних, дитячих установах, підприємствах з неперервним циклом виробництва.



З метою надійного забезпечення водою підприємства підключають до дублюючих джерел, створюють резервуари, влаштовують артезіанські свердловини.

Для підвищення стійкості систем газо-, тепло- та паливостачання закріплюють газопроводи, газорозподільні станції та якомога більшу частину газопроводів влаштовують під землею, встановлюють автоматичні пристрої відключення в разі аварії, максимально збільшують запаси вугілля, мазуту, бензину, влаштовують власні системи обігріву.

Стійкість підприємства підвищується при збільшенні запасів сировини, інструментів та матеріалів, проте при цьому зменшується ефективність використання коштів, тому у практиці підприємницької діяльності запаси збільшують при підвищенні ризику виникнення надзвичайної ситуації.

При створенні запасів необхідно враховувати не тільки можливість розвитку надзвичайної ситуації в районі функціонування підприємства, але і в регіонах, де працюють постачальники та через які пролягають транспортні магістралі. Зрив поставок тільки однієї комплектуючої деталі призводить до зупинки цілого збирального підприємства.

Інженерно-технічні заходи щодо підвищення стійкості підприємства передбачають укріплення будинків і споруд, захист обладнання, у т. ч. виготовлення захисних кожухів тощо, захист комунальних мереж.

Організаційні заходи передбачають розробку і планування дій під час надзвичайних ситуацій керівництва, співробітників, штабу та формувань цивільного захисту підприємства.

### 4.3. Система протипожежного захисту підприємства

До складу будь-якої системи автоматичного протипожежного захисту [37] входить ряд підсистем (рис. 4.1).

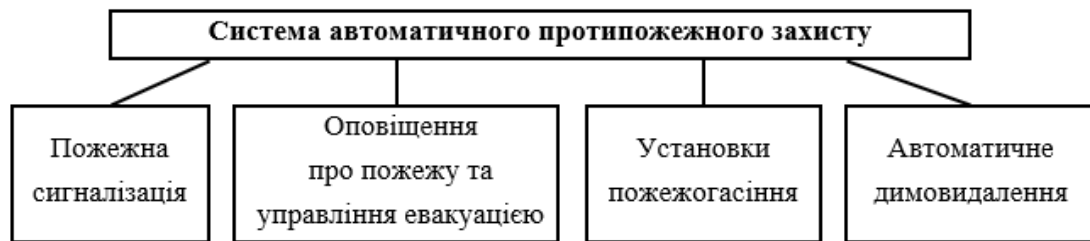


Рис. 4.1. Структура системи автоматичного протипожежного захисту

При необхідності підсистеми, які входять до складу системи автоматичного протипожежного захисту підприємства, можуть функціонувати як автономні системи. Їх встановлення регламентується ДБН В.2.5-13-98 «Пожежна автоматика будинків і споруджень».

До складу система пожежної сигналізації – входять технічні засоби для швидкого виявлення місця виникнення пожежі, передачі сигналу на приймально-контрольний прилад і до пункту прийому сигналів про пожежу, перетворення сигналу про пожежу в сприятливу для персоналу підприємства форму, вмикання системи оповіщення про пожежу з метою організації безпечної евакуації людей, вмикання пристроїв протипожежного захисту (стаціонарних систем пожежогасіння, систем протидимного захисту, технологічного та інженерного обладнання).

До пожежних сповіщувачів – (англ. fire detector) – відносять елементи системи пожежної сигналізації, які призначені для виявлення пожежі на ранній стадії за її первинними ознаками (дим, тепло, оптичне випромінювання) та передачі сигналу на ППКП. Він буває двох типів: ручний і автоматичний.

В якості ручного сповіщувача може використовуватися технічний пристрій (кнопка, тумблер), за допомогою якого особа, яка виявила пожежу, може подавати повідомлення на приймальний прилад або пункт пожежної сигналізації.

На підприємстві можуть встановлюватися автоматичні пожежні сповіщувачі, їх розміщують в зоні, яка охороняється та автоматично подає сигнал тривоги при виникненні однієї або кількох ознак пожежі.

Оповіщення на початковій стадії пожежі дозволяє швидше та ефективніше організувати гасіння вогню і тим самим знизити загрозу для здоров'я людей та мінімізувати збитки.

В Україні діють відповідні їм стандарти ДСТУ EN 54. Окремими частинами стандарту встановлено вимоги до світлових оповіщувачів, оповіщення звуковими сигналами та голосовими повідомленнями. Пожежні оповіщувачі входять до складу системи оповіщення та управління евакуацією, їх кількість, розміщення та потужність повинні забезпечити необхідну чутність в усіх місцях перебування людей.

Приміщення, з якого здійснюється керування системою пожежного оповіщення, розміщують на нижніх поверхах будівлі, біля входу на сходові клітки, у місцях з цілодобовим перебуванням чергового персоналу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При проведенні прогнозних досліджень можуть використовуватись різноманітні методи, вибір яких залежить від типу даних на основі яких буде проводитись моделювання. Здійснений аналіз показав, що при прогнозуванні доцільно використовувати інтерполяційні та регресійні методи прогнозування.

На початкових етапах проектування слід застосовувати експертні методи прогнозування, а саме методи системного та морфологічного аналізу.

Здійснено аналіз області використання БТА, який показав, що при використанні БТА з ЧПК, підготовчо-заклучний час може бути зменшений в порівнянні з переналагодженням верстатів на основі розподільчого валу, приблизно в 3 рази.

Проведено аналіз БТА з ЧПК, які випускаються серійно, приведені схеми компонувань верстатів, які мають найбільше поширення.

В другому розділі КР проведено аналіз ТП щодо обробки деталі «ШСП-12.12.23-01». Запропоновано варіант технологічного процесу, який передбачає використання верстату 1Б265НП-6К.

Здійснено вибір ріжучого інструменту на операцію 010 – Токарна, а також проведено розрахунок режимів різання по окремих технологічних переходах.

Провівши аналіз формоутворюючих рухів, які потрібно реалізувати на верстаті, з урахуванням його компонувальної схеми, ми розробили структурно-кінематичну схему.

Здійснено оптимізацію компонувальної схеми верстату, запропоновано матрицю, яка дозволяє врахувати технологічні особливості обробки заготовки, конструктивні особливості виконання шпиндельного вузла та супортів.

Проведено розрахунок приводу верстату, здійснено обґрунтування вибору двигуна для його приводу.

Здійснено обґрунтування вибору типу математичної моделі та сформовані критерії яким вона повинна відповідати. Проведений аналіз показав, що для опису моделі доцільно використовувати S-подібну криву. Така крива може описуватися поліномами вищих степенів.

Прогноз показав, що на 2040 рік слід очікувати росту максимальної швидкості різання до 7800 м/хв.

Розроблено нові компоновання БТА. Запропоновані компоновання можуть забезпечити схему паралельної, послідовної чи комбінованої обробки. В основі запропонованих варіанти рішень лежить підхід, який передбачає використання багаторядних револьверних головок та можливістю нарощування кількості шпиндельних блоків, задніх бабок та супортів.

В 4 розділі КР здійснено аналіз умов праці в процесі холодної обробки металів, запропоновані заходи щодо підвищення стійкості роботи підприємства в умовах надзвичайних ситуацій, проведено аналіз діяльності системи протипожежного захисту підприємства.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов Ю. М. Теорія технічних систем / Ю. М. Кузнецов, І. В. Луців, С. А. Дубиняк. – К. – Тернопіль, 1997. – 310 с.
2. 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.
3. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови створення та розвитку: навчальний посібник / Володимир Крупа. – Тернопіль : Осадца Ю. В., 2023. – 308 с.
4. Скляр Р. А. Редько Р. Г., Редько О. І. Особливості сучасних методів опрацювання інформації. Тези доповідей VIII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і виробництві (ІТОНВ-2021) 21-22 травня 2021 року). Луцьк: відділ іміджу та промоції Луцького НТУ, 2021. 216с, - С. 171-173.
5. 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.
6. Лещишин Н. Огляд можливості використання методів математичного моделювання для прогнозу технічних характеристик багатошпindelних токарних автоматів / Лещишин Н. // VI Міжнародна студентська науково-технічна конференція „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 27-28 квітня 2023. — Т. : ТНТУ, 2023. — С. 228–229. — (Механічна інженерія).
7. Скляр Р. Використання методу нейронних мереж для прогнозування металорізальних верстатів / Р. Скляр, А. Гагалюк // Матеріали XXI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — С. 34. — (Машинознавство та машинобудування).
8. Скляр Р., Шанайда В. Використання багатофункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. Збірник тез доповідей XVI наукової конференції ТНТУ імені Івана Пулюя, 2012, С. 69.

9. Склярів Р. А. Вибір бази порівняння при прогнозуванні стратегії підвищення якості технологічного обладнання. Матеріали наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя механіко-технологічного факультету «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті. (м. Тернопіль, 16 травня 2011 р.), 2011.- С. 111-112.

10. Гагалюк А. Моделювання станини токарного верстата з використанням методу топологічної оптимізації / А. Гагалюк, В. Крупа // Вісник ТНТУ. — Т. : ТНТУ, 2023. — Том 111. — № 3. — С. 67–75.

11. Склярів 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. Кузнецов Ю. Н. Станки с ЧПУ: Учебное пособие.- К.: Вища школа, 1991.- 278 с.

13. V. Krupa, N. Tymoshenko, V. Kobelnyk, I. Petrechko, Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 114/1 (2022) 22-31.

14. 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.

15. 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)

16. 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.

17. 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.

18. Кроль О. С. Параметрическое моделирование конструкций металлорежущих станков и инструментов: учебное пособие / О.С. Кроль. – Северодонецк: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2015. – 128 с

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

20. Кобельник В. Р. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118 / В. Р. Кобельник, П. Д. Кривий // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – Вип. 8. – С. 99–108.

21. Кривий П. Д. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів / П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Н. М. Тимошенко // Прогресивні технології в машинобудуванні : збірник наукових праць, Львів-Плай. – Львів, 2020. – С. 103–105.

22. Гаврилюк С.Р. Структурно-компоновочний синтез багатоміноміклатурних агрегатних верстатів.- Автореф. дис. ... канд. техн. наук.- Харків, 1998.- 16с.

23. Приходько О.Ю. Моделювання ефективних компоновочних рішень при виборі структури та параметрів агрегатних верстатів середнього розміру.- Автореф. дис. ... канд. техн. наук.- Харків, 1998.- 19с.

24. Кузнецов Ю. Н., Срибный Л. Н. Повышение эффективности токарных автоматов.- К.:Тэхника, 1989.- 168 с.



25. Numerische Steuerung an Mehrspindeldrehautomaten erhöht Flexibilität. "Maschinenmarkt", 1983, №85, Ig.89.
26. OS3216892 DE, B23B 9/00. Mehrspindel-Revolverdrehautomat / Helmut Friedrich (DE); Index-Werke KG Hahn & Tessky. - 06.05.82; 10.11.83/- 3с.
27. Traub TNC 65/42 - DGY [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.doerr-cnc.de/en/maschinen/traub-tnc-6542-dgy>.
28. Токарні автомати з середнім приводом та системою ЧПК / Проспект фірми Emag mashinenfabrik GmbH.
29. HEYNUMAT. Inclined bed lathe [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.heyligenstaedt.com/heynumat/>
30. 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.
31. Основы формообразования поверхностей резаньем. Родин П. Р.- Киев: Вища школа, 1977.- 192 с.
32. Методические указания к самостоятельной работе «Выбор и расчет высокомоментных электродвигателей современных приводов подач» по курсу «Расчет и конструирование станков» для студентов машиностроительного факультета специальности 1202 «Металлорежущие станки и инструменты» / сост. И. И. Верба, В. А. Шевчук.- К.: КПИ, 1992.- 52 с.
33. Житецький В.Ц., Джигирей В.С, Мельников О.В. Основи охорони праці. Навчальний посібник. - Вид. 4-те, доповнене. - Львів- Афіша, 2000. — 350 с.
34. Мезенцева І. О., Любченко І. М., Мовмига Н. Є. Огляд професійних захворювань на підприємствах машинобудівного профілю / І. О. Мезенцева, І. М. Любченко, Н. Є. Мовмига // Матеріали ІХ-ї міжнародної науково-методичної конференції НТУ «ХПІ» «Безпека людини у сучасних умовах», Харків, 7-8 грудня 2017.

35. Захарченко М.В., Орлов М.В., Голубєв А.К. та ін. Безпека життєдіяльності у повсякденних умовах виробництва, побуту та у надзвичайних ситуаціях: Навч. посібник. – К.: ІЗМИ, 1996. – 196 с.

36. 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>.

37. Охорона праці та цивільний захист [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студ. в спеціалізації 172 «Телекомунікації та радіотехніка» денної форми навчання / Н. А. Праховнік, О. В. Землянська; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 301 с.

# ДОДАТКИ

## Технічні характеристики верстату 1Б265НП-6К

<i>Найбільший діаметр різі, яка нарізується, мм</i>	
по сталі	М30
по латуні	М36
<i>Діаметр патрону, мм</i>	160
<i>Вид затиску</i>	Гідравлічний
<i>Довжина обробки, мм</i>	160
<i>Кількість супортів</i>	
повздожніх	1
поперечних	5
<i>Хід поперечних супортів, мм</i>	
верхніх	80/65
нижніх	80/55
середніх	70/45
<i>Хід повздожнього супорта, мм</i>	
загальний	180
робочий	160
<i>Кількість шпинделів</i>	6
<i>Частота обертання шпинделя, об/хв.</i>	80-1120
<i>Найбільше зусилля різання в одній позиції, Н</i>	6000
<i>Електродвигун приводу головного руху</i>	
тип	А02-32-6
потужність, кВт	18
частота обертання, об/хв	1470
<i>Електродвигун приводу розподільчого валу</i>	
тип	ПБВ-132L
потужність, кВт	5,5
частота обертання, об/хв	750...2000
<i>Габаритні розміри верстату</i>	
Довжина, мм	4330
Висота, мм	1680
Ширина, мм	1945
<i>Маса верстата, кг</i>	8500

## Розрахунок режимів різання по операціях (переходах) при обробці на токарному напівавтоматі

Операція 10. Токарна

Верстат – шестишпиндельний напівавтомат 1Б265НП-6К.

Потужність електродвигуна  $N=18$  кВт.

*Вихідні дані:*

Деталь – шестірня проміжна.

Матеріал: 14ХГСН2 Ма-Ш, Твердість: HRC 35..40.  $\sigma_b=1000$  МПа.



Рис. Б.1. Схема обробки заготовки на 10 операції

*Позиція 2.*

Інструмент:

1. Різець підрізний відігнутий лівий,  $\varphi=45$ , 15x25x100,  $r=1,0$  мм, ВК-8 ГОСТ 18880-73.

2. Різець прохідний відігнутий правий,  $\varphi=45$ , 16x25x150,  $r=1,0$  мм, ВК-8 ГОСТ 18868-73.

Оброблювані поверхні:

Різець 1 - поверхня 3; різець 2 - поверхня 5.

Глибина різання:  $t_1=1,2$  мм;  $t_2=1,8$  мм;

1. Довжина ходу супорта визначається з довжин  $L$ , розрахованої для окремих інструментів супорта. Найбільшою з них є довжиною робочого ходу всього супорта  $L_{p.x.}$ :

$$L_{p.x.} = l_{piz} + y + l_{доод}$$

де  $l_{piz}$  – довжина різання;  $y$  – підведення, врізання й перебіг інструменту;

$l_{доод}$  – додаткова довжина ходу, викликана особливостями налагодження й конфігурацією верстата.

$$L_{p.x.1} = l_{piz} + y = 11,8 + 2 = 13,8 \text{ мм.} \quad L_{p.x.2} = l_{piz} + y = 70,5 + 2 = 72,5 \text{ мм.}$$

Отже різець 2 буде лімітувати довжину робочого ходу.

2. Призначаємо подачу супорта на оберт шпинделя.

При сумарній глибині різання:  $t_{\Sigma} = t_1 + t_2 = 1,2 + 1,8 = 3 \text{ мм}$ ,

$$S = 0,15 \text{ мм/об.}$$

3. Визначаємо період стійкості інструменту:

$$T = 120 \text{ хв (} [36], \text{ табл.3, стор.300)}$$

4. Розрахуємо швидкість різання:

$$V = V_{табл} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

Для різця №1:

$$V_{табл} = 85 \text{ м/хв; } k_1 = 0,6; k_2 = 0,8; k_3 = 0,85;$$

$$V_1 = 85 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 34,7 \text{ м/хв;}$$

Для різця №2:

$$V_{табл} = 145 \text{ м/хв; } k_1 = 0,6; k_2 = 0,8; k_3 = 0,85;$$

$$V_2 = 145 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 59,16 \text{ м/хв.}$$

5. Визначаємо числа обертів шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad \text{об/хв}$$

$$n_1 = \frac{1000 \cdot V_1}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 34,7}{3,14 \cdot 77,3} = 26,41 \quad \text{об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot V_2}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 59,16}{3,14 \cdot 92,3} = 74,97 \quad \text{об/хв}$$

Оскільки  $n_1 < n_2$ , то різець №1 вважають лімітуючим.

Призначаємо число обертів шпинделя по паспорту верстата:  $n = 35 \text{ об/хв}$ .

Уточнюємо швидкість різання по прийнятому значенню чисел обертів шпинделя:

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 92,3 \cdot 35}{1000} = 27,62 \quad \text{м/хв}$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 77,3 \cdot 35}{1000} = 45,99 \quad \text{м/хв}$$

6. Розрахуємо основний (машинний) час обробки:

$$t_M = \frac{L}{S \cdot n}$$

$$t_m = \frac{72,5}{0,15 \cdot 35} = 7,62 \text{ хв}$$

7. Визначаємо по нормативах сили різання для кожного інструменту:

$$P_Z = P_{Z_{\text{таб}}} \cdot K_1 \cdot K_2$$

$$P_{Z_1} = P_{Z_{\text{таб}1}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 840 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 504 \text{ кгс} = 5 \text{ кН}$$

$$P_{Z_2} = P_{Z_{\text{таб}2}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 410 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 246 \text{ кгс} = 2,5 \text{ кН}$$

8. Розраховуємо потужність різання для кожного інструмента:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_Z \cdot V}{6120}$$

$$N_{\text{різ}1} = \frac{P_{Z_1} \cdot V_1}{6120} = \frac{504 \cdot 45,99}{6120} = 3,79 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{різ}2} = \frac{P_{Z_2} \cdot V_2}{6120} = \frac{246 \cdot 27,62}{6120} = 1,11 \text{ кВт}$$

Сумарна потужність різання на позиції становить:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 = 3,79 + 1,11 = 4,9 \text{ кВт.}$$

*Позиція 3.*

Інструмент:

1. Різець прохідний відігнутий правий,  $\phi = 45$ ,  $15 \times 25 \times 100$ ,  $\gamma = 1,0$  мм, ВК-8 ГОСТ 18868-73.
2. Різець підрізний відігнутий лівий,  $\phi = 45$ ,  $15 \times 25 \times 100$ ,  $\gamma = 8,0$  мм, ВК-8 ГОСТ 18880-73.

Оброблювані поверхні:

Різець 1 - поверхня 2; Різець 2 - поверхня 4;

Глибина різання:  $t_1 = 3,1$  мм;  $t_2 = 1,4$  мм;

1. Довжина робочого ходу:

$$L_{p.x.1} = l_{\text{різ}} + y = 7,5 + 2 = 9,5 \text{ мм}; \quad L_{p.x.2} = l_{\text{різ}} + y = 20 + 2 = 22 \text{ мм};$$

Лімітучим є різець 2.

2. Визначаємо подачу супорта по нормативах.

При сумарній глибині різання:  $t_{\Sigma} = t_1 + t_2 = 3,1 + 1,4 = 4,5$  мм

$$S = 0,5 \text{ мм/об} \text{ ([36], Т-2, стор. 22);}$$

3. Період стійкості для всіх різців операції:

$$T = 120 \text{ хв} \text{ ([36], табл. 3, стор. 300)}$$

4. Розраховуємо швидкість різання:

$$V_1 = 35 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1,05 = 17,64 \text{ м/хв}; \quad V_2 = 36,5 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1,2 = 21,04 \text{ м/хв.}$$

5. Визначаємо числа обертів шпинделя, відповідно до рекомендованої нормативної швидкості різання:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 17,64}{3,14 \cdot 92,3} = 12,8 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 21,04}{3,14 \cdot 133} = 16,15 \text{ об/хв}$$

Оскільки  $n_2 > n_1$ , то лімітуючим вважається 1 різець.

Призначаємо число обертів шпинделя по паспорту верстата:  $n = 12,5 \text{ об/хв}$

Уточнюємо швидкість різання по прийнятому числу обертів шпинделя:

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 92,3 \cdot 12,5}{1000} = 16,29 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 133 \cdot 12,5}{1000} = 17,21 \text{ м/хв}$$

6. Розраховуємо основний (машинний) час обробки:

$$t_m = \frac{22}{0,5 \cdot 12,5} = 3,52 \text{ хв}$$

7. Визначаємо силу різання:

$$P_{Z_{маб1}} = 196 \text{ кгс (1,96 кН)}; K_1 = 0,6; K_2 = 1,0$$

$$P_{Z_1} = 196 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 117,5 \text{ кгс (1,17 кН)}$$

$$P_{Z_{маб2}} = 208 \text{ кгс (2,08 кН)}; K_1 = 0,6; K_2 = 1,0$$

$$P_{Z_2} = 208 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 124,7 \text{ кгс (1,25 кН)}$$

8. Розраховуємо потужність різання

$$N_{різ1} = \frac{117,5 \cdot 16,29}{6120} = 0,31 \text{ кВт}$$

$$N_{різ2} = \frac{124,7 \cdot 17,21}{6120} = 0,35 \text{ кВт}$$

Сумарна потужність різання:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 = 0,31 + 0,35 = 0,66 \text{ кВт.}$$

*Позиція 4.*

Інструмент:

1. Різець підрізний відігнутий лівий,  $\phi = 45$ ,  $15 \times 25 \times 100$ ,  $r = 1,0$  мм,

ВК-8 ГОСТ 18880-73.

2. Різець прохідний відігнутий правий,  $\phi = 45$ ,  $16 \times 25 \times 150$ ,  $r = 1,0$  мм,



ВК-8 ГОСТ 18868-73.

Оброблювані поверхні:

Різець 1 - поверхня 6; Різець 2 - поверхня 5.

Глибина різання:  $t_1=1,2$  мм;  $t_2=0,8$  мм;

1. Довжина ходу супорта визначається з довжин  $L$ , розрахованих для окремих інструментів супорта. Найбільша з них є довжиною робочого ходу всього супорта  $L_{p.x}$ .

$$L_{p.x.1} = l_{piz} + y = 15,5 + 2 = 17,5 \text{ мм.} \quad L_{p.x.2} = l_{piz} + y = 67,5 + 2 = 69,5 \text{ мм.}$$

Лімітуючим є різець 2.

2. Призначаємо подачу супорта на оберт шпинделя.

При сумарній глибині різання:  $t_{\Sigma} = t_1 + t_2 = 1,2 + 0,8 = 2$  мм,  
 $S = 0,15$  мм/об.

3. Визначаємо період стійкості інструмента:

$T = 120$  хв ([36], табл. 3, стор. 300)

4. Розраховуємо швидкість різання:

Для різця №1:

$$V_{табл} = 85 \text{ м/хв}; k_1 = 0,6; k_2 = 0,8; k_3 = 0,85;$$

$$V_1 = V_{табл} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 85 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 34,7 \text{ м/хв.}$$

Для різця №2:

$$V_{табл} = 145 \text{ м/хв}; k_1 = 0,6; k_2 = 0,8; k_3 = 0,85;$$

$$V_2 = 145 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 59,16 \text{ м/хв.}$$

5. Визначаємо числа обертів шпинделя

$$n_1 = \frac{1000 \cdot V_1}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 34,7}{3,14 \cdot 133} = 26,41 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot V_2}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 59,16}{3,14 \cdot 77,3} = 74,97 \text{ об/хв}$$

Оскільки  $n_1 < n_2$ , то лімітуючим вважається різець №1.

Призначаємо число обертів шпинделя по паспорту верстата:  $n = 35$  об/хв

Уточнюємо швидкість різання по прийнятому числу обертів шпинделя:

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 133 \cdot 35}{1000} = 45,99 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 77,3 \cdot 35}{1000} = 27,62 \text{ м/хв}$$

6. Розраховуємо основний (машинний) час обробки:

$$t_m = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{69,5}{0,15 \cdot 35} = 13,24 \text{ хв}$$

7. Визначаємо по нормативах сили різання для кожного інструмента:

$$P_{Z_1} = P_{Z_{\text{таб1}}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 840 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 504 \text{ кгс (5 кН)}$$

$$P_{Z_2} = P_{Z_{\text{таб2}}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 410 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 246 \text{ кгс (2,5 кН)}$$

8. Розраховуємо потужність різання для кожного інструмента:

$$N_{\text{різ1}} = \frac{P_{Z_1} \cdot V_1}{6120} = \frac{504 \cdot 45,99}{6120} = 3,79 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{різ2}} = \frac{P_{Z_2} \cdot V_2}{6120} = \frac{246 \cdot 27,62}{6120} = 1,11 \text{ кВт}$$

Сумарна потужність різання на позиції становить:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 = 3,79 + 1,11 = 4,9 \text{ кВт.}$$

*Позиція 5.*

Інструмент:

1. Різець прохідний відігнутий лівий,  $\phi=45$ , 15x25x140,  $\gamma=1,0$  мм, ВК-8 ГОСТ 18868-73.

2. Різець прохідний відігнутий правий,  $\phi=45$ , 15x25x140,  $\gamma=1,0$  мм, ВК-8 ГОСТ 18868-73.

3. Різець прохідний відігнутий лівий,  $\phi=45$ , 15x25x140,  $\gamma=1,0$  мм, ВК-8 ГОСТ 18868-73.

Оброблювані поверхні:

Різець 1 - притуплення гострих кромок; Різець 2 - поверхня 1; Різець 3 – притуплення гострих кромок.

Глибина різання:  $t_1=0,5$  мм;  $t_2=1,5$  мм;  $t_3=1$  мм

1. Довжина робочого ходу:

$$L_{p.x.1} = l_{\text{різ}} + y = 0,5 + 1 = 1,5 \text{ мм;}$$

$$L_{p.x.2} = l_{\text{різ}} + y = 1,5 + 1 = 2,5 \text{ мм;}$$

$$L_{p.x.3} = l_{\text{різ}} + y = 1 + 1 = 2 \text{ мм.}$$

Лімітуючим є різець 2.

3. Визначаємо подачу супорта по нормативах.

При сумарній глибині різання:  $t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + t_3 = 0,5 + 1,5 + 1 = 3$  мм,

$$S = 0,2 \text{ мм/об ([36], Т-2, стор.22);}$$

Уточнюємо подачу по паспорту верстата:  $S=0,15\text{мм/об}$ .

3.Період стійкості для всіх різців операції:

$$T=120 \text{ хв.}$$

4. Розраховуємо швидкість різання:

Для різця №1:

$$V_{\text{табл}} = 100 \text{ м/хв}; k_1=0,6; k_2=0,8; k_3=0,85;$$

$$V_1 = V_{\text{табл}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 100 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 40,8 \text{ м/хв};$$

Для різця №2:

$$V_{\text{табл}} = 88 \text{ м/хв}; k_1=0,6; k_2=0,8; k_3=0,85;$$

$$V_2 = 88 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 35,9 \text{ м/хв};$$

Для різця №3:

$$V_{\text{табл}} = 100 \text{ м/хв}; k_1=0,6; k_2=0,8; k_3=0,85;$$

$$V_3 = V_{\text{табл}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 100 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 40,8 \text{ м/хв.}$$

5. Визначаємо числа обертів шпинделя:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot V_1}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 40,8}{3,14 \cdot 92,25} = 32,98 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot V_2}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 35,9}{3,14 \cdot 78,75} = 45,5 \text{ об/хв}$$

$$n_3 = \frac{1000 \cdot V_3}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 40,8}{3,14 \cdot 127,4} = 43,03 \text{ об/хв}$$

Оскільки  $n_1 < n_3 < n_2$ , то лімітуючим вважається різець №1.

Призначаємо число обертів шпинделя по паспорту верстата:  $n=35 \text{ об/хв}$

Уточнюємо швидкість різання по прийнятому числу обертів шпинделя:

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 92,25 \cdot 35}{1000} = 43,3 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 78,75 \cdot 35}{1000} = 27,62 \text{ м/хв}$$

$$V_3 = \frac{3,14 \cdot 127,4 \cdot 35}{1000} = 33,19 \text{ м/хв}$$

6. Розраховуємо основний (машинний) час обробки:

$$t_m = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{2,5}{0,15 \cdot 35} = 0,48 \text{ хв}$$

7. Визначаємо по нормативах сили різання для кожного інструмента:

$$Pz_1 = Pz_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 60 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 36 \text{ кгс (0,36 кН)}$$

$$P_{Z_2} = P_{Z_{\text{таб2}}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 120 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 72 \text{ кгс (0,72 кН)}$$

$$P_{Z_3} = P_{Z_{\text{таб3}}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 60 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 36 \text{ кгс (0,36 кН)}$$

8. Розраховуємо потужність різання для кожного інструмента:

$$N_{\text{різ1}} = \frac{P_{Z_1} \cdot V_1}{6120} = \frac{36 \cdot 43,3}{6120} = 0,25 \text{ кВт};$$

$$N_{\text{різ2}} = \frac{P_{Z_2} \cdot V_2}{6120} = \frac{72 \cdot 27,62}{6120} = 0,32 \text{ кВт};$$

$$N_{\text{різ3}} = \frac{P_{Z_3} \cdot V_3}{6120} = \frac{36 \cdot 33,19}{6120} = 0,2 \text{ кВт}$$

Сумарна потужність різання на позиції становить:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 + N_3 = 0,25 + 0,32 + 0,2 = 0,77 \text{ кВт}.$$

*Позиція 6.*

Інструмент:

Розвертка  $\emptyset 77\text{H}8$ . Матеріал: Р6М5

Оброблювані поверхні: поверхня 5;

Глибина різання:  $t = 1,5 \text{ мм}$

1. Довжина робочого ходу:

$$L_{p.x.1} = l_{\text{різ}} + y = 67 + 2 = 69 \text{ мм};$$

2. Визначаємо подачу супорта по нормативах.

При сумарній глибині різання:  $t = 1,5 \text{ мм}$

$$S = 0,18 \text{ мм/об ([36], Т-2, стор.22);}$$

Уточнюємо подачу по паспорту верстата:  $S = 0,15 \text{ мм/об.}$

3. Період стійкості для розвертки

$$T = 120 \text{ хв ([36], табл. 3, стор. 300)}$$

4. Розраховуємо швидкість різання:

$$V_{\text{табл}} = 145 \text{ м/хв}; k_1 = 0,6; k_2 = 0,8; k_3 = 0,85;$$

$$V = 145 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 59,16 \text{ м/хв.}$$

5. Визначаємо числа обертів шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 59,16}{3,14 \cdot 77,7} = 74,97 \text{ об/хв}$$

Призначаємо число обертів шпинделя по паспорту верстата:  $n = 35 \text{ об/хв}$

Уточнюємо швидкість різання по прийнятому числу обертів шпинделя:

$$V = \frac{3,14 \cdot 77,7 \cdot 35}{1000} = 27,62 \text{ м/хв}$$

6. Розраховуємо основне (машинне) час обробки:

$$t_m = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{69}{0,15 \cdot 35} = 12,14 \text{ хв}$$

7. Визначаємо по нормативах сили різання:

$$P_Z = P_{Z_{\text{таб}}} \cdot K_1 \cdot K_2 = 410 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 246 \text{ кгс (2,5 кН)}$$

8. Розраховуємо потужність різання:

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_Z \cdot V}{6120} = \frac{246 \cdot 27,62}{6120} = 1,11 \text{ кВт}$$

9. Визначаємо машинний час роботи верстата, виходячи з розрахованого машинного часу по позиціях.

$$T_M = \sum t_{mi} = t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 = 7,62 + 3,52 + 13,24 + 0,48 + 12,14 = 37 \text{ хв}$$

Але обробка на позиціях виконується одночасно, тому  $t_o$  – основний час обробки деталі на операції береться не сумарний, а по найбільш тривалій позиції.

$$t_{o_{\text{лім}}} = 13,24 \text{ хв}$$

10. Корегуємо (зменшуємо) числа обертів шпинделя й подач на позиціях, що не є лімітуючими, для вирівнювання машинного часу на всіх позиціях.

*Позиція 2.*

$$t_m = \frac{L}{S \cdot n} = 13,24 \text{ хв} \quad L = 72,5 \text{ мм}; \quad S \cdot n = 5,25$$

Збільшуємо машинний час за рахунок зменшення числа обертів шпинделя до  $12,5 \text{ об/хв}$ . Визначаємо машинний час при нових параметрах:

$$t_m = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{72,5}{0,15 \cdot 23,5} = 11,35 \text{ хв}$$

Уточнюємо швидкість різання при нових значеннях  $S$  і  $n$ .

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 92,3 \cdot 23,5}{1000} = 30,88 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 77,3 \cdot 23,5}{1000} = 18,54 \text{ м/хв}$$

Уточнюємо потужність різання при нових значеннях швидкості різання:

$$N_{\text{різ1}} = \frac{P_{Z1} \cdot V_1}{6120} = \frac{504 \cdot 30,88}{6120} = 2,54 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{різ2}} = \frac{P_{Z1} \cdot V_1}{6120} = \frac{246 \cdot 18,54}{6120} = 0,75 \text{ кВт}$$

Сумарна потужність різання на позиції становить:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 = 2,54 + 0,75 = 3,29 \text{ кВт.}$$

Позиція 3.

$$t_m = \frac{L}{S \cdot n} = 13,24 \text{ хв} \quad L = 22 \text{ мм}; S \cdot n = 6,25$$

Збільшуємо машинний час за рахунок зменшення подачі шпинделя до  $S=0,15$  мм. Визначаємо машинний час при нових параметрах:

$$t_m = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{22}{0,15 \cdot 12,5} = 11,7 \text{ хв}$$

Уточнюємо швидкість різання при нових значеннях  $S$  і  $n$ .

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 133 \cdot 12,5}{1000} = 17,09 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 92,3 \cdot 12,5}{1000} = 13,1 \text{ м/хв}$$

Уточнюємо потужність різання при нових значеннях швидкості різання:

$$N_{\text{рез1}} = \frac{P_{z1} \cdot V_1}{6120} = \frac{36 \cdot 17,09}{6120} = 0,22 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{рез2}} = \frac{P_{z1} \cdot V_1}{6120} = \frac{504 \cdot 13,1}{6120} = 0,28 \text{ кВт}$$

Сумарна потужність різання на позиції становить:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 = 0,21 + 0,28 = 0,5 \text{ кВт.}$$

Позиція 5.

$$t_m = \frac{L}{S \cdot n} = 13,24 \text{ хв} \quad L = 2,5 \text{ мм}; S \cdot n = 5,25$$

Збільшуємо машинний час за рахунок зменшення числа обертів шпинделя до  $12,5$  об/хв. Визначаємо машинний час при нових параметрах:

$$t_m = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{2,5}{0,15 \cdot 12,5} = 1,3 \text{ хв}$$

Уточнюємо швидкість різання при нових значеннях  $S$  і  $n$ .

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 92,5 \cdot 12,5}{1000} = 15,46 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 78,75 \cdot 12,5}{1000} = 9,86 \text{ м/хв}$$

$$V_3 = \frac{3,14 \cdot 127,4 \cdot 12,5}{1000} = 11,85 \text{ м/хв}$$

Уточнюємо потужність різання при нових значеннях швидкості різання:

$$N_{\text{різ1}} = \frac{P_{z1} \cdot V_1}{6120} = \frac{36 \cdot 15,46}{6120} = 0,09 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{різ2}} = \frac{P_{Z1} \cdot V_1}{6120} = \frac{72 \cdot 9,86}{6120} = 0,12 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{різ3}} = \frac{P_{Z1} \cdot V_1}{6120} = \frac{36 \cdot 11,85}{6120} = 0,07 \text{ кВт}$$

Сумарна потужність різання на позиції становить:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 + N_3 = 0,09 + 0,12 + 0,07 = 0,28 \text{ кВт.}$$

Міністерство освіти і науки України,  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя  
Маріборський університет (Словенія)  
Технічний університет в Кошице (Словацьчина)  
Каунаський технологічний університет (Литва)  
Львівський національний університет  
імені Івана Франка,  
Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташця (Польща)  
Луцький національний технічний університет,  
Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича,  
Вроцлавський економічний університет (Польща)  
Університет технологій та економіки  
імені Хелени Ходковської (Польща)  
Донбаська державна машинобудівна академія



*Студентське наукове  
товариство*



**VI МІЖНАРОДНА**  
**студентська науково - технічна конференція**  
**"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ**  
**НАУКИ.**

**АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"**

27-28 квітня 2023 р.

*(збірник тез конференції)*

*Тернопіль 2023*



<b>ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ОПОРАХ ШПИНДЕЛЬНОГО ВАЛА</b>	
Лещинин Н. <b>ОГЛЯД МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАГАТОШПИНДЕЛЬНИХ ТОКАРНИХ АВТОМАТІВ</b>	228
Кучерявий Є. <b>ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ СОЛОДУ</b>	230
Світановський Н. <b>МОДЕЛЮВАННЯ ШПИНДЕЛЬНОЇ БАБКИ ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНОГО ВЕРСТАТА</b>	231
Рубаха С., Рубаха Т. <b>АНАЛІЗ ДЕФЕКТІВ ВІЛИВОК В ПРОЦЕСАХ ЛИТВА ПІД ТИСКОМ</b>	232
Лубянський О. <b>РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ СІЧЕННЯ ТРУБНОГО ПРОФІЛЮ ПРИ КОСОМУ РІЗІ</b>	234
Маракін М., Чайківський І. <b>НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ШНЕКОВИХ ПОДРІБНЮВАЛЬНИХ МАШИН</b>	236
Мартинчук Н. <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В КОЛЕСІ ДЛЯ НАГРІВАННЯ ПІ ДО ТЕМПЕРАТУРИ 755°C</b>	238
Миськевич В. <b>ОСНОВНІ ФАКТОРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ПРОДУКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ НА СТРІЧКОПІЛЬНОМУ ВЕРСТАТІ</b>	240
Миськів М. <b>ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ ПОБУДОВАНИХ НА АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОМУ ПРИНЦИПІ</b>	242
Михальчук Н. <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ОСТИГАННЯ КОЛЕСА ПІСЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО НАГРІВАННЯ І ЗАЛИВКИ РОЗІЦАВЛЕНОГО МЕТАЛУ В ТИГЕЛЬ</b>	244
Ничик О. <b>ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ГЛІБЗ ЦИЛІНДРІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ МЕТОДОМ ФАБО</b>	246
Оліховський В. <b>ВИЗНАЧЕННЯ НАЙІМОВІРНИШОЇ ДОВЖИНИ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ЗГОРТНОЇ ВТУЛКИ</b>	248

УДК 621.91.06

Лешчын Н. - ст. гр. МВм-51

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

**ОГЛЯД МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ  
МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУ  
ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАГАТОШПИНДЕЛЬНИХ  
ТОКАРНИХ АВТОМАТІВ**

Науковий керівник: к.т.н., доц. Склярів Р.А.

Leshchyn N.

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University*

**OVERVIEW OF THE POSSIBILITY OF USING THE METHODS OF  
MATHEMATICAL MODELING FOR THE FORECAST OF  
TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MULTI-SPINDLE LATHES**

Supervisor: Ph.D., Associate Professor Sklyarov R.

Ключові слова: прогнозування, багатошпиндельний токарний автомат, методи математичного моделювання.

Keywords: forecasting, multi-spindle lathe, methods of mathematical modeling.

Прогнозування розвитку технічних систем (до них безпосередньо можна віднести багатошпиндельні токарні автомати (БТА)) дозволяє визначитись в напрямках проведення пошукових і дослідницьких робіт.

Існуючі методи прогнозування, що можуть використовуватися для прогнозування технічних характеристик БТА можна класифікувати за напрямками, часовими інтервалами, по точності та кількості варіантів рішень. При прогнозуванні за часовими інтервалами можна відслідкувати процес розвитку технічної системи від найближчого до далекого майбутнього. Для верстатобудування побудова часового інтервалу розпочинається з найкоротшого терміну, він, як правило, складає 2-3 роки для зарубіжних фірм та 4-5 років для вітчизняних фірм [1].

При прогнозуванні в більшому часовому інтервалі необхідно враховувати також розвиток суміжних галузей знань. Для галузі верстатобудування це - інструментальні матеріали та матеріали взагалі, конструктивні елементи приводів, а також тенденції розвитку систем керування.

Розвиток конструкцій верстату переважно направлений на покращення технічного рівня запропонованої конструкції, підвищення його продуктивності, точності обробки та надійності. Важливим при цьому є врахування того, що розвиток параметрів верстату з часом може досягнути рівня насичення, коли подальша модернізація чи вдосконалення конструкції не дає очікуваного результату [3].

Технічні характеристики БТА можна вважати детермінованими і стохастичними параметрами, оскільки вони характеризуються різною важливістю часового ряду. При прогнозуванні слід враховувати, що технічні характеристики верстату, які стосуються попередніх етапів його розвитку (за прийнятою часовою шкалою) не є визначальними при формуванні тенденцій його розвитку, такі статистичні дані мають меншу вагу. Тоді для прогнозування технічних характеристик БТА доцільно використовувати адаптивні методи екстраполяції, одним з яких є метод експоненційного згладжування [3].

Доцільним при прогнозуванні технічних характеристик БТА є використання кореляційних методів прогнозування, які дозволяють дослідити час заплінення між тенденціями, що розвиваються паралельно, та мають різну природу. Прикладом таких тенденцій може бути розвиток систем керування верстатом та розширення його технологічних можливостей. Технічні характеристики верстату (величина швидкості обробки, подачі та інші) є випадковими величинами, оскільки ці дані характеризують конкретні моделі обладнання різноманітних виробників. В цьому випадку доцільно використовувати також регресійні методи прогнозування, наприклад метод нелінійної регресії.

Так з використанням методу парних регресій можна дослідити вплив появи нових інструментальних матеріалів на процес точності обробки. Так поява нових інструментальних матеріалів призводить до створення нових різучих інструментів. Ці інструменти можуть дозволити обробку матеріалів з більш високою швидкістю різання. Це в свою чергу потребує зміни конструкції приводу верстату (застосування нових, більш швидкісних двигунів) та шпиндельного вузла. Обробка на більш високих швидкостях, при тонкому точінні, дозволяє отримати вищу точність оброблюваної поверхні деталі.

Для того, щоб врахувати вплив всіх випадкових параметрів (значень технічних характеристик), доцільним є використання імовірнісної моделі, яка дозволяє здійснити ефективне прогнозування технічних характеристик верстату [4].

При прогнозуванні технічних характеристик БТА найбільш можна використовувати інтерполяційні методи, які дозволяють здійснити прогноз з високою точністю. Дані методи передбачають використання степеневих поліномів. В багатьох випадках більшої степені полінома відповідає вища точність представлення, але при цьому є обмеження по степені поліному (їх визначають наявні дані в кожному конкретному випадку).

На практиці фахівці, що займаються питаннями прогнозування, використовують сполучення декількох взаємодоповнюючих методів прогнозування, що дозволяє досягнути кращих результатів. В такому випадку обрані методи моделювання формують групові методи прогнозування.

Проведений аналіз показав, що різноманітні прогнозувальні моделі можуть мати застосування в межах зон їх раціонального використання. Ці зони здебільшого визначаються характером вихідних даних обраних для прогнозу.

#### **Перелік використаної літератури:**

1. Склярів Р. А. Визначення мінімального обсягу інформації для прогнозування у галузі верстатобудування. Матеріали всеукраїнської наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. – Тернопіль: ТДТУ ім. І. Пулюя (м. Тернопіль, 13 – 14 травня 2009.), 2009.- 468 с., - С. 26.
2. Склярів Р., Шанайда В. Використання багатофункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. Збірник тез доповідей XVI наукової конференції ТНТУ імені Івана Пулюя, 2012, С. 69.
3. Склярів Р. Використання методу нейронних мереж для прогнозування металорізальних верстатів / Р. Склярів, А. Гагалюк // Матеріали XII наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — С. 34. — (Машинознавство та машинобудування).
4. Четверяжук Т. І., Поліненка Р. М., Редько Р. Г., Залета О. М., Склярів Р. А., Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів. Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки», Випуск 71, Луцьк, 2021, № 71. – 363 с. – С. 322-329.