

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

**магістр**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розробка засобів діагностики та дослідження точності позиціонування  
деталей в патронах токарних верстатів

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

напряму підготовки (спеціальності) 133 –

Галузеве машинобудування

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Орищук Р.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Шанайда В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ярема І.Т.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри к.т.н., доцент

Кобельник В.Р.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

**ОРИЩУКУ РОМАНУ МИКОЛАЙОВИЧУ**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка засобів діагностики та дослідження точності позиціювання деталей в патронах токарних верстатів

керівник проекту (роботи) Шанайда Володимир Васильович, к.т.н., доцент,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "25" вересня 2020 року № 4/7-679

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 08 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) кінематична схема токарного патронного напівавтомата мод. ІП732РФ3 з 12-ти позиційною револьверною головкою та системою ЧПК; складальні креслення окремих вузлів верстата; робоче креслення деталі-представника результати попереднього аналізу конструкцій токарних патронів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітичний розділ: провести огляд та виконати аналіз проблематики дипломної роботи; здійснити інформаційно-патентний пошук. Виконати комплекс кінематичних та силових розрахунків. Визначити напрям подальших досліджень. Описати методику та методи проведення дослідження; сформуувати модель вивчення об'єкта дослідження. Відобразити результати оприлюднення отриманих результатів. Розробити заходи з ОП та БНС.

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

Титульний аркуш – 1 арк. ф.А1; Кінематична схема верстата – 1 арк. ф.А1;

Аналіз компоувальних схем – 1 арк. ф.А1; Результати патентного аналізу – 2 арк. ф.А1;

Аналіз схем формоутворення – 1 арк. ф.А1; Конструкція об'єкта дослідження – 1 арк. ф.А1;

Результати проведених досліджень – 2 арк. ф.А1.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека в надзвич.			
ситуаціях	ст. викл. Клепчик В.М.		
Охор. праці	к.т.н., ас. Сенік А.А.		
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Ярема І.Т.		

7. Дата видачі завдання 28 вересня 2020 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	<i>Службове призначення та характеристика типового представника об'єкту виробництва</i>	01.10.2020 р.	
	<i>Аналіз конструктивних особливостей деталі-представника</i>	05.10. 2020 р.	
	<i>Аналіз схем формоутворення</i>	15.10. 2020 р.	
	<i>Аналіз компонувальних схем</i>	21.10. 2020 р.	
	<i>Кінематичний розрахунок</i>	02.11. 2020 р.	
	<i>Інформаційно-патентний огляд</i>	09.11. 2020 р.	
	<i>Аналіз методик та методів для виконання дослідження</i>	23.11. 2020 р.	
	<i>Розробка математичної моделі проведення дослідження</i>	26.11. 2020 р.	
	<i>Аналіз отриманих результатів</i>	30.11. 2020 р.	
	<i>Розробити заходи з охорони праці</i>	30.11.2020 р.	
	<i>Розробити заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях</i>	30.11. 2020 р.	
	<i>Оформлення графічної частини</i>	08.12. 2020 р.	
	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	08.12. 2020 р.	
	<i>Оформлення презентації доповіді</i>	20.12. 2020 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Оришук Р.М.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Шанайда В.В.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Орищук Р.М.; " Розробка засобів діагностики та дослідження точності позиціонування деталей в патронах токарних верстатів". 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2020 р.

Мета дослідження – розробити систему діагностики точності позиціонування деталей в затискних пристроях токарних верстатів.

Задачі дослідження:

1. Провести огляд аналітичних даних щодо вивчення випадкових процесів при механічній обробці.
2. Встановити конструктивно-функціональні залежності для токарних патронів різних конструкцій.
3. Провести необхідні кінематичні та силові розрахунки для обраного об'єкта дослідження.
4. Обрати методи та алгоритм виконання дослідження.
5. Провести аналітичне моделювання точності позиціонування і механічної обробки для обраного типу обладнання.
6. Розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – самозатискний кулачковий патрон з підпружиненим центром.

Предмет дослідження – показники точності позиціонування осі оброблюваної деталі відносно осі обертання патрона.

Методи дослідження – інформаційно-патентне дослідження; метод морфологічного аналізу; графо-аналітичний метод; тензометрія; метод математичного моделювання на основі матричного аналізу.

Загальні висновки:

1. Здійснено вибір раціональних параметрів та засобів функціональної діагностики верстата. Запропонована схема діагностики на базі функціональної схеми з тензорезисторів.

2. На основі аналізу конструкцій затискних патронів виокремлено патрон з підтискним центром для подальшого дослідження.
3. Визначено комплекс формотворних рухів для забезпечення процесу механічної обробки деталі в токарному патроні.
4. Формалізовано опис компоновальної схеми токарного верстата.
5. Проведено комплекс кінематичних розрахунків і доведено доцільність використання двошвидкісного двигуна приводу головного руху.
6. На основі математичної моделі опису формотворних рухів вирішено задачу позиціонування довільної точки в зоні різання.
7. Доведено ефективність емітаційного моделювання при вивченні задач просторового позиціонування.
8. Підтверджено залежність позиціонування деталі в токарному патроні від кратності поверхневої огранки до кількості кулачків затискного патрона.
9. Використання в конструкції патрона підтискного центру дозволяє зменшити вплив спадкових похибок на точність механічної обробки.

Oryshchuk R.; " Development of diagnostics and study of parts positioning accuracy in lathe chucks ". 133 - Industrial engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2020.

The objective of our investigation is to develop a diagnostic system of positioning accuracy of parts in clamping devices of lathes.

Research objectives:

1. To review analytical data on the study of random processes in machining.
2. To establish structural and functional dependencies for lathe chucks of various designs.
3. To carry out the necessary kinematic and force calculations for the selected object of study.
4. To choose methods and algorithm for the research performing.
5. To carry out analytical modeling of positioning accuracy and machining for the selected type of equipment.

6. To develop measures for occupational health and safety in emergency situations.

The object of investigation is a self-clamping jaw chuck with a spring-loaded center.

The subject of research is the accuracy of positioning the axis of the workpiece relative to the axis of rotation of the chuck.

Research methods - information and patent research; method of morphological analysis; graph-analytical method; strain measurement; method of mathematical modeling based on matrix analysis.

General conclusions:

1. The choice of rational parameters and means of functional diagnostics of the lathe has been made. The proposed diagnostic scheme is based on the functional diagram with strain gauges.

2. Based on the analysis of the chuck designs, a chuck with a clamping center was selected for further research.

3. A complex of shaping movements has been determined to ensure the process of machining a part in a lathe chuck.

4. The description of the lathe layout diagram has been formalized.

5. A complex of kinematic calculations was carried out and the feasibility of using a two-speed engine for driving the main movement was proved.

6. On the basis of the mathematical model for describing the form-shaping movements, the problem of positioning an arbitrary point in the cutting zone has been solved.

7. The effectiveness of simulation modeling in the study of spatial positioning problems has been proven.

8. The dependence of the positioning of the part in the lathe chuck on the multiplicity of surface cutting with the number of jaws of the chuck was confirmed.

9. The use of a clamping center in the design of the chuck allows reducing the influence of hereditary errors on the accuracy of machining.

## З М І С Т

	стор.
ВСТУП	9
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	11
1.1. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи	11
1.1.1. Вибір раціонального параметра технічної діагностики	13
1.1.2. Вибір раціонального засобу технічної діагностика	16
1.1.3. Опис конструкції і принцип роботи об'єкта дослідження	17
1.1.4. Вибір схеми діагностики	18
1.2. Інформаційно-патентний пошук	19
1.3. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження	34
2. ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ	36
2.1. Вибір комплексу рухів, які забезпечують виробничий цикл верстату	36
2.2. Вибір структурно-кінематичної схеми верстату	39
2.3. Оптимізація компоновочної схеми верстату	40
2.3.1. Вибір оптимальної схеми компоновок	41
2.4. Кінематичні та силові розрахунки	43
2.4.1. Вибір діапазону регулювання виконавчих механізмів верстату	43
2.4.2. Побудова структурної сітки та графіку чисел обертів	44
2.4.3. Конструювання та розрахунок коробки швидкостей	46
2.4.3.1. Опис конструкції та принципу роботи коробки швидкостей	46
2.4.3.2. Силовий розрахунок приводу головного руху	47
2.4.4. Конструкція та розрахунок приводу головного руху	49
2.4.4.1. Розрахунок модулів передач та конструктивних параметрів зубчастих коліс	49
2.5. Попередній розрахунок шпиндельного вузла	52
2.6. Силовий розрахунок приводу револьверної головки	53
2.7. Висновки до розділу	55
3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	57
3.1. Методика та план проведення наукових досліджень	57
3.2. Морфологічний аналіз токарних патронів	57

3.3.	Порівняльний аналіз токарних патронів по шести показниках	60
3.4.	Математичне моделювання точності позиціювання деталі і точності обробки	65
3.4.1.	Схема формоутворення при точінні поверхні	65
3.4.2.	Формула компоновки верстата	65
3.4.3.	Функція формоутворення	66
3.4.4.	Вектор похибки положення обробленої точки	67
3.4.5.	Рівняння базових поверхонь	68
3.4.6.	Вплив відхилення від форми на точність позиціювання	73
3.5.	Обговорення та аналіз отриманих результатів	75
3.6.	Висновки за результатами наукового дослідження	75
4.	<b>ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	77
4.1.	Охорона праці	77
4.1.1.	Планування робочого місця	77
4.2.	Безпека у надзвичайних ситуаціях	82
4.2.1.	Дії населення в надзвичайних ситуаціях (пожежі)	82
	Загальні висновки	84
	Бібліографія	85
	Додатки	89



## ВСТУП

Питання, які пов'язані із точністю механічної обробки були завжди актуальними і перетікали з однієї форми в іншу по мірі розвитку верстатно-інструментального виробництва. Процес підвищення точності обробки деталей, на початкових етапах пов'язували із підвищенням точності виконання формотворних рухів верстатним обладнанням. Дещо пізніше активно пророблялися питання із підвищенням жорсткості системи ВПД, розмірної стійкості металорізальних інструментів, тощо.

Процес обробки деталей типу "тіло обертання" нерозривно пов'язаний із проблемами суміщення або зміщення із заданим ексцентриситетом осей деталі, статичної осі затискного патрона і кінематичної осі обертання закріпленої у пристосованій деталі. Кожна із зазначених проблем має свої напрями дослідження. Важливо відмітити, що спряження окремих елементів в системі верстат-пристосова – деталь носить випадковий характер, а власне закріплення деталі вже підпорядковане певним закономірностям. Для визначення таких закономірностей використовують спеціальні математичні алгоритми, які враховують попередньо встановлені статистичні відхилення в розмірах деталей, відхилення від форми попередньо оброблених поверхонь чи сумарні відхилення чорнових поверхонь.

Аналіз конструкції токарних патронів демонструє їх величезну різноманітність. Проте, область застосування всієї множини таких конструкцій лімітується конструктивними особливостями верстату та його цільовим призначенням. В окремих моментах використовують спеціальні патрони адаптивного типу, які здатні самопідналаштуватися під специфічні геометричні форми деталей чи, в певний спосіб, компенсувати відхилення від номінальних геометричних параметрів. Існують також модернізовані конструкції токарних затискних патронів, в яких несуча частина виконана у відповідності до вимог діючих стандартів, а елементи затиску чи фіксації деталі, мають спеціальні конструктивні елементи, які дозволяють підвищувати

точність механічної обробки деталей заданої геометричної форми, попередньо встановленого діапазону розмірів.

Серед методів дослідження таких процесів найчастіше використовують методи ймовірнісного аналізу, статистичні методи аналізу та натурні випробування. Не менш активно використовують методи активного та пасивного контролю розміщення деталі у патроні. Найбільш поширені конструктивні рішення затискних патронів спрямовані на фіксацію та передачу крутного моменту через циліндричні поверхні. Проблема контакту поверхні деталі із затискним елементом протягом кількох десятиліть вивчення не знайшла остаточного розв'язання. Як окремий напрям таких досліджень – виокремлено використання компенсаційних розрізних втулок, перехідних конусів, шнекових розтискачів. З іншого боку вивчають питання модифікації губок затискних патронів і використання додаткових елементів, які покращують центрування осі оброблюваної деталі із віссю обертання патрона.

На сьогоднішній день, використання високоточного, високопродуктивного та багатокординатного верстатного обладнання лише посилює вимоги щодо підвищення точності позиціонування деталі при її закріпленні в патроні і особливо в умовах автоматизованого виробництва. Аналіз цієї проблеми не втрачає актуальності. Запропоновані підходи систематично вдосконалюються, розширюються та видозмінюються через швидкоплинність асортименту продукції.

У поданій роботі проведені паралелі для ув'язки формалізованих математичних описів для формоутворюючих рухів, компоувальної схеми верстата та математичної моделі для геометричного позиціонування точки на лезі металорізального інструменту в зоні різання.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

#### 1.1. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи

На різних етапах функціонування система діагностики вирішує конкретні технічні задачі. На етапі навчання у функції цієї системи входить виявлення сукупності  $i$ -х діагностичних параметрів  $j$ -х фізичних станів об'єкта діагностики (ОД), кращих для оцінки його працездатності в аналізованих умовах експлуатації. На цьому етапі встановлюють рівні граничних станів ОД, виявляють їхній взаємозв'язок з можливими дефектами. Для більшості функціональних вузлів верстатного устаткування виділяють чотири найбільш характерних граничних рівні, що відповідають чотирьом станам:

- 1) працездатному;
- 2) гранично припустимому працездатному;
- 3) перед аварійному;
- 4) катастрофічному.

Етап навчання завершується складанням словника інформативних ознак несправностей.

На другому етапі - етапі експлуатації верстатного устаткування в реальних умовах - система діагностики оперативно виявляє несправності вузлів верстата шляхом безперервного порівняння поточного технічного стану [1] ОД з переліком найбільш ймовірних, апріорно встановлених непрацездатних станів. Результатом роботи системи діагностики [2] на цьому етапі є формування команд керування по аварійній зупинці або вироблення технологічних заходів щодо підтримки працездатного стану устаткування в межах усього безперервного циклу функціонування.

Для рішення перерахованих задач система діагностики повинна мати у своєму складі такі функціональні блоки, як блок формування діагностичних повідомлень (БФДП), блок перетворень (БП), бібліотеку уставок (БУ), ідентифікатор станів (ІС), блок сигналізації (БС), блок формування команд

керування (БФКК) і ін [3]. На рис. 1 представлена загальна структурна блок-схема системи діагностики, що є типовою для всіх типів верстатного устаткування ГВС.

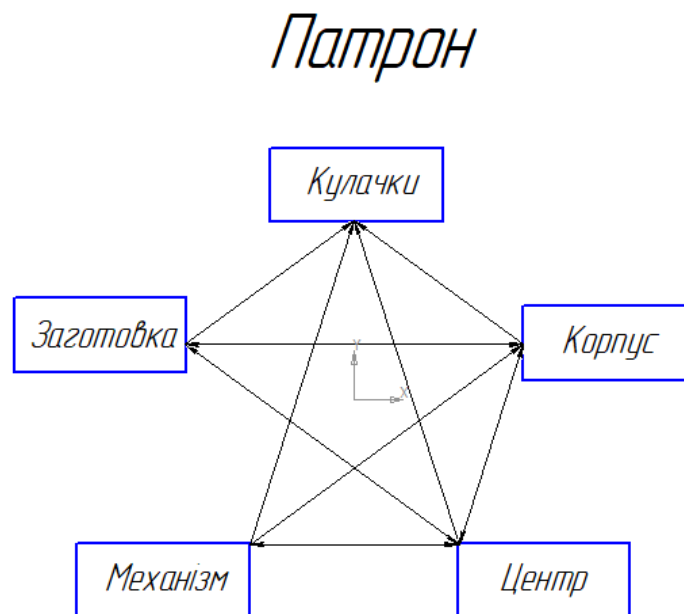


Рисунок 1. Загальна структурна блок-схема системи діагностики

Вузол верстата як об'єкт діагностики характеризується набором із  $j$  фізичних станів, по кожному з яких існує і діагностичних параметрів. Засіб технічної діагностики (ЗТД) виділяє інформативний сигнал, що найбільше повно характеризує стан об'єкта діагностики, після чого БФДС перетворить діагностичну інформацію відповідно до прийнятих алгоритмів як на етапі навчання, так і в процес експлуатації верстата. Блок перетворень трансформує виділений сигнал  $X_y$  зручний для подальшого застосування вигляд. Основу бібліотеки уставок складає отримана на етапі про навчання сукупність еталонних діагностичних сигналів, що характеризують можливі дефекти вузлів верстата.

Ідентифікатор станів (блок розпізнавання поточного стану) порівнює поточні й еталонні діагностичні повідомлення і приймає рішення про відповідність діагностичного параметра допустимим рівням станів.

Результатом функціонування даного блоку є висновок про стан ОД.

Таким чином, процедура діагностики вузла верстата полягає в тому, щоб виявити відповідність величини і характеру зміни в часі перетвореного СТД і БП вектора  $X'_c$  апріорно встановленим допустимим граничним рівням і еталонному характерові змін (осцилограмам) виділеного діагностичного параметру.

Блок формування команд керування за результатами вимірювання й аналізу стану верстатного устаткування формує керуючий вплив на ОД, наприклад команди для аварійного припинення функціонування верстата у випадку катастрофічного стану діагностичного вузла, виробляє комплекс заходів по підтримці працездатності вузла в перед аварійному стані до завершення розрахункового періоду роботи верстата.

Відповідно до запропонованої структури реалізуються практично всі системи технічної діагностики стану верстатного устаткування, що входить до складу ГВС при цьому ряд блоків системи реалізуються на базі мікроЕОМ.

### **1.1.1. Вибір раціонального параметра технічної діагностики**

Інформативні параметри - пружні і теплові деформації, рівень генеративних електричних сигналів верстата і параметрів вібрації [4] у процесі роботи, параметри точності верстата - служать ознаками, по яких діагностують стан технологічної системи. Діагностичною цінністю володіють ознаки, значення яких практично незмінні для групи однотипних верстатів, що мають на момент атестації однаковий стан, і разом з тим значно змінюються при переході від одного стану до іншого для конкретного об'єкта діагностики - верстатного устаткування .

Для вирішення задачі виділення діагностики [18] стосовно корисних ознак скористаємося методом порівняння ймовірностей характеристик ознак.

Для заданої множини станів  $\Omega_i$ , ( $i=1, \dots, m$ ) формують апріорний словник ознак  $x_j$  ( $j=1, \dots, N_a$ ) з невідомими умовними щільності розподілу  $f_j(x_j)$  і, навпаки, відомими першими  $m_i$ , і другими  $D_{ji}$ , моментами розподілів і

апріорними ймовірностями  $P(\Omega_i)$ .

Оцінимо якість ознак  $x_i$  ( $j=1, \dots, N_a$ ).

За умови, що діагностований вузол верстата володіє значенням  $j$ -тої ознаки з ймовірностями, рівними апріорним ймовірностям  $P(\Omega_i)$  ( $i=1, \dots, m$ ), визначимо математичне очікування деякої фіктивної випадкової величини, що приймає значення апріорної ймовірності  $P(Q_i)$ :

$$M[m_{ij}] = \sum_{i=1}^m m_{ij} P(\Omega_i)$$

а також математичне очікування дисперсії,  $j$ -тої ознаки по стану:

$$M[D_{ij}] = \sum_{i=1}^m D_{ij} P(\Omega_i)$$

У випадку  $M[D_{ij}] < M[D_{sj}]$  при інших рівних умовах якість ознаки  $x_i$  вище якості ознаки  $x_s$ , при цьому графік залежності  $f(x_i)$  кращої ознаки уздовж осі абсцис виглядає більш компактно.

Дисперсія математичного очікування розподілів ознак при переході від одного стану до іншого:

$$D_{ij} = \{[m_{ij} - M(m_{ij})]^2\}$$

У випадку  $D_{ij} > D_{sj}$  за інших рівних умов якість ознаки  $x_i$  вище якості ознаки  $x_s$ , при цьому на графіку залежності  $f(x_i)$  кращої ознаки відстань  $Ax_L$  перевищує аналогічне відстань  $Ax_s$  для непереважної ознаки.

Прийmemo за критерій відбору ознаки величину:

$$K_i = M[D_{ij}] / D_{ij}^-$$

Якщо  $K_i < K_s$ , то якість ознаки  $X_j$  вище якості ознаки  $x_s$  і найкращим є ознака, що реалізує:

$$\min J[K_i] = J \{M[D_{ij}] / D_{ij}^-\}$$

Порівняння параметрів фізичних станів по методу порівняння ймовірнісних характеристик ознак дозволило виділити як інформативний параметр пружні деформації елементів технологічної системи.

Задача вибору кращої ознаки діагностики може бути вирішена й іншими методами, наприклад методами теорії інформації.

Робота верстатного устаткування характеризується безліччю фізичних станів. По кожному з них прийняті допустимі значення контрольованих параметрів станів, зміни яких можуть бути оцінені різними законами розподілу. Так, зміна вихідного параметра точності виготовлених деталей (діаметра деталей  $D$ ) як параметра, що характеризує якість верстатів при аналізі розмірно-геометричної підсистеми, характеризується законом нормального розподілу, зміна, наприклад, кількості теплоти, що виділяється - теплоти різання  $Q$ , використовуваної при аналізі теплової підсистеми, - законом рівномірного розподілу. Щільності ймовірностей цих параметрів:

$$f(D) = \sigma_{D_i}^{-1} (2\pi)^{-1/2} \exp [-(D-m)^2 / (2\sigma^2)]$$

$$f(D) = (Q_1 - Q_2)^{-1}$$

Тоді кількість інформації, що вноситься при вимірюванні якого небуть параметра стану верстатного устаткування, визначиться як різниця ентропії до проведення вимірювання і умов ентропії після вимірювання виділеного параметру, а ентропія стану верстатного устаткування в цілому  $H$  (ф) визначиться як сума ентропії по всім  $Y$  виділеним параметрам

$$H(\psi) = \sum_{i=1}^R H(Y)$$

де:  $H(Y)$  - ентропія  $Y$ -го виділеного параметра;  $R$  - число виділених параметрів;

$\psi$  -  $\{D, Q, \dots\}$  - параметр стану верстатного устаткування. Ентропія стану верстатного устаткування для двох виділених параметрів у натуральних одиницях виразиться наступним чином:

$$H(\psi) = - \sum_{i=1}^R \int_{D_2}^{D_1} A \ln A dD - \int_{D_2}^{D_1} B \ln B dD$$

$$D_1 \leq D \leq D_2$$

де:  $A=f(D)$ ;  $B = f(Q)$  - щільності ймовірностей виділених параметрів.

При вимірюванні кожного з параметрів станів невизначеність системи зменшується. Результати вимірювання параметрів в межах відповідних допусків з достатньою ступню вірогідності апроксимуються законом нормального розподілу. Тоді умови, ентропія стану верстатний обладнання що характеризує невизначеність, що залишилася після вимірювання, наприклад, діаметра деталі  $D$ , складає:

$$H\left(\frac{\psi}{D}\right) = -\sum_{i=1}^R \int_{\delta D_i} A_i \ln A_i dD - \int_{Q_2}^{Q_1} B_i \ln B_i dQ$$

де:  $A_i = \sigma_{Di}^{-1} (2\pi)^{-1/2} \exp [-(D - m_{Di})^2 / (2\sigma^2)]$

Для порівняння приведемо умовну ентропію стану, що залишилась після вимірювання кількості теплоти різання що виділяється :

$$H\left(\frac{\psi}{D}\right) = -\sum_{i=1}^R \int_{\delta D_i} B_i \ln B_i dQ - \int_{Q_2}^{Q_1} A_i \ln A_i dD$$

де:  $B_i = \sigma_{Qi}^{-1} (2\pi)^{-1/2} \exp [-(Q - m_{Qi})^2 / (2\sigma^2)]$

Кількість інформації, внесеної при вимірюванні  $Y$ -го параметру стану верстатного устаткування:

$$J_Y = H(\psi) - H(\psi/Y).$$

Параметр фізичного стану, що реалізує  $(J_Y)_{\max}$  буде шуканим інформативним параметром.

### 1.1.2. Вибір раціонального засобу технічної діагностики

Основним елементом системи технічної діагностики, що виконує найбільш важливе функціональне навантаження - виділення первинної діагностичної інформації, є засіб технічної діагностики (ЗТД). Від якості проведення процедури залежить працездатність верстата в цілому.

Інформацію про  $i$ -м ознаку  $j$ -го фізичного стану верстата можна одержати декількома ЗТД. Найважливішими показниками, що оцінюють правильність ухвалення рішення на вибір кращого ЗТД, є його інформативність (чутливість до діагностичної ознаки), надійність функціонування, швидкодія



(оперативність виділення діагностичних повідомлень) і собівартість. Можлива також комплексна оцінка, що враховує сукупність дії декількох показників.

Для побудови співвідношень переваги на безлічі припустимих рішень скористаємося системою пріоритетів  $\{\mu_n, \mu_n, \mu_\sigma, \mu_c\}$ .

З особливостей пріоритетів випливає, що при  $\mu_q(\text{ЗТД } k_1) < \mu_q(\text{ЗТД } k_2)$ ,  $g=1, \dots, G$ , де  $k_t$  (ЗТД<sub>к</sub> - оцінка ефективності діагностики виділеного параметра  $k$ -м ЗТД по  $g$ -му пріоритеті:  $k_1, k_2, \dots, k$  - індекси порівнюваних ЗТД, засіб технічної діагностики ЗТД<sub>к1</sub>, по пріоритеті  $\mu_q$  переважніше ЗТД<sub>к2</sub>.

При рівності цих оцінок засоби технічної діагностики еквівалентні.

Для вибору кращого ЗТД служать відносні оцінки:

$$0, \mu_q(\text{ЗТД } k_2) / \mu_q(\text{ЗТД } k_1);$$

$$\mu_q(\text{ЗТД } k_2) / \mu_q(\text{ЗТД } k_1), \mu_q(\text{ЗТД } k_2) > \mu_q(\text{ЗТД } k_1).$$

А впорядкування засобів технічної діагностики по  $q$  - му пріоритеті проводиться на основі сумарної оцінки доцільності:

$$VS_{xki} = \sum_{ky=1}^k S_{xk1k2}$$

Остаточне рішення на вибір кращого ЗТД приймається за допомогою матриці згоди  $C / C_{\text{ЗТД } k_1}, C_{\text{ЗТД } k_2} /$ . При обліку відносної важливості пріоритету  $l_g$

$\sum_{g=1}^G l = G$ , коефіцієнти матриці визначаються таким чином:

$$C_{\text{ЗТД } k_1, \text{ЗТД } k_2} = L \mu \in C(\mu_{\text{ЗТД } k_1, \text{ЗТД } k_2})$$

де  $G$  - число пріоритетів;  $l_g$  - відносна важливість пріоритета. До класу  $C(\mu_{\text{ЗТД } k_1, \text{ЗТД } k_2})$  віднесені всі ті пріоритети  $\mu_g$ , для яких має місце нерівність:

$$\mu(\text{ЗТД } k_1) < \mu(\text{ЗТД } k_2)$$

### 1.1.3 Опис конструкції і принцип роботи об'єкта дослідження

Об'єктом дослідження є самозатискний кулачковий патрон з

підпружиненим центром спеціально розроблений для моделі верстату 1П732 РФЗ (ДР МВм 19-321.00.01.000 СК).

Основною конструктивною особливістю даного патрону є наявність в ньому підпружиненого центру 17. Він використовується для збільшення надійності закріплення заготовки на верстаті, та забезпечення точності базування в початковий момент часу. Центр відтискається з корпусу 1 для затиску деталі за допомогою пружини 2 та через важільно-клиновий механізм представлений послідовним з'єднанням деталей диск 6 в який впирається пружина 7 і в результаті розтискає клин 19, що створює зусилля на ступицю 4 яка пересуває центр в осьовому напрямку.

Затиск кулачків відбувається за рахунок відцентрової сили. Ексцентрик затиску складається з осі обертання 22 на якій знаходиться кулачок 14, і яка має певний зазор у кріпленні з корпусом патрона 12. Розтискаються кулачки патрона пружиною 24, яка з'єднує його з корпусом 12.

#### **1.1.4. Вибір схеми діагностики**

На основі існуючих схем для визначення сил затиску, та з практичного досвіду було прийнято рішення про проведення вимірювань динамічних деформацій, що діють на диск рифлений в процесі затиску заготовки. Вимірювання потрібно провести за допомогою фольгових тензорезисторів типу 2ФКПА, які слід наклеїти під диском рифленим по дві штуки з протилежних кутів для формування мостового з'єднання.

Покази вихідних величин потрібно зафіксувати з допомогою двоканального тензометричного підсилювача "Топаз - 2", так як патрон має два кулачка.

Також проведено аналіз і опис з подальшим вибором, характеристик як тензорезисторів, так і проміжних перетворювачів, що застосовуються для вимірювання динамічних деформацій; описано принцип підготовки поверхні ексцентрика для встановлення тензорезисторів, способи і засоби підготовки

самих тензорезисторів і методи їх встановлення.

Усі необхідні схеми та конструкції представлені в графічній частині.

## 1.2. Інформаційно-патентний пошук

Для виконання порівняльного аналізу конструктивних рішень[5, 6] щодо затискних патронів для верстатів токарної групи ми провели патентний пошук з використанням можливостей мережевих технологій. В результаті виконаного інтернет пошуку мною було знайдено понад 800 патентів з описами особливостей конструкцій та принципу дії. Як результат проведених досліджень і порівняльного аналізу нами були встановлені окремі групи патентованих патронів.

В першу чергу широко патентувались і розвивались[7] кулачкові патрони та патрони спеціальні самоцентруючі [8], які не мають спеціального механізму, що з'єднує геометричну вісь деталі із віссю обертання шпинделя. У таких пристосуваннях оброблювана деталь ставиться на призми, пальці і т. п., які мають в своєму розпорядженні найчастіше полиці, відливи або приварені елементи до торцевої площини планшайби, або безпосередньо на планшайбі.

До цієї групи відносяться також поворотні і пересувні пристосування, призначені для послідовного суміщення осей оброблюваних поверхонь з віссю шпинделя верстата. Пристосування з поворотом або пересуванням деталі у масовому і великосерійному виробництві застосовують рідко, оскільки механізація і автоматизація трудомістких переміщень деталей в таких умовах є ускладненими. Використання ж ручного управління пов'язане з непродуктивною витратою часу.

Приспособа для токарного патрона, призначена для обробки отвору в поршні на токарно-револьверному верстаті, показана на рис.1.1. Поршень 8 встановлюють нижнім торцем і обробленим в юбці на палець 9. Бобишки, в яких розташований оброблюваний отвір, фіксуються пружинячим важелем 6. Таким чином, зовнішня бічна поверхня бобишок також служить як установча поверхня. Посадкою поршня на палець 9 досягається поєднання осі оброблюваного отвору з вертикальною площиною симетрії поршня. Установкою поршня на буртик цього пальця досягається розташування того ж

отвору на заданій відстані від нижнього торця поршня. Утримувач повертає поршень при установці настільки, щоб бобишки розташувалися по осі шпинделя.

Прихват 4 передає зусилля на поршень через п'яту, що коливається, 5, діаметр якої вибирають таким чином, щоб сила затиску передавалася на вертикально розташовані стінки поршня. Втулка 7 призначена для напрямку інструменту з метою уникнути можливості віджимання його убік при обробці. Таку втулку рекомендується вмонтовувати на підшипниках кочення.

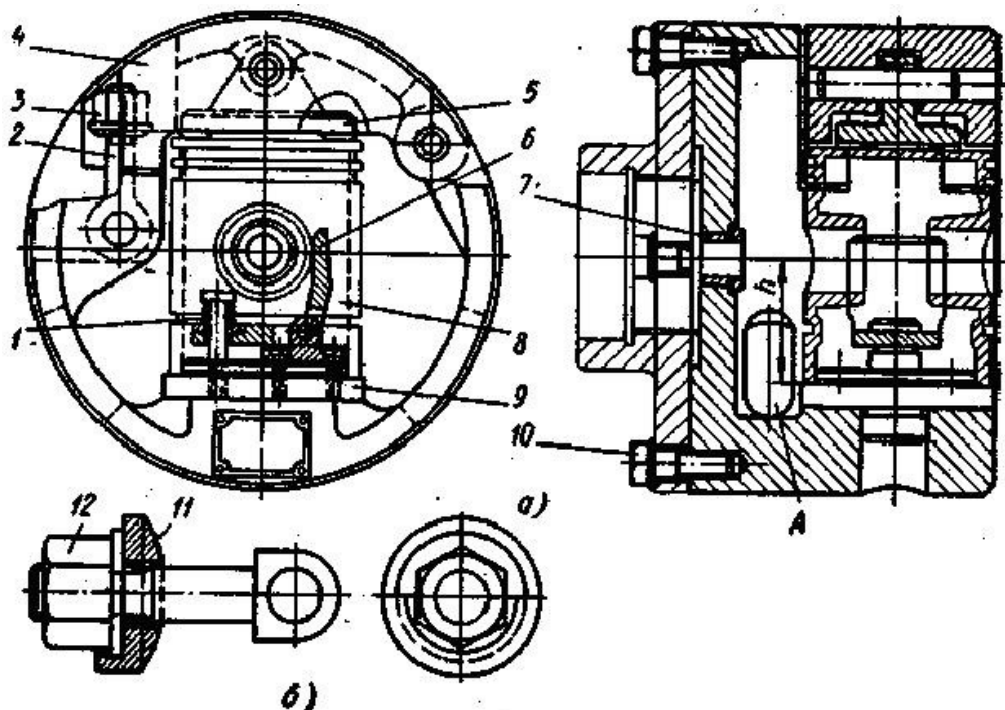


Рисунок 1.1. Пристосування для обробки отвору в поршні

До недоліків описуваної конструкції слід віднести виступаючі голівки болтів 10 позаду перехідної планшайби. Рекомендується застосовувати гвинти з потайною циліндровою головкою. Для запобігання недопустимому биттю, пристособи розглянутого типу мають бути урівноважені спеціальними противагами. Для надання пристосуванню циліндричної форми без радіально виступаючих частин прихват 4 повинен мати циліндрову форму, а гайка 3 шарнірні гвинти 2, використовувані для кріплення прихвата, прихована у виїмці останнього.

У всіх пристосуваннях, що обертаються, рекомендується застосовувати

гайку з сферичним буртиком, оскільки при зануренні в конічний отвір паза прихвата така гайка при обертанні пристосування не вийде з паза, Навіть якщо вона виявиться ненадійно затягнутою. Це сприяє безпечній роботі з таким пристосуванням.

Проте описана конструкція гайки має наступний недолік — вона діє на відкритий паз планки безпосередньо, без проміжної шайби. Це утрудняє процес нагвинчування гайки від руки і, крім того, буртик гайки, зачіпаючи кромки паза прихвата, не лише викликає знос цих кромок, але і зношується сам.

Щоб уникнути цього рекомендується використовувати конструкцію шайби, показану на рис. 1.1, в. У цій конструкції шайба 11 постійно пов'язана з гайкою 12, оскільки вона надіта своєю виточкою на буртик гайки.

У разі, коли замкнута циліндрична форма корпусу значно обважнює пристосування, його виготовляють довільної форми, а для безпечного обслуговування на планшайбу надівають циліндроподібний щиток з тонкої листової сталі, який перекриває виступаючі частини пристосування.

Наступним важливим етапом було створення та патентування патронів для центрування деталей складних профілів, наприклад зубчастих. Найбільшого поширення такі патрони набули при шліфуванні центрального отвору в термічно оброблених зубчастих колесах.

У цих випадках прагнуть використовувати криволінійну поверхню голівок зубів як установчі площини, щоб поєднати вісь отвору з віссю початкового кола зубів, після можливого викривлення колеса в процесі термічного обробки. Для найбільш правильного центрування використовують патрон із стількома кулачками, що входять в западини між зубами, скільки таких западин містить дане зубчасте колесо. Проте такий пристрій має дуже складну конструкцію. Тому в практиці часто використовують лише три теоретичні кулачки, оскільки така кількість рівномірно розташованих по колу кулачків сповна забезпечує точне центрування. Іноді застосовують п'ять-шість кулачків, причому додаткові кулачки не допускають надмірного радіального зсуву колеса, коли один з трьох «теоретичних» кулачків виявиться навпроти

найбільш деформованої западини зубів і не працюватиме.

Проте найкращими в цьому відношенні слід рахувати патрони з пружною оболонкою [9] і числом кулачків у вигляді роликів, рівним числу западин в колесі.

Для шліфування отворів в циліндричних зубчастих колесах часто застосовують патрон, який закріплюють на шпинделі верстата за допомогою перехідної планшайби без циліндричного виступу. Для центрування на корпусі використовують чисто оброблену кільцеву поверхню, по якій за допомогою індикатора перевіряють биття патрона. Це дозволяє точно зцентрувати патрон по осі шпинделя верстата. При виявленні ексцентриситету патрон легко відрегулювати, якщо кріпильні гвинти затягнуті не повністю. Незначна швидкість обертання і невеликі сили при обробці не можуть змінити положень відрегульованого і закріпленого патрона. Центруючий механізм патрона для оброблюваної деталі складається з клиновидних кулачків, пов'язаних з хрестовиною плоскими пружинами або шарнірними важелями.

Одночасна робота всіх кулачків досягається точним напрямом хрестовини втулками при її поступальному переміщенні вздовж патрона. Унаслідок скошених поверхонь кулачків оброблюване зубчасте колесо одночасно центрується і притискається своїм торцем до упорів. Кулачки мають обмежений поздовжній хід, тому для зубчастих коліс різних діаметрів доводиться міняти губки патрона.

Затягування хрестовини здійснюють вручну через систему важелів і пружин, або від пневматичного приводу. І той і інший механізм управління зазвичай розташовується позаду шпинделя верстата і діє на патрон через порожнину шпинделя. Кулачки виготовляють з високовуглецевої сталі, загартованої до максимальної твердості.

Установка прямозубих зубчастих коліс по криволінійних поверхнях зубів досягається використанням роликів, які розміщують в западинах зубчастого колеса проти кулачків патрона. Щоб унаслідок надмірного занурення роликів в западини зубчасте колесо не центрувалося по зовнішній циліндричній поверхні,

необхідно розрахувати діаметр роликів.

Електромагнітні патрони є двох типів. В електромагнітному патроні, показаному на рис. 2, а, деталь 1 утримується на сталевій або чавунній плиті 2 сердечниками 3 електромагнітів, закріпленими одним кінцем в плиті та відділеними від плити мідною, бронзовою, або алюмінієвою втулками або бабітовою заливкою. Другі кінці сердечників 3 вільні. Магнітний потік при такій схемі замикається через повітря (штрихові лінії), причому значна частина енергії розсівається, а сам потік зважаючи на великий опір магнітному ланцюгу стає слабким. У схемі, показаній на рис. 2, б електромагніти одним кінцем закріплюють так само, як і на рис. 2, а другим — в кільці 4 з м'якої сталі або в пластинах, які перекривають по два, поруч розміщених, електромагніти. Магнітний потік в даному випадку замикається не через повітря, а через метал, чим усуваються недоліки першої схеми.

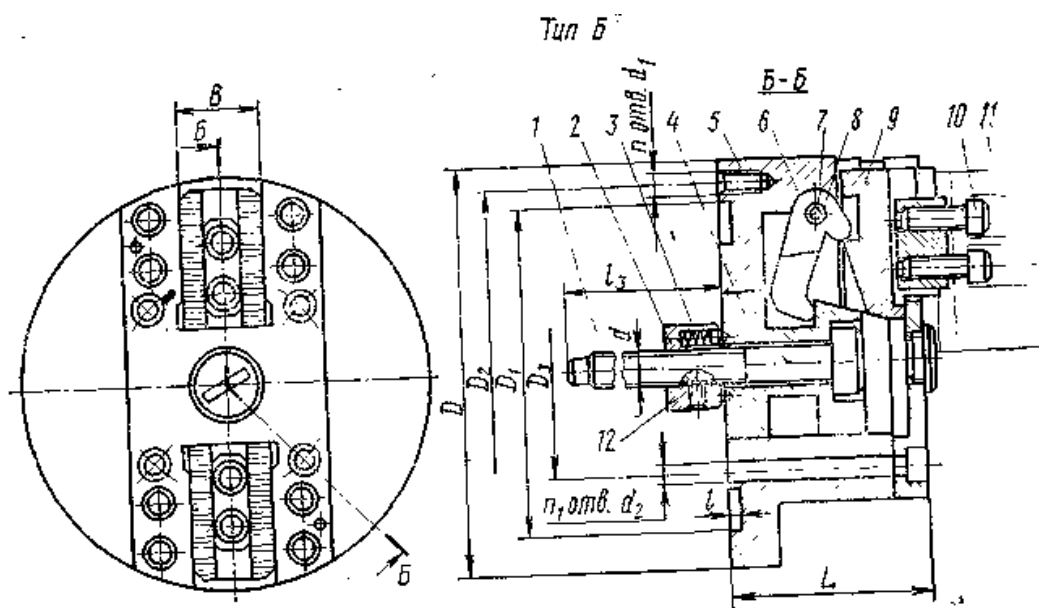


Рисунок 1.2. Електромагнітний патрон

Сила тяжіння електромагнітів прямо пропорційна використовуваній частині магнітного потоку. Тому, чим менше втрат на розсіювання останнього, тим більше компенсують силу тяжіння. Отже, з цієї точки зору схема, показана на рис. 2 є раціональнішою.

Поряд з певними перевагами електромагнітних пристроїв: швидкістю дії,



можливістю одночасного кріплення дрібних деталей і ін., ці пристрої володіють і рядом недоліків, основними з яких є: менша сила затиску в порівнянні з механічними системами затиску, ймовірність аварій при припиненні подачі електроенергії, неможливість кріплення деталей з немагнітних матеріалів, наявність залишкового магнетизму в деталях з феромагнітних матеріалів, необхідність живлення обмотки електромагнітів лише постійним струмом.

Застосовувати змінний струм для таких пристроїв не можна через виникнення вібрацій оброблюваної деталі і нагріву її вихровими струмами в результаті перемагнічування.

Тягова сила таких патронів характеризується питомою силою затяжки, що представляє власне силу відриву пластини із сталі 10 (сторони якої дорівнюють подвоєній ширині полюса, а товщина — 10 мм), на площу полюса, що перекривається цією пластиною. У сучасних конструкціях питома сила тяжіння коливається в межах 2—13 кН. Споживана потужність при цьому складає 100—300 Вт.

Живлення виробляється від мережі змінного струму напругою 110 В через селенові випрямлячі СВ-2 або СВ-3. Інколи для живлення використовуються спеціальні генератори постійного струму, які приводяться в дію від електродвигуна приводу головного руху верстата.

Для полегшення зняття оброблених деталей з верстата через обмотку електромагнітів пропускається невеликий струм зворотного напрямку, а для остаточного розмагнічування деталей від залишкового магнетизму застосовують спеціальні демагнізатори.

Існує велика різноманітність електромагнітних патронів, в яких використовуються різні за формою і за розташуванням в корпусі електромагнітів.

На практиці досить широко застосовується проста конструкція електромагнітного патрона, в якій використовується один сердечник циліндричної форми, поміщений в середині патрона. На сердечник намотується обмотка, до якої електричний струм підводиться через щітки і розміщені на

патроні струмопідвідні кільця. Шліфування здійснюється за допомогою супортно-шліфувальної головки чашковим або циліндричним шліфувальним кругом з поперечною подачею.

Патрони з постійними магнітами в окремих випадках є кращими за електромагнітні, оскільки такі патрони, помимо того, що не вимагають витрат на електроенергію і можуть переставлятися на будь-який верстат.

Кулачкові патрони застосовують для установки і затиску різних деталей, що обробляються на токарних і шліфувальних верстатах. Залежно від кількості кулачків патрони поділяють на дво-, трьо- і чотирикулачкові. Вони бувають з ручним і механізованим приводом. Патрони бувають самоцентрируючими і з незалежним переміщенням кулачків, універсальними і спеціальними.

Є чотири класи точності патронів: Н — нормальною; П — підвищеною; У — високою; А — особливо високій точності. Технічні вимоги на токарні патрони загального призначення подані в ГОСТ 1654—71.

Двокулачкові патрони. Такі патрони застосовують для установки і закріплення деталей по некруглій поверхні або фасонній поверхні. Їх виготовляють з ручним приводом, із спірально-рейковим і гвинтовим механізмами (ГОСТ 14903—69), з клиновим центруючим механізмом (ГОСТ 16866—71) і клиноважільного типу (ГОСТ 16682—71). Працюють вони від механізованого приводу, закріпленого на задньому кінці шпинделя токарного або токарно-револьверного верстата. Двокулачкові патрони кріпляться на передньому кінці шпинделя верстата за допомогою проміжного фланця або до фланцевого кінця шпинделя верстата.

Універсальний двокулачковий патрон. Двокулачковий самоцентрируючий клиноважільний механізований патрон (ГОСТ 16682—71) закріплюють на шпинделі верстата за допомогою перехідного фланця. При обертанні патрон фіксують від самозгвинчування з фланця пружинним стопором. Ходовий гвинт різьбою з'єднується з тягою штока пневмопривода і служить для регулювання радіального переміщення кулачків. Кулачки переміщуються до осі патрона під дією важелів, що сидять на штифтах і

опираються на циліндричні поверхні в корпусі патрона.

При переміщенні в пневмоциліндрі поршня з штоком зліва направо через гвинт і похила площину муфти кулачки розходяться і деталь розтискається. До кулачків змінні губки кріпляться гвинтами.

Універсальні трикулачкові самоцентруючі патрони з ручним затиском торцевим ключем. Такі патрони застосовують для установки і затиску по циліндричній поверхні різних деталей в серійному і одиничному типах виробництва. Моделі СТ-80 СТ-630 таких патронів розроблені Енімсом в відповідності до ГОСТ 2675-71 (див рис. 1.3.).

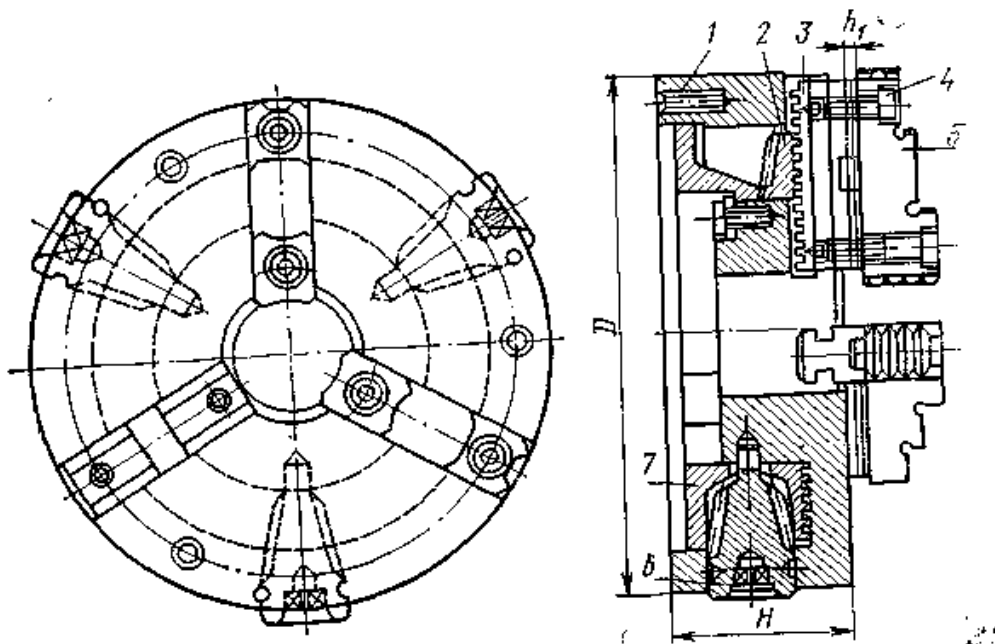


Рисунок 1.3. Універсальний трикулачковий патрон

Такий трикулачковий спірально-рейковий самоцентруючий патрон із ручним затиском закріплюється на різьбовому кінці шпинделя токарного верстата. У корпусі 1 патрона розташований диск 2, що має на одному торці конічне зубчате колесо, а на іншому — спіральні рейкові пазы, що знаходяться в зачепленні з рейками 3. У хрестоподібному пазі рейок 3 гвинтами 4 встановлюють і закріплюють прямі або зворотні накладні кулачки 5. При обертанні торцевим ключем одного з трьох конічних зубчастих коліс 6, що знаходяться в зачепленні з конічним колесом диска 2, останній повертається і переміщає рейки 3 з кулачками 5 до осі патрона при затиску деталі і від осі — при її розтиску. Кришка 7 утримує диск 2 в корпусі патрона від подовжнього

зсуву і перешкоджає попаданню в патрон стружки і різного роду забруднення. Деякі патрони виготовляють з цілісними прямими і зворотними кулачками з нарізаними на їх торцях рейками для безпосереднього сполучення із спіральними пазми диска 2. Недолік цих патронів полягає в тому, що радіуси кривизни на різних ділянках спіралі диска 2 різні, а радіус рейок 3 кулачків однаковий, тому зіткнення рейок 3 з витками спіралі диска 2 відбувається не по всій поверхні, а по невеликих (вузьких) ділянках.

При неповному зачепленні витків спіралі диска з рейками кулачків виникає високий питомий тиск у місці з'єднання і відбувається значний знос центруючого механізму і втраті точності патрона. Для підвищення зносостійкості застосовують гартування і шліфування витків спіралі диска і рейок кулачків патрона.

Широке застосування мають спеціальні трикулачкові самоцентруючі патрони з розподіленим та центральним пневмоприводом (рис. 1.4).

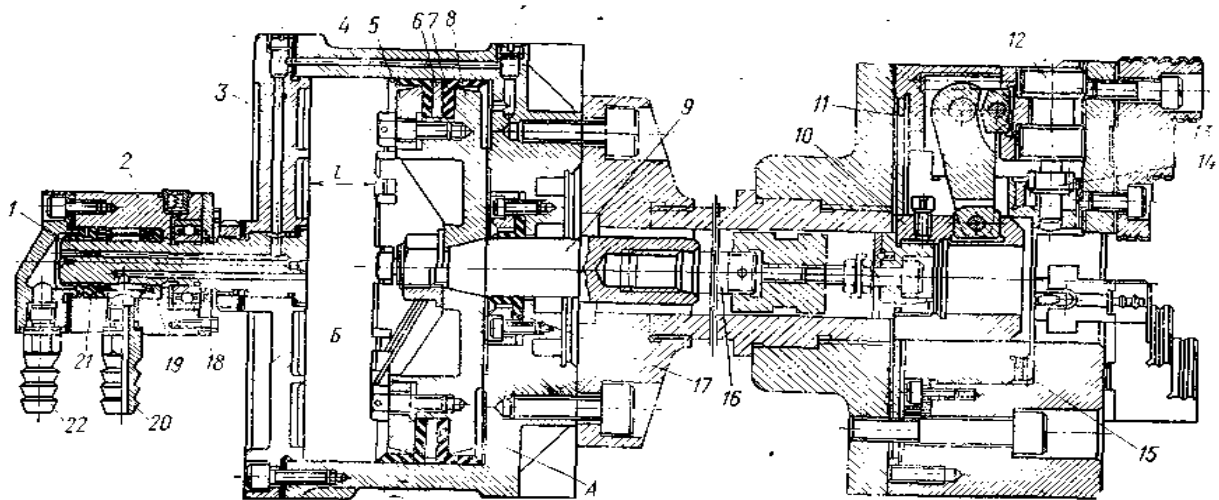


Рисунок 1.4. Універсальний самоцентруючий трикулачковий патрон

Трикулачкові самоцентруючі патрони з механізованим приводом. Найбільше вживання мають трикулачкові клинові (ГОСТ 16886—71) і клинові (ГОСТ 16862—71) для важеля патрони з механізованим приводом для переміщення кулачків. Ці патрони використовують у великосерійному і

серійному типах виробництва для закріплення деталей, що обробляються на різних токарних і револьверних верстатах. Залежно від конструкції центруючого механізму такі патрони з механізованим приводом підрозділяють на важелі, важільно-гвинтові, важільно-клинові, клинові і спірально-рейкові. При переналадці патронів необхідно встановити і закріпити накладні кулачки на необхідний розмір оброблюваної деталі.

На рисунку 1.4. показаний трикулачковий патрон важільного типу з механізованим приводом для переміщення кулачків при затиску і розтиску деталей, що обробляються на токарних і револьверних верстатах. Пневмопривід, закріплений на фланці, встановленому на задньому кінці шпинделя токарного верстата, складається з пневмоциліндра 4, в якому розміщується поршень 8 з штоком 9, кришки 3, в отвір якої запресований хвостовик 1, і нерухомої повітророзподільної муфти 2 з двома штуцерами 20 і 22 для підведення стисненого повітря.

Для герметизації порожнин А і Б пневмоциліндра 4 на поршні встановлені манжети 7 з проміжним кільцем 6, закріплені кільцем 5. Герметизація штока здійснюється манжетою 17 і нерухомою муфтою 2 з хвостовиком, що обертається, манжетами 19 і 21. Нерухома розподільна муфта 2 встановлена на зовнішньому кільці шарикопідшипника 18, внутрішнє кільце якого обертається разом з хвостовиком 1.

Від розподільного крану стисле повітря по трубопроводу підводиться до штуцера 22, потім, пройшовши по каналах в хвостовику 1, кришці 3 і пневмоциліндрі 4, поступає в штокову порожнину А і переміщає поршень 8 з штоком 9 вліво. При цьому шток через тягу 16 і гвинт переміщає втулку 10 в корпусі вліво. У корпусі патрона на осях встановлено три важелі 11 з відношенням плечей 3:1. На кінцях важелів рухливо встановлені сухарі, які входять в пази втулки 10 і в пази підстави кулачків 13. При русі вліво втулка 10 повертає на осях важелі 11, короткі плечі яких переміщують кулачки до центру, і деталь затискається.

Після обробки деталі розподільний кран перемикається, стисле повітря

підводиться до штуцера 20 і, пройшовши по каналу в хвостовику 1, поступає в безштокову порожнину Б пневмоциліндра і переміщає поршень 8 з штоком 9 управо. При цьому шток через тягу 16 переміщає втулку 10 з вертикальними плечима важелів 11 управо, а горизонтальні плечі цих важелів розводять кулачки 13, і деталь розтискається.

Установка кулачків 13 патрона на необхідний розмір оброблюваних деталей забезпечується обертанням гвинта 12, на кінці якого є зубчасте колесо 14, що знаходиться в зачепленні з плоским центральним зубчастим колесом 15. При обертанні зубчасте колесо 15 через зубчасті колеса 14 повертає гвинти 12, які переміщують всі кулачки в положення, відповідне розміру оброблюваної деталі. При затиску деталей по внутрішньому діаметру необхідно переставити в пазах патрона кулачки 13, обернувши їх на  $180^\circ$ . Діаметр деталі, що затискається, кулачками патрона 10—240 мм. Діаметр прутка, що затискається, 10—40 мм. Максимальне зусилля на штоку 44 000 Н (4500 кгс).

Універсальні чотирикулачкові патрони. Ці патрони застосовують для установки і затиску деталей некруглої форми, які піддають обробці на токарних, револьверних, свердлувальних верстатах в одиничному і серійному типах виробництва.

Конструкція чотирикулачкових патронів з незалежним переміщенням кулачків ключем регламентована (ГОСТ 3890—72) і бувають чотирьох класів точності Н, П, В, А і двох типів А — для кріплення на фланцеві кінці шпинделів і Б — для кріплення на різьбові кінці шпинделів через проміжні фланці. Токарні чотирикулачкові патрони випускаються моделей ТН-160 —ТН-1000.

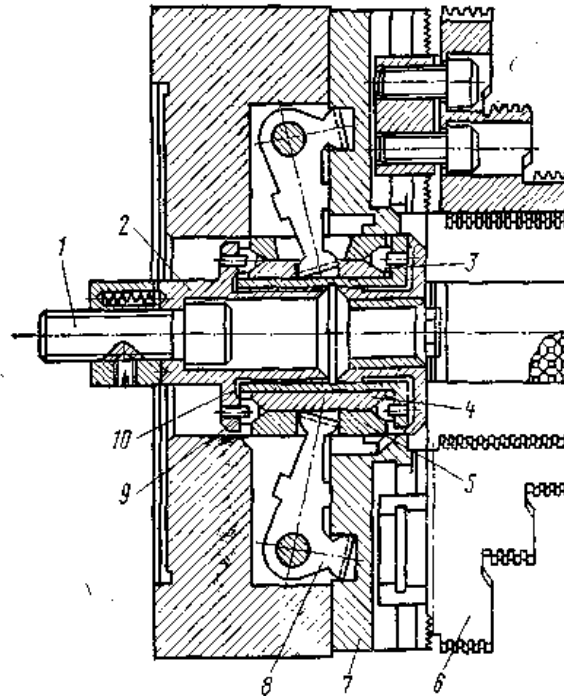


Рисунок 1.5. Універсальний чотирикулачковий патрон з механізованим приводом для переміщення кулачків

На рис.1.5. показаний універсальний чотирикулачковий патрон з механізованим приводом для переміщення кулачків до осі і від осі патрона. Кожна пара протилежно встановлених кулачків підводиться і відводиться від поверхні оброблюваної деталі послідовно, для рівномірного затиску деталі всіма кулачками.

Пневмопривід розташований на задньому кінці шпинделя верстата. При переміщенні поршня з штоком в пневмоциліндрі вліво шток через тягу і гвинт 1 пересуває втулку 2 уздовж осі. При цьому втулка 2 разом з втулкою 10, закріпленою на втулці 2, діють на плаваючі сектори 3 і 9, які переміщують втулки 4 і 5 з діаметрально розташованими пазами для установки в них довгих плечей важелів 8. Кожна втулка 4 і 5 повертає лише одну пару важелів 8. Втулки 4 і 5 під дією плаваючих секторів 3 і 9 переміщуючись вліво, повертають важелі 8 на осях, і короткі плечі важелів 8 переміщують основні кулачки 7, допоміжні кулачки 6 до осі патрона, і деталь затискається.

При переміщенні поршня з штоком в пневмоциліндрі вправо шток через тягу і гвинт пересуває втулки 2 і 10, і вони через плаваючі сектори 3 і 9

зміщують втулки 4 і 5 вправо. Тоді втулки повертають довгі плечі кожної пари важелів 8 вправо, а короткі плечі важелів 8 розводять кулачки 6 і 7, і деталь розтискаються. Затиск і розтиск деталі кожною парою кулачків відбувається послідовно за допомогою плаваючих секторів 9 або 3, що переміщуються перпендикулярно відносно осі патрона.

Широкого розповсюдження набули трикулачкові клинові і важільно-клинові патрони (ГОСТ 16862—71), що працюють від механізованого приводу. Клинові патрони кріпляться на передньому кінці шпинделя за допомогою проміжного фланця або до фланцевого кінця шпинделя безпосередньо. Застосовуються також патрони трикулачкові швидко переналагоджувальні (ПБК-200— ПБК-400). У цих патронах перестановка кулачків на новий діаметр затиску деталі здійснюється швидко, шляхом послідовного обертання трьох валиків-шестерень, встановлених в трьох затискних кулачках патрона. При обертанні валиків-шестерень три кулачки переміщуються в радіальному напрямі до осі патрона або від осі.

На рис. 1.6. показаний трикулачковий самоцентруючий клиновий патрон з механізованим приводом для швидкого затиску і розтиску деталей, що обробляються на токарних, револьверних напівавтоматах і інших верстатах; багатошпіндельних напівавтоматах у великосерійному і серійному виробництвах. У пазах корпусу патрона встановлено три кулачки 2, до яких гвинтами 4 і сухарями прикріплені змінні кулачки 5. У корпусі 1 патрона встановлена втулка 6, яка гвинтом 8 і тягою сполучена з штоком поршня пневмоциліндра. У втулці 6 є три пази а з кутом нахилу  $15^\circ$ , в яких входять нахилені виступи б кулачків 2, утворюючи клинові зв'язані пари. Під час подачі стислого повітря в штокову порожнину пневмоциліндра поршень з штоком переміщується в пневмоциліндрі вліво, шток через тягу, гвинт 8 і втулку 6 пересуває виступи б кулачків 2 вниз по похилих пазах а втулки 6. При цьому змінні кулачки 5, переміщуючись до осі патрона, затискають оброблювану деталь. Після обробки деталі стисле повітря подається в бесштокову порожнину пневмоциліндра і поршень з штоком переміщується в пневмоциліндрі вправо.



Шток через проміжні ланки пересуває втулку 6 управо, виступи б кулачків 2 переміщуються по похилих пазах втулки 6 вгору, і змінні кулачки 5 розходяться від осі патрона, деталь розтискає.

Для заміни кулачків в шестигранний отвір у втулці вставляють торцевий ключ, який повертає втулку проти годинникової стрілки на кут  $15^\circ$ , кулачки 2 виводять з пазів корпусу 1 і виймають. У робочому положенні втулка 6 стримується підпружиненим штифтом 9. Втулка 7 захищає патрон від засмічення. Клинові патрони жорсткі і зносостійкі в роботі.

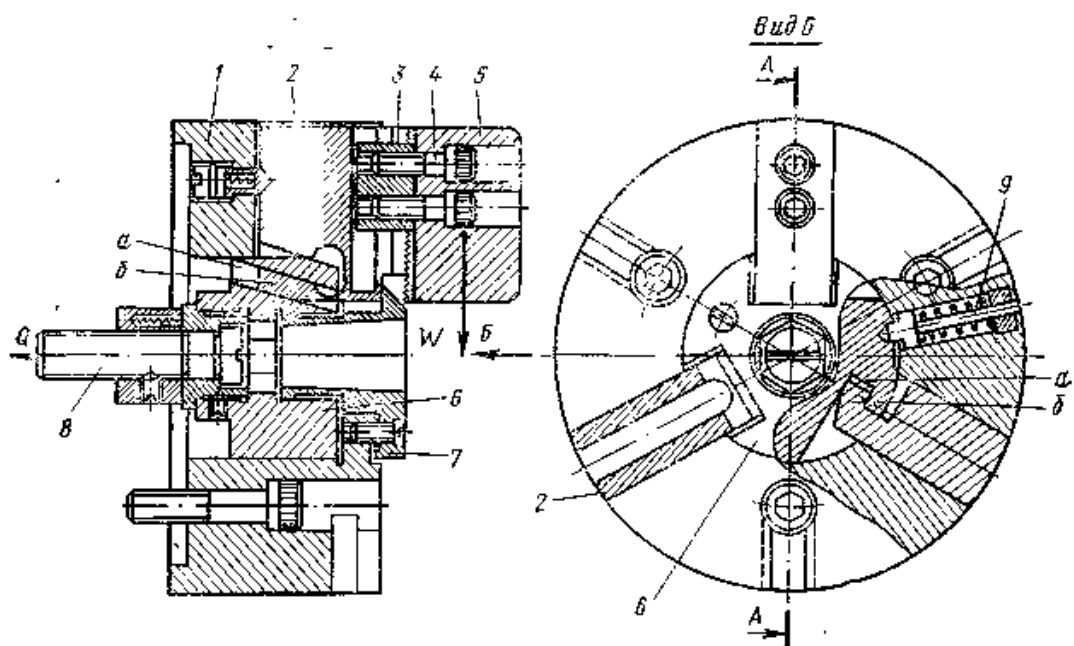


Рисунок 1.6. Клиноважільний трикулачковий патрон (Патрон 3)

В результаті проведеного пошуку і аналізу конструктивних рішень вибираю три сучасних зразки самозатискних патрони. Для того щоб вибрати один з них для подальшого дослідження проводжу паралельний параметричний аналіз існуючих конструкцій, їх конструкцій та технологічних особливостей. Порівняння проводимо за трибальною системою, відповідно чим вищий бал, тим більше даний патрон відповідає обраним порівняльним характеристикам.

Таблиця 1. Паралельний параметричний аналіз

Параметри для паралельного порівняння характеристик патронів	Патрон 1	Патрон 2	Патрон 3
Складність виготовлення	3	1	2
Уніфікація складових одиниць	2	1	3
Легкість монтування на верстаті	1	2	3
Легкість діагностики	1	1	1
Простота технічного обслуговування	2	2	1
Доступність для мащення	1	3	2
Надійність системи затиску	1	1	1
Наявність системи автоматичної підналадки	1	2	1
Номенклатура деталей, які можуть бути закріплені за допомогою даного патрону	2	2	1
Діапазон типорозмірів, які можуть бути закріплені за допомогою даного патрону	1	3	2
Швидкозмінність патрону	1	1	2
Наявність додаткового пристрою для затиску заготовки	1	1	2
Всього	0	0	0

Після проведеного вище порівняльного аналізу патронів, для подальшого дослідження обираємо патрон 3 - самоцентруючий затискний патрон з механізованим приводом.

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

Проведений огляд літературних джерел та патентно-інформаційної бази показав, що дослідження випадкових процесів щодо точності позиціонування заготовки в токарних патронах і, відповідно, точності механічної обробки, є актуальною задачею. З доступних джерел інформації встановлено, що активна пошукова робота щодо вдосконалення конструкції кулачкових патронів для верстатів токарної групи започаткована ще на початку минулого століття. Серед напрямів вдосконалення конструкції та принципів роботи приводних механізмів слід виділити наступні: за видом приводу руху кулачків (механічні, пневматичні, гідравлічні); за принципом закріплення (механічні, електричні, магнітні); за принципом затиску (самозатискні, з регульованим затиском); за способом передачі навантаження (гвинтові, рейкові, клинові, важільно-клинові), тощо.

За змістом проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Система діагностики активного стану верстатного обладнання – це багатоканальна інформаційно-розрахункова структура.
2. Процедура діагностики вузла верстата ставить за мету виявити відповідність величини і характеру зміни в часі перетвореного сигналу і вектора вхідних параметрів апріорно встановленим допустимим граничним рівням виділеного діагностичного параметру.
3. Підбір конструкції затискного пристрою перебуває в залежності від вихідних геометричних параметрів попередньої обробки деталі.

Мета дослідження – розробити систему діагностики точності позиціонування деталей в затискних пристроях токарних верстатів.

Задачі дослідження:

1. Провести огляд аналітичних даних щодо вивчення випадкових процесів при механічній обробці.
2. Встановити конструктивно-функціональні залежності для токарних

патронів різних конструкцій.

3. Провести необхідні кінематичні та силові розрахунки для обраного об'єкта дослідження.
4. Обрати методи та алгоритм виконання дослідження.
5. Провести аналітичне моделювання точності позиціонування і механічної обробки для обраного типу обладнання.
6. Розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – самозатискний кулачковий патрон з підпружиненим центром.

Предмет дослідження – показники точності позиціонування осі оброблюваної деталі відносно осі обертання патрона.

Методи дослідження – інформаційно-патентне дослідження; метод морфологічного аналізу; графо-аналітичний метод; тензометрія; метод математичного моделювання на основі матричного аналізу.

## РОЗДІЛ 2

## ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ

## 2.1 Вибір комплексу рухів, які забезпечують виробничий цикл верстату

Поверхні деталі які обробляються на металорізальних верстатах можна розглядати, як безліч послідовних положень рухомих відтворюючих ліній одна з яких називається твірною, а інша відтворююча лінія називається напрямною. Відтворюючі лінії на верстатах утворюються матеріальними точками і лініями ріжучих крамок інструмента за рахунок відносних рухів інструменту і заготовки.

В процесі обробки твірні лінії відтворюються комбінацією узгоджених між собою обертових та прямолінійних переміщень інструмента і заготовки. Рухи, які необхідні для цього називаються формоутворюючими робочими рухами. Вони можуть бути простими і відображаються тільки одним рухом  $\Phi v$  ( $O_1$ ), а також складними коли узгоджено два, або декілька рухів завдяки яким утворюється поверхня:  $\Phi v$  ( $O_2, P_2$ );  $\Phi s$  ( $P_3, P_4$ ).

Більшість поверхонь деталей машин можуть бути утворені при використанні в якості твірної лінії: прямої, кола, гвинтової лінії і ряду інших. Циліндричні поверхні можуть бути отримані при переміщенні твірної - прямої 1 по напрямній - колу 2, або при русі утворюючого кола 3 вздовж напрямної - прямої лінії 4.

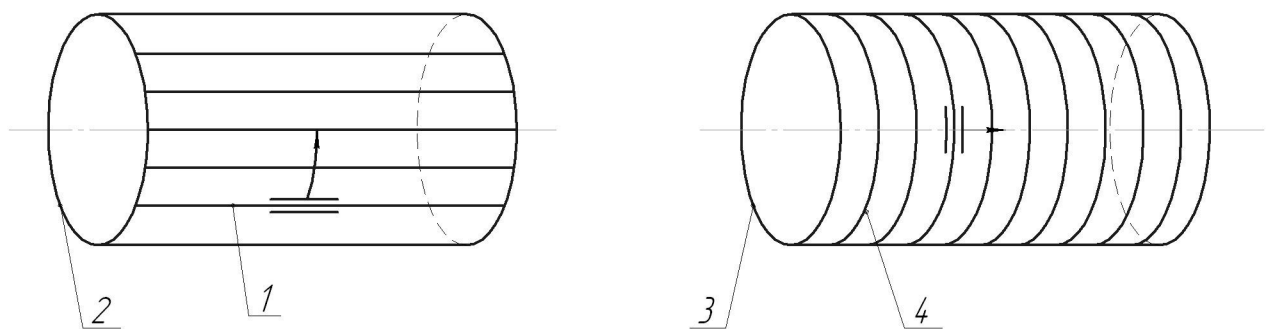


Рисунок 2.1 Схема утворення циліндричної поверхні

В залежності від виду ріжучого інструменту і форми його ріжучої частини існує 4-ри методи формоутворення: копіювання, сліду, дотику, обкату.

Розглянемо методи утворення відтворюючої лінії на токарно патронно - центровому верстаті, які використовуються при обробці.

Метод сліду полягає в тому, що твірну лінію отримують як слід руху точки - вершини різця. Наприклад при точінні різцем твірна 1 виникає як слід точки А. Інструмент і заготовка переміщуються один відносно одного таким чином, що вершина А ріжучого інструмента весь час є дотичною до відтворюючої лінії 1. Напряму лінію отримують в результаті обертання заготовки. В цьому випадку необхідно два формоутворюючих рухи: обертання заготовки  $\Phi_V (O_1)$ , подача інструмента  $\Phi_S (P_2)$ .

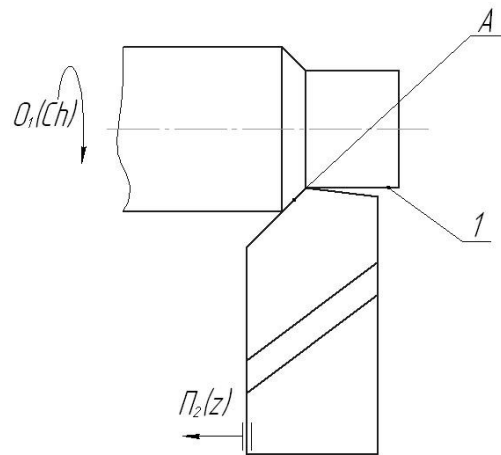
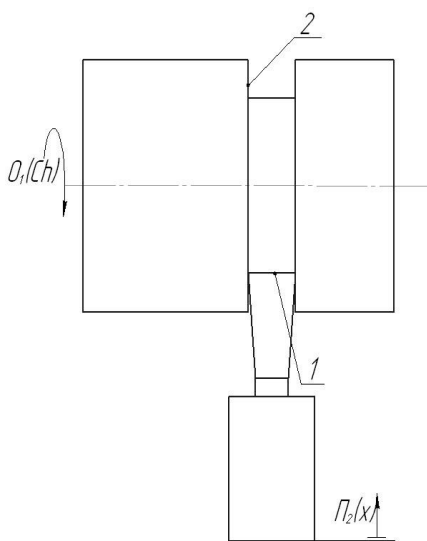


Рисунок 2.2 - Утворення твірної лінії методом сліду



Метод  
копіювання

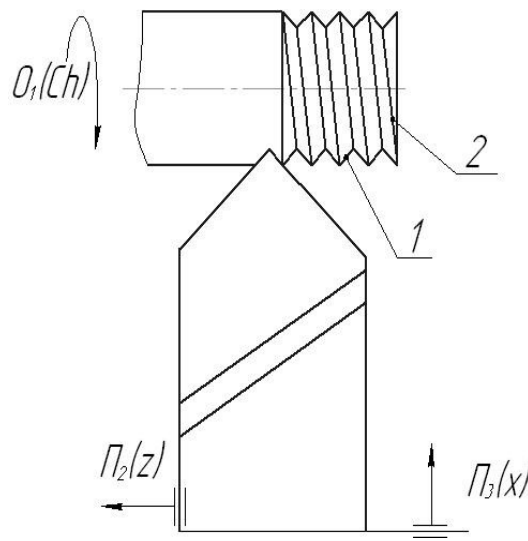


Рисунок 2.3 - Утворення твірної лінії методом копіювання

ґрунтується на тому, що ріжуча кромка інструменту по формі співпадає з твірною лінією. Наприклад, при одержанні канавки твірна 1 утворюється копіюванням прямолінійної кромки інструмента, а нарізна лінія 2 - обертанням заготовки.

Для зняття припуску і отримання деталі з заданими розмірами потрібне переміщення різця. Цей рух є рухом врізання  $V_r$  ( $\Pi_2$ ). При різенарізанні різцем використовується метод копіювання, рух  $\Pi_3$  є установчим  $U_{ст}$  ( $\Pi_3$ ).  $\Phi_v$  ( $O_1 \Pi_2$ ) - це складний рух де узгоджено обертання заготовки з подачею інструменту, яка відповідає кроку різі.

Ланки які несуть заготовку і інструмент називаються робочими, або виконавчими. В процесі обробки вони здійснюють узгодженні рухи, які поділяються на формоутворюючі, установчі, ділильні, врізання, допоміжні, керуючі.

Рух заготовки і інструмента в процесі різання прийнято поділяти відповідно на головний рух і рух подачі.

Головний рух - рух, який забезпечує зняття стружки з заготовки із швидкістю різання -  $\Phi_v$  ( $O_1$ ).

Рух подачі - рух, який дозволяє підвести під ріжучу кромку інструмента нові ділянки заготовки і забезпечити зняття шару матеріалу -  $\Phi_s$  ( $\Pi_2$ ).

В розглядуваному верстаті головний рух (обертний)  $\Phi_v$  ( $O_1$ ) отримує заготовка, а рух подачі  $\Phi_s$  ( $\Pi_2, \Pi_3$ ) - прямолінійний, або складний виконує інструмент.

Переміщення інструмента проходить найчастіше по прямій лінії, паралельно осі деталі за допомогою поздовжньої подачі інструмента -  $\Phi_{s1}$  ( $\Pi_2$ ), або перпендикулярно з поперечною подачею інструмента  $\Phi_{s2}$  ( $\Pi_3$ ). В окремих випадках для формоутворення необхідна комбінація обох подач.

## 2.2. Вибір структурно-кінематичної схеми верстату

Кінематична структура токарно патронно - центрального верстата представлена на листах графічного матеріалу. Формоутворення забезпечується обертовим рухом заготовки  $\Phi_v$  ( $O_1$ ) по ланцюгу: електродвигун - шпindel з ланками налагодження:  $I_{AKШ}$  \_ автоматична коробка швидкостей, та  $I_{Vшп.бабка}$  - шпindelної бабки. Поступальний рух інструмента  $\Phi_s$ , ( $\Pi_2$ ) та  $\Phi_{s2}$  ( $\Pi_3$ ) по ланцюгу: кроковий електродвигун через зубчасту передачу, ходовий гвинт, по ланцюгу кроковий електродвигун через зубчасту передачу, ходовий гвинт.

Кожен рух який виконується на верстаті супроводжується певними якісними параметрами та силовими характеристиками які забезпечують виконання певної роботи.

Якісні характеристики забезпечуються кінематикою верстату, а силові характеристики - потужністю джерела енергії, яка повинна враховувати силу різання, сукупні втрати в кінематичному ланцюгу.



### 2.3. Оптимізація компоновочної схеми верстату

В основному аналіз структури компоновок металорізальних верстатів [10] любых типів покладена кінематична структура - склад елементарних рухів, виконуваних їх робочими органами. Такий підхід до спостереження дозволить розкрити структуру компоновки, як внутрішній склад, органічно зв'язане з призначенням. Формалізація компоновок повинна розкривати структуру верстата, дозволяти судити про розміщення окремих блоків, а також давати можливість використання того чи іншого апарату досліджень.

Структурна формула компоновки верстата - це певна послідовність символів, які означають блоки і яка розкриває координатну причетність їх і методів спряження. Кількісний аналіз структури компоновок базується на числах блоків і елементарних рухів, покладених в компоновці і переслідує ціль оцінки структурної універсальності і ступеня можливості її використання.

Записуємо загальну матрицю ймовірних компоновок такого верстата.

$$A = \{O, Ch, Z, X\}$$

$$\dot{A} = \begin{bmatrix} ZXCO & ZXOC & ZOXC & OZXC \\ XCXO & ZCOX & ZOCX & OZCX \\ CZXO & CZOX & ZOCX & OCXZ \\ XZCO & XZOC & XOZC & OXZC \\ XCZO & XCOZ & XOCZ & OXCZ \\ CXZO & CXOZ & COXZ & OCXZ \end{bmatrix}$$

По призначенню токарні верстати з ЧПК поділяються на патронні АТ – для обробки порівняно коротких деталей при їх консольному закріпленні в затискному патроні, центрові, оснащені задньою бабкою, для обробки валів в центрах і патронно - центрові .

Досить суттєвою рисою в компоновці верстата являється розміщення направляючих супорта: горизонтальне з збереженням зовнішньої подібності з універсальними токарними і револьверними верстатами, вертикальне або нахилене, для яких переважно являється зручність обслуговування, покращення сходу і видалення стружки, розміщення ходового гвинта між направляючими з метою підвищення точності переміщення супорта.

Токарні верстати з ЧПК мають як мінімум дві керованих координати:  $Z$  - переміщення каретки вздовж осі шпинделя;  $X$  - переміщення поперечних салазок перпендикулярно цій осі. На поперечних салазках, як правило, встановлено або різцетримач (при зміні інструмента з магазину), або поворотна револьверна інструментальна головка (РГ), яка може мати два різних положення осі повороту: співпадаючу по напрямку з віссю  $Z$  і перпендикулярну до площини  $ZY$ .

Таким чином, основною тенденцією в створенні токарних верстатів з ЧПК є використання агрегатно модульного - принципу побудови з агрегатизованих вузлів. Вузли верстату, такі як: салазки, опорна задня бабка, верхні салазки, привід шпинделя і стружковідвідний транспортер можна використовувати у всіх типах верстатів.

По мірі необхідності салазки можуть бути встановлені на верстат в лівому або правому виконанні, а системи інструментального забезпечення - в формі багаторіцевої державки або РГ.

### **2.3.1 Вибір оптимальної схеми компоновок**

Значна кількість можливих варіантів компоновок і необхідність забезпечити об'єктивність при виборі раціональної компоновки [11] передбачає можливість застосування математичних методів такого відбору. Для цього необхідно формалізувати, з одного боку власне компоновки, а з другого – умови відбору (УВ). Умови для попереднього відбору компоновок можуть бути сформовані за критеріями технологічності та конструктивних міркувань,

базуватися на умовах експлуатації в загальних вимогах підвищення якості роботи верстату.

Формулюємо і запишемо у формалізованому вигляді структурні ознаки (СО) відбору компоновок.

М1: СО: блок обертового руху є кінцевим блоком компоновки.

$$M1 = C\bar{O}\bar{O}\bar{O} + \bar{O}C\bar{O}\bar{O} + O\bar{O}\bar{C}\bar{O} + O\bar{O}\bar{O}C \quad (2.1)$$

М2: УВ: Підвищення стійкості мас.

СО: Чим більше переміщення має блок, тим ближче він розміщений до стаціонарного вузла  $Z > X$ .

$$M2 = \bar{Z}\bar{Z}\bar{Z}O + \bar{Z}\bar{O}\bar{O}\bar{O} + \bar{O}\bar{O}\bar{O}\bar{Z} + OZ\bar{Z}\bar{Z} \quad (2.2)$$

М3: УВ: Підвищення жорсткості системи ВШД. СО:

Обертвий рух надається заготовці.

$$\dot{\zeta} = \bar{O}\bar{O}\bar{O}\bar{O} + \bar{O}\bar{O}\bar{O}\bar{C} + \bar{N}O\bar{C}\bar{C} + \emptyset \quad (2.3)$$

М4: УВ: Покращення динамічних характеристик.

СО: Рухомі блоки розділяються між гілками компоновок.

$$\dot{4} = \emptyset + \bar{O}\bar{O}\bar{O}\bar{O} + \bar{O}\bar{O}\bar{O}\bar{O} + \emptyset \quad (2.4)$$

Визначаємо структурні формули компоновок, що задовольняє всім структурним ознакам з використанням математичного методу відбору компоновок.

$$M1 = C\bar{O}\bar{O}\bar{O} + \bar{O}C\bar{O}\bar{O} + O\bar{O}\bar{C}\bar{O} + O\bar{O}\bar{O}C$$

$$M2 = \bar{Z}\bar{Z}\bar{Z}O + \bar{Z}\bar{O}\bar{O}\bar{O} + \bar{O}\bar{O}\bar{O}\bar{Z} + OZ\bar{Z}\bar{Z}$$

$$\dot{\zeta} = \bar{O}\bar{O}\bar{O}\bar{O} + \bar{O}\bar{O}\bar{O}\bar{C} + \bar{N}O\bar{C}\bar{C} + \emptyset$$

$$\dot{4} = \emptyset + \bar{O}\bar{O}\bar{O}\bar{O} + \bar{O}\bar{O}\bar{O}\bar{O} + \emptyset$$

$$M1 + M2 + M3 + M4 = \emptyset + CZOX + COZX + \emptyset$$

$$CXOZ$$

## 2.4. Кінематичні та силові розрахунки

### 2.4.1. Вибір діапазону регулювання виконавчих механізмів верстату

Частотний ряд обертів приводу головного руху будують за законом геометричної прогресії. Ряд чисел обертів, який підпорядкований закономірностям геометричної прогресії зручний для призначення економічно обґрунтованих режимів різання. Використання геометричного ряду дозволяє генерувати складні приводи, а також елементарні двовалові механізми, які також сформовані на основі геометричної прогресії.

Діапазон регулювання частоти  $Rn$  і знаменник  $\phi$  ряду частот обертання шпинделя розраховуємо за формулами (2.5) і (2.6):

$$Rn = \frac{n_{max}}{n_{min}} \quad (2.5)$$

$$Rn = \frac{1250}{25} = 50$$

$$\phi = \sqrt[z-1]{Rn} \quad (2.6)$$

$$\phi = \sqrt[18-1]{50} = 1.259$$

Відповідно до технічних рекомендацій приймаємо для ряду швидкостей головного руху різання токарного верстату стандартне значення  $\phi = 1.26$ .

$$Z_n = 1 + \frac{\lg(Rn)}{\lg(\phi)}$$

$$Z_n = 1 + \frac{\lg(50)}{\lg(1.26)} = 17.93 \quad (2.7)$$

Приймаємо  $Z_n = 18$ .

### 2.4.2. Побудова структурної сітки та графіку чисел обертів

Автоматична коробка швидкостей призначена для автоматичного перемикавання передач. В основу конструкції автоматичної коробки швидкостей покладено триступеневу валову систему. У цій конструкції між валами є рівна кількість передач – 3.

$$P_1=P_2=3.$$

де  $P_1$  і  $P_2$  - число передач.

Автоматична коробка швидкостей на вихідному валу забезпечить 9 швидкостей і структурна формула з характеристиками груп буде мати вигляд:

$$Z = 3_{(1)} \cdot 3_{(3)} = 9 \quad (2.8)$$

Кожна група передач характеризується характеристикою групи  $X$ . Для першої групи вона рівна 1 і називається одиничною.

Визначаємо число передач, які забезпечує механічна коробка швидкостей у структурі шпindelної бабки:

$$Z = P_3 \cdot P_4 = 2 \cdot 2 = 4 \quad (2.9)$$

З врахуванням 9-ти швидкостей автоматичної коробки передач на шпинделі буде забезпечено 18 швидкостей обертання 6 з яких можна отримати шляхом комбінативного перебору і комбінування варіантів між використанням АКШ та ручним перемиканням.

Структурну сітку формуємо на основі структурної формули. Структурна сітка приводу головного руху верстата представлена на рисунку 2.4.

$$Z=18=3_{(1)}3_{(3)}2_{(3)}2_{(6)} \quad (2.10)$$

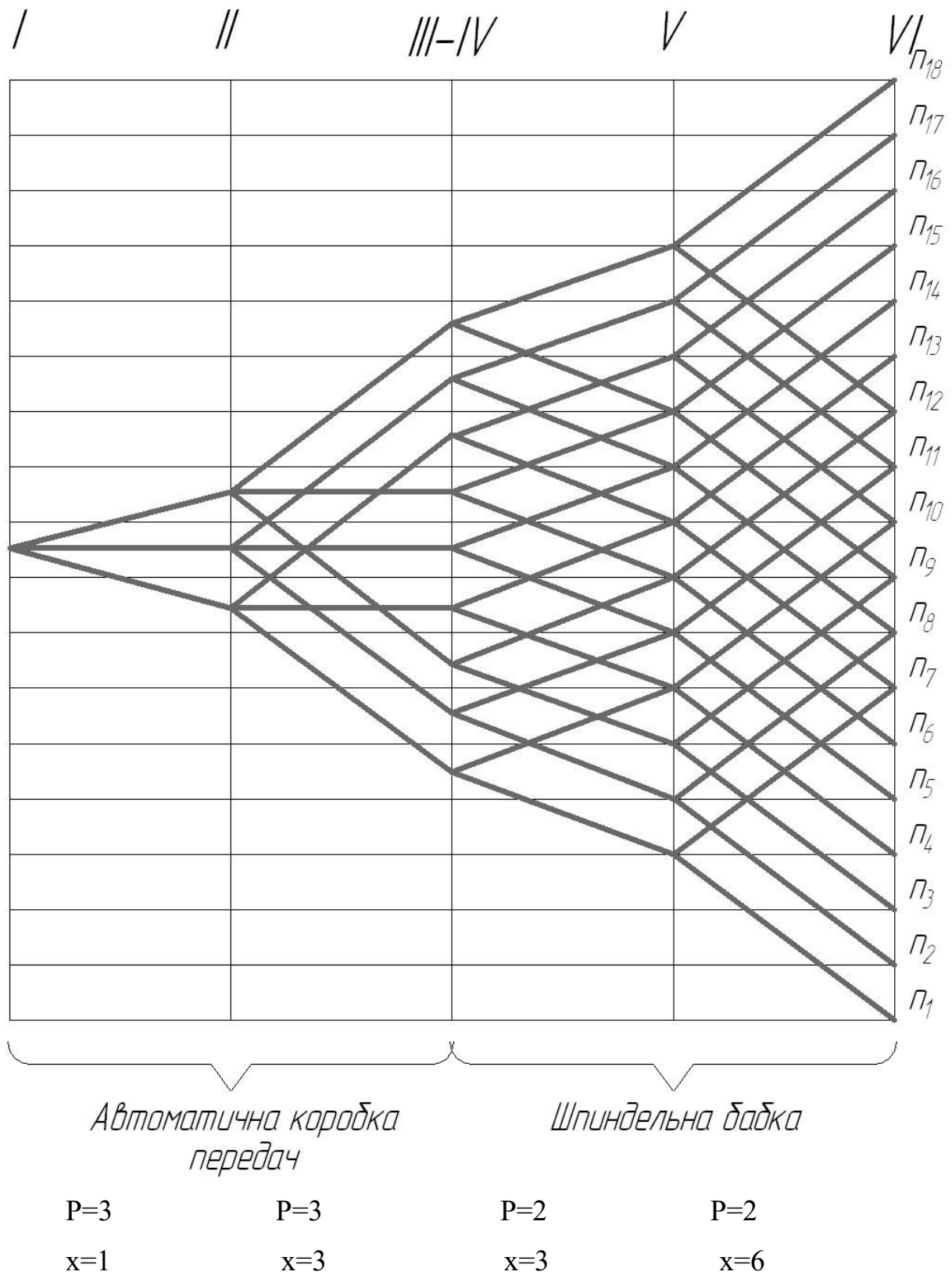


Рисунок 2.4. Структурна сітка.

Побудову графіку чисел обертів проводять на основі структурної формули і структурної сітки. Нахил або підйом променя відповідає значенню

передаточного відношення вираженого через знаменник  $\phi$  ряду частот обертання шпинделя. Графік чисел обертів представлений на рисунку 2.5.

Рисунок 2.5. Графік частот обертів шпинделя верстату 1П732Ф3.

### **2.4.3. Конструювання та розрахунок коробки швидкостей**

#### **2.4.3.1. Опис конструкції та принципу роботи коробки швидкостей**

Привід суміщених коробок швидкостей (автоматичної коробки швидкостей та шпиндельної бабки) забезпечено електродвигуном постійного струму потужністю 37 кВт. Першочергово потужність електродвигуна затрачається на привід автоматичної коробки швидкостей. Далі йдуть витрати на подолання опору коробки швидкостей шпиндельної бабаки та зусиль, які виникають в зоні різання.

АКШ це вузол, котрий забезпечує перемикання 9-ти швидкостей в автоматизованому режимі в робочому циклі. Вихідний вал АКШ з'єднаний через муфту з валом шпиндельної бабки. Коробка швидкостей має 3 вали, на котрих розташовано 6 електромагнітних муфти. При вмиканні на валах двох електромагнітних муфт АКШ забезпечує необхідну кількість обертів вихідного вала. Коробка швидкостей шпиндельної бабки також 3-ох валова. На вхідному валу встановлено дві шестерні з можливістю осьового переміщення, котрі забезпечують дві швидкості, а на проміжному валу інший блок з двох шестерень з можливістю осьового переміщення, що по черзі з'єднуються з шестернями шпинделя.

#### **2.4.3.2. Силовий розрахунок приводу головного руху**

Силовий розрахунок механізмів приводу доцільно проводити для умов роботи верстата на максимальних режимах, коли в зоні різання виникає максимальне

навантаження (сила різання  $P_z = 17000$  Н) і створюється найбільший крутний на валу шпинделя верстата.

Найбільшу силу різання визначили при швидкості різання і роботі кінематичного ланцюга за наступним кінематичним ланцюгом:

$$1460 \cdot \frac{236}{330} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{23}{57} \cdot \frac{37}{48} \cdot \frac{21}{84} = 80 \text{ об}^{-1}$$

Розрахунок параметрів швидкості та крутних моментів на валах кінематичного ланцюга приводу.

Частота обертання:

- ведучого шківас пасової передачі:  $n_1 = 1460 \text{ об/хв}$ ;

- веденого шківас пасової передачі I -го вала:

$$n_1 = n_{\text{ДВ}} D_1/D_2 = 1460 \cdot 236/330 = 1000 \text{ об/хв.} \quad (2.11)$$

- II -го вала:  $n_2 = n_1 Z_4/Z_3 = 1000 \cdot 40/40 = 1000 \text{ об/хв}$

- III - IV -го вала:  $n_3 = n_2 Z_9/Z_{10} = 1000 \cdot 23/57 = 400 \text{ об/хв}$

- V -го вала:  $n_4 = n_3 Z_{16}/Z_{17} = 400 \cdot 37/48 = 315 \text{ об/хв}$

- VI -го вала:  $n_{\text{ун}} = n_5 = n_4 Z_{20}/Z_{21} = 315 \cdot 21/48 = 80 \text{ об/хв}$

Визначаємо значення крутних моментів на валах приводу головного руху:

- на шпинделі (VI-й вал):

$$M_{\text{ун}} = M_6 = \frac{N_{\text{різ}} \cdot 30 \cdot 10^3}{\pi \cdot n_6} = \frac{27.9 \cdot 30 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 80} = 3400 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.12)$$

- на V-му валу:  $M_5 = \frac{M_6 \cdot i_6}{\eta_{\text{зн}} \cdot \eta_n} = \frac{3400 \cdot \frac{21}{84}}{0.99 \cdot 0.995^2} = 867 \text{ Н} \cdot \text{м}$

(2.13)

де:  $\eta_{\text{зн}}$  - к.к.д. зубчатої передачі,  $\eta_{\text{зн}} = 0.98$ ;

$\eta_n$  - к.к.д. підшипників,  $\eta_n = 0.995$ ;

- на IV - III-му валу:



- на II-му валу:

$$M_2 = \frac{M_3 \cdot i_3}{\eta_{zn} \cdot \eta_n} = \frac{682 \cdot \frac{23}{57}}{0,99 \cdot 0,995^2} = 281 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- на I-му валу:

$$M_1 = \frac{M_2 \cdot i_2}{\eta_{zn} \cdot \eta_n} = \frac{281 \cdot \frac{40}{40}}{0,99 \cdot 0,995^2} = 287 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- на валу електродвигуна:  $M_{\square} = \frac{M_1 \cdot i_1}{\eta_{zn} \cdot \eta_n} = \frac{287 \cdot \frac{237}{330}}{0,99 \cdot 0,995^2} = 215 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Проводимо перевірку достатності потужності електродвигуна для найбільш навантажених умов роботи:

$$N_{\text{ДВнеобхідне}} = \zeta \frac{M_{\text{дв}} \cdot \pi \cdot n_{\text{дв}}}{30 \cdot 10^3} = \frac{215 \cdot 3,14 \cdot 1460}{30 \cdot 10^3} = 32,9 \text{ кВт}$$

Умова достатності потужності - задовільна:

$$N_{\text{ДВнеобхідне}} \approx 33 \text{ кВт} < N_{\text{дв}} = 37 \text{ кВт}.$$

## 2.4.4. Конструкція та розрахунок приводу головного руху

### 2.4.4.1. Розрахунок модулів передач та конструктивних параметрів зубчастих коліс

При проектуванні зубчатих коліс коробки швидкостей рекомендовано вибирати матеріал зубчастих коліс - Сталь 45 ГОСТ 1050-88. Сталь з  $\sigma_{\text{нр}}^0 =$

800Н/мм<sup>2</sup>, термообробка - загартування наскрізне до HRC 40-52  $\sigma_{Fr}^0 = 230$  Н/мм<sup>2</sup>.

1. Допустиме напруження по виносливості розраховуємо за формулою:

$$\sigma_H = \sigma_{Hp}^0 \cdot K_{Hp} \quad (2.14)$$

$$\sigma_H = 800 \cdot 1 = 800 \text{ Н/мм}^2$$

Коефіцієнти  $K_a = 49,5 \text{ Па}^{1/3}$ ,  $K_M = 1,4$ ,  $\psi_{ba} = 0,2$

$$\psi_{bd} = 0,5 \psi_{ba} \cdot (U_6 + 1) \quad (2.15)$$

$$\text{де } U_6 = \frac{z_{21}}{z_{210}} = \frac{84}{21} = 4$$

$$\psi_{bd} = 0,5 \cdot 0,2 \cdot (4 + 1) = 0,5$$

Коефіцієнти  $K_{H\beta} = 1,04$ ,  $K_{F\beta} = 1,07$ ,  $K = 1$ ,  $Y_F = 3,9$ .

2. Визначаємо розрахункову міжцентрову відстань:

$$a_{w\text{роз}} = K_a \cdot (U_6 + 1) \sqrt[3]{\frac{K_{H\beta} \cdot M_5}{U_6 \cdot \psi_{ba} \cdot \sigma_{Hp}^2}} \quad (2.13)$$

де  $M_5$ - крутний момент на шестерні:

$$a_{w\text{роз}} = 49,5 \cdot (4 + 1) \sqrt[3]{\frac{1,04 \cdot 867000}{4 \cdot 0,2 \cdot 800^2}} \approx 252 \text{ мм.}$$

3. Визначаємо модуль передачі:

$$m \geq K_m \sqrt[3]{\frac{K_s \cdot Y_F \cdot K_{F\beta} \cdot M_5}{\sigma_{zp} \cdot \psi_{bd} \cdot Z_{20}^2}} \quad (2.14)$$

$$m \geq 1,4 \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 3,9 \cdot 1,07 \cdot 867000}{800 \cdot 0,5 \cdot 21}} = 3,8$$

Приймаємо  $m = 4$  мм.

4. Розраховуємо геометричні параметри ділільних діаметрів, діаметрів виступів і впадин зубів :

$$d_{20} = m \cdot z_{20} \quad (2.15)$$

$$d_{20} = 4 \cdot 21 = 84 \text{ мм}$$

$$d_{a20} = d_{20} + 2 \cdot m \quad (2.16)$$

$$d_{a20} = 84 + 2 \cdot 4 = 92 \text{ мм}$$

$$d_{fa20} = d_{20} - 2,5 \cdot m \quad (2.17)$$

$$d_{f_{a20}} = 84 - 2.5 \cdot 4 = 74 \text{ мм}$$

$$d_{21} = m \cdot z_{21}$$

$$d_{21} = 4 \cdot 84 = 336 \text{ мм}$$

$$d_{a21} = d_{21} + 2 \cdot m$$

$$d_{a21} = 336 + 2 \cdot 4 = 404 \text{ мм}$$

$$d_{f_{21}} = d_{21} - 2.5 \cdot m$$

$$d_{f_{21}} = 336 - 2.5 \cdot 4 = 326 \text{ мм.}$$

5. Уточнюємо міжцентрову відстань:

$$a_w = 0.5(d_{21} + d_{20}) \quad (2.18)$$

$$a_w = 0.5(84 + 336) = 253,5$$

$a_w = 253,5 > a_{w_{роз}} = 252$  - умова міцності за контактними напруженнями виконується.

6. Ширина шестерень:

$$b = \psi_{ba} \cdot a_w \quad (2.19)$$

$$b = 0.2 \cdot 315 = 63 \text{ мм}$$

7. Колова швидкість і ступінь точності передачі:

$$V = \frac{\pi \cdot d_{20} \cdot n_4}{60} = \frac{3.14 \cdot 126 \cdot 10^{-3} \cdot 315}{60} = 2.28 \text{ м/с}$$

8. Обчислюємо силу, що діє в зачепленні:

- колова сила:

$$F_t = 2 \cdot M_5 / d_{20} \quad (2.20)$$

$$F_t = 2 \cdot 867 \cdot 103 / 126 = 13762 \text{ Н}$$

- радіальна сила:

$$F_r = F_t \cdot \text{tg} 20^\circ \quad (2.21)$$

$$F_r = 13762 \cdot 0.364 = 5009 \text{ Н}$$

9. Перевіряємо зуби найбільш навантаженої шестерні на контактну міцність:

$$\sigma_H = z_M \cdot z_U \cdot z_\varepsilon \cdot \sqrt{\left(\frac{K_H \cdot F_t}{d_{20} \cdot b}\right) \cdot \left(\frac{U_6 + 1}{U_6}\right)} \quad (2.22)$$

$$\sigma_H = 275 \cdot 1,77 \cdot 0,87 \cdot \sqrt{\left(\frac{1,1 \cdot 13762 \cdot (4+1)}{126 \cdot 52 \cdot 4}\right)} = 725 \text{ МПа}$$

10. Перевірка зубів на витривалість по згинних напруженнях:

$$\sigma_F = \frac{Y_F \cdot K_F \cdot F_t}{m \cdot b} \quad (2.23)$$

$$\sigma_F = \frac{3,9 \cdot 1,12 \cdot 13762}{6 \cdot 52} = 193 \text{ МПа}$$

Таблиця 5.2 Параметри зубчастих коліс та їх швидкостей

Вали	Число зубів в зачепленні		Сумарне число зубів	відстань між осями валів $a_w$ , мм	Модуль зачеплення $m$ , мм
	$Z_3=40$	$Z_4=40$			
1-2	$Z_3=40$	$Z_4=40$	80	160	4
2-3-4	$Z_9=23$	$Z_{10}=57$	80	160	4
4-5	$Z_{16}=37$	$Z_{17}=48$	85	170	4
5-6	$Z_{20}=21$	$Z_{21}=84$	105	253.5	4

## 2.5. Попередній розрахунок шпindelного вузла

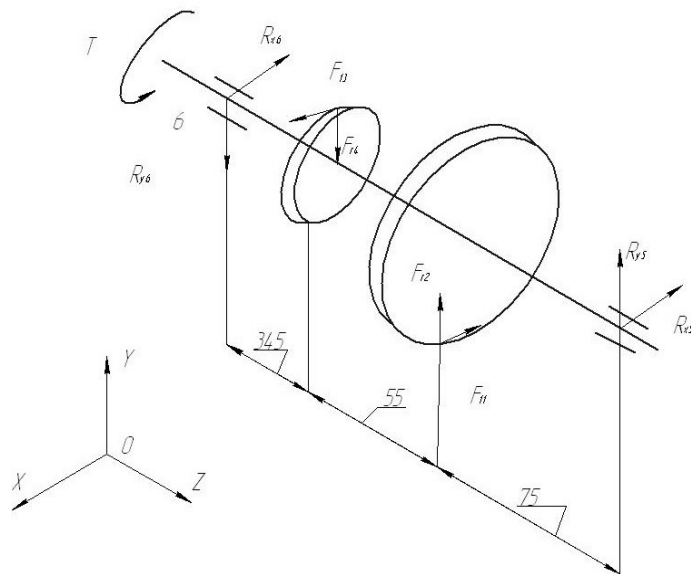


Рисунок.2.6. Розрахункова схема навантаження V-го вала.

Розглядаємо шпindelний вал як балку і розраховуємо реакції в опорах:

- в горизонтальній площині:

$$\sum M_6 = F_{t1} \cdot 400 - F_{t3} \cdot 345 + R_{x5} (345 + 130) = 0 \quad (2.24)$$

$$R_{x5} = (-F_{t1} \cdot 400 + F_{t3} \cdot 345) / 475$$

$$R_{x5} = (-7373 \cdot 400 + 13762 \cdot 345) / 475 = 3787$$

$$\sum X = -R_{x6} - F_{t1} + F_{t3} - R_{x5} = 0 \quad (2.25)$$

$$R_{x6} = -F_{t1} + F_{t3} - R_{x5}$$

$$R_{x6} = 2602 \text{ Н}$$

- в вертикальній площині:

$$\sum M_5 = F_{r2} \cdot 400 - F_{r4} \cdot 345 + R_{y5} (345 + 130) = 0 \quad (2.26)$$

$$R_{y5} = (-F_{r2} \cdot 400 + F_{r4} \cdot 345) / 475$$

$$R_{y5} = (-2684 \cdot 400 + 5009 \cdot 345) / 475 = 1378$$

$$\sum Y = -R_{y6} - F_{r2} + F_{r4} - R_{y5} = 0 \quad (2.27)$$

$$R_{y6} = -F_{r2} + F_{r4} - R_{y5}$$

$$R_{y6} = 3703 \text{ Н}$$

Загальна реакція в опорах

$$R_6 = \sqrt{R_{x6}^2 + R_{y6}^2} \quad (2.28)$$

$$R_6 = \sqrt{2602^2 + 3703^2} = 4526 \text{ Н}$$

$$R_5 = \sqrt{R_{x5}^2 + R_{y5}^2}$$

$$R_5 = \sqrt{3787^2 + 1378^2} = 4030 \text{ Н}$$

Так як опора 6 несе найбільше навантаження то на неї доцільно встановити два підшипники типу 50213 ГОСТ 2893-54, для якого  $C_r=44\text{кН}$ ,  $C_{or}=34\text{кН}$ .

Перевіряємо підшипник на радіальне навантаження.

$$C_{r\text{необх.}} = V \cdot \chi \cdot R_6 \cdot K_\sigma \cdot K_T \cdot i \cdot i \quad (2.29)$$

$$C_{r\text{необх.}} = 1 \cdot 1 \cdot 4526 \cdot 2 \cdot 1 \cdot i \cdot i$$

де  $K_\sigma$  - навантаження зі значними поштовхами

$n_5$  – частота обертання 5-ого вала.

$L_{10h}$  – ресурс підшипника.

$$C_r = 44\text{кН} > C_{r\text{необх.}} = 16,4\text{кН}.$$

## 2.6. Силовий розрахунок приводу револьверної головки

Час повороту револьверної головки на одну позицію визначаємо за формулою:

$$T = \sqrt{S/a_m} \cdot \frac{1 + \gamma \left( V / \sqrt{a_m \cdot S} \right)^2}{V / \sqrt{a_m \cdot S}} \quad (2.30)$$

де:  $S$  – шлях на переключення в наступну позицію, м;  $S=0,28$  м.

$V$  – швидкість рівномірного руху; приймаємо  $V=1,2$  м/с.

$a_m$  – модуль прискорення при гальмуванні; приймаємо  $a_m=4$  м/с<sup>2</sup>.

$\gamma$  - коефіцієнт що залежить від співвідношення прискорення при розгоні і гальмування;  $\gamma=1$ .

$$T = \sqrt{0,28/4} \cdot \frac{1 + 1 \left( 1,2 / \sqrt{4 \cdot 0,28} \right)^2}{1,2 / \sqrt{4 \cdot 0,28}} = 0,53 \text{ с.}$$

Діаметр гідроциліндра механізму приводу револьверної головки визначаємо за формулою :

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot b \cdot F_{\max}}{\pi \cdot p}}$$

де:  $F_{\max}$  – граничне навантаження;  $F_{\max} = 8500$  Н

$b$  – коефіцієнт що залежить від типу ущільнень штоку; приймаємо  $b=1,5$ .

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,5 \cdot 8500}{3,14 \cdot 6,27}} = 50,9 \text{ мм}$$

Приймаємо нормалізоване значення діаметра гідроциліндра – 60 мм.

Встановлюємо розхід рідини для гідроприводу за формулою :

$$Q = V_{\max} \cdot S \quad (2.31)$$

де:  $S$  – площа поршня

$$S = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 30^2 = 2826 \text{ мм}^2 = 0,003 \text{ м}^2$$

$V_{\max}$  – максимальна швидкість переміщення штоку,  $V_{\max} = 6$  м/хв..

$$Q = 6 \cdot 0,003 = 18 \text{ л./хв.}$$

На основі попередньо отриманих результатів можна провести розрахунок гідроциліндра приводу револьверної головки:

1. Розрахунок робочої площі гідроциліндра:

$$S = 0,25 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \quad (2.32)$$

де:  $D$  - зовнішній діаметр гідроциліндра;  $D=160$  мм.

$d$  - внутрішній діаметр гідроциліндра;  $d=70$  мм.

$$S = 0,25 \cdot 3,14 \cdot (160^2 - 70^2) = 0,016 \text{ м}^2$$

2. Розрахунок сили, що розвиває гідроциліндр за формулою :

$$F = S \cdot (p_1 - p_2) - F_{\text{тр}} \quad (2.33)$$

де:  $p_1 - p_2$  – різниця тисків в порожнинах гідроциліндра

$$p_1 - p_2 = 6,27 - 0,7 = 5,57 \text{ Па}$$

$F_{\text{тр}}$  - сила тертя між корпусом циліндра і поршнем;  $F_{\text{тр}} = 1500$  Н

$$F = 0,016 \cdot 5,57 - 0,0015 = 87,6 \text{ кН}$$

Оптимальна сила стискання двох пів муфт з умови жорсткості становить 54 кН.

Таке зусилля в повній мірі розвиває гідроциліндр  $87,6 > 54$ .

3. Визначаємо швидкість розтиску-затиску гідроциліндра за формулою:

$$t_z = \frac{60 \cdot l}{V} \quad (2.34)$$

де:  $l$  – величина, яка забезпечує розчеплення двох зубчастих пів муфт;  
 $l=0,006$  м.

$$t_z = \frac{60 \cdot 0,006}{1,2} = 0,3 \text{ с}$$

Час необхідний на поворот РГ на одну позицію визначаємо за формулою:

$$T_c = t_p + t_n + t_z + t_{r.a.} \quad (5.58)$$

де:  $t_p, t_z$  – час на розтиск і затиск РГ.

$t_n$  – час на поворот РГ.

$t_{r.a.}$  – час на спрацювання реверсного золотника;  $t_{r.a.} = 0,05$  с.

$$T_c = 0,3 + 0,53 + 0,3 + 0,05 = 1,18 \text{ с.}$$

## 2.7. Висновки до розділу

В матеріалах цього розділу проведено аналіз схем формоутворення, компоувальних схем, кінематичні та силові розрахунки. З отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Із технологічних операцій, які можуть виконуватися на такому верстаті, слід виключити технологічні переходи зовнішнього та внутрішнього різенарізання через відсутність кінематичного ланцюга узгодження рухів подачі із обертами шпинделя.
2. Найбільш раціональна компоувальна схема отримана методом математичного аналізу.
3. Виконані кінематичні розрахунки показали, що суміщена структура з АКШ та механічної коробки швидкостей дає зону перекриття в діапазоні 200-315 об/хв при одноступеневому регулюванні обертів двигуна і в діапазоні 100-315 об/хв при двоступеневому регулюванні обертів двигуна.
4. Використання двоступеневого регулювання обертів двигуна розширює діапазон регулювання швидкостей від 12,5 до 1250 об/хв.



5. За результатами розрахунків встановлено, що передня опора шпинделя дещо більше навантаженіша ніж задня (4526Н і 4030Н відповідно).
6. Рекомендовано на передню опору встановлювати спарений, або дворядний радіальний підшипник з параметром динамічного радіального навантаження не менше 30кН.

## РОЗДІЛ 3

### НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Методика та план проведення наукових досліджень

Для досягнення поставлено мети необхідно сформуванати багатоваріантну структуру можливих комбінацій складових елементів токарного патрона. Шляхом перебору всіх варіантів обираємо найбільш перспективні через використання методу експертних оцінок. Далі виділяємо найбільш важливі для конструкції патрона критерії і проводимо порівняльний аналіз попередньо обраних конструкцій за цими критеріями. Виокремлюємо найбільш раціональну конструкцію за результатами порівняльного аналізу. Формуємо математичну модель для аналізу точності позиціонування деталі в обраній конструкції затискного токарного патрона. Виконуємо розрахунки з врахуванням конструктивних особливостей об'єкта дослідження. Формуємо висновки за результатами проведеного дослідження.

#### 3.2. Морфологічний аналіз токарних патронів

Метод морфологічного аналізу спрямований на послідовний перебір усіх можливих варіантів рішення і є яскравим прикладом системного підходу до рішення творчих задач.

Суть методу полягає в тому, що в ТС яка удосконалюється виділяють декілька характерних для неї структурних, морфологічних ознак, за кожною з котрих складають максимально повний перелік різних конкретних варіантів (альтернатив) технічного вираження використання цих ознак.

Будуємо морфологічну таблицю (матрицю) схем токарних патронів.

Основні ознаки токарних патронів

1. Корпус

2. Закріплення заготовки
3. Привід
4. Закріплення корпусу на верстаті
5. Матеріал корпусу
6. Передачочний механізм
7. Розміщення заготовки в патроні
8. Поворот корпусу патрона у шпинделі верстату

Таблиця 3.1 Морфологічний аналіз

1	2	3	4	5
1.1 Суцільний 1.2 Роз'ємний 1.3 Збірний з механічним кріпленням 1.4 Збірний з замковим кріпленням 1.5 Цанговий 1.6 Трикулачковий	2.1 Суцільне 2.2 Механічне 2.3 Пневматичний затиск 2.4 Гідравлічний затиск 2.5 Магнітний	3.1 Електричний 3.2 Пневматичний 3.3 Гідравлічний 3.4 Механічний 3.5 Пневмогідравлічний	4.1 Механічне 4.2 Суцільний з верстатом 4.3 Пневматичний затиск 4.4 Гідравлічний затиск 4.5 Магнітний 4.6 Клейовий	5.1 Сталь 5.2 Чавун 5.3 Пластмаса 5.4 Кераміка 5.5 Гума 5.6 Камінь 5.7 Органічне скло 5.8 Дерево
6	7		8	
6.1 Зубчаста циліндрична 6.2 Зубчаста конічна 6.3 Ланцюгова 6.4 Пасова 6.5 Фрикційна постійна 6.6 Безступенева 6.7 Від окремого привода (двигуна)	7.1 Під кутом до корпусу 7.2 На одній осі з корпусом 7.3 Паралельно до корпусу 7.4 Перпендикулярно до корпусу		8.1 Ступеневий на будь-який кут 8.2 Безступеневий на будь-який кут 8.3 Ступеневий в певному діапазоні 8.4 Безступеневий в певному діапазоні 8.5 Два змінні кутові положення 8.6 Декілька змінних кутових положень 8.7 Незмінне кутове положення	

В скороченому вигляді таблицю 3.1 можна представити як морфологічну матрицю схем токарних патронів з цифровим позначенням альтернатив:

	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1
	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2
$M_{cm}$	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3
	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5

Застосуємо формулу для визначення повної кількості рішень

$$N = \prod_{i=1}^n K_i,$$

де  $i=1 \div n$  - номер характеристики об'єкта дослідження

$K_i$  - число різних варіантів (альтернатив).

Таким чином, одержуємо:

$$N = 6 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 4 \cdot 7 = 1411200$$

Наведемо приклад із декількох можливих варіантів морфологічної матриці:

Перший: 1.1-2.2-3.1-4.3-5.2-6.2-7.2-8.2

Патрон з суцільним чавунним корпусом, закріплення заготовки розміщеної на одній осі з корпусом механічне, привід електричний, корпус на верстаті кріпиться за допомогою пневматичних сил затиску, передача руху до фрези здійснюється через зубчасту конічну передачу, заготовку можна встановлювати на будь-який кут.

Другий: 1.2-2.5-3.1-4.3-5.1-6.5-7.3-8.6

Патрон з роз'ємним сталевим корпусом, закріплення заготовки розміщеної паралельно до корпусу здійснюється за допомогою магніта, привід електричний, корпус на верстаті кріпиться за допомогою пневматичних сил затиску, передача руху до заготовки здійснюється через фрикційну постійну передачу, заготовку можна встановлювати на декілька змінних кутів.

Третій: 1.5-2.4-3.4-4.6-5.4-6.4-7.4-8.4

Патрон з цанговим керамічним корпусом, закріплення заготовки розміщеної

перпендикулярно до корпусу здійснюється за допомогою гідравлічних сил затиску, привід механічний, корпус на верстаті кріпиться за допомогою клеючої суміші, передача руху до заготовки здійснюється через пасову передачу, заготовку можна встановлювати на будь-який кут в певному діапазоні.

Четвертий: 1.4-2.3-3.5-4.1-5.5-6.1-7.1-8.3

Патрон з збірним корпусом з замковим кріпленням, закріплення заготовки розміщеної в напрямку осі корпусу здійснюється за допомогою пневматичних сил затиску, привід пневмо-гідравлічний, корпус на верстаті кріпиться механічно, передача руху до заготовки здійснюється через зубчасту циліндричну передачу, заготовку можна встановлювати на певний кут в певному діапазоні розмірів.

П'ятий: 1.6-2.1-3.3-4.2-5.3-6.7-7.1-8.7

Патрон з трьохкулачковим пластмасовим корпусом, заготовка розміщена під кутом до корпусу і закріплена на ньому нерухомо, привід гідравлічний, корпус на верстаті кріпиться за допомогою пневматичних сил затиску, передача руху до заготовки здійснюється від окремого двигуна, фреза має незмінне кутове положення.

### **3.3. Порівняльний аналіз токарних патронів по шести показниках**

Проводимо порівняння даних варіантів по шести показниках:

- точність
- надійність
- довговічність
- вартість
- швидкість переналагоджування
- універсальність(можливість переналагоджування)

Наочно зобразимо порівняння у вигляді графів

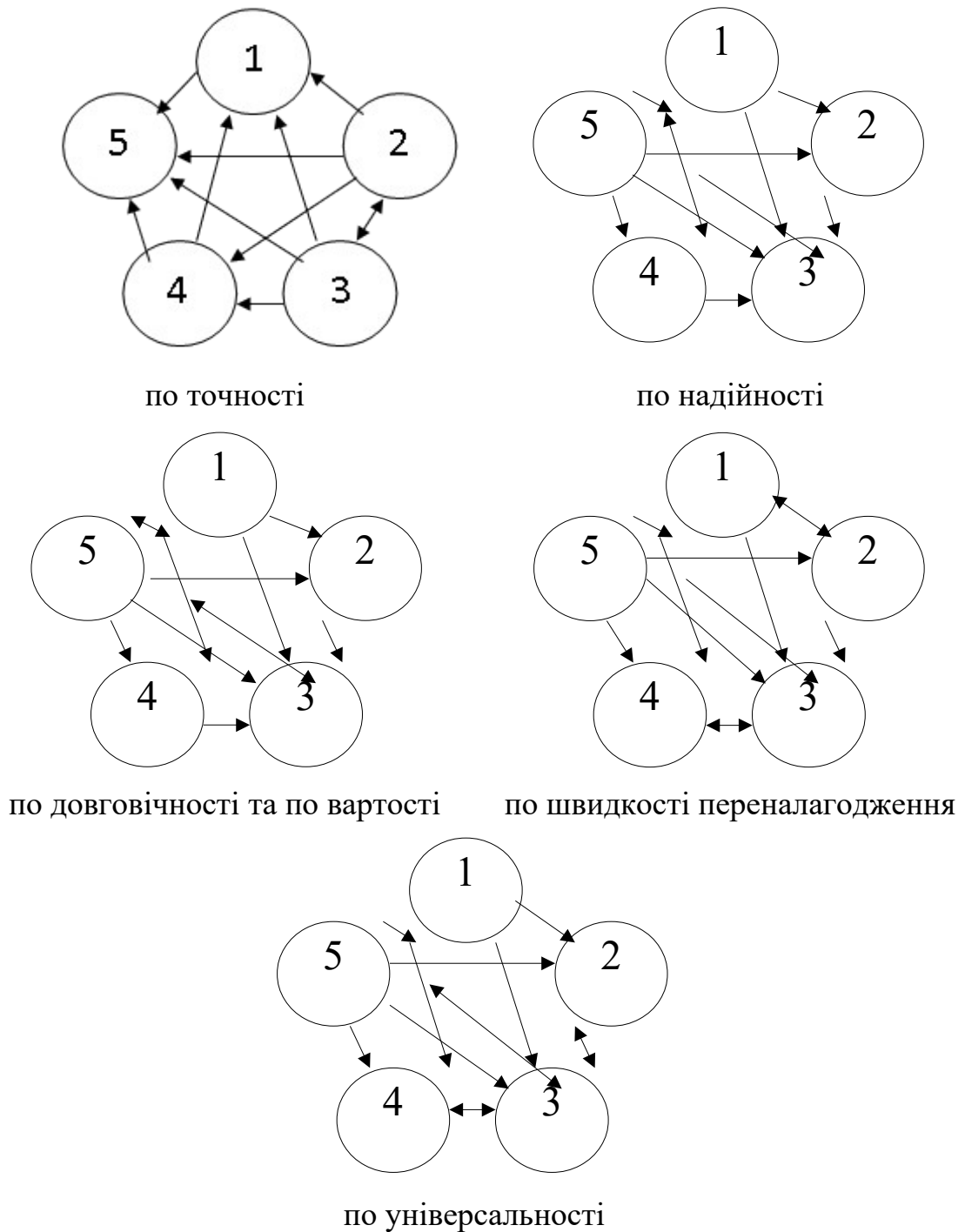


Рисунок 3.1. Графи оцінювання варіантів

Оцінювання проведемо за п'ятибальною шкалою і результати занесемо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2. Порівняльна таблиця патронів по пяти бальній системі

Номер варіанта	Точність	Надійність	Довговіч- ність	Вартість	Перенала- годжува- ння	Універ- сальність
1	4	4	5	4	3	4
2	2	2	3	2	3	3
3	2	1	2	1	4	3
4	3	4	3	3	4	3
5	5	3	5	4	1	1

Надамо певного значення коефіцієнту вагомості кожного з показників з розрахунку, що їх сумарна вагомість рівна 1:

- точність 0,3; надійність 0,1; довговічність 0,2
- вартість 0,2; швидкість переналагоджування 0,1
- універсальність(можливість переналагоджування) 0,1

Значення кожного показника з урахуванням коефіцієнту значимості для п'яти вибраних варіантів обчислюємо і результати заносимо в таблицю 3.3

Таблиця 3.3 Порівняльна таблиця патронів

Номер варіанта	Точність	Надійність	Довговіч- ність	Вартість	Перенала - годжува- ння	Універ- сальність
1	1,2	0,4	1	0,8	0,3	0,4
2	0,6	0,2	0,6	0,4	0,3	0,3
3	0,6	0,1	0,4	0,2	0,4	0,3
4	0,9	0,4	0,6	0,6	0,4	0,3
5	1,5	0,3	1	0,8	0,1	0,1

Проведемо попарне порівняння варіантів по показниках. Зобразимо це за допомогою умовних знаків у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Попарне порівняння варіантів по показниках

Порівнювані варіанти	Точність	Надійність	Довговіч-	Вартість	Перенала-	Універсаль
1 – 2	>	>	>	>	=	>
2 – 3	=	>	>	>	<	=
3 – 4	<	<	<	<	=	=
4 – 5	<	>	<	<	>	>
5 – 1	>	<	=	=	<	<

Обчислюємо суму значень шести показників  $C_i$  для всіх п'яти варіантів:

1.1-2.2-3.1-4.3-5.2-6.2-7.2-8.2

$$\tilde{N}_i = 1,2 + 0,4 + 1 + 0,8 + 0,3 + 0,4 = 4,1$$

1.2-2.5-3.1-4.3-5.1-6.5-7.3-8.6

$$\tilde{N}_i = 0,6 + 0,2 + 0,6 + 0,4 + 0,3 + 0,3 = 2,4$$

1.5-2.4-3.4-4.6-5.4-6.4-7.4-8.4

$$\tilde{N}_i = 0,6 + 0,1 + 0,4 + 0,2 + 0,4 + 0,3 = 2,0$$

1.4-2.3-3.5-4.1-5.5-6.1-7.1-8.3

$$\tilde{N}_i = 0,9 + 0,4 + 0,6 + 0,6 + 0,4 + 0,3 = 3,2$$

1.6-2.1-3.3-4.2-5.3-6.7-7.1-8.7



$$\tilde{N}_i = 1,5 + 0,3 + 1 + 0,8 + 0,1 + 0,1 = 3,8$$

Будуємо граф взаємного впливу показників

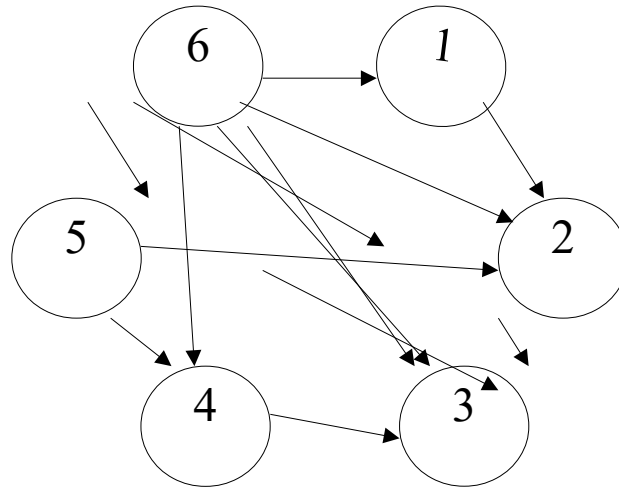


Рисунок 3.2 Граф взаємного впливу показників

Ті ж дані про взаємний вплив показників занесемо в таблицю 3.5

Таблиця 3.5. взаємний вплив показників

№ показника	1	2	3	4	5	6
1	-	+	-	+	-	-
2	-	-	+	+	-	-
3	-	-	-	+	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	+	+	-	+	-	-
6	+	+	+	+	+	-

Згідно з проведеного аналізу, вибираємо патрон за типологією варіанту № 4.

Так як патрон вибраний на основі морфологічного аналізу та паралельного порівняння конструкцій патронів збігаються за рядом конструктивних параметрів та технологічних характеристик, вибираємо для подальшого вивчення патрон № 3 який ми прийняли за прототип при проведенні патентного пошуку.

### 3.4. Математичне моделювання точності позиціювання деталі і точності обробки

#### 3.4.1. Схема формоутворення при точінні поверхні

На токарних верстатах можна реалізувати велику кількість схем формоутворення в залежності від виду токарної операції або виконуваного технологічного переходу (див. п. 2.2.). Для наочності розглянемо один із варіантів, який в подальшому можна використати як базовий варіант при обробці деталей типу вал, ступиця, фланець та інші, які можна кріпити в патроні досліджуваного типу:

поперечне точіння (формоутворюючі рухи ФУР):

1-твірна – метод сліду

$\Phi_{УР}=1; \Phi_{V}(O_1)$ .

2-напрямна – метод сліду

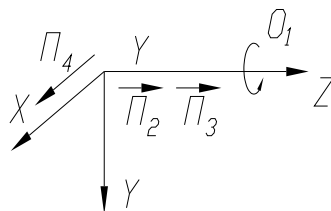
$\Phi_{УР}=1; \Phi_{S}(П_4)$ .

Інші виконавчі рухи

- врізання  $V_P(П_2)$
- установочний  $У_{ст}(П_3)$

#### 3.4.2. Формула компоновки верстата

Прийнявши за базові попередньо отримані результати проводимо структурно-математичний опис ймовірної компоувальної схеми верстата



$\widehat{C}_n - O_1$  – обертний рух шліфувального круга;

$X - \Pi_4$  – зворотньо-поступальний рух відрізного різця;

$Z - \Pi_3$  – установочний рух;

$z - \Pi_2$  – рух врізання ударника.

Найбільш раціональна формула компоновки верстату має вигляд:

$$zCh0(X + Z)$$

З врахуванням рухів, що впливають на точність розмірів обробленої деталі, формула компоновки буде мати вигляд:  $0(X + Z)$ .

Розглядаємо окремо для кожного переходу

Координатний код ФС:  $Ch0X \Rightarrow 601, 0Z \Rightarrow 03$ .

Відповідно, кількість зв'язків  $L = n + m - 2$ . Тоді  $L = 1 + 1 - 2 = 0$ .

Отже, координатний код ФС буде 61 та 3.

### 3.4.3. Функція формоутворення

Окремо по переходах (формула верстату):

$$2) \bar{r}_0 = A^6(\varphi) \cdot A^1(x) \cdot r_2$$

Формула інструменту:

$$2) \bar{r}_2 = \bar{e}^4$$

Загальна матриця формоутворення:

$$\bar{r}_0 = A^6(\varphi) \cdot A^1(x) \cdot \bar{e}^4 = \begin{vmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) & 0 & 0 \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x \cdot \cos(\varphi) \\ x \cdot \sin(\varphi) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Визначаємо вектор нормалі до поверхні

$$\bar{n} = \frac{\bar{r}_u \times \bar{r}_v}{|\bar{r}_u \times \bar{r}_v|}$$

Незалежні координати:  $\varphi, x, z, \psi$ .

$$2) \bar{r}_u = \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial \varphi} = \begin{vmatrix} -x \cdot \sin(\varphi) \\ x \cdot \cos(\varphi) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad \bar{r}_v = \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial x} = \begin{vmatrix} \cos(\varphi) \\ \sin(\varphi) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}.$$

Векторний добуток:

$$\begin{aligned} \bar{r}_u \times \bar{r}_v &= \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ -x \sin(\varphi) & x \cos(\varphi) & 0 \\ \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & 0 \end{vmatrix} = \bar{k}(-x \sin(\varphi)) \sin(\varphi) - \bar{k} \cos(\varphi) x \cos(\varphi) = \\ &= \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -x(\sin^2(\varphi) + \cos^2(\varphi)) & 0 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -x \\ 0 \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

Скалярний добуток

$$|\bar{r}_u \times \bar{r}_v| = \sqrt{(-x)^2} = x.$$

Отже,

$$\bar{n} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{vmatrix}.$$

### 3.4.4. Вектор похибки положення обробленої точки

$$\Delta \bar{r}_0 = \varepsilon_0 \cdot A^6(\varphi) \cdot A^1(x) \cdot \bar{e}^4 + A^6(\varphi) \cdot \varepsilon_1 \cdot A^1(x) \cdot \bar{e}^4 + A^6(\varphi) \cdot A^1(x) \cdot \varepsilon_2 \cdot \bar{e}^4,$$

$$\text{де } \varepsilon_i = \begin{pmatrix} 0 & -\gamma_i & \beta_i & \delta x_i \\ \gamma_i & 0 & -\alpha_i & \delta y_i \\ -\beta_i & \alpha_i & 0 & \delta z_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} - \text{узагальнена матриця похибки.}$$

Визначимо елементи окремо:

$$\varepsilon_0 \cdot A^6(\varphi) \cdot A^1(x) \cdot \bar{e}^4 = \begin{vmatrix} -\gamma_0 \sin(\varphi)x + \delta x_0 \\ \gamma_0 \cos(\varphi)x + \delta y_0 \\ -\beta_0 \cos(\varphi) + \alpha_0 \sin(\varphi)x + \delta z_0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$A^6(\varphi) \cdot \varepsilon_1 \cdot A^1(x) \cdot \bar{e}^4 = \begin{vmatrix} -\gamma_1 \sin(\varphi)x + \cos(\varphi)\delta x_1 - \sin(\varphi)\delta y_1 \\ \gamma_1 \cos(\varphi)x + \sin(\varphi)\delta x_1 + \cos(\varphi)\delta y_1 \\ -\beta_1 x + \delta z_1 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$A^6(\varphi) \cdot A^1(x) \cdot \varepsilon_2 \cdot \bar{e}^4 = \begin{vmatrix} \cos(\varphi)\delta x_2 - \sin(\varphi)\delta y_2 \\ \sin(\varphi)\delta x_2 + \cos(\varphi)\delta y_2 \\ \delta z_2 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Тоді,

$$\Delta \bar{r}_0 = \begin{vmatrix} -\gamma_0 \sin(\varphi)x + \delta x_0 - \gamma_1 \sin(\varphi)x + \cos(\varphi)\delta x_1 - \sin(\varphi)\delta y_1 + \cos(\varphi)\delta x_2 - \sin(\varphi)\delta y_2 \\ \gamma_0 \cos(\varphi)x + \delta y_0 + \gamma_1 \cos(\varphi)x + \sin(\varphi)\delta x_1 + \cos(\varphi)\delta y_1 + \sin(\varphi)\delta x_2 + \cos(\varphi)\delta y_2 \\ -\beta_0 \cos(\varphi) + \alpha_0 \sin(\varphi)x + \delta z_0 - \beta_1 x + \delta z_1 + \delta z_2 \\ 0 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} \sin(\varphi)(-\gamma_0 x - \gamma_1 x - \delta y_1 - \delta y_2) + \cos(\varphi)(\delta x_1 + \delta x_2) + \delta x_0 \\ \cos(\varphi)(\gamma_0 x + \gamma_1 x + \delta y_1 + \delta y_2) + \sin(\varphi)(\delta x_1 + \delta x_2) + \delta y_0 \\ -\beta_0 \cos(\varphi) + \alpha_0 \sin(\varphi)x + \delta z_0 - \beta_1 x + \delta z_1 + \delta z_2 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sin(\varphi)\Delta_1 + \cos(\varphi)\Delta_2 + \Delta_3 \\ \cos(\varphi)\Delta_4 + \sin(\varphi)\Delta_5 + \Delta_6 \\ \Delta_7 \cos(\varphi) + \Delta_8 \sin(\varphi)x + \Delta_9 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Звідси:

$$\Delta \bar{r}_n = \Delta \bar{r}_0 \times \bar{n} = -(\Delta_7 \cos(\varphi) + \Delta_8 \sin(\varphi)x + \Delta_9)$$

Отримуємо:

$$\Delta \bar{r}_n = \Delta \bar{r}_0 \times \bar{n} = \beta_0 \cos(\varphi) - \alpha_0 \sin(\varphi)x - \delta z_0 + \beta_1 x - \delta z_1 - \delta z_2.$$

### 3.4.5. Рівняння базових поверхонь

Рівняння номінальної плоскої поверхні:

$$\bar{r}_0 = \bar{r}_0(u, v) = \bar{r}_0(\varphi, x), \text{ тобто незалежні координати } u=\varphi, v=x.$$

При побудові базової поверхні заданого типу, маємо, що число похибок розміру  $m=l-2=2-2=0$ , де  $l$  – число рухомих вузлів.

Рівняння базової поверхні:

$$\bar{r}_b = \bar{r}_0 + \Delta \bar{r}_b,$$

$$\text{де } \Delta \bar{r}_b = \varepsilon_b \times \bar{r}_0 + d\bar{r}_0.$$

$$d\bar{r}_0 = \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial q_{0i}} \right) \times \Delta q_i = 0.$$

Матриця узагальненої похибки положення системи координат, пов'язаної з базовою поверхнею відносно номінальної системи координат в загальному вигляді є наступна:

$$\varepsilon_b = \begin{pmatrix} 0 & -\gamma_b & \beta_b & \delta x_b \\ \gamma_b & 0 & -\alpha_b & \delta y_b \\ -\beta_b & \alpha_b & 0 & \delta z_b \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Для даного випадку  $\varphi$  та  $x$  незалежні змінні, то в матриці  $\varepsilon_b$  похибки положення за даними координатами прирівнюються до нуля. Тобто,  $\delta x_b = 0$ ,  $\gamma_b = 0$ .

Отримуємо:

$$\varepsilon_b = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \beta_b & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha_b & \delta y_b \\ -\beta_b & \alpha_b & 0 & \delta z_b \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Знайдемо  $\Delta \bar{r}_b$ :

$$\Delta \bar{r}_b = \varepsilon_b \times \bar{r}_0 + d\bar{r}_0 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & \beta_b & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha_b & \delta y_b \\ -\beta_b & \alpha_b & 1 & \delta z_b \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x \cdot \cos(\varphi) \\ x \cdot \sin(\varphi) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} + 0 =$$

$$= \begin{vmatrix} 0 \\ \delta y_b \\ -\beta_b x \cos(\varphi) + \alpha_b x \sin(\varphi) + \delta z_b \\ 0 \end{vmatrix}$$

Отже, вектор  $\Delta \bar{r}_b$  є функцією двох незалежних змінних  $x, \varphi$  та чотирьох малих похибок  $\delta y_b, \beta_b, \alpha_b, \delta z_b$ . Ці похибки є складовими вектора  $\Delta \bar{q}$ .

$$\Delta \bar{q} = (\delta y_b, \beta_b, \alpha_b, \delta z_b)^T.$$

Маючи вектори  $\Delta \bar{q}$ ,  $\Delta \bar{r}_b$  можна знайти складові матриці  $G$ .

$\Delta \bar{r}_b = G \times \Delta \bar{q}$ , де складові матриці  $G$  по стовпцях:

$$\frac{\partial \bar{r}_0}{\partial q_i} = \frac{\partial \Delta \bar{r}_0}{\partial \Delta q_i}; \quad G_i = \frac{\partial \Delta \bar{r}_b}{\partial \Delta q_i}.$$

$$G = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -x \cos(\varphi) & x \sin(\varphi) & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Тоді  $G^T$  буде:

$$G^T = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -x \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & x \sin(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}.$$

Визначимо складові вектора  $\bar{q}$  за залежністю:

$$\bar{q} \times H = \bar{d}$$

Для цього знайдемо вектор нормальних передаточних коефіцієнтів  $\bar{f}$ .

$$\bar{f} = G^T \times \bar{n} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -x \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & x \sin(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ x \cos(\varphi) \\ -x \sin(\varphi) \\ -1 \end{vmatrix}.$$

Визначивши коефіцієнти, знайдемо складові матриці  $H$ :

$$\eta_{ki} = \int_S f_k \times f_i \times ds,$$

$$\text{де } \int_S ds = \int_0^{2\pi l} \int_0^0 \sqrt{a(u,v)} du dv.$$

Враховуючи, що  $a(u,v) = |\bar{r}_u \times \bar{r}_v|^2 = x^2$ , отримуємо:

$$\int_S ds = \int_0^{2\pi l} \int_0^0 \sqrt{x^2} dx d\varphi = \int_0^{2\pi l} \int_0^0 x dx d\varphi.$$

Отже,

$$\eta_{11} = \eta_{12} = \eta_{13} = \eta_{14} = \eta_{21} = \eta_{31} = \eta_{41} = \int_0^{2\pi l} \int_0^0 0 \cdot x dx d\varphi = 0;$$

$$\eta_{22} = \int_0^{2\pi l} \int_0^0 [x \cos(\varphi)]^2 \cdot x dx d\varphi = 0,25\pi l^4;$$

$$\eta_{23} = \eta_{32} = \int_0^{2\pi l} \int_0^0 x \cos(\varphi) \cdot (-x \sin(\varphi)) \cdot x dx d\varphi = 0;$$

$$\eta_{43} = \eta_{34} = \int_0^{2\pi l} \int_0^l x \sin(\varphi) \cdot x dx d\varphi = 0;$$

$$\eta_{24} = \eta_{42} = \int_0^{2\pi l} \int_0^l [-x \cos(\varphi)] \cdot x dx d\varphi = 0;$$

$$\eta_{33} = \int_0^{2\pi l} \int_0^l [-x \sin(\varphi)]^2 \cdot x dx d\varphi = 0,25\pi l^4;$$

$$\eta_{44} = \int_0^{2\pi l} \int_0^l x dx d\varphi = 0, 5\pi l^4.$$

Тоді матриця  $H$  має вигляд:

$$H = 0,25\pi l \times \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{vmatrix}$$

Складові вектора  $\bar{d}$  розраховуємо за формулою:

$$d_i = \int_S f_i \times \Delta \bar{r}_n \times ds.$$

Звідси:

$$d_1 = \int_0^{2\pi l} \int_0^l f_1 \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = \int_0^{2\pi l} \int_0^l 0 \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = 0$$

$$d_2 = \int_0^{2\pi l} \int_0^l f_2 \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = \int_0^{2\pi l} \int_0^l x \cos(\varphi) \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = \frac{1}{3} \beta_0 l^3 \pi$$

$$d_3 = \int_0^{2\pi l} \int_0^l f_3 \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = \int_0^{2\pi l} \int_0^l [-x \sin(\varphi)] \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = \frac{1}{3} \alpha_0 l^3 \pi$$

$$d_4 = \int_0^{2\pi l} \int_0^l f_4 \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = \int_0^{2\pi l} \int_0^l (-1) \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = -\left(\frac{2}{3} \beta_1 l^3 \pi - l^2 \delta z_0 \pi - l^2 \delta z_2 \pi - l^2 \delta z_1 \pi\right)$$

Отже,



$$\bar{d} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{3}\beta_0 l^3 \pi \\ \frac{1}{3}\alpha_0 l^3 \pi \\ -\frac{2}{3}\beta_1 l^3 \pi + l^2 \delta z_0 \pi + l^2 \delta z_2 \pi + l^2 \delta z_1 \pi \end{pmatrix}$$

Отримані значення матриці  $H$  і  $\bar{d}$  підставляємо у рівняння  $H \times \Delta \bar{q} = \bar{d}$ . Його розв'язок дає значення складових вектора  $\Delta \bar{q}$  від складових  $H$  і  $\bar{d}$ .

Тобто,

$$\Delta \bar{q} = H^{-1} \times \bar{d}$$

де  $H^{-1} = \frac{1}{\det H} \times [A]^T$ ,  $A$ -матриця математичних доповнень.

Матриця  $[A]^T$  рівна:

$$[A]^T = 0,25\pi l \times \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,25\pi l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,25\pi l & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5\pi l \end{pmatrix}$$

Визначимо  $\det H$ :

$$\det H = 0,25\pi l \times \det \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} = 0.$$

Згідно з умовою існування оберненої матриці, матриця  $H$  не має обернену матрицю  $H^{-1}$ .

Отже,

$$\Delta \bar{q} = H^{-1} \times \bar{d} = 0.$$

За результатами проведених розрахунків можна стверджувати, що обробка деталі методами поперечного та поздовжнього точіння на верстаті автоматі не буде супроводжуватись суттєвими похибками. Похибки обробки носять спадковий характер і є результатом сумарного впливу факторів на попередніх технологічних операціях та переходах.

### 3.4.6. Вплив відхилення від форми на точність позиціонування

Серед основних напрямів, які дозволяють проводити аналіз похибок позиціонування деталей [12] різних геометричних форм ще на етапі проектування як деталі, так і технологічного процесу її обробки є 3D моделювання [13]. Сучасні системи автоматизованого проектування дозволяють проводити вивчення взаємного розміщення деталей у складальних модулях. Визначивши умови спряження щодо кількох контактних поверхонь легко встановити ефект перекриття чи наявності зазорів щодо інших спряжених поверхонь. Варто звернути увагу на аналіз взаємного позиціонування круглих деталей, які можна віднести до типу "тіло обертання", при їх фіксації в три- або чотири-кулачкових патронах. Чотири-кулачкові патрони характеризуються симетричним піджимом деталі. Якщо попередньо встановлено, що така поверхня є еліпсоподібною чи має іншу геометричну форму, з числом граней кратним – 4, то в цьому випадку можна досягти найменшого відхилення осі деталі від осі обертання патрона. Центрування таких патронів проводять після встановлення на планшайбу, тому вісь обертання деталі і вісь патрона практично співпадають. Для деталей з характерним трикутним профілем поверхні кріплення, або коли кількість граней є кратною – 3, то доцільно використовувати трикулачкові патрони. При інших варіантах комбінацій профілів деталей та багатоклачкових патронів осі обертання патронів і вісь самої деталі мають ексцентриситет, що є причиною значних відхилень від круглості оброблених поверхонь. Отримані результати є актуальними і для цангових затискних патронів.

Вивчення подібних процесів доцільно проводити з використанням можливостей 3D технологій [14, 15, 16]. Використовуючи можливості верстатів для лазерної різки а також верстат з ЧПК для фрезерної обробки було змодельовано різні варіанти профілів деталей, а також механізми їх фіксації. Враховуючи масштабні коефіцієнти щодо відхилення від круглості та від циліндричності отримали параметричні рівняння для розрахунку ймовірних параметрів точності механічної обробки при заданому векторі вхідних параметрів: форма поверхні, відхилення від циліндричності (для деталей типу

"тіло обертання"), особливості затискного механізму, форми контактних поверхонь, тощо. Розв'язок таких багатопараметричних задач варто шукати з використанням спеціалізованих математичних пакетів. При цьому варто вказувати діапазони зміни значень вхідних параметрів, встановлюючи крок зміни значень аргумента та отримувати результати у вигляді графіків поверхневого типу. Таке представлення результатів є найбільш раціональним та дозволяє в реальному часі оцінювати межі раціональних параметрів для вхідних величин. В такий спосіб ми можемо формувати технічні вимоги до виготовлення деталей з врахуванням технологічних можливостей і особливих моментів для наявного парку верстатного обладнання.

### **3.5. Обговорення та аналіз отриманих результатів**

Можливості проведення повномасштабних досліджень, в умовах локальних обмежень, досить мінімізовані. За таких обставин доцільно використовувати засоби імітаційного моделювання та можливості 3D моделювання. Основна частина результатів проведених досліджень оприлюднена. Отримані результати та висновки опубліковані у матеріалах конференцій:

- Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: Дев'ятнадцята міжнародна молодіжна науково-технічна конференція, (м. Суми, 25–26 листопада 2020 року)
- Актуальні задачі сучасних технологій : міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листопада 2020.)

Копія тез наведена у додатках.

### **3.6. Висновки за результатами наукового дослідження**

Проведений комплекс дослідних робіт показав, що такий критерій як показник точності, носить комплексний характер і багатофакторний вплив на його значення має не лінійний характер. На основі проведеного аналізу, розрахунків та моделювання можна зробити наступні висновки:

1. Використання методів морфологічного аналізу розширює межі пошуку нових технічних рішень, зокрема у напрямі створення нових конструкцій токарних патронів.
2. Використання методу критеріальних оцінок дозволяє виокремити найбільш раціональні параметри конструкції для визначених параметрів впливу та оцінювання.
3. Використання методів математичного моделювання дозволило встановити ймовірний вплив окремих параметрів на показники точності механічної обробки.
4. Встановлено, що точність позиціювання деталі в токарному патроні залежить від параметрів відхилення від круглості та кількості затискних кулачків патрона.
5. З метою компенсації відхилення форми на поверхні кріплення в патроні доцільно використовувати підтискні центрувальні конуси.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1. Охорона праці

##### 4.1.1. Планування робочого місця

Актуальність проблем безпеки при роботі на металорізальних верстатах особливо велика у зв'язку з великим контингентом робочих, зайнятих обробкою різанням, збільшенням випуску верстатів, а також тим, що на заводах мають місце нещасні випадки. Причини цих нещасних випадків різноманітні: конструкторські недоліки верстатів, недоліки в організації охорони праці, порушення інструкції по техніці безпеки і правил внутрішнього розпорядку робітниками.

При проектуванні верстата і організації роботи на ньому необхідно враховувати небезпечні фактори і передбачити відповідні заходи забезпечення безпеки. До основних травмуючих факторів належать:

1. різальні інструменти та рухомі вузли верстатів;
2. привідні та передаточні механізми. Вони можуть наносити травми в процесі експлуатації, наладки і ремонту обладнання;
3. зливна стружка;
4. відлітаюча стружка і пил крихких металів;
5. пристосування для закріплення оброблюваної деталі чи інструмента;
6. заготовки та готові вироби;
7. електричний струм.

Для того, щоб праця робітників була безпечною, необхідно перш за все в конструкції верстатів, різних допоміжних пристроїв передбачити всі необхідні заходи безпеки. Крім того необхідно, щоб організація праці на робочому місці і його оснащення відповідали вимогам безпеки. При цьому мається на увазі, що

робота виконується в приміщенні, повністю відповідному санітарним нормам. Задачі електробезпеки на верстатах в багатьох випадках вирішуються шляхом використання напруги безпечної величини (12, 36 В) або встановлення різноманітних блокуючих пристроїв, які виключають випадковий доступ до струмопровідних частин, що знаходяться під небезпечною напругою. Згідно з галузевим стандартом верстато-інструментальної промисловості ОСТ 2Э59-3-72 на зовнішніх сторонах дверей шафів з електрообладнанням, кришок коробок та інших електричних пристроїв має бути передбачений попереджувальний знак напруги, а по ОСТ 2Э59-10-72 над гвинтами заземлення необхідно закріпити знак заземлення.

Для безпеки верстата оснащуються різноманітними запобіжними пристроями, які автоматично усувають небезпеку виникнення аварії, поломки через порушення технологічного процесу, порушення роботи верстата, перевантаження чи переходу рухомих частин за встановлені межі. На проєктованому верстаті захист від перевантажень чи порушення техпроцесу здійснюється запобіжними муфтами, які встановлені на валах електродвигунів, а величина ходу всіх рухомих вузлів верстата контролюється кінцевими вимикачами.

При проєктуванні металорізальних верстатів мають бути передбачені огороження різального інструменту, зони обробки та рухомих деталей для попередження травмування робітників. Огородженню підлягають всі привідні і передаточні механізми верстата, а також робочі площадки верстатів, розміщених на висоті. Огороджуючи пристрої виготовляють, як правило, із металів чи інших неметалічних матеріалів. Привідні і передаточні механізми огороджують знімними чи відкриваючими дверцятами для змащування, регулювання, встановлення і зняття знімних зубчастих коліс. В проєктованому верстаті зона різання захищена прозорим щитком, робоче положення якого контролюється кінцевим вимикачем. Всі гітари змінних коліс закриті дверцятами, які також контролюються кінцевими вимикачами. Для захисту робітників від випадкового дотику до регульовальних квадратів вузлів верстата,

використано захисні ковпаки і механізм викидання спеціального ключа, який може залишити наладчик.

Штучне освітлення цеху і робочого місця має бути рівномірним. При роботах, виконання яких вимагає додаткового освітлення, робоче місце оснащують лампами місцевого освітлення, які живляться напругою 36 В. Користуватися місцевим освітленням напругою вище 36 В заборонено. Як правило робоча зона верстата має освітлюватись зліва і зверху. При місцевому освітленні на всіх лампочках повинні бути встановленні добрі розсіювачі. Вікна, світлові лампи і електричні лампочки повинні утримуватись в чистоті. Норма освітлення робочого місця складає 1300-2000 лк.

При проектуванні слід передбачити міри по зниженні шуму обладнання. Рівень шуму повинен відповідати санітарним нормам, тобто немає перевищувати 80 дБ.

На безпеку роботи на верстаті в значній мірі впливає раціональне зовнішнє оформлення верстата. Так, підбір кольору покриття верстата є ефективним засобом забезпечення хороших умов зорової роботи верстатника, шляхом створення контрасту між фоном і оброблюваною заготовкою та інструментом; кольорове оформлення органів керування (кнопок, важелів) у відповідні сигнальні кольори (червоний, жовтий, синій) сприяє зменшенню помилок при керуванні верстатом; позначення сигнальним кольором небезпечних зон, трубопроводів, емкостей привертає увагу до небезпеки і в багатьох випадках попереджує аварії і нещасні випадки. Нанесення сигнальних кольорів на відповідні елементи верстатів і використання пластинок сигнальних кольорів має передбачатися робочим проектом кольорового оформлення верстата, і виконується з метою привертання уваги обслуговуючого персоналу по ГОСТ 14202-69.

Важливий вплив на безпеку і продуктивність праці робітника має оформлення робочого місця допоміжним обладнанням: раціональним стелажем для зберігання основного та допоміжного обладнання, зручною тарою для заготовок і готових товарів повинно забезпечувати найбільш продуктивні і

безпечні умови роботи і проводиться згідно вимог санітарних норм СН 245-41. на робочому місці повинно знаходитись лише те, що необхідно для виконання заданих робіт. Проходи між верстатами повинні бути вільними, захаращувати їх тарою, візками та іншими предметами заборонено. Підлога на робочому місці має бути рівною.

По закінченні роботи необхідно привести в порядок робоче місце, а це означає – прибрати стружку, різальний і вимірювальний інструмент та пристосування, розмістити їх в певному порядку в інструментальній шафі. Акуратно скласти готові деталі і заготовки, змастити поверхні які труться, а також транспортні засоби. В такому вигляді здати обладнання змінному робітникові або майстру цеху чи дільниці, при цьому попередивши про всі виявленні несправності в роботі верстата.

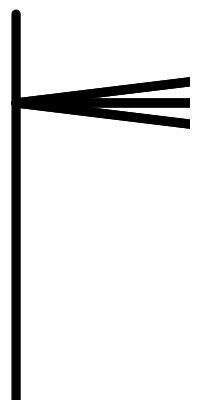


Рисунок 4.1. Планування робочого місця токаря при обробці деталі .

- 1 - інструментальна тумба; 2 - решітка під ноги; 3 - захисний екран;  
4 - урна для сміття; 5 - папір для креслення; 6 - гідросистема; 7 - система ЧПК.



Площа робочого місця на токарному верстаті моделі 1Б732ФЗ:

$$S = (5500 + 400 + 300) \cdot 4100 = 25,42 \text{ м}^2$$

Обладнання, що знаходиться на ділянці механічної обробки повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.3.025-80 "Обработка металлов резанием. Требования безопасности".

Виробниче приміщення, в якому проходить процес обробки різанням, повинно відповідати вимогам СНиП 11-2-80, СНиП 11-89-80 і санітарним вимогам проектування виробничих приміщень СН 245-71. Ділянка повинна бути обладнана засобами пожежегасіння згідно ГОСТ 12.4.009-83. При обробці заготовок, які виходять за межі обладнання, встановлюються переносні огорожі.

Вміст шкідливих речовин у повітрі не повинен перевищувати граничнодопустимих концентрацій (ГДК), які оцінюються в міліграмах на метр кубічний і норм, які вказані в ГОСТ 12.1.005-76 і СН 245-71.

Параметри мікроклімату ділянки повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.005-76. Оптимальна вологість 30..60 % при температурі повітря 18..20 °С.

Швидкість руху повітря один з факторів що характеризує мікроклімат приміщення. Швидкість руху повітря повинна бути в межах 0.1..0.5 м/с при загальній вентиляції і 0.7..2 м/с при місцевій вентиляції.

Загальний рівень звукового тиску в механічних, ремонтних і інструментальних цехах, що створюються металорізальним обладнанням, знаходяться в межах 85-100 дБ, яка досягає в окремих випадках 105 - 114 дБ. Спектр шуму в основному середній і високочастотний.

Температура в цеху де знаходиться верстат повинна бути не вище 20°С, відповідно до вимог експлуатації верстатів з ЧПК.

## **4.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях**

### **4.2.1. Дії населення в надзвичайних ситуаціях (пожежі)**

Для запобігання виникненню пожеж кожний громадянин зобов'язаний суворо додержувати встановлених правил щодо їх попередження у житлових будинках, на підприємствах, у лісах, на торф'яниках, у полі та в інших місцях.

На об'єктах народного господарства, з урахуванням виробничих умов, встановлюється протипожежний режим і розробляються інструкції як для всього об'єкта, так і для окремих цехів, діляниць, бригад. В інструкціях наводяться норми зберігання різних матеріалів, зазначаються місця, де не можна курити і влаштовувати відкрите полум'я, описується порядок дій у разі виникнення пожежі.

У навчальних закладах, дитячих, лікувальних і культурних установах особлива увага приділяється питанням евакуації людей на випадок пожежі.

Ефективним засобом гасіння загорянь є вогнегасник. Потрібно знати, що для гасіння вогню не завжди можна користуватися водою. Не можна направляти водяний струмінь на електропровід, що горить, або на електрообладнання, бо людину може вразити струм, оскільки вода є провідником. Перш ніж гасити, слід зняти напругу; можна застосовувати вуглекислотні та порошкові вогнегасники. Горючу суміш і запалювальні речовини гасять піском, хімічною або повітряно-механічною піною, спеціальними порошковими сумішами.

У задимлене приміщення слід заходити обов'язково удвох, йти, тримаючись за стіни, щоб не втратити орієнтир. Працювати в ізольованих або фільтрувальних протигазах, але з гопкалітовим патроном. Двері в палаюче приміщення відкривати обережно і користуватися ними як прикриттям. Людей із задимленого, палаючого приміщення вивести назовні, попередньо накинувши їм на голову вологу тканину або одяг. Якщо вихід відрізано вогнем, людей евакуюють через вікна, балкони, застосовуючи ручні, механічні, стаціонарні драбинки і різні автопідйомники. Використовують також рятувальні мотузки.

Більшість лісових, торф'яних і польових пожеж виникають поблизу населених пунктів і доріг через необережне поводження з вогнем, від непогашених вогнищ чи іскор, що вилітають із вихлопних труб автомобілів, тракторів. Особливо легко загоряються хвойні ліси, сухі торф'яники, дозрілі хліба, суха трава. Тому не можна розводити вогнища у лісах, особливо хвойних, на торф'яниках, у заростах очерету, поблизу посівів зернових. Не дозволяється курити у лісі (можна на спеціально обладнаних майданчиках), біля валків скошеного хліба, під час роботи на комбайнах, тракторах, підбирачах, автомобілях. Усі машини повинні бути обладнані іскровловлювачами.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Здійснено вибір раціональних параметрів та засобів функціональної діагностики верстата. Запропонована схема діагностики на базі функціональної схеми з тензорезисторів.
2. На основі аналізу конструкцій затискних патронів виокремлено патрон з підтискним центром для подальшого дослідження.
3. Визначено комплекс формотворних рухів для забезпечення процесу механічної обробки деталі в токарному патроні.
4. Формалізовано опис компонуванняльної схеми токарного верстата.
5. Проведено комплекс кінематичних розрахунків і доведено доцільність використання двошвидкісного двигуна приводу головного руху.
6. На основі математичної моделі опису формотворних рухів вирішено задачу позиціювання довільної точки в зоні різання.
7. Доведено ефективність емітаційного моделювання при вивченні задач просторового позиціювання.
8. Підтверджено залежність позиціювання деталі в токарному патроні від кратності поверхневої огранки до кількості кулачків затискного патрона.
9. Використання в конструкції патрона підтискного центру дозволяє зменшити вплив спадкових похибок на точність механічної обробки.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Исследование виброакустических характеристик токарно-винторезных станков // В.Б. Струтинский, А.В. Шевченко, А.В. Даниленко, Али Джаалук. Вестник НТУУ "КПИ". Машиностроение. Сб.научн.-техн. статей. К.: 1999 – вып.34. С. 112-121
2. Заець, С. С. Система діагностування стану обладнання в процесі виготовлення деталей приладів./ XIX Міжнародна науково-технічна конференція “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”, 13-14 травня 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна. с. 43-45.
3. В. В. Шевченко, С. С. Заець, О. О. Олінійчук, “Аналіз акустичної емісії в процесах механічної обробки з використанням вейвлет – пакетів”, Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях, 7 (1229), с. 232-238, 2017.
4. Дослідження впливу технологічних режимів фрезерування на рівень вібрації шпиндельного вузла обробного центру / А. О. Скоркін [та ін.] // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Технології в машинобудуванні = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Techniques in a machine industry : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2020. – № 1. – С. 59-64.
5. Луців І.В. Системи затиску та багатолезової токарної обробки з адаптивними властивостями/ І.В.Луців, В.Н. Волошин, В.М. Буховець// Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні». – Львів, 2020.– С. 117-120.
6. Lutsiv I. Adaptation of lathe chucks clamping elements to the clamping surface/ Lutsiv I., Voloshyn V., Bytsa R.// Machines, Technologies, Materials. International journal. – Issue 12/2015 – pp. 64-67.
7. Литвин О.В., Ящук І.Р. Стенд для проведення експериментальних досліджень конструктивно-кінематичних параметрів багатопульсового самоцентруючого патрона/Комплексне забезпечення якості технологічних

- процесів та систем (КЗЯТПС – 2020): матеріали тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів , 29–30 квітня 2020 р.): у 2-х т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : ЧНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 110-112
8. Литвин О.В., Ящук І.Р., Паньков С.В. Багатокулачковий самоцентруючий патрон. Патент на корисну модель UA № 132525, МПК В23В 31/02 опубл. 25.02.2019, Бюл. №4, 2019 р.
  9. Луців І. В. Затискні кулачки з адаптивними властивостями для затиску тонкостінних деталей / І. В. Луців, В. Н. Волошин // 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. 90–91.
  10. Врагов Ю.Д. Анализ компонок металлорежущих станков: (Основы компонетики)/ Врагов Ю.Д. –М: Машиностроение, 1978. – 208 с.
  11. Складар Р., Шанайда В. Розробка критеріальних оцінок для аналізу компонок верстатів з паралельною кінематикою / Р. А. Складар, В. В. Шанайда // Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. Ів. Пулюя, 18-19 травня 2016 року — Т. : ТНТУ, 2016 — С. 74.  
<http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/17396>
  12. Литвин О.В. Приведення жорсткості системи патрон –деталь токарного верстата/ О. В. Литвин, І. Р. Ящук, С.С. Раус // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки" за напрямком „Інженерна механіка“, 2018, - вип.61. - С.99-105.
  13. Вітенько Т. Роль іноваційної лабораторії FabLab в освітньому процесі за напрямками "Галузеве машинобудування" та "Прикладна механіка" / Т. Вітенько, В. Шанайда, В. Лазарюк // Матеріали XXI наукової конференції

- ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — С. 11–12.  
- Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28168>
14. Vitenko T. Features of creating a solid models and assembly operations at CAD-systems / Vitenko T., Shanaida V., Drożdziel P., Madlenak R. // 9th International Conference on Education and New Learning Technologies, Barcelona (Spain), 3rd-5th of July, 2017: IATED Academy, 2017. – P. 7464-7469. - Режим доступу: <https://library.iated.org/view/VITENKO2017FEA>
15. Редько Р. Г. Дослідження пружно-силових характеристик затискних цанг, виготовлених за діючими та новими технологіями / Р. Г. Редько, О. І. Редько, В. В. Шанайда, Р. А. Склярів // Наукові нотатки. - 2014. - Вип. 44. - С. 249-253. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn\\_2014\\_44\\_41](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2014_44_41).
16. Склярів Р. А. Динамічна модель приводу автоматичної заміни інструментів багатоцільових верстатів / Р. А. Склярів, Шанайда В. В. // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції „Обладнання і технології сучасного машинобудування“, 11-12 травня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 155–156. - Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/22711>
17. Герасимчук, Г. А.; Склярів, Р. А.; Шанайда, В. В. Розробка математичної моделі та дослідження складних профільних з'єднань у спеціалізованих пакетах комп'ютерного моделювання. Наукові нотатки, 2013, 42: 75-80.
18. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями: учеб. пособие для вузов /И.М. Соболев, Р.Б. Статников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2006. – 175 с.
19. Фоменко, И. А. Охрана труда при обработке металлов резанием [Текст] / И. А. Фоменко, В. В. Коваленко, Н. П. Стародуб. - К. : Техніка, 1989. - 158 с.
20. Атаманчук П.С., Мендерецький В.В., Панчук О.П., Чорна О.Г. Безпека життєдіяльності. Навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2011. – 276 с.
21. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках / Шанайда В.В. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.

- 22.Склярів Р., Шанайда В. Використання багатофункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. Збірник тез доповідей XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2012, С. 69.
- 23.Склярів Р. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Склярів Р., Шанайда В., Савчук М. // Вісник ТНТУ. — 2011. — Том 16. — № 1. — С.117-125.
- 24.Орищук Р.М., Чернявський І.В., Шанайда В.В. Дослідження точності позиціонування деталей різної геометричної форми у верстатних механізмах кріплення і силової фіксації/ Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: XIX ММНТК «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво», 25-26 листопада 2020 р., м. Суми: Сумський державний університет, 2020. 180 с. – С.63-66.
- 25.І.В. Чернявський, Р.М. Орищук, В.В. Шанайда Дослідження напружено-деформованого стану елементів конструкції пружно-компенсаційної муфти методами 3d моделювання/Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2020.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2020. – 204 с. – С.143-144.