

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

Вдосконалення процесу зміни затискних елементів
патронів для токарної обробки

спеціальність 131 Прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21
Наумук Андрій Іванович

_____ (підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Придальний Борис Іванович

_____ (підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2023 р.
к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Четвержук Тарас Іванович

_____ (підпис)

Луцьк – 2023 року

АННОТАЦІЯ

Наумук А.І. Вдосконалення процесу зміни затискних елементів патронів для токарної обробки. – Рукопис

У роботі розглянуті важливі питання машинобудування, що присвячені проблемам ефективності фіксації циліндричних об'єктів у шпиндельних вузлах оброблювальних центрів і автоматичних токарних верстатів. Розглянута проблема має ряд не вивчених аспектів, що мають особливий вплив на технологічну гнучкість обладнання та ефективність фіксації циліндричних об'єктів різних діаметрів.

Важливими є питання забезпечення широкодіапазонності пристроїв фіксації циліндричних об'єктів, що досягається роботою пристрою заміни елементів затискних патронів. Підвищення ефективності роботи пристроїв автоматичної заміни затискних елементів сприяє підвищенню ефективності роботи технологічного обладнання та зменшення номенклатури технологічної оснастки. Нові підходи до вирішення даної проблеми сприяють рішенню важливої задачі машинобудування.

ANNOTATION

Naumuk A.I. Improvement of the process of changing the clamping elements of chucks for turning - Manuscript

The paper deals with important issues of mechanical engineering devoted to the problems of efficiency of fixing cylindrical objects in spindle assemblies of machining centres and automatic lathes. The problem under consideration has a number of unexplored aspects that have a particular impact on the technological flexibility of equipment and the efficiency of fixing cylindrical objects of different diameters.

Important are the issues of ensuring the wide range of cylindrical object fixation devices, which is achieved by the operation of the device for replacing the elements of clamping chucks. Improving the efficiency of automatic clamping element replacement devices contributes to increasing the efficiency of technological equipment and reducing the range of technological tooling. New approaches to solving this problem contribute to solving an important problem in mechanical engineering.

ЗМІСТ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ | 6 |
| 1. Аналіз раніше проведених досліджень | 9 |
| 1.1. Огляд характеристик затискних патронів різних типів | 9 |
| 1.2. Пристрої зміни затискних патронів | 14 |
| 1.3. Способи та пристрої автоматизованого маніпулювання цангами затискних патронів | 16 |
| 1.4. Мета й задачі дослідження | 20 |
| 2. Проблема розробки пристроїв для автоматичної зміни елементів затиску в токарному верстаті | 22 |
| 2.1. Методи підвищення гнучкості й переналагоджуваності затискних механізмів токарних верстатів з ЧПК | 22 |
| 2.2. Вимоги до пристроїв автоматичного маніпулювання затискними елементами та їх характеристики | 23 |
| 2.3. Аналіз відомих способів і пристроїв автоматичної заміни затискних елементів і автоматичної заміни затискних патронів | 27 |
| 2.3.1. Класифікація способів зміни ЗЕ й ЗП | 27 |
| 2.3.2. Автоматичне регулювання положення кулачків | 32 |
| 3. Експериментальне дослідження ПАЗЗЕ | 37 |
| 3.1. Експериментальний стенд для дослідження надійності і точності ПАЗЗЕ | 37 |
| 3.2. Застосування промислових роботів для заміни патронів | 39 |
| 3.3. Методика експериментального дослідження надійності установки ЗЕ за допомогою ПАЗЗЕ | 42 |
| 3.4. Вимірювання повторюваності й точності позицювання | 44 |
| 4. Методика проектування ПАЗЗЕ | 49 |
| 4.1. Принципи створення ПАЗЗЕ із застосуванням системного підходу | 49 |
| 4.2. Синтез схем ПАЗЗЕ і їх елементів методом морфологічного аналізу | 59 |
| 4.3. Складання скорочених морфологічних матриць | 62 |
| 4.4. Методика проектувального розрахунку пристроїв автоматичної зміни затискних елементів | 66 |
| Висновки | 71 |
| Перелік використаних джерел | 72 |

ВСТУП

Актуальність роботи. Проблема створення ГВС механічної обробки на базі верстатів з ЧПК й верстатних модулів вимагає особливого підходу до здійснення допоміжних рухів, пов'язаних зі швидким переналагодженням технологічного оснащення, систем інструментального забезпечення й завантажувально-розвантажувальних пристроїв. Створення швидкопереналагоджуваних і широкодіапазонних механізмів і пристроїв автоматичного маніпулювання заготовками пов'язане з вирішенням ряду технічних завдань, що дозволяють істотно підвищити техніко-економічні показники верстатів з ЧПК й розширити їх можливості в умовах серійного й дрібносерійного виробництва.

З врахуванням збільшення питомої ваги дрібносерійного й серійного виробництв для успішного вирішення завдань, що стоять перед машинобудуванням, необхідне подальше підвищення гнучкості, розширення технологічних можливостей токарних верстатів з ЧПК, токарних модулів (ТМ), у тому числі таких, що вбудовуються в ГВС, за рахунок вдосконалення їх вузлів, механізмів і оснащення. Рішення цих питань безпосередньо пов'язано зі скороченням строків освоєння нових моделей верстатів, підвищенням їх якості й надійності, скороченням витрат на ремонт і технічне обслуговування, з одержанням інформації для керування якістю при виготовленні верстатів.

Одним з недоліків токарних автоматів з ЧПК є вузький діапазон діаметрів заготовок, що закріплюються, без переналагодження. Це істотно обмежує технологічні можливості верстатів, що працюють у складі ТМ або входять у ГВС, приводить до додаткових втрат часу на переналагодження або зміну затискних патронів (ЗП) і їх затискних елементів (ЗЕ). На сьогоднішній день відомо дуже мало робіт, в яких відображено принципи реалізації безперервної схеми охоплення діапазону діаметрів закріплюваних заготовок і методики їх проектування. Відсутність робіт у

цьому напрямку утруднює створення принципово нових конструкцій пристроїв автоматичної зміни затискних елементів (ПАЗЗЕ) і вибір їх конструктивних параметрів.

Все це обумовлює актуальність і основні напрямки досліджень даної роботи.

Мета дослідження - підвищення точності автоматичної зміни затискних елементів токарних автоматів з ЧПК, що працюють в умовах частого переналагодження, за рахунок створення ПАЗЗЕ й розробка методів їх проектування на основі комплексного дослідження їх характеристик.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні *задачі*:

1. Вивчити механізм формування похибки точності позиціонування вихідної ланки з урахуванням геометричних факторів у спряженнях в залежності від допустимої похибки вихідної ланки з врахуванням багатоланкової структури патрона й ПАЗЗЕ.

2. Розробити методику експериментального дослідження надійності встановлення затискних елементів за допомогою ПАЗЗЕ.

3. Розробити практичні рекомендації із проектування нових конструкцій ПАЗЗЕ для токарних автоматів і їх основних параметрів, а також методику їх проектування.

4. Розробити принципи створення ПАЗЗЕ на основі системно-морфологічного підходу.

Об'єкт дослідження – ПАЗЗЕ, зокрема, пристрої автоматичної зміни затискних цанг токарних автоматів з ЧПК, що входять у технологічну систему токарного модуля.

Предмет дослідження – процес автоматичної зміни ЗЕ з врахуванням їх взаємодії з іншими механізмами й пристроями токарних автоматів.

Методи дослідження. Системний підхід як метод дослідження дозволяє в роботі представити об'єкт як єдине ціле. Метод морфологічного аналізу дозволив розкрити можливі варіанти пошуку нових конструктивних рішень по наперед заданих параметрах. Розрахунок точності позиціонування дозволив визначити точність захоплення затискних елементів схватом промислового робота.

Апробація роботи проведена на студентській конференції за результатами якої опубліковані тези доповіді: Придальний Б.І. Методи ефективної зміни затискних елементів патронів токарних автоматів / Придальний Б.І., Наумук А.І. // Тези ІІІ студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії "Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії". Луцьк: ЛНТУ – 2023 р.

1. АНАЛІЗ РАНІШЕ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Огляд характеристик затискних патронів різних типів

Незалежно від призначення, схеми роботи й конструктивного виконання система затискного патрона має загальну структуру й функціональну схему [32], що включає підвузли: джерело енергії привода, передаточно-підсилювальна ланка (ППЛ), пружна ланка, затискні елементи, розташовані в одному або декількох місцях. У будь-якому ЗП може бути, залежно від умов, одна або кілька ППЛ. Кожний підвузол ЗП може бути розділений на простіші.

Від типу ППЛ залежать силові й жорсткісні характеристики затискного патрона. Показники точності: радіальне биття Δr й радіальний відтиск Y_p деяких конструкцій затискних патронів наведені в [33].

В [3] відзначається, що потужність і продуктивність металорізальних верстатів при обробці деталей в 45% випадків буває обмежена через неможливість надійного закріплення деталі, що обумовлено їх недостатньою твердістю й вібростійкістю. Серед вимог, які ставляться до ЗП при затисканні, можна виділити наступні:

- 1) необхідна сила затиску і її стабільність;
- 2) точність і твердість патрону і їх стабільність;
- 3) вібростійкість конструкції;
- 4) швидкопереналаджуваність;
- 5) можливість регулювання сили затиску в процесі обробки.

Конструктивне втілення цих вимог приводить до появи складних і оригінальних конструкцій із сильно навантаженими елементами й викликає необхідність широкого застосування найсучасніших і високоякісних матеріалів.

Зараз на металорізальних верстатах використовуються автоматизовані ЗП, вони мають наступні переваги:

- 1) скорочення допоміжного часу;
- 2) можливість регулювання затиску;
- 3) можливість обмеження виривання деталі.

Перевага сучасних механізованих ЗП полягає в скороченні допоміжного часу за рахунок швидкого затиску - розтиску деталей і обумовленого цим підвищення продуктивності верстата. Для раціонального використання верстатів зі ЧПК особливо важлива швидка зміна заготовок. Для верстатів зі ЧПК, у яких обробляються невеликі партії заготовок, важливе швидке настроювання ЗП. ЗП включають у число вузлів, керованих системою ЧПК верстата, причому вона керує не тільки затиском і розтиском заготовок, але й переустановленням затискних елементів спеціальним, керованим від ЧПК пристроєм, на запрограмований діаметр.

В останніх конструкціях ЗП гідро - і пневмопривід вбудовується безпосередньо в ЗП. Особливості таких ЗП - герметизація базових кулачків від проникнення бруду в механізм, збереження змащення й зменшення зношування. Вбудований компенсатор тиску збереже необхідний тиск, незважаючи на зміну температури масла (фірма «Клорфер», Німеччина).

Конструкції ЗП із радіальним закріпленням деталей постійно вдосконалюються, а патрони з осьовим закріпленням заготовок ще не мають широкого поширення. Відпрацьованих універсальних конструкцій ЗП із осьовим затиском мало. Однак багато заготовок у зв'язку з їх формою, чутливістю до більших сил закріплення й відповідно до вимог технології можуть бути закріплені тільки осьовим зусиллям.

До радіальних ЗП відносять клинові, важільні, багатокулачкові штокові, а також цангові ЗП. Затиск заготовок зовнішніми силами відбувається й у патронах із затискним елементом у вигляді гофрованого циліндра. У мембранних ЗП заготовка закріплюється шляхом прогину сталевій шайби, на торцях якої кріпляться затискні елементи. Більшість перерахованих вище затискних пристроїв, що затискають заготовку

радіальними силами, можуть взаємодіяти з нею як зсередини, так і зовні. У важільних ЗП осьове переміщення циліндра перетвориться в радіальне переміщення кулачків поворотом важеля. Це дозволяє одержати більші зусилля й мати в патроні центральний отвір для розміщення прутка. Однак стабільність показників точності, твердості в клиновому ЗП вище.

Самоустановлювальні ЗП оснащені центрами, які можуть бути нерухомими й плаваючими в осьовому напрямку. Плаваючі кулачки ЗП деталей не центрують, тільки затискають.

При аналізі схем і конструкцій ЗП важливе значення має відхилення діаметра заготовки що закріплюється Δd , M , [36]. Значення Δd визначає два види конструкцій патронів для закріплення по зовнішній поверхні:

- 1) патрони для затиску по обробленій поверхні;
- 2) патрони для затиску по необробленій поверхні.

Перші з них повинні мати мінімум ланок у напрямку затиску для забезпечення точності й жорсткості конструкції.

У роботах, пов'язаних з дослідженнями динаміки верстатів систему патрон-деталь (П-Д), що є частиною технологічної системи верстата, не виділяли, розглядаючи шпindelний вузол з патроном і заготовкою як одне ціле [39]. При цьому робилося допущення про високу жорсткість системи П-Д у радіальному напрямку. У реальних умовах жорсткість системи П-Д нерівномірна по кутовій координаті [40] і в значній мірі впливає на точність обробки. Техніко-економічні показники токарних автоматів значною мірою визначаються динамічною якістю системи шпindel-патрон-деталь, що залежить, в основному, від параметрів пружної систем П-Д, зв'язаної в процесі різання із пружною системою інструмент-супорт [41].

Колев К.С. [42] при обліку абсолютно жорсткого консольного закріплення деталі в ЗП досліджував вплив відцентрових сил і гіроскопічного ефекту на точність обробки.

У роботах Кузнецова Ю.Н. [43, 44], вивчено механізм утворення

похибок і пружних відтисків у системі П-Д для суцільної заготовки. Для цього пружну систему П-Д при консольному закріпленні заготовки запропоновано приводити до балки в поздовжньому перетині із представленням у вигляді пружно-фрикційного шарніра, а в поперечному перерізі патрон замкнутим силовим контуром утримує заготовку на пружно-фрикційній підвісі. Відповідно до розробленої універсальної динамічної моделі механізму затиску токарного верстата виконаний аналіз процесу затиску заготовки на прикладі ЗП із затяжною цангою.

Згідно [2, 24, 36, 45] на точність обробки деталей у ЗП впливають:

- 1) відхилення діаметра Δd заготовки від діаметра розточення затискних елементів патрона;
- 2) технологічна спадковість і точність вихідної заготовки;
- 3) силові, жорсткісні й точнісні характеристики ЗП;
- 4) спосіб базування заготовки.

Корсаков В.С. [2] досліджував вплив зміни сили затиску й неоднорідності шорсткості й твердості поверхневого шару заготовки на точність закріплення деталі. По даним досліджень похибка закріплення становить до 30% всієї похибки обробки деталі, яка затиснута у кулачкових патронах. Отже жорсткість технологічної системи П-Д однозначно впливає як на точність, так і на шорсткість обробленої поверхні.

В процесі різання в зоні контакту затискних елементів із заготовкою виникають високі питомі тиски ($1000-1300 \text{ Н/мм}^2$) і затискні елементи втискаються в заготовку двома крайніми ділянками. Деталь у цьому випадку стискається попарно - паралельними силами. Дослідженнями А.В. Вороніна встановлено, що радіальне переміщення кільцевої деталі в цьому випадку на 6-15% вище, ніж при стиску зосередженими радіальними силами [46].

Питання точності механічної обробки є одним з основних розділів технології машинобудування, конструювання верстатів і пристосувань.

Відповідно до роботи [14] точність затиску визначається похибкою, що представляє сумарне поле розсіювання й рівне при нормальному законі розподілу:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{Б}}^2 + \varepsilon_{\text{З}}^2 + \varepsilon_{\text{ПР}}^2}, \quad (1.1)$$

де $\varepsilon_{\text{Б}}, \varepsilon_{\text{З}}, \varepsilon_{\text{ПР}}$ - похибки базування, закріплення й неточності ЗП. Похибка базування може бути зведена до нуля сполученням вимірювальних і установчих баз, але це не завжди можливо.

В роботі [47] запропоновано визначати похибки центрування в ЗП спірально-рейкового типу з врахуванням поперечного й повздовжнього заклинювання деталі в кулачках. Точність центрування залежить від умов розточування (тобто сили затиску) кулачків. Розроблена теорія дозволяє пояснити значний розкид биття оправки, що затискається в патроні при однаковому крутний моменті на ключі. Івасишин Г.С. [14] провів дослідження динамічної точності токарних спірально-рейкових ЗП. Результати експериментів показали, що стійкість і надійність закріплення деталі в патроні залежить, в основному, від величини попередньої робочої сили затиску, кутової швидкості шпинделя й діаметрального положення кулачків. У роботі Иващенко І.А. [48] наведено результати дослідження жорсткості й точності токарних патронів: спіральних, клинових і важільних. Зроблено висновки про те, що жорсткість закріплення деталей типу тіл обертання в патроні залежить від величини зусилля затиску й від характеру контакту затискних поверхонь кулачків із заготовкою. Характер контакту залежить від способу обробки поверхонь затиску кулачків, від точності форми заготовки й від мікрогеометрії її поверхні.

У дослідженні Вороніна А.В. [46] зроблений висновок про те, що ЗП із затискними елементами, що встановлюються самостійно підвищують точність центрування заготовки із некруглими установочними поверхнями в порівнянні з звичайними в 4...7 разів. Дослідження динаміки ПАЗЗЕ найбільш повно відображені в роботах Левіної З.М. [50], Козирева Ю.Г.

[51] Критського Д.Р. [7].

У роботі [52] запропонована методика автоматизації розрахунку сил затиску при проектуванні верстатних пристосувань, у т.ч. ЗП. Метод базується на принципі суперпозиції, при цьому силу затиску розглядають як сумарну складову сил затиску, що протидіють складовій сили різання й моментам від них. Метод зручний для автоматизації і є універсальним. Однак в алгоритмі розрахунку сили затиску для ЗП не враховується випадок багато різцевої обробки й крутний момент, що виникає при осьовій обробці.

Мирошніченко С.В. [54] досліджував процес маніпулювання різальним інструментом на токарних автоматах з ЧПК з врахуванням піддатливості технологічної системи верстата. Ним розроблені й запропоновані конструкції швидкодіючих пристроїв автоматичного маніпулювання інструментом із пружинним приводом.

В дослідженнях Павленко І.І. [55] містяться результати теоретичних і експериментальних досліджень механічних систем ПР, які можуть бути використані для зміни ЗЕ. Автором досить повно досліджені питання точності, жорсткості й динаміки систем ПР різного виробничого призначення. Розроблено метод структурного аналізу й синтезу ПР будь-якої складності й знаходження їх оптимальних параметрів, а також запропоновані методики розрахунку механічних систем ПР.

1.2. Пристрої зміни затискних патронів

Фірма «GAMET» розробила систему САМ для зміни токарних ЗП, час зміни - 5 с. Система застосовна для кулачкових і цангових пруткових патронів. У пристрої САМ усередині шпинделя верстата є дві труби, пов'язані з обертовим гідроциліндром затискача. Ці труби переміщуються вперед, входять в отвір патрона й повертаються на 60° . При цьому їх виступи входять у прорізи байонетного замка в ЗП. Потім труби переміщуються вліво й притискають ЗП до торця шпинделя (рис. 1.1) [35].

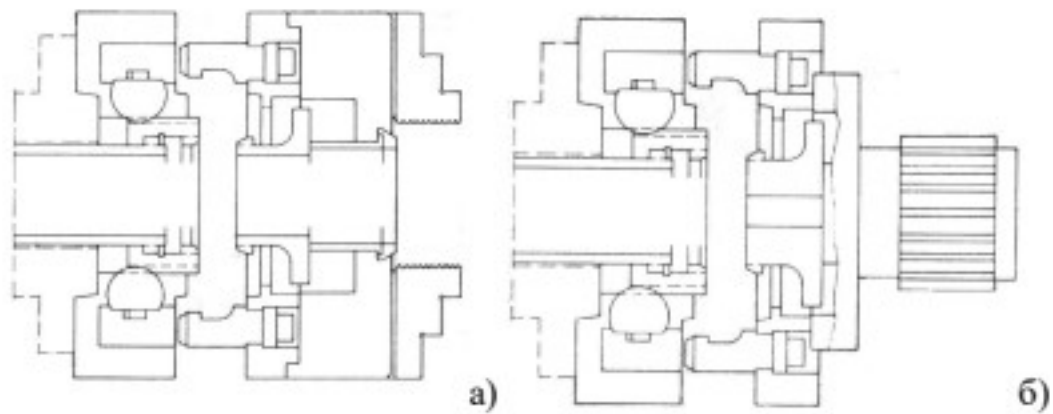


Рисунок 1.1 – Пристрій зміни фірми «Gamet»: а - затискного патрона; б - розтискної оправки

Фірма «Forkardt» (ФРН) розробила систему автоматичної зміни токарних ЗП будь-якої конструкції, що складається з декількох елементів: базового фланця, затискного патрона зі змінним фланцем. Змінні ЗП оснащені на задній стороні трьома кріпильними пальцями, які при насадці поринають у відповідні отвори базового фланця. Завдяки клиновим тангенціальним рейкам, що приводиться в дію гідроприводом, ЗП легко блокується зі шпинделем. Одночасно створюється геометричне замикання зі штоком привода затискача. Час зміни патрона - менш 1 хв.

Пристрій зміни патрона містить кулачки, що переміщуються поступально всередину й назовні при зачепленні їх за канавку на зовнішній поверхні перехідної деталі патрона; пружину, що підтискає елемент у зовнішню сторону. При установці привод відводить назад основні кулачки [25].

Пристрій для автоматичної зміни ЗП на верстаті з ЧПК містить магазин затискних пристосувань, розташований у робочій зоні хрестового супорта. Пристрій забезпечує транспортування всіх затискних пристосувань за допомогою несучого елемента й необхідні реверсивні рухи системи [26]. Для зміни ЗП застосовується пристрій, що закріплюється на передньому кінці бабки токарного верстата. У ньому сформований вузол кріплення затискного патрона. Змінні шпиндельні коробки розміщуються на качалках, закріплених на конвеєрному магазині.

На пристосуванні закріплюється оброблювана деталь. При роботі верстата відбувається переміщення конвеєра й зміна шпindelних коробок на шпindelній бабці. Фіксація чергової шпindelної коробки відбувається за рахунок притискання вертикальної плити до вертикального базового елемента й горизонтальної плити до горизонтального базового елемента за допомогою притискних елементів [27].

1.3. Способи та пристрої автоматизованого маніпулювання цангами затискних патронів

Автоматична зміна затискних цанг (ЗЦ) на верстаті з ЧПК викликана вимогами по підвищенню гнучкості цангових патронів і тим, що переналагодження ЗЕ по діаметру необхідне при зміні пруткових заготовок. Це дозволяє підвищити технічний ресурс цангового патрона, так як вони працюють у вузькому діапазоні діаметрів.

Швидка й точна заміна ЗЦ може здійснюється автоматичними маніпуляторами або спеціальними захоплюючим пристроєм, який змонтований в одній з позицій револьверної головки.

Відомі рішення швидкопереналагоджуваних цангових патронів, які складаються із двох передаточно-підсилювальних ланок: важільної й клинної (цанги) [1]. Така комбінація передаточно-підсилювальних ланок дозволяє витримувати більші осьові зусилля, які виникають при обробці, і здійснити зміну цанги за 10...15 хв.

Змінні ЗЦ розміщуються в магазині. Конструктивне виконання магазину цанг залежить від виконання робототехнічних пристроїв і моделі верстата. Для зберігання цанг можуть застосовуватися поздовжній, барабанний і дисковий магазини.

Поздовжній магазин цанг розташований у тангенціальному до корпусу патрона напрямку. Переустановка змінних ЗЦ здійснюється автооператором, який закріплений паралельно до осі шпинделя.

Барабанний магазин вертикальною віссю обертання встановлюється на передній бабці верстата в радіальному до корпусу патрона напрямку. Паралельно осі барабана розміщується автооператор для зміни цанг.

Дисковий магазин з горизонтальною віссю обертання встановлений також на передній бабці верстата паралельно шпинделю. Переустановлення змінних ЗЦ здійснюється автооператором у вертикальній площині, що проходить через осі шпинделя й магазину.

Кільцевий магазин встановлюється співвісно зі шпинделем верстата.

Застосування двох револьверних головок підвищує ефективність металорізальних верстатів за рахунок сполучення установки й знімання цанги з виконанням технологічної операції.

Для можливості затиску декількох номінальних діаметрів прутка без зміни цанги або вкладишів знаходять застосування широкодіапазонні цангові патрони, ЗЕ яких отримані методом розкладання трикутників, що створює ефект послідовної мультиплікації [28]. Переваги таких цанг у порівнянні зі звичайними - широкий діапазон відхилень діаметрів $\Delta d = (0,1 \dots 0,15)d_{\text{ном}}$, де $d_{\text{ном}}$ - номінальний діаметр заготовки. Затискна частина такої цанги містить основні й додаткові ЗЕ. Твердість додаткових ЗЕ менша, вони більше переміщуються в радіальному напрямку:

$$y_d = \frac{y_0}{\cos \frac{\pi}{z}}, \text{ де } y_0 - \text{переміщення пелюстки цанги в радіальному напрямку,}$$

z - число пелюсток, y_d - хід труби затискача.

Відомо автоматичний пристрій для зміни напрямних втулок цангових патронів у токарному автоматі з ЧПК для закріплення пруткових заготовок. Він має кілька напрямних втулок і затискних цанг, що відповідають різним розмірам оброблюваних прутків [29].

Відома конструкція цангового патрону [30] з автоматичною зміною затискних цанг (а.с. СРСР №1215883) для токарних і токарно-

револьверних автоматів з ЧПК в якому між основною цангою й прутком розміщений комплект змінних цанг, осі яких співісні (рис. 1.2).

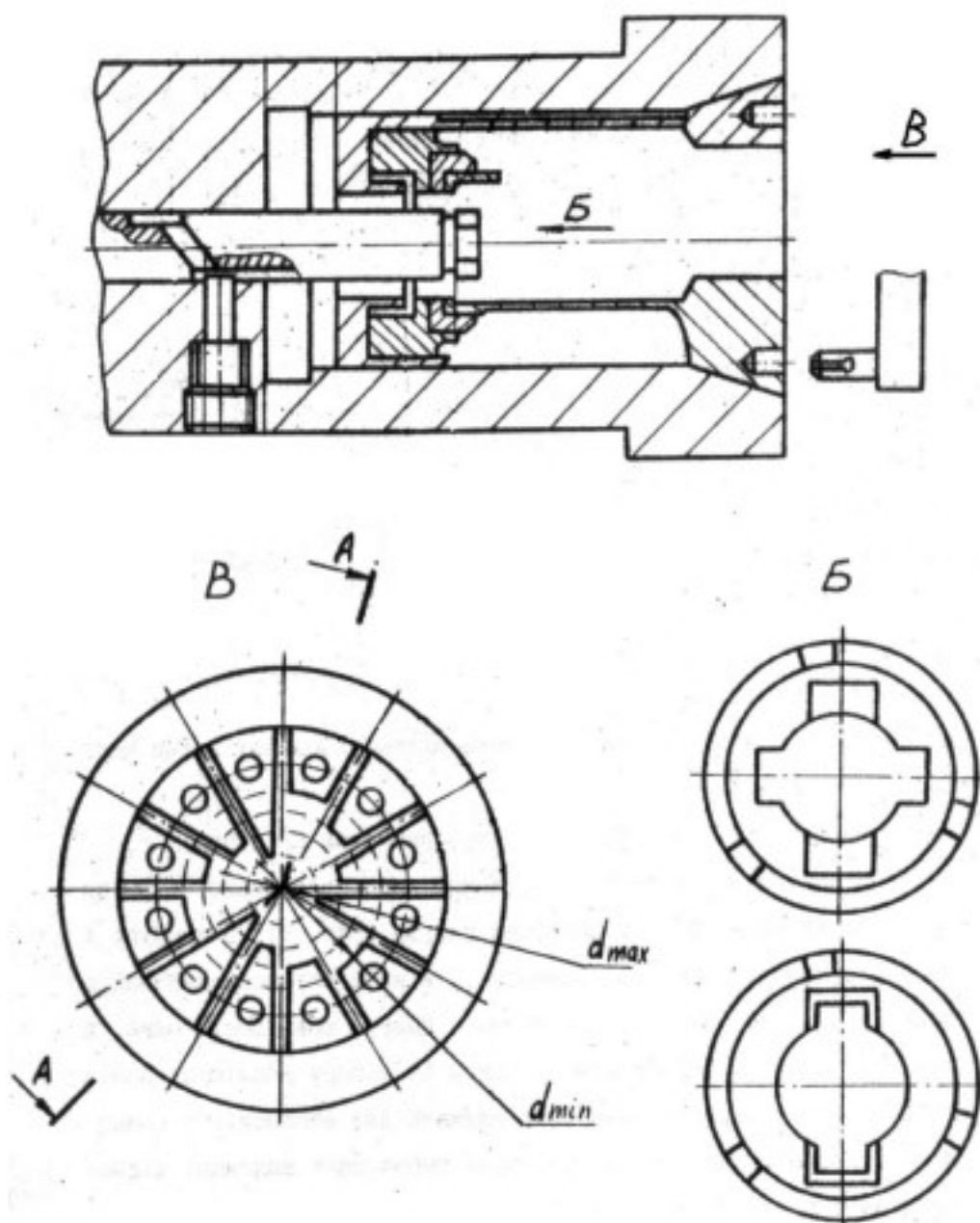


Рисунок 1.2 – Цанговий патрон з автоматичною зміною цанг із набору

ЗЦ розміщені одна в одній. Губки кожної ЗЦ із комплекту розміщені між губками іншої. Хвостовики ЗЦ служать для взаємодії із приводом їх переміщення. Робочі поверхні губок мають різний діаметр із кроком, що забезпечує охоплення певного діапазону діаметрів прутків. Робочі губки розміщені по колу з певним кроком в бік збільшення діаметра. На

хвостовику кожної ЗЦ виконані поздовжні пази, при цьому на торці штоку привода затискача встановлено шплінти, які служать для взаємодії з поздовжніми пазами хвостовика цанги. Шток встановлено у корпусі з можливістю повороту.

Змінні цанги фіксуються на основній за допомогою байонетного замка. Автоматична зміна затискних цанг може здійснюватися ПР або захоплюючим пристроєм, який розміщений в одній з позицій револьверною головкою.

У цанговому патроні (а.с. СРСР №1814996) зміна циліндричних цанг із набору, що встановлений у корпусі патрона, здійснюється за допомогою ПР, що захоплює їх за спеціальні отвори на торці цанги [31].

Циліндричні цанги розміщені одна в одній між основною, конічною цангою, яка нерухома в осьовому напрямку й заготовкою (прутком), причому губки кожної розміщені між губками іншої й конічні поверхні взаємодіють між собою. Всі цанги вводяться в патрон з боку робочої зони верстата й фіксуються на упорі за допомогою підпружиненого фіксатора. Робочі поверхні цанг мають різний діаметр. На хвостовику кожної із цанг виконані поздовжні S - подібні пази, які взаємодіють зі шплінтами при установці або знятті цанги в корпусі патрона (рис. 1.3).

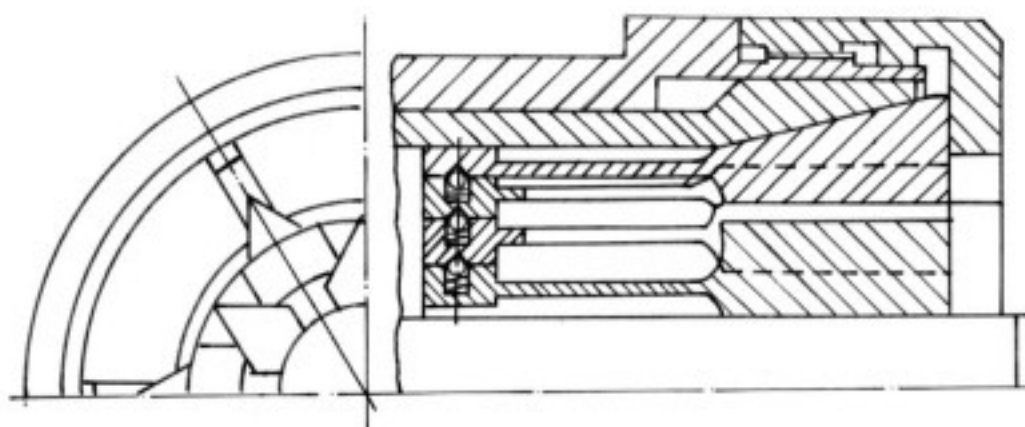


Рисунок 1.3 – Цанговий патрон з набором змінних цанг

1.4 Мета й задачі дослідження

У результаті проведеного вивчення й аналізу робіт по дослідженню пристроїв автоматичного маніпулювання затискними елементами можна зробити наступні висновки:

1. ПАЗЗЕ оснащуються, в основному, токарні верстатні модулі закордонних фірм. Вітчизняні винаходи й розробки промисловістю поки не затребувані.

2. ПАЗЗЕ оснащуються токарні верстатні модулі з кулачковими затискними патронами. Розробка й застосування пристроїв автоматизованого перевстановлення затискних цанг для пруткових заготовок відсутні.

3. Відсутні методики створення ПАЗЗЕ ґрунтуючись на основі морфологічного підходу.

4. Відсутні математичні моделі ПАЗЗЕ, що визначають вплив їх статичних та динамічних показників на точність установки з урахуванням збуджуючих факторів у всьому діапазоні роботи з різними діаметрами оброблюваних заготовок без здійснення переналагодження.

5. Не розроблені практичні рекомендації із проектування нових структур ПАЗЗЕ для верстатів токарної групи та їхніх основних параметрів, а також методики їх проектування.

Тому метою дослідження є покращення точності автоматичної заміни елементів затиску у патронах токарних автоматів з ЧПК, що функціонують в умовах постійного переналагодження шляхом створення ПАЗЗЕ й розробка підходів до їх проектування ґрунтуючись на комплексному дослідженні їх характеристик.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

5. Вивчити механізм формування похибки точності позиціонування вихідної ланки з урахуванням геометричних факторів у спряженнях в залежності від допустимої похибки вихідної ланки з врахуванням багатоланкової структури патрона й ПАЗЗЕ.

6. Розробити математичну модель системи промисловий робот - ПАЗЗЕ, які враховують вплив статичних та динамічних показників функціонування на точність установки.

7. Розробити методику експериментального дослідження надійності встановлення затискних елементів за допомогою ПАЗЗЕ.

8. Розробити практичні рекомендації із проектування оновлених структур ПАЗЗЕ для патронів токарних автоматів та їх головних параметрів і методику їх проектування.

9. Розробити принципи створення ПАЗЗЕ ґрунтуючись на системно-морфологічному підході.

2. ПРОБЛЕМА РОЗРОБКИ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ ЗМІНИ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАТИСКУ В ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ

2.1. Методи підвищення гнучкості й переналагоджуваності затискних механізмів токарних верстатів з ЧПК

Створення сучасного автоматизованого виробництва механічної обробки вимагає іншого методологічного підходу не тільки до підбору номенклатури деталей, побудови технологічного процесу, вибору верстатного устаткування, але й до здійснення допоміжних рухів, пов'язаних зі швидким переналагодженням технологічного оснащення, систем інструментального забезпечення, завантажувальних пристроїв і транспортно-накопичувальних систем. Серед допоміжних рухів слід виділити операції, пов'язані з автоматичним маніпулюванням заготовками, затискними елементами й інструментом. Для створення пристроїв автоматичної заміни затискних елементів (ПАЗЗЕ) потрібно вирішити ряд технічних і економічних проблем, що дозволяють істотно підвищити технічні та економічні показники верстатів з ЧПК.

Питома вага дрібносерійного й серійного виробництва в машинобудуванні наближається до 2/3 загального обсягу. В цей час в основному токарні верстати, автомати, модулі, використовувані в дрібносерійному виробництві, заготовки обробляються максимальними партіями (внаслідок прагнення до зменшення числа переналагоджень), це знижує вплив підготовчо-заклучного часу на штучний час обробки [1, 2, 3], однак при цьому різко збільшується час міжопераційний час, коли вироби пролежують.

Гнучкість токарних автоматів, верстатних модулів і гнучких виробничих систем (ГВС) залежить від гнучкості всіх її ланок, причому значною мірою від гнучкості технологічного оснащення. Слід зазначити, що якщо всі основні ланки ГВС (верстати, промислові роботи й т. ін.) переналагоджуються по керуючій програмі, то технологічне оснащення як

правило переналагоджують вручну, або із застосуванням складних технічних систем (магазинів-накопичувачів патронів, затискних кулачків, промислових роботів або маніпуляторів із залученням систем керування й т. ін), що негативно позначається на основних показниках обробки продуктивності, собівартості. Так ефективність токарного модуля визначається часом переналагодження на обробку іншої деталі й кількістю деталей в оброблюваній партії.

Основними компонентами гнучкої системи автоматизованої зміни затискних елементів (ЗЕ) патрона є: 1) магазин затискних елементів; 2) пристрій обслуговування затискних елементів; 3) магазин (ланцюговий, дисковий, барабанний, кільцевий); 4) маніпулятор для затискних елементів; 5) м'які ЗЕ; 6) загартовані ЗЕ.

Методи підвищення точності зміни й установки ЗЕ умовно можна розділити на конструкційні, технологічні й організаційні (Рисунок 2.1).

Для вдалого рішення завдань, які стоять перед галуззю, потрібне наступне покращення показника гнучкості, збільшення технологічних можливостей токарних верстатів, токарних модулів, у тому числі, таких, що вбудовуються в ГВС, їх вузлів і оснащення. Один з напрямків у рамках зазначених аспектів пов'язаний зі створенням механізованих ПАЗЗЕ й затискних патронів, що забезпечують затиск заготовок у всьому робочому діапазоні металорізального верстата без переналагоджень, короткий час зміни елементів патрона, більш повне використання верстатів з ЧПК, виключення втрат точності центрування.

2.2. Вимоги до пристроїв автоматичного маніпулювання затискними елементами та їх характеристики

Пошук нових технічних рішень ПАЗЗЕ можна представити у вигляді послідовності виконуваних процедур. На першому етапі виробляється система вимог до проектного пристрою, які повинні відображати бажані функціональні можливості й конструктивне оформлення пристрою.

Вимоги до ПАЗЗЕ верстатів з ЧПК можуть бути виражені кількісно через відповідні характеристики [4, 5].

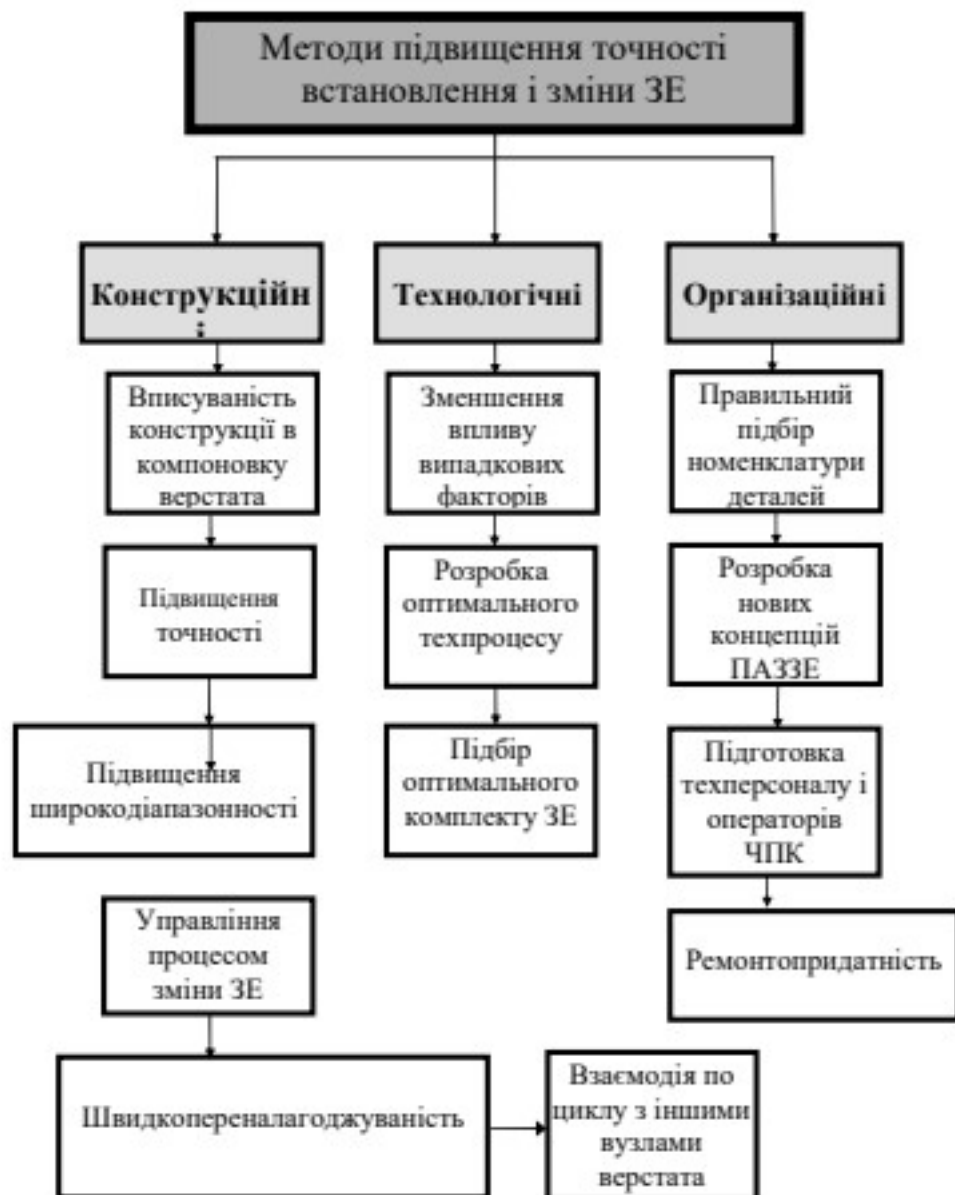


Рисунок 2.1 – Методи підвищення точності зміни й установки ЗЕ

Структура вимог до ПАЗЗЕ автоматизованого верстата з ЧПК повинна розглядатись в процесі транспортування й установки (зміни).

Основні вимоги до ПАЗЗЕ: 1) точність; 2) швидкодія, 3) швидкопереналагоджуваність; 4) широкодіапазонність; 5) надійність стикування з вузлами верстата й функціонування; 6) регламентована сила установки; 7) твердість і міцність конструкції.

Додаткові вимоги, які також визначають працездатність ПАЗЗЕ: 1) низька трудомісткість і економічність виготовлення; 2) вписуваність у

робочу зону верстата; 3) мінімум займаної площі; 4) зручність обслуговування; 5) можливість розміщення пристрою з різних сторін робочої зони.

На сьогоднішній день існує велика кількість різноманітних ПАЗЗЕ, при цьому немає їх чіткої систематизації. Зараз багато уваги розробці системних процедур і методів пошуку нових конкурентоспроможних технічних рішень.

Останні являють собою сукупність спеціальних правил і процедур, що відображають логічність й послідовність проектування ПАЗЗЕ. Використання цих процедур спрямоване на підвищення якості проектних рішень, скорочення термінів проектування, створення методологічних основ пошукового проектування пристроїв.

Стабільність характеристик ПАЗЗЕ залежить від якості виготовлення, відхилень конструктивних параметрів ЗЕ від номінальних, сил тертя, якості складання й т.д. Звідси можна визначити критерії вибору ПАЗЗЕ для токарних автоматів і ВМ: можливість регулювання сили установки; швидкість установки; можливість використання великої кількості комплектів змінних ЗЕ.

Конструктивне виконання, якість і працездатність ПАЗЗЕ визначаються його характеристиками, серед яких основними є: швидкісні й точнісні.

Характеристики жорсткості визначають їх здатність протидіяти появі пружних віджимів (або пружних переміщень) і вони безпосередньо впливають на процес встановлення, на точність і швидкість зміни ЗЕ.

Основними причинами, що обмежують швидкості ланок ПАЗЗЕ, є динамічна похибка позиціонування і перевантаження в його механічній системі або в приводах при розгоні й гальмуванні. Ці причини обумовлені характером динамічних процесів при позиціонуванні й залежать від багатьох конструктивних і технологічних факторів, більшість з яких взаємозалежні.

Особливості руху різних ланок ПАЗЗЕ полягають у наступному: 1) переміщення відбувається за малий час, причому величезну роль грають процеси розгону й гальмування, що визначають навантаження й прискорення, а також довговічність механізмів; 2) рух звичайно здійснюється по визначеній програмі на деяку фіксовану довжину шляху; 3) зупинка в більшості випадків відбувається по упорах або за допомогою фіксаторів; 4) вони чинять істотний вплив на характер руху.

У роботі [7], показано, що для елементів ПР з певним кінематичним ланцюгом між приводом і виконавчим органом зазори, тертя й пружна деформація ланок сприяють плавному руху виконавчого органу в моменти стрибкоподібної зміни величини прискорення, а також охороняють ланки приводу й пов'язані з ним вузли від ударів. Тому для таких ПАЗЗЕ приймається закон руху з постійним прискоренням (постійне зусилля гальмування), цьому відповідає мінімальна тривалість переміщення за умови, що величина прискорення є відносно невеликим ($5-6 \text{ м/с}^2$).

У роботі [8] для синтезу конструкцій ПАЗЗЕ застосований метод морфологічного аналізу, на підставі якого запропоновані нові компоновки.

Гіндін Д.Е. [9] показав, що при виборі швидкості V_y основною умовою є надійний підхід виконавчого органу до упору, зі швидкістю не більше $0,17-0,2 \text{ м/с}$. Він вважає, що характер залежності часу гальмування від гальмівного шляху однаковий для тих випадків, коли гальмування ПАЗЗЕ здійснюється під дією сили як постійної в часі, так і змінної.

У роботі Критського Д.Р. і Найманова В.Я. [7] проаналізовано динамічні процеси які відбуваються в механізмах ПАЗЗЕ з метою визначення оптимальних параметрів механізмів із позиціонуванням виконавчого органу на жорсткий упор з погляду швидкодії. Зменшення часу гальмування виконавчого органу досягають за рахунок оптимізації закону гальмування приводу при виході виконавчого органу на жорсткий упор.

У роботі [10], показано, що, якщо за визначальні критерії працездатності робота або маніпулятора прийняті швидкодія й енерговитрати, то зі збільшенням прискорення гальмування час руху схвата скорочується не тільки за рахунок зменшення часу гальмування, але й за рахунок зменшення рівномірного руху виконавчого органу.

Швидкість і прискорення при гальмуванні обмежуються умовами нормального підходу виконавчого органу до кінцевого положення. По даним [8] мінімальна швидкість виходу на жорсткий упор виконавчого органу становить 0,16-0,2 м/с.

У роботі [11], представлено безударний спосіб позиціювання з підхватом виконавчого органу на жорсткий упор, але цей спосіб не забезпечує надійності позиціювання при зміні маси виконавчого органу. Для застосування в якості ПАЗЗЕ на токарних модулях досить ефективні роботи із пружинним приводом, які дозволяють при спрощенні конструкції ПАЗЗЕ домогтися високих показників продуктивності (2-4 м/с), низької металоємності й енергоспоживання. Принцип дії пристроїв із пружинними приводами описуються в роботах [11, 12, 13].

2.3. Аналіз відомих способів і пристроїв автоматичної заміни затискних елементів і автоматичної заміни затискних патронів

2.3.1. Класифікація способів зміни ЗЕ й ЗП

Найважливішою тенденцією розвитку сучасних токарних верстатів зі ЧПК є: 1)підвищення ступеня технологічної інтеграції, 2)комплексна автоматизація допоміжних операцій, у т.ч. автоматична зміна інструмента, деталей і затискних пристосувань. Автоматична зміна ЗЕ в патроні верстата зі ЧПК викликана тим, що при чистовій і чорновій обробках заготівель на одному верстаті необхідна заміна загартованих затискних елементів незагартованими. Переналагодження ЗЕ по діаметрі необхідні при переустановці заготівель і при зміні партії заготівель. Доцільно

використовувати затискні елементи, що складаються з постійної підстави й змінного налагодження. Це дозволяє підвищити технічний ресурс патрона, а також створює можливість для установки спеціальних змінних насадок і повідців, розрахованих на обробку заготовель у центрах. Швидка й точна заміна ЗЕ здійснюється автоматичними маніпуляторами.

Одним з перспективних напрямків розвитку патронних, центрових і патронно-центрових верстатів зі ЧПК, оснащених автоматичними маніпуляторами для установки й знімання заготовель, є роботизація таких допоміжних операцій, як «розтиск і затиск» заготовок і переналагодження затискних елементів у патроні. На рис. 2.2. наведена класифікація методів автоматизованої заміни затискних елементів патронів для токарних верстатів зі ЧПК.

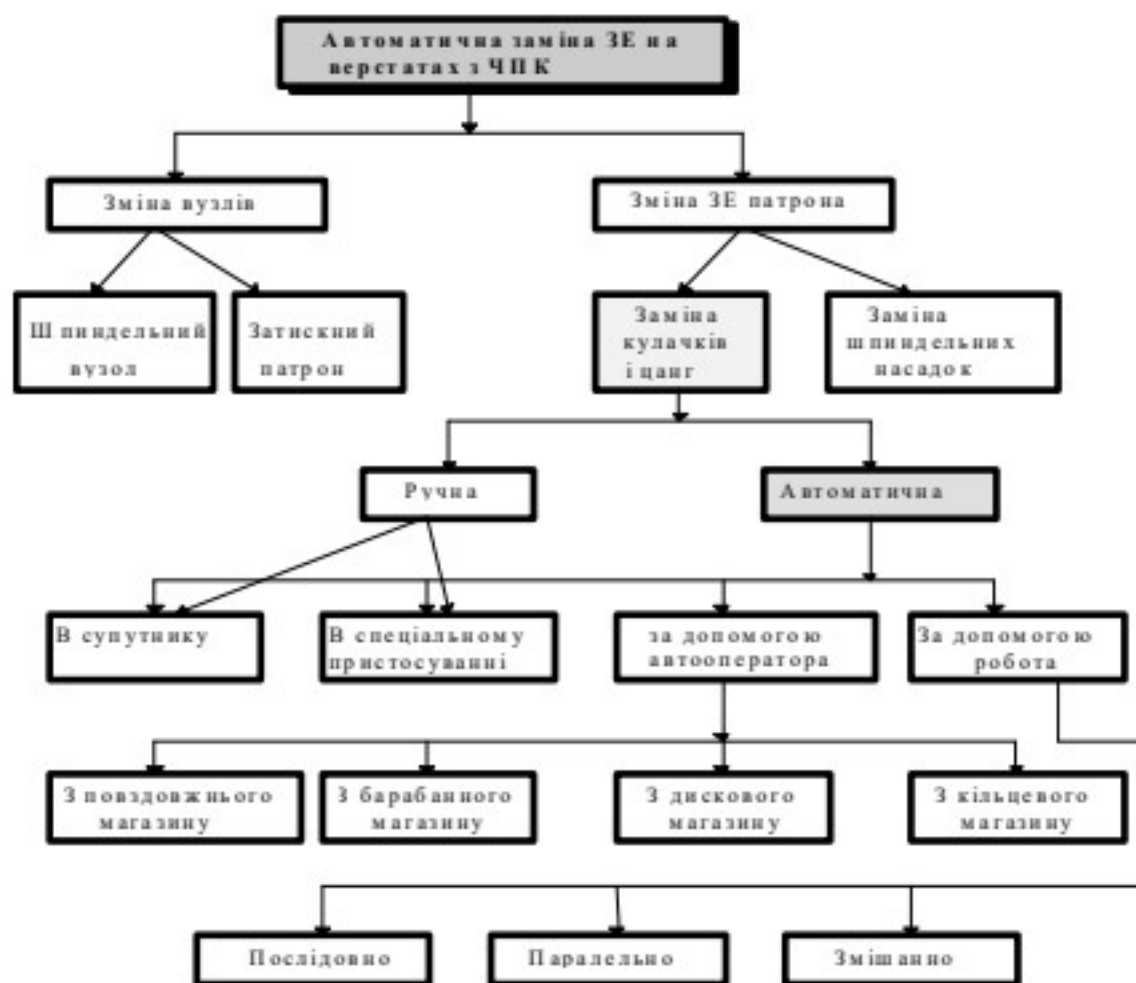


Рисунок 2.2 – Класифікація способів автоматичної заміни ЗЕ на верстатах зі ЧПК

З погляду гнучкості затискні пристрої можуть бути:

- для певних діаметральних розмірів заготовок;
- із мануальною зміною діапазону затиску;
- з автоматичною зміною діапазону затискача;
- з автоматичною зміною затискних елементів;
- з автоматичною зміною діапазону затиску і автоматичною зміною ЗЕ.

Робототехнічні пристрої забезпечують стабільність установки й швидку зміну накладних кулачків.

Для ПАЗЗЕ обов'язкова наявність магазину змінних ЗЕ. Конструктивне виконання магазинів змінних затискних елементів залежить від функціонального призначення робототехнічних пристроїв і моделей верстатів. На токарних верстатах з ЧПК знаходять застосування поздовжній, барабанний, дисковий і кільцевий магазини затискних елементів [14]. Розташування магазину змінних ЗЕ на верстаті наведено на рис. 2.3.

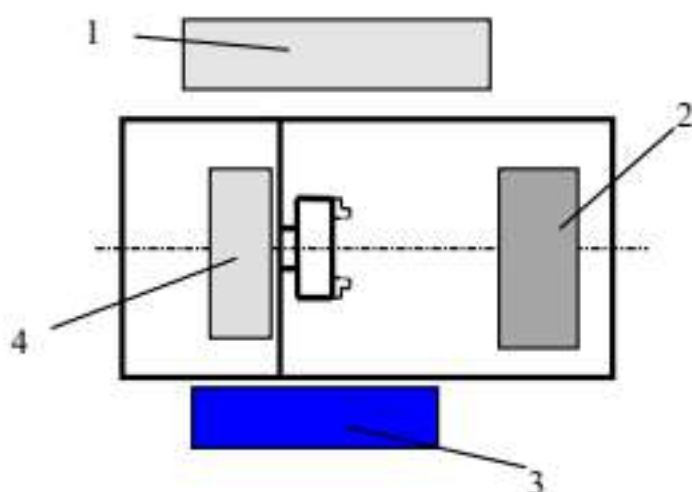


Рисунок 2.3 – Схеми розміщення магазинів змінних ЗЕ у верстатах з ЧПК:

- 1) поза верстатом, 2) над задньою бабкою, 3) поза верстатом, 4) над патроном

Поздовжній магазин кулачків розташований у тангенціальному до корпуса патрона напрямку. Переустановка змінних похилих кулачків

здійснюється автооператором, закріпленим паралельно магазину (рис. 1.4,а).

Барабанний магазин кулачків з вертикальною віссю обертання встановлений на передній бабці верстата в радіальному до корпусу патрона напрямку. Паралельно осі барабана закріплений автооператор. Зміна кулачків проводиться по черзі при повороті ЗП на 120° . Така схема ПАЗВЕ застосовується фірмою «Mazak Aic» (Японія) (рис 1.4,б). Дисковий магазин кулачків з горизонтальною віссю обертання встановлений також на передній бабці верстата паралельно шпинделю. Переустановка змінних кулачків здійснюється автооператором у вертикальній площині, що проходить через осі шпинделя й магазину (рис. 2.4,в).

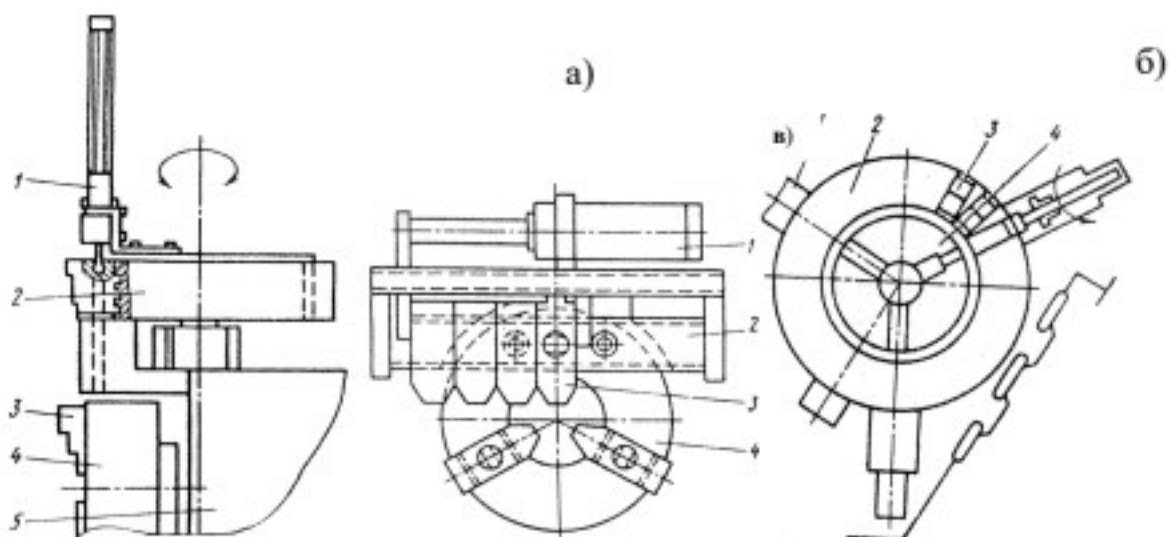


Рисунок 2.4 – Схема заміни затискних елементів з повздовжнього а), барабанного б), дискового в) магазинів: 1-автооператор, 2-магазин, 3-кулачок, 4-зжимной патрон, 5-передняя бабка верстата, 6-станина.

Застосування двох револьверних головок підвищує ефективність металорізальних верстатів за рахунок сполучення установки й знімання заготовлі з виконанням технологічної операції. Застосування на токарних двошпиндельних верстатах револьверних головках дозволяє не тільки використовувати автоматичні маніпулятори для установки знімання

заготовок на неробочій позиції, але й здійснювати переналагодження кулачків (рис. 2.5).

Автоматична зміна кулачків на сучасних верстатах з ЧПК не вимагає застосування окремого завантажувально-транспортного пристрою, тому що зміна комплектних наборів кулачків здійснюється портальним завантажником універсального призначення при автоматичному переналагодженні на обробку інших деталей. Такі рішення втілені у верстатах фірм «Heid», «Traub» і ін (рис. 2.6.). На токарних верстатах з ЧПК застосовують наступні конструкції пристроїв переналагодження затискних елементів: з, затискача, з автоматичним переустановленням (паралельно або послідовно) ЗЕ й з автоматичною зміною затискних патронів у цілому.

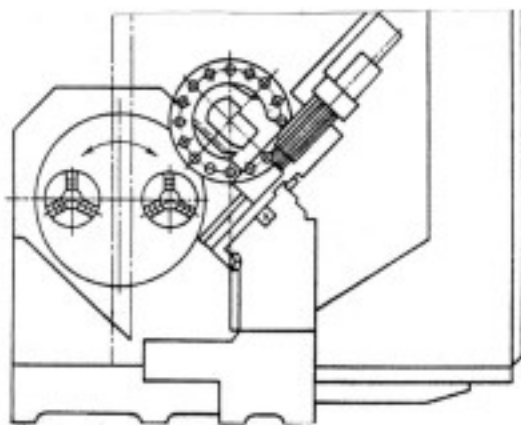


Рисунок 2.5 – Зміна кулачків за допомогою револьверної головки

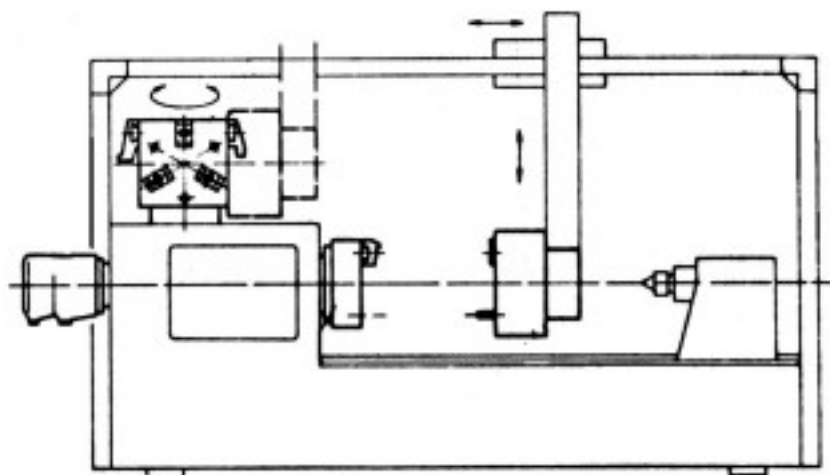


Рисунок 2.6 – Автоматична зміна комплектних наборів кулачків портальним завантажувачем універсального призначення

2.3.2. Автоматичне регулювання положення кулачків

Прикладом конструкції патрона з автоматичною переустановкою кулачків на необхідний діаметр є широкодіапазонний патрон фірми «Gamet» (Франція) з діапазоном затиску заготовок $\Delta D = 40$ (50...90) мм. Для скорочення часу затиску – розтиску хід кулачків обмежується шляхом регулювання об'єму масла, що подається в гідроциліндр.

У клинорейковому ЗП типу 3KGVHNC фірми «Forkardt» швидко переустановлення кулачків здійснюється за допомогою трьох пар косозубих рейок, які взаємодіють з кулачками. Діапазон відхилень заготовок, що затискаються $\Delta D = 7 - 8$ мм.

Зміна затискних елементів.

Фірмою «Forkardt» (ФРН) розроблений комплекс робототехнічних пристроїв, призначених для автоматичної зміни кулачків у токарних патронах (рис. 2.7).

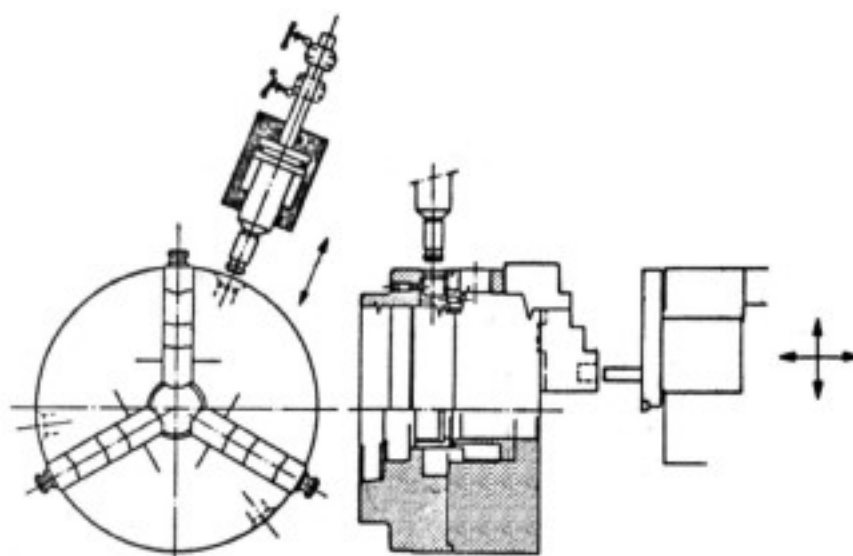


Рисунок 2.7 – Робототехнічний пристрій для автоматичної зміни кулачків у токарних патронах

Фірма «ROHM» розробила пристрій одночасної зміни 3-х затискних кулачків для токарних патронів типу KFD-HS [15] (рис. 2.8), що складається з магазину й автооператора з поворотною 2-х позиційною касетою. Автооператор переміщає касету до ЗП, штирі касети надавлюють

на зубчасті штирі патрона, які й розфіксують кулачки. Потім автооператор відводить касету, повертає її на 180 град., переміщає нові кулачки до патрона.

Фірма «SMW» розробила пристрій зміни затискних кулачків токарних патронів. Змінні кулачки базуються на основних кулачках. З'єднання основного кулачка зі змінною касетою здійснюється за допомогою введення фіксатора в отвір змінної касети, при чому даний фіксатор не сприймає ніякі сили від моменту обертання, а всього лише масу кулачків. Для здійснення автоматичної зміни змінні касети, разом із затискними вставками, установлені на супутники. Підведення й відвід супутників здійснюється за допомогою завантажувального захвата або іншого завантажувально-транспортного пристрою. До задньої частини супутника приєднується змінний пасок, що відповідає розмірам оброблюваного виробу. Таким чином, завантажувальний захват може зробити транспортування супутників без переналагодження.

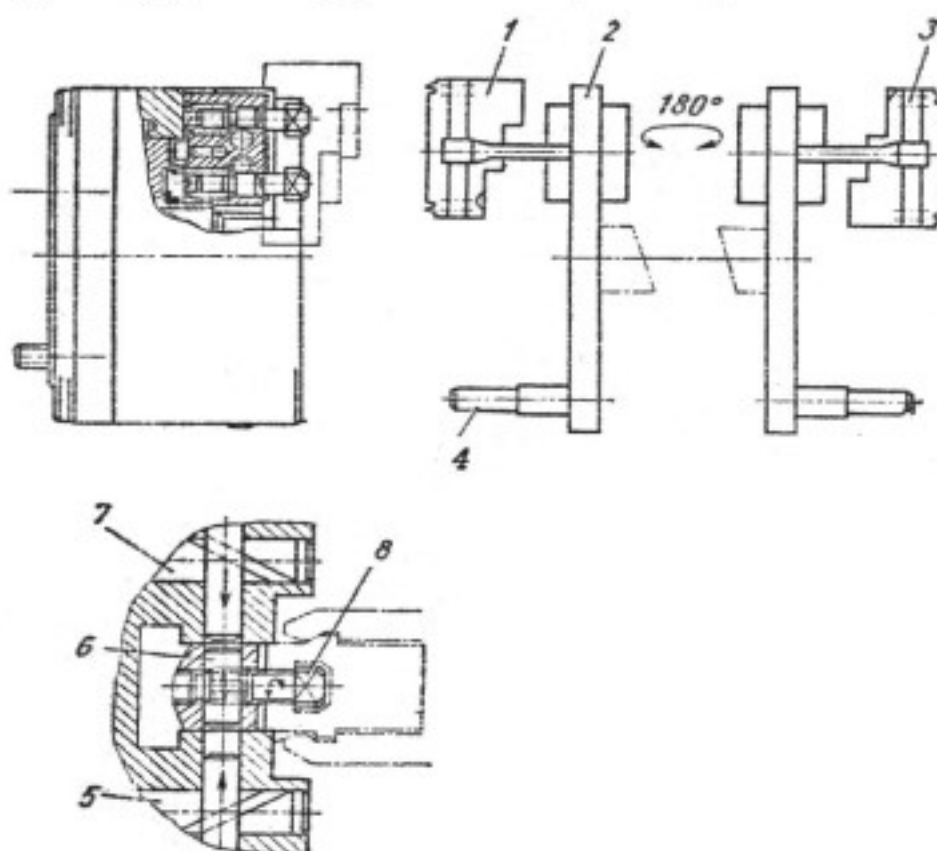


Рисунок 2.8 – Пристрій одночасної зміни 3-х затискних кулачків для токарних патронів

Для окремих розмірів ЗП виконані по чотири змінних касети для внутрішнього й зовнішнього затискача на кожний патрон. Касети служать для установки змінних незагартованих або загартованих затискних вставок. Змінні касети оснащені канавкою для базування головки грибка. Базування касети здійснюється в ніжці грибоподібної насадки. Точність обертання й стабільність відтворення змінних касет визначаються точністю прилягання радіусів у ніжки грибка й точністю торцевого прилягання до потиличної канавки головки грибка. Виникаючі під час затискача перекидаючі моменти сприймаються щодо великою поверхнею контакту головки грибка з канавкою змінної касети. Для сприйняття моменту обертання й для центрування бічних поверхонь у напрямку обертання змінні касети встановлюються на напрямні для кулачків, розташовані на затискному патроні. Система автоматичної зміни кулачків типу AWKS підходить майже до всіх типів затискних патронів [16].

Фірма «BERG» розробила патрони типу KHW із пристроєм зміни затискних кулачків за допомогою касети, яка переміщується до верстата автооператора ПР [17]. Патрон повертається, кулачки касети вводяться в кільцеві Т-подібні пази основних кулачків, при цьому їх штирі втоплюються гідроприводом. Після повороту ЗП у необхідне положення штирі основних кулачків висуваються й входять в отвори змінних кулачків фіксують їх. У пристрої для автоматичної зміни кулачків на станині верстата встановлений магазин, що займає два положення: положення зміни кулачків і положення очікування [18].

ПАЗЗЕ має механізм затиску з регульованими кулачками й три фіксатори. Його переміщують за допомогою робота в сполучене з кулачками патрона положення й одночасно захоплюють механізмом затискача фіксатори. Потім планки відводять назад і шляхом відносного переміщення взад-уперед фіксаторів і планок знімають фіксатори зі штифтів. Інше пристосування із заздалегідь установленими змінними фіксаторами переміщують за допомогою робота в положення зміни

кулачків і одночасно встановлюють у зворотному порядку фіксатори в планках. На корпусі в задній частині прикріплений захват для робота й три колінчатих важелі, розташованих рівномірно по колу; пружини, встановлені в корпусі й важелі, що підтискають, у замкнуте положення].

Пристрій для зміни кулачків ЗП містить затискні патрони з пазами для закріплення кулачків, магазин кулачків і механізм їх переміщення. Магазин виконаний поздовжнім і має пази для кулачків. Тримач має напрямний паз для втримання магазину. Передбачено механізм повороту важеля для напрямку тримача в позицію зміни магазину або в позицію зміни кулачків [20].

Пристрій швидкої зміни затискних кулачків має елементи кріплення кулачка для внутрішнього затиску деталі або кулачка для зовнішнього затиску деталі. Опора кулачка має дві частини для кулачків, опорні поверхні нахилені відповідно на два різних кути, ці поверхні взаємодіють у позиції закріплення з опорними поверхнями кулачків. Один з кінців елемента має сторону, нахилену на кут α , а інша сторона нахилена на кут β . Сторони взаємодіють у позиції закріплення з відповідною опорною поверхнею кулачків [21].

Для змінних кулачків у ЗП можна використовувати пристрій для зміни різального інструменту. ЗП із кулачками, які можна легко витягати, встановлюють на передньому кінці шпинделя, що може періодично повертатися на однакові кути. У магазині разом з різальними інструментами встановлений тримач кулачків ЗП. У тримачі розташований один повний комплект кулачків для патрона. Кулачки встановлені в тримачі в ряд так, щоб була забезпечена почергова їх зміна при періодичному повороті патрона на рівні кути. Завдяки переміщенню головки й повороту патрона при роботі схеми ЧПК виконують автоматичну зміну кулачків між тримачем і патроном [22].

Пристрій автоматичної зміни кулачків ЗП здійснює зміну кулачків за допомогою супутників. Він має пружні сполучні елементи між

основними й змінними кулачками й стопорні елементи, що запобігають осьовому переміщенню змінних кулачків [23].

У пристосуванні для зміни затискних кулачків ЗП із геометричним замиканням постійні й змінні кулачки з'єднані між собою за допомогою гвинтів з гострозубчатим зачепленням. Передбачено пази, які повернені до кулачків, виконані образно для прийому сухарів, які в пазах підпираються в напрямку назустріч губкам, що перебувають у зачепленні в пазах. Губки несуть анкер, що виступає в паз. Анкерна головка орієнтована своїми клиновими поверхнями в радіальному напрямку. Кожний сухар прилягає до поверхонь головки. Гвинти проходять у радіальному розміщенні головку в отворах і закріплюють сухарі через головку один напроти іншого [15].

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАЗЗЕ

3.1. Експериментальний стенд для дослідження надійності і точності ПАЗЗЕ

Для дослідження точності позиціонування ПАЗЗЕ, установки й точності ЗЦ у конус шпинделя розроблено експериментальний лабораторний стенд-макет верстатного модуля. До складу лабораторного стенда верстатного модуля (рис. 3.1) входять: 1- макет токарного автомата у вигляді шпиндельного вузла, промисловий робот (ПР) типу "Бриг-10Б" для зміни ЗЦ і магазин-накопичувач (МН) у вигляді поворотного стола-накопичувача для ЗЦ і заготовок.

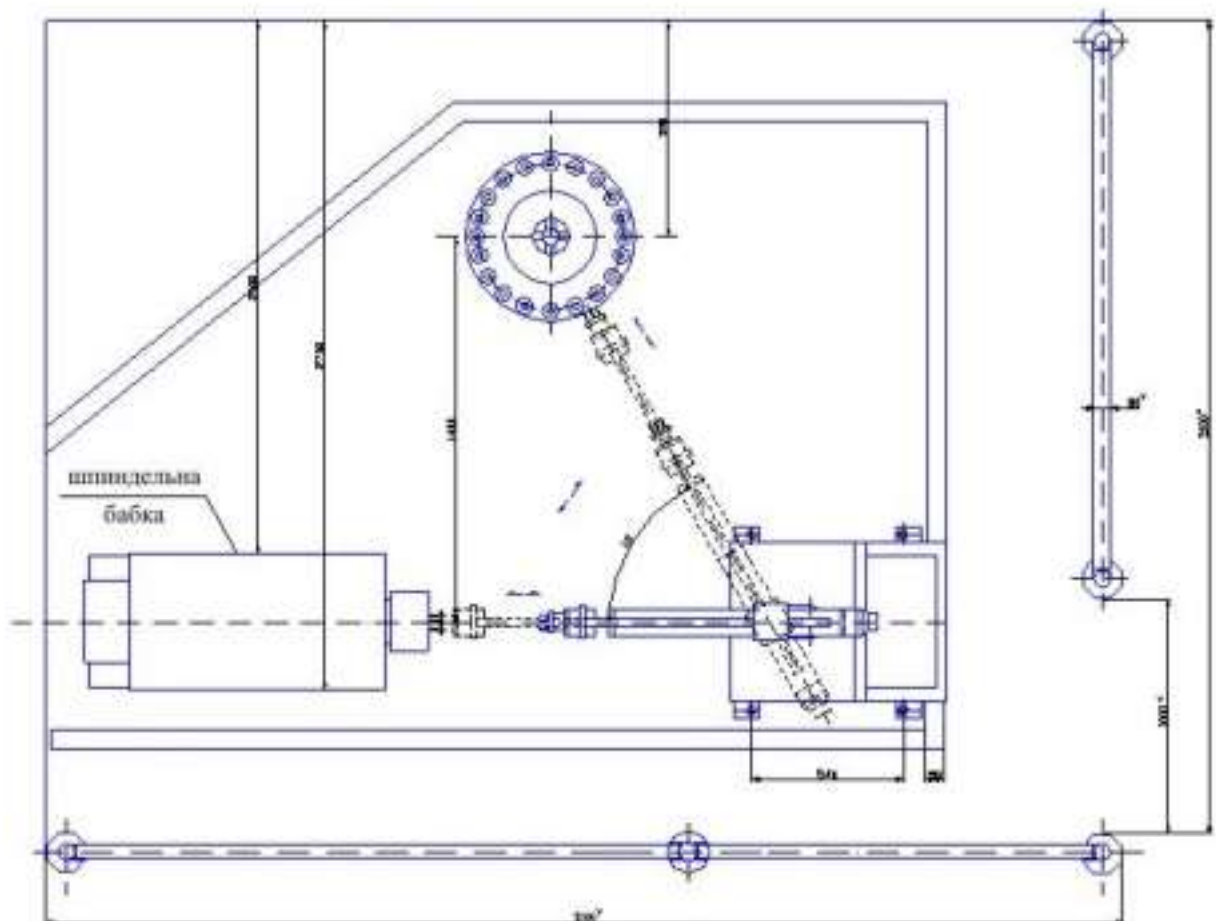


Рисунок 3.1 – Загальний вид лабораторного стенда-макета верстатного модуля

Шпиндельний вузол виконує в макеті ВМ роль елемента токарного верстата з ЧПК. Конструкція шпиндельного вузла передбачає його автоматичне завантаження-розвантаження за допомогою ПР змінними ЗЦ і штучними заготовками з поворотного МН.

Шпиндельний вузол з обертовим гідравлічним циліндром затиску - розтиску (рис. 3.2) змонтований на двох шпиндельних опорах кочення 1 і 6, встановлених у корпусах.

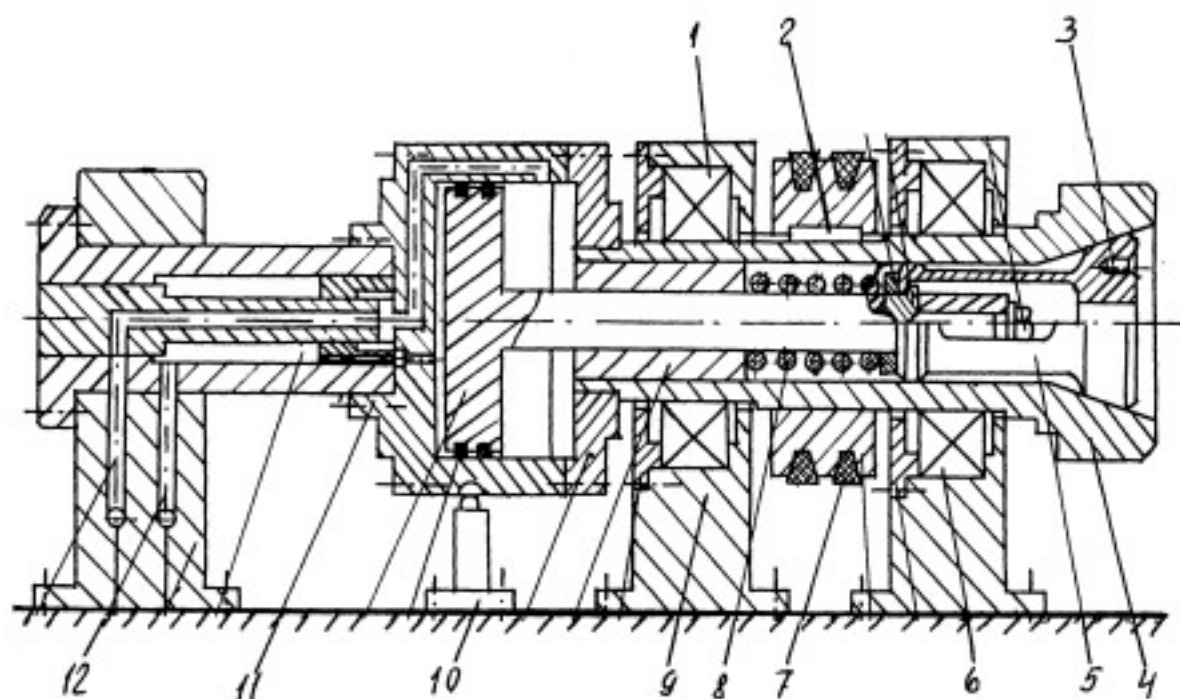


Рисунок 3.2 – Загальний вид шпиндельного вузла для дослідження точності установки й базування ЗЦ у конус шпинделя

Обертовий рух від приводу макета ВМ - двигуна постійного струму передається на шпиндель 4 клинопасовою передачею 8 через шків 7, що за допомогою шпонки обертає шпиндель 4. Кутова фіксація для автоматичної зміни цанги досягається за рахунок спеціального фіксатора 10. Затиск і розтиск цанги відбувається за допомогою гідравлічного циліндра приводу затиску від багатошпиндельного напівавтомата 11, за допомогою шплінта, що взаємодіє з байонетним замком на торці цанги. Замок кріпиться до поршня гідравлічного циліндра гвинтом. Гідравлічний циліндр складається

з корпусу кришки, на торцях поршня 11 містяться чавунні ущільнювальні кільця. Підведення масла до гідравлічного циліндра здійснюється за допомогою маслопідводячої втулки 12 по каналах. Затискна цанга 5 розміщена в кінчно розточеному корпусі шпинделя 4 і втримується в замку за допомогою пружини 9 і шайби, встановленої на штоку між втулкою й торцем цанги.

3.2. Застосування промислових роботів для заміни патронів

ПР "Бриг-1ПРО Б" призначений для автоматизації допоміжних технологічних операцій: завантаження, вивантаження, установки, зняття заготовок і деталей з технологічного обладнання, що обслуговується, при механічній обробці, пресуванні, штампуванні й т. ін. в умовах цеху при температурі навколишнього середовища 10-40 градусів і відносній вологості до 80%. Короткий опис ПР "Бриг-10/Б":

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. Кількість ступенів вільності | 5 |
| 2. Число точок останову при повороті руки | 3 |
| при всіх інших переміщеннях | 2 |
| 3. Вантажопідйомність руки робота з врахуванням маси механізмів кисті, кг | 10 |
| 4. Точність позиціювання, мм | 0,5 |
| 5. Тиск повітря, МПа | 0,4 |
| 6. Лінійне переміщення руки, мм по вертикалі | 300 |
| по горизонталі | 600 |
| 7. Найбільша лінійна швидкість переміщення руки без вантажу, мм/з по вертикалі | 300 |
| по горизонталі | 600 |
| 8. Пульт керування | електронний |
| 9. Програмоносій | штекерна панель |

ПР складається з механічної руки, яка пов'язана з основою, за допомогою механізму підйому й повороту. До руки кріпиться кисть, що складається з повзуну, механізму повороту кисті й привода охвату. Повзун призначений для здійснення поперечних переміщень кисті, необхідних, наприклад, при завантаженні деталі в конус шпинделя або для зняття цанги. На робочому місці робот кріпиться болтами. Всі виконавчі органи ПР - пневматичні циліндри, що спрацьовують у заданій послідовності від електроповітророзподільвачів по командах, які програмуються на штекерній панелі пульта керування.

Стіл поворотний служить накопичувачем заготовок і цанг для промислового робота. Платформа стола 5 (рис. 3.3.) вільно надіта на вісь корпусу 3 і за допомогою храпового механізму 2 пов'язана із приводом 4 [59]. Привод – лінійний пневмоциліндр двонаправленої дії. Один повний рух привода відповідає робочому кроку платформи. Заготовки 7 установлені в спеціальні касети 6, які можуть швидко взаємомінятися, а ЗЦ 8 вставлені в спеціальних гніздах 1, установлених нижче платформи.

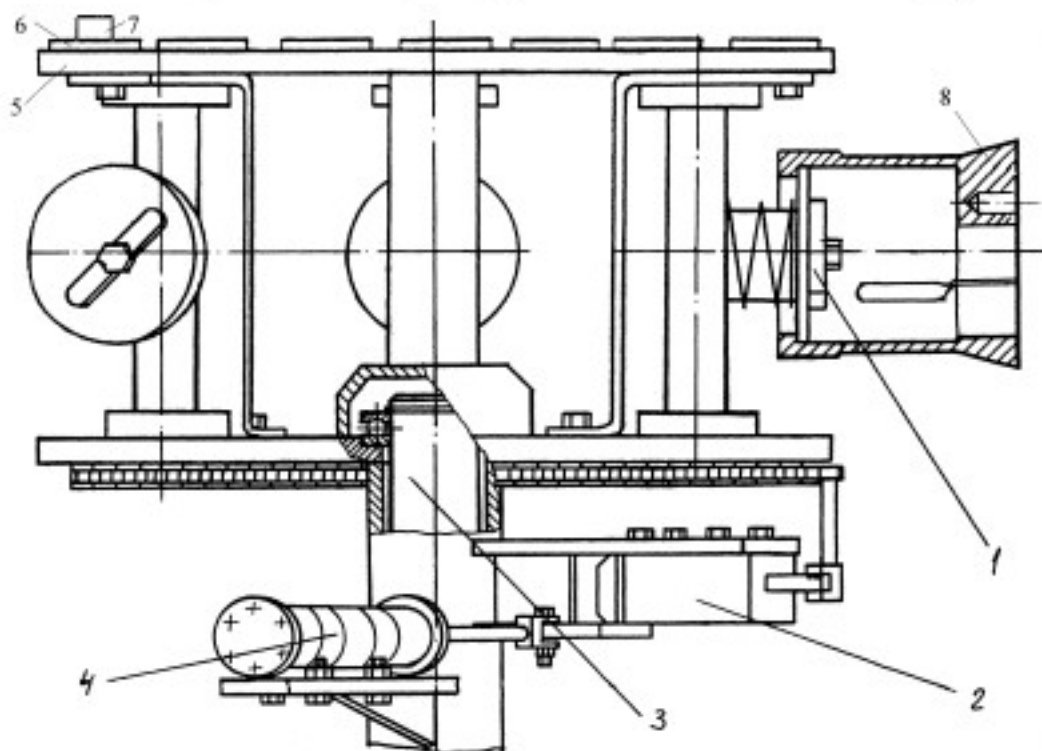
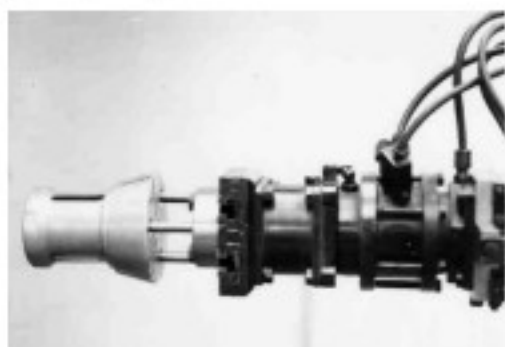


Рисунок 3.3. – Стіл поворотний з накопичувачем заготовок і цанг для промислового робота

Технічні характеристики стола:

| | |
|-----------------------------------|----------|
| 1. Тиск повітря, Мпа | 0,4 |
| 2. Вантажопідйомність, кг | 500 |
| 3. Висота платформи стола, мм | 150-1100 |
| 4. Регулювання висоти гвинтом, мм | 200 |
| 5. Кількість позицій | 20. |

Автоматично змінювані ЗЦ мають свою оригінальну конструкцію, що відрізняється від звичайних ЗЦ тем, що вони мають на передніх торцях 3 отвори, які взаємодіють із трьома пальцями схвата ПР, а на задніх торцях виконані поздовжні пази, які взаємодіють зі шплінтом, виконаним на штоку гідравлічного циліндра й у гніздах у поворотному столі МН, з метою закріплення й автоматичної зміни ЗЦ. Автоматична зміна цанг здійснюється в такий спосіб. Після взаємодії пальців охвату ПР із отворами на передніх торцях ЗЦ, схват повертається навколо своєї осі на 90 градусів так, що поздовжні пази збігаються з виступами шплінта гнізда, тоді втягується рука ПР назад і повертається у бік шпинделя, потім рука ПР рухається вперед, поки поздовжні пази ЗЦ не ввійдуть у зачеплення з виступами шплінта штока гідравлічного циліндра. Потім схват повертається на 90 градусів, розтискається й здійснюється втягування руки назад. Розміщення ЗЦ на схваті ПР показано на рис. 3.4 а), а на МН - на рис. 3.4 б).



а)



б)

Рисунок 3.4 – Загальний вигляд: а) - ПР зі змінною ПЦ; б) магазина-накопичувача зі змінними ЗЦ

3.3. Методика експериментального дослідження надійності установки ЗЕ за допомогою ПАЗЗЕ

Метою досліджень є виявлення точності й повторюваності позиціонування та орієнтації ПАЗЗЕ з використанням ПР «Бриг-10» із цикловою системою керування.

Основними технічними параметрами відповідно до держстандарту 4.480-87 «Система відображення показників якості продукції. Роботи промислові. Номенклатура основних показників», параметрами, які підлягають перевірці для ПР є:

геометричні (робочий простір ПР, геометрична похибка, повторювана похибка позиціонування, відтворена похибка позиціонування, похибка позиціонування по траєкторії, похибка закруглення й надлишкового руху по траєкторії, похибка кругової траєкторії, похибка запису положення);

кінематичні (час руху, максимальна швидкість по осях, максимальна швидкість інтегрована, середня швидкість по осях, середня швидкість по траєкторії, мінімальна швидкість по траєкторії, максимальне прискорення по осях, максимальне прискорення по траєкторії);

динамічні (амплітудно-часові залежності, власна частота, максимальна частота коливань, час загасання коливань, коефіцієнт загасання коливань, резонансна частота), статичні, потужності.

У даній магістерській роботі розглядається методика проведення дослідження геометричних параметрів (а саме: геометрична похибка і повторювана похибка позиціонування). Це пов'язане з тим, що зазначені похибки є складовими похибки установки ЗЕ в патрон.

Для виявлення точності та можливості повторення позиціонування й орієнтації ПР можна використовувати методику так званих контрольних тіл [24]. У цьому випадку в схваті ПР установлюється контрольне тіло у вигляді, наприклад, куба зі строго паралельними й відшліфованими

гранями (рис. 3.5, 3.6). Цей куб треба засунути в спеціальне пристосування в заданому місці робочого простору ПАЗЗЕ. Пристосування складається з 3-х граней, напроти кожної, з яких установлене по два вимірювальних індикатора.

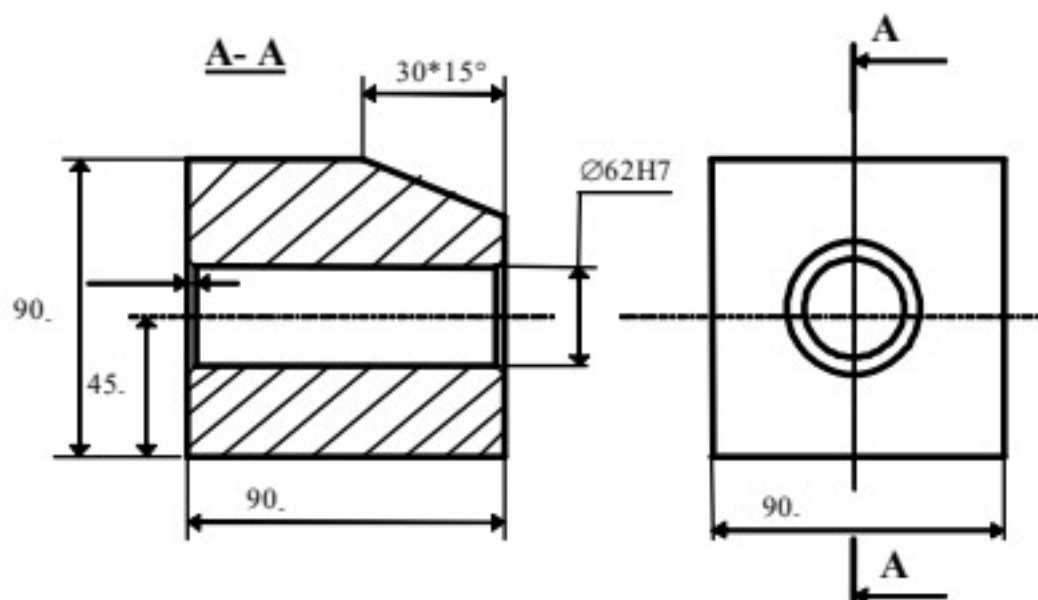


Рисунок 3.5 – Креслення куба для визначення точності та можливості повторюваності позиціонування

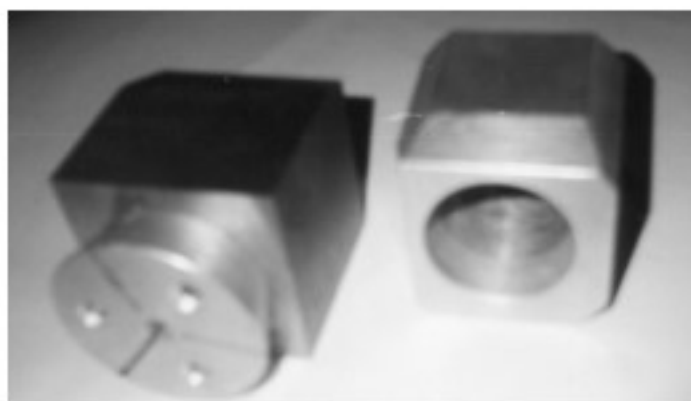


Рисунок 3.6 – Фото кубів зі сталі й алюмінію для визначення точності й повторюваності позиціонування

Порядок проведення випробувань. Складається програма переміщення руки ПР, що входить до складу ПАЗЗЕ, по кожній ступені вільності в позитивному й негативному напрямках і виконується переміщення в автоматичному режимі. Встановлюється перевірна плита

на станину макета верстатного модуля, на ній закріплюється магнітна стійка, встановлюється довгоходовий індикатор годинникового типу в зоні досягнення контрольного штифта, встановленого в схваті ПР, на лінії осі шпинделя. Цикл руху руки робота задається згідно тавтограми, він передбачає:

- імітація захвата ЗЦ із магазина - накопичувача;
- переміщення руки;
- поворот руки проти годинникової стрілки;
- установка ЗЦ у шпиндель;
- повернення руки робота у вихідне положення;
- поворот руки за годинниковою стрілкою.

3.4 Вимірювання повторюваності й точності позиціонування

Запускаючи програму переміщення руки (схвата) ПР по 6 - 7 циклів послідовно по кожній координаті, можна провести необхідні виміри переміщення руки; при повороті руки проти годинникової стрілки й при її поздовжнім переміщенні.

По кожній координаті визначимо при підведенні праворуч і ліворуч до точки позиціонування виконаємо не менше ніж по 6-7 вимірів з кожної сторони підходу. Визначається середнє одностороннє відхилення праворуч і ліворуч по формулах:

$$\bar{x}_n = \frac{\sum x_n}{n}; \quad \bar{x}_l = \frac{\sum x_l}{n},$$

де n – число вимірів

Зона нечутливості при позиціонуванні руки ПАЗЗЕ:

$$B = \bar{x}_n - \bar{x}_l \quad (3.1)$$

Розмах відхилень при підведенні праворуч: $W_n = x_{n \max} - x_{n \min}$ і

ліворуч: $W_l = x_{l \max} - x_{l \min}$.

Середнє квадратичне відхилення σ при позиціюванні праворуч:

$$\sigma_n = \sqrt{\sum (x_n - \bar{x}_n)^2} \quad \text{і} \quad \text{ліворуч:} \quad \sigma_s = \sqrt{\sum (x_s - \bar{x}_s)^2}. \quad \text{Повторюваність}$$

позиціювання (поле розсіювання) праворуч: $B = 6\sigma_n$ і ліворуч: $B = 6\sigma_s$.

Середнє значення зони нечутливості: $\bar{B} = |B_n| + |B_s|$.

Точність позиціювання схвату ПАЗЗЕ:

$$A = \pm \left\{ \left| \bar{x}_{\max} + 3\sigma_n \right| - \left| \bar{x}_{\min} - 3\sigma_s \right| \right\} \quad (3.2)$$

Схема виміру точності й повторюваності позиціювання схвата робота з маніпулюванням ЗЕ (ЗЦ) наведена на мал. 3.7.

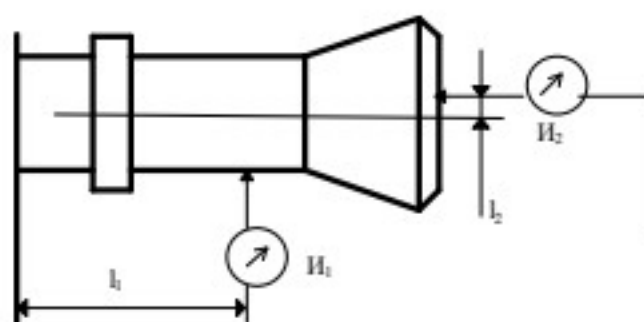


Рисунок 3.7 – Схема виміру точності й повторюваності позиціювання ПАЗЗЕ: l_1 і l_2 - координати розташування індикаторів для вимірів

За результатами вимірів будуються гістограми або полігони з подальшим вирівнюванням по теоретичній кривій розподілу й перевіркою збіжності по одному із критеріїв (Колмогорова, Пірсона або ін.).

Для визначення точності і можливості повторюваності позиціонування ПАЗЗЕ при зміні ЗЦ застосовується схема вимірів у статиці з використанням контрольних тіл. На фланці останньої ланки ПАЗЗЕ закріплене контрольне тіло у вигляді куба з відшліфованими строго паралельно-перпендикулярними гранями. Цей куб засовували у встановлене задане місце робочого простору ПАЗЗЕ. Вимірювальний пристрій виконаний з індикаторів годинного типу, установлених таким чином, що вони утворюють куб, перетворений у тригранник вилученням

трьох граней. На кожній грані встановлено по два індикатора годинного типу із щупами (рис. 3.8). Всі індикатори утворять три взаємно перпендикулярні площини. При підведенні куба до вимірювального пристрою вимірюються покази всіх шести індикаторів.

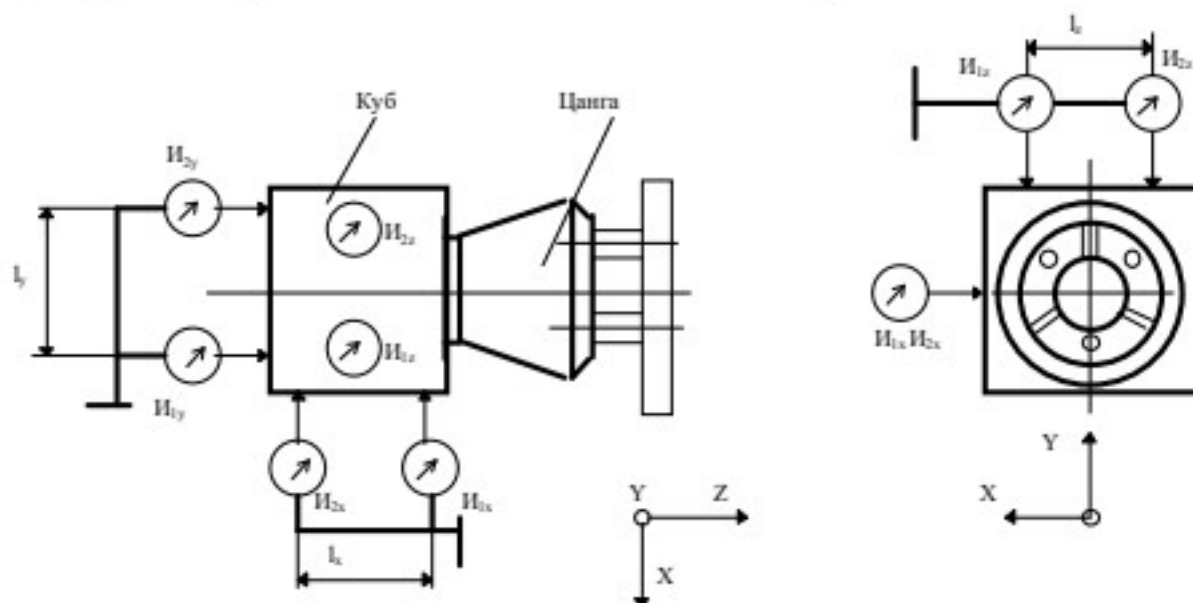


Рисунок 3.8 – Схема виміру точності й повторюваності позиціонування ПАЗЗЕ при зміні цанг

Відстань між індикаторами на гранях x, y, z, рівні $l_x=40$ мм, $l_y=35$ мм, $l_z = 75$ мм.

Щупи всіх індикаторів, розташованих на одній грані, можуть переміщатися тільки в одному фіксованому напрямку. Всі ці фіксовані напрямки є взаємно перпендикулярними, тому для кожного із шести індикаторів відомі дві координати що незмінюються, у системі координат, пов'язаної з вимірювальним пристроєм. При зіткненні з контрольним тілом кожного із шести індикаторів реєструється третя координата й, у такий спосіб визначаються всі три координати кожної із шести точок, що відповідають вимірювальним штифтам індикаторів.

Для контрольного тіла в системі координат пристрою координати точок A_1, A_2 , що збігаються із точками I_{1x} і I_{2x} індикаторів, будуть:

$$A_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}; \quad A_2 = \begin{bmatrix} x_{21} \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix};$$

Рівняння площини яка простягається по точках A_1, A_2 , що збігаються із точками I_{1x} і I_{2x} буде:

$$r = \begin{vmatrix} x & y & z \\ x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \end{vmatrix}$$

Аналогічно записуються координат точок A_3, A_4, A_5 , і A_6 , і записуються рівняння площин через ці точки. Вирішуючи систему із трьома невідомими x, y, z , можна однозначно визначити положення характеристичної точки ПАЗЗЕ в тривимірному просторі, що буде:

$$r = \begin{cases} r_1 = 0 \\ r_2 = 0 \\ r_3 = 0 \end{cases}$$

Фізично ця точка являє собою місце перетину трьох взаємно перпендикулярних площин. Для визначення орієнтації куба визначають координати векторів нормалі до кожної із трьох граней куба, що входять у зіткнення з індикаторами.

Рівняння трьох взаємно перпендикулярних площин:

$$\begin{cases} AX + BY + C = 0 \\ A_1X + B_1Y + C_1Z = 0 \\ A_2X + B_2Y + C_2Z = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} AA_1 + BB_1 + CC_1 = 0 \\ A_1A_2 + B_1B_2 + C_1C_2 = 0 \end{cases}$$

де $A, B, C, A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2 = const$.

Для визначення точності позиціювання визначена статична жорсткість руки пристрою при максимальному й мініимальному значеннях вильоту. Схема виміру наведена на рис. 3.9 а). Переміщення руки пристрою в статиці під дією вантажів контролювалося індикаторами I_1 і I_2 . Показання індикаторів заносяться в таблицю.

Виміри виконувалися для двох положень руки: висунутої на відстань установки цанги в шпindel і втягнутої в корпус. Для цього, до руки через легкий трос на блоці в спеціальному кошику, масою 2.5 кг підвішувалися вантажі, починаючи з 1 кг до 22 кг. Виміри слід проводити триразово для кожного положення з визначення середнього значення.

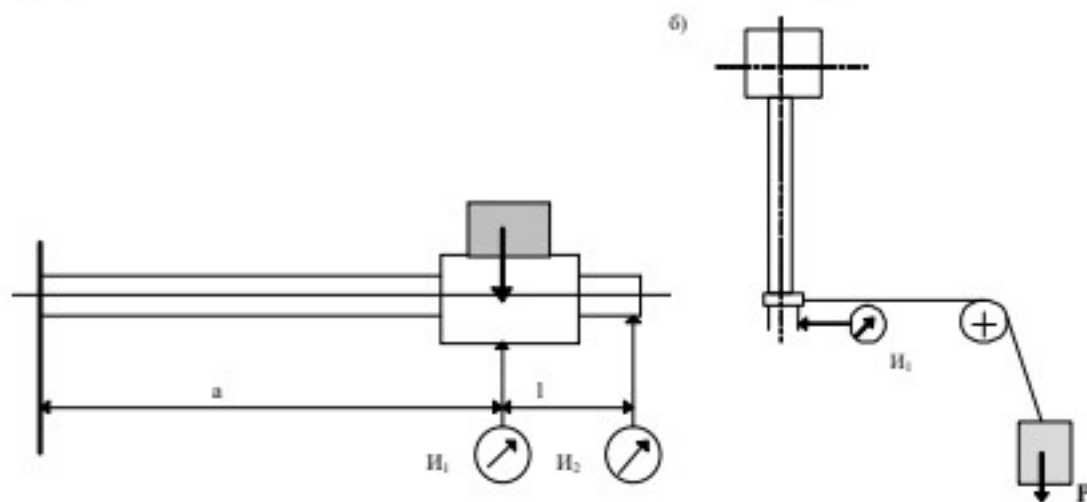


Рисунок 3.9 – Схема визначення статичної жорсткості руки пристроєм у вертикальній (а) і горизонтальній (б) площинах

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ПАЗЗЕ

4.1. Принципи створення ПАЗЗЕ із застосуванням системного підходу

В умовах великої кількості конструктивного різноманіття ПАЗЗЕ й відсутності чіткої систематизації і можливості прогнозування їх розвитку на передній план висувається завдання встановлення закономірностей розвитку й розробка системних процедур і методів пошуку нових конструктивних технічних рішень ПАЗЗЕ. Ці системні процедури представляють собою сукупність спеціалізованих і взаємозалежних дій, що відображають логіку й послідовність проектування ПАЗЗЕ. Використання цих процедур спрямовані на підвищення якості прийнятих проектних рішень, скорочення трудових і часових витрат на виконання проектних робіт і створення методологічних основ пошукового проектування цих пристроїв. Основна кількість робіт із цієї тематики поверхово стосується методики проектування ПАЗЗЕ для верстатів.

Зараз конструювання ПАЗЗЕ часто зводиться до модернізації існуючих конструкцій шляхом заміни окремих елементів і вузлів, що в незначній мірі позначається на техніко-економічних показниках. У сучасних умовах різко зросла потреба в нових, більш прогресивних методах пошуку нових конструкторських рішень.

Розглянемо процес синтезу ПАЗЗЕ для токарних верстатних модулів. У загальному циклі роботи верстата з ЧПК важливу роль грає тривалість допоміжних рухів, що впливає на продуктивність, точність. При розробці нових конструкцій ПАЗЗЕ застосований системно-морфологічний підхід [8, 43]. Основними критеріями при створенні й відборі конструкцій обрано точність установки й швидкодія. Однак внаслідок скорочення часу допоміжних рухів збільшуються динамічні навантаження, знижується точність. Крім того, час допоміжних рухів залежить від конструктивних особливостей механізмів і пристроїв зміни затискних елементів, умов їх

виготовлення й експлуатації.

Допоміжні рухи автоматичного маніпулювання затискними елементами виконуються по типовому циклі: зняття натягу (розфіксація) - переміщення об'єкта з одного положення в інше - останов (базування). Пошук нових технічних рішень ПАЗЗЕ можна представити у вигляді послідовності виконуваних процедур. На першому етапі здійснюється вибір вимог до проєктованого пристрою, які повинні відбивати бажані функціональні можливості й конструктивне оформлення пристрою. На другому етапі вибираються функції, які характерні для проєктованих ПАЗЗЕ. Для цього досліджуваній пристрій розбивається на ієрархічні рівні, з використанням принципу декомпозиції. На третьому етапі генерується множина можливих нових конструктивних технічних рішень ПАЗЗЕ. На четвертому етапі здійснюється вибір показників оцінки ефективності ПАЗЗЕ. Однак оцінка ефективності єдиним інтегральним показником є важкою задачею. Тому ефективність ПАЗЗЕ слід оцінювати сукупністю часткових показників. На п'ятому етапі виробляється вибір раціонального рішення.

У сучасних умовах різко зросли вимоги не до окремих техніко-економічних характеристик ПАЗЗЕ, а до їх ефективності, яка може бути підвищена наступними шляхами:

- виявленням схованих функціональних можливостей існуючих ПАЗЗЕ;
- створення принципово нових технологій, пристроїв і механізмів, що одночасно збільшують швидкодю, точність, надійність і енерговитрати;
- спрощення конструкцій і систем керування.

Рішення цих завдань вимагає пошукового конструювання.

Зараз відомо більше 300 методів пошукового конструювання, які можна розбити на 2 групи: із традиційним та з функціональним підходом до проєктованого об'єкта. При традиційному підході до конструювання жорстко регламентовані вихідні дані (число ступенів вільності, швидкодія,

точність і ін.). При функціональному – здійснюється окреме проектування механічної, гідравлічної й електронної частин ПАЗЗЕ.

Аналіз існуючих методів пошукового конструювання й спроби їх класифікувати, з метою виявлення ознак технічних рішень, утруднені через велике число нерідко взаємовиключних методів, різних інтерпретацій як самих методів, так і їх назв. Функціональний підхід до розглянутої проблеми спрощує її вирішення (рис. 4.1.).

Аналіз методів одержання технічного рішення з функціональним підходом до розглянутої проблеми показує, що відомі методи пошукового конструювання засновані на дослідженні самого об'єкта, його функцій або структури. При цьому необхідно мати на увазі область застосування майбутнього ПАЗЗЕ, а також можливість взаємозв'язку його елементів і функцій. З обліком прийнятих у методах трансформації структури визначень елементів і взаємозв'язків область застосування ПАЗЗЕ:

$$O \in [\{E_i\} \wedge \{U_E\} \wedge \{U_C\}] \vee [\{\Phi_i\} \vee \{U_{tm}\} \wedge \{U_C\}], \quad (4.1)$$

де E_i і Φ_i - елементи ПАЗЗЕ і його функції;

U_C - взаємозв'язки ПАЗЗЕ із зовнішнім середовищем.

Отже при створенні ПАЗЗЕ методом пошукового конструювання виявляються його взаємозв'язки й область застосування, привівши які у відповідність, можна одержати нове технічне рішення. Тоді опис конструкцій і компоновок ПАЗЗЕ і його функцій можна представити як:

$$E_{\Sigma} \in \{E_i\} \wedge \{U_C\}, \quad (4.2)$$

$$\Phi_{\Sigma} \in \{\Phi\} \wedge \{U_{tm}\}, \quad (4.3)$$

Традиційне конструювання починають зі складання або уточнення опису потреби (П), що ототожнюється з функцією об'єкта. Тоді

$$P \in \{P_i\} \wedge \{U\} \quad (4.4)$$

$$O \in \{P_i\} \wedge \{U\} \wedge \{U_C\} \quad (4.5)$$

де P_i - елементи потреби, U_n - взаємозв'язку елементів потреби.

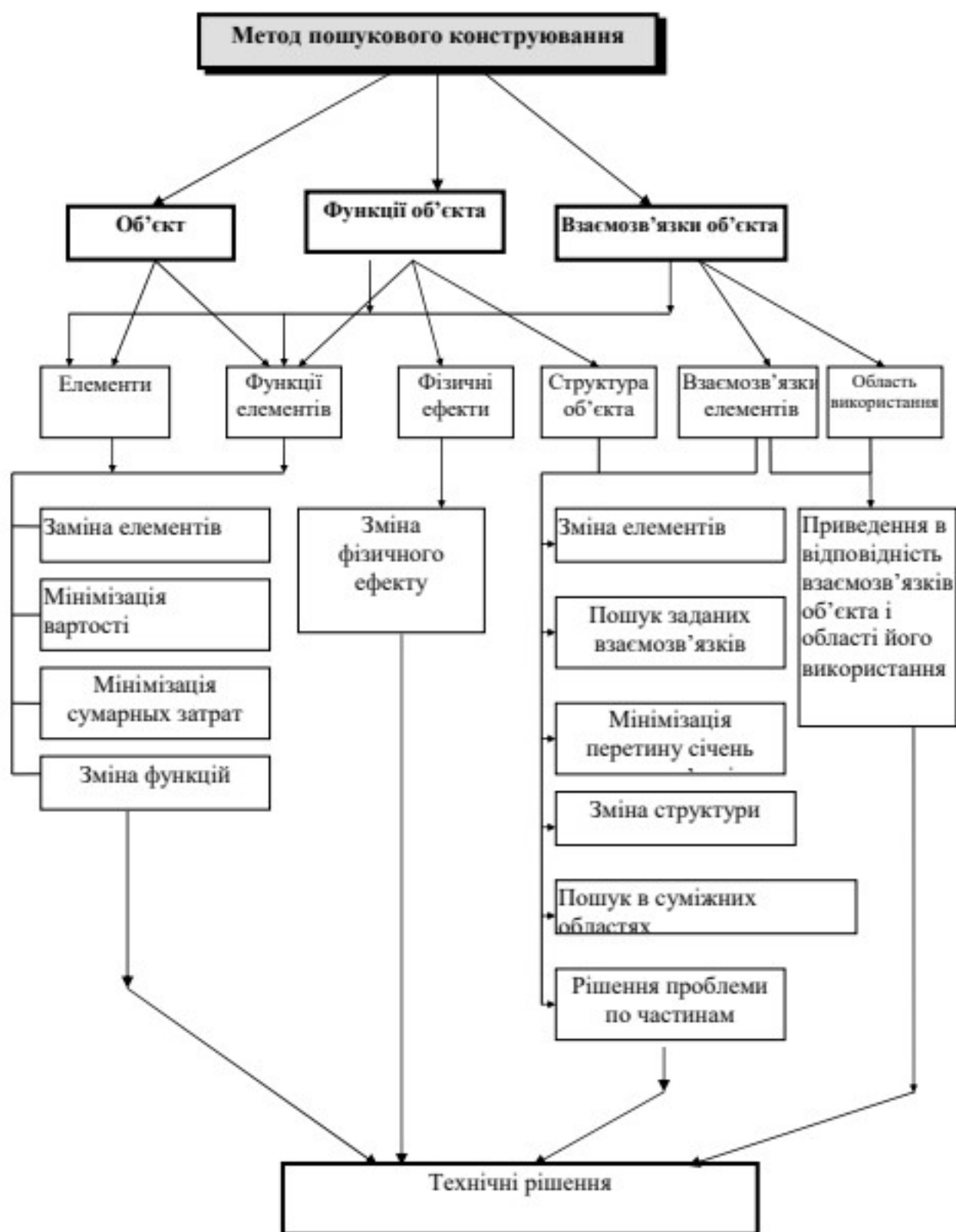


Рисунок 4.1 – Можливі шляхи розробки технічних рішень при використанні методу пошукового конструювання з функціональним підходом до елементів ПАЗЗЕ і його функцій

При цьому не досліджується на надмірність потреб в обраній області застосування, (з погляду мінімізації числа елементів потреб і їх взаємозв'язку), а також сам об'єкт, його можливості й надмірність функцій і функціональних зв'язків, необхідних для виконання заданої потреби. Область застосування, використовувана споживачем:

$$O' \in [\{E_i\} \wedge \{U'_E\} \wedge \{U'_c\}] \vee [\{\Phi_{ii}\} \wedge \{U'_\phi\} \wedge \{U'_c\}] \quad (4.6)$$

де U'_E, U'_ϕ, U'_c - використовувані споживачем взаємозв'язку відповідно елементів ПАЗЗЕ, його функцій і об'єкта (ПАЗЗЕ) із зовнішнім середовищем.

Можлива область, застосування, використовувана споживачем, визначається його функціонально - фізичними взаємозв'язками, а реальна - тими взаємозв'язками, які реалізується при використанні ПАЗЗЕ на конкретному верстаті з ЧПК. Дослідивши ПАЗЗЕ й виявивши надлишкові зв'язки, можна або забрати їх, або використовувати, розширивши тим самим область застосування й технічні можливості ПАЗЗЕ.

Розширення області застосування відомого рішення ПАЗЗЕ є необхідною умовою для одержання нового технічного рішення, а достатнім воно стане тоді, коли будуть реалізовані необхідні функціонально-фізичні зв'язки.

Метод пошукового конструювання ПАЗЗЕ є інваріантним і може бути застосований при проектуванні пристроїв і агрегатів різного службового призначення. Цей підхід лише концептуально систематизує процедуру пошукового конструювання, не даючи детального роз'яснення методики проектування ПАЗЗЕ, що є її недоліком.

Розглянемо, як здійснити орієнтацію захвата ПАЗЗЕ в просторі. У відомих пристроях це забезпечується переміщенням рухомих ланок механічної руки. Певному положенню ланок відповідає певне положення захвата в просторі.

Для пошуку нових конструкцій і компоновок ПАЗЗЕ доцільно

застосовувати системні методи пошукового конструювання нових технічних рішень. При синтезі технічних рішень і компоновань ПАЗЗЕ ефективним методом, що дає велику кількість рішень, є метод морфологічного аналізу й синтезу. Метод заснований на використанні морфології об'єкта. Суть методу морфологічного аналізу й синтезу в послідовному переборі всіх сполучень альтернатив основних ознак, що утворюють морфологічну матрицю. У кожній колонці морфологічної матриці може бути як завгодно багато обраних альтернатив залежно від розв'язуваного завдання. З огляду на вимоги до ПАЗЗЕ, вибираємо варіанти сполучень, які визначають конструкцію.

Рекомендується наступний порядок рішення завдання за допомогою методу морфологічного аналізу й синтезу:

- 1) точне формулювання завдання, що описує основні вимоги до об'єкта;
- 2) поділ об'єкта на функціональні елементи шляхом формування переліку всіх морфологічних ознак та вимог до них, тобто усіх ключових характеристик об'єкта, його характеристик, від яких залежить рішення;
- 3) незалежний розгляд всіх елементів і вибір для кожного з них варіантів реалізації;
- 4) аналіз варіантів рішень, одержаних на основі морфологічної матриці з їх ранжуванням та врахуванням вимог значимості;
- 5) використання експертної оцінки або іншого методу неформальних процедур, з вибором 2-3 найбільш раціональних варіантів.

Досліджуємо за допомогою методу морфологічного аналізу можливі способи затиску заготовок у токарному модулі (табл. 4.1.).

При пошуку нових компоновок ПАЗЗЕ виберемо 5 альтернатив:

- 1) спосіб зміни кулачків;
- 2) характеристики патрона;
- 3) характеристика магазину-накопичувача;
- 4) вид затискного елемента;
- 5) виконання верстата.

Таблиця 4.1 Морфологічна матриця способів затиску

| | | |
|------------------------------------------------------|-----|-------------------------------|
| 1.Число затискних елементів | 1.1 | два |
| | 1.2 | три |
| | 1.3 | багатоточковий |
| | 1.4 | багатоточковий багаторядний |
| | 1.5 | охоплення по всьому контуру |
| | 1.6 | один |
| 2.Напрямок прикладання зусилля затиску | 2.1 | зовні |
| | 2.2 | зсередини |
| | 2.3 | по торцю |
| | 2.4 | під кутом |
| | 2.5 | комбінований |
| 3.Діапазон охоплення закріплюваних розмірів | 3.1 | дискретний |
| | 3.2 | безперервний |
| | 3.3 | зі зміною затискних елементів |
| | 3.4 | зі зміною затискних патронів |
| | 3.5 | один діапазон |
| 4. Зміна орієнтації деталі | 4.1 | поворот на 90^0 |
| | 4.2 | поворот на 180^0 |
| | 4.3 | немає |
| 5.Регулювання зусилля затиску | 5.1 | немає |
| | 5.2 | дискретне |
| | 5.3 | безперервне |
| 6. Вид заготовки | 6.1 | штучна |
| | 6.2 | пруток, туба |
| | 6.3 | комбінована |

Для кожної з 5 альтернатив вибираємо варіанти конструктивного виконання й будуємо морфологічну матрицю способів зміни затискних елементів (табл. 4.2.).

Таблиця 4.2. - Морфологічна матриця способів зміни ЗЕ

| | | |
|----------------------------------------------|------|------------------------------------------------------|
| 1.Спосіб зміни кулачків | 1.1 | маніпулятором |
| | 1.2 | ПР |
| | 1.3 | револьверною головкою |
| | 1.4 | вручну |
| | 1.5 | по черзі |
| | 1.6 | комплектом |
| | 1.7 | цілим патроном |
| 2. Характеристики затискного патрона | 2.1 | важільний |
| | 2.2 | клиновий |
| | 2.3 | цанговий для штучних заготовок |
| | 2.4 | цанговий для пруткових заготовок |
| | 2.5 | мембранний |
| | 2.6 | пружний |
| | 2.7 | штоковий |
| | 2.8 | комбінований |
| | 2.9 | з прихватами |
| 3. Виконання верстата | 3.1 | одношпindelний горизонтальний |
| | 3.2 | одношпindelний вертикальний |
| | 3.3. | багатошпindelний |
| 4. Наявність ПР | 4.1 | є |
| | 4.2 | немає |
| 5. Характеристика технічної системи верстата | 5.1 | наявність однієї револьверної головки |
| | 5.2 | наявність двох револьверних головок |
| | 5.3 | наявність однієї револьверної головки і протишпиделя |
| 6. Характеристика магазина-накопичувача | 6.1 | барабанний |
| | 6.2 | кільцевий |
| | 6.3 | дисковий |
| | 6.4 | поздовжній |
| 7. Вид затискного елемента | 7.1 | кулачок |
| | 7.2 | цанга автоматна |
| | 7.3 | цанга для штучних деталей |
| | 7.4 | інше виконання |
| 8. Характеристик привода патрона | 8.1 | гідропривід |
| | 8.2 | пнеumoпривід |
| | 8.3 | механічний |
| | 8.4 | електромеханічний |

Для прикладу візьмемо кілька варіантів сполучень альтернатив:

- 1) схема зміни кулачків автооператором з поздовжнім магазином кулачків;
- 2) з кільцевим магазином кулачків;
- 3) з дисковим магазином кулачків;
- 4) з барабанним магазином кулачків.

Візьмемо з табл. 4.2. кілька варіантів сполучень альтернатив і складемо структурні формули [58]:

1.2 - 2.2 - 3.1 - 4.2 - 5.1 - 6.4 - 7.1 - 8.1 - послідовна зміна кулачків автоматичним маніпулятором з поздовжнього магазину, розміщеного над шпинделем [15];

1.2 - 2.2 - 3.1 - 4.2 - 5.1 - 6.4 - 7.1 - 8.1 - одночасна (паралельна) зміна кулачків ПР із магазину, розміщеного поза верстатом [62];

1.2 - 2.2 - 3.1 - 4.2 - 5.1 - 6.4 - 7.1 - 8.1 - зміна патрона в цілому разом з кулачками ПР із магазину, розміщеного поза верстатом [64].

При синтезі компоновок по різних технологічних схемах повинні бути введені додаткові ознаки, що характеризують об'єкт зміни - ЗЕ й конструктивні вузли ПАЗЗЕ.

При виборі й проектуванні гнучкої системи зміни затискних елементів і цанг треба мати як мінімум три складові системи: інформаційну, енергетичну й кінематичну.

Інформаційна система вирішує завдання визначення діапазону затиску, вибір ЗЕ й контроль зусилля закріплення. Вибір ЗЕ здійснюється в залежності від розмірів деталі, стану поверхні заготовки, положення поверхонь затиску відносно ЗЕ. Якщо ходу встановлених затискних губок недостатньо, то варто використовувати губки з додатковим затискним ходом. Інформаційна система повинна забезпечити вибір такого комплексу губок, що може вирішити завдання з мінімальними втратами часу.

Енергетична система вирішує задачі перетворення електричної, гідравлічної й іншої енергії в механічну. Оскільки конструкції верстатів

допускають варіювання розмірів і типів перетворювачів у невеликих межах, то вибір енергоносія визначає величину припустимої сили різання. Зараз у верстатобудуванні найбільш часто застосовуються гідравлічні системи.

Кінематична система повинна виконувати функції зберігання й зміни ЗЕ, регулювання діапазону затиску й передачі затискного зусилля. Головним при виборі гнучких затискних пристроїв є конструктивне виконання й розташування функціональних носіїв. На їх розташування впливає організація потоку деталей. Круглі заготовки можуть транспортуватися в супутниках як закріпленими так і вільно лежачими.

У табл. 4.3. наведені всі можливі й очікувані варіанти рішення компоновок ПАЗЗЕ.

Таблиця 4.3. - Можливі й очікувані конструктивні рішення й варіанти ПАЗЗЕ

| ВАРІАНТИ РІШЕНЬ | Критерії оцінки | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------|------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | скорочення підготовчо-заключного | рівень автоматизації | рівень гнучкості | техніко-економічні витрати | об'єм магазину кулачків | можливість стикування з |
| Спіральний ЗП із е/д | ♣ | ♣ | ♣ | ○ | ⊗ | ⊕ |
| ЗП із установочними роликками | ♣ | ♣ | ♣ | ○ | ⊗ | |
| Змінний ЗП | ⊕ | ⊕ | ○ | ⊕ | ⊗ | ○ |
| ЗП зі змінним носієм деталі | ⊕ | ⊕ | ○ | ♣ | ⊗ | ○ |
| ЗП зі змінними кулачками | ♣ | ♣ | ♣ | ♣ | ○ | ♣ |
| ЗП із кільцевим магазином | ⊕ | ⊕ | ⊕ | ♣ | ⊕ | ♣ |

Позначення в табл. 4.3: ⊕ - велика кількість рішень; ♣ - середня кількість рішень; o - мала кількість рішень; ⊗ - рішення відсутні.

Найвищий пріоритет мають такі критерії оцінки, як скорочення підготовчо-заклучного часу й техніко-економічні витрати. Найкращим варіантом, що охоплює широкий спектр оброблюваних деталей, є використання ЗП у кільцевому магазині. Така система дозволяє точно закріплювати й потім обробляти деталі типу валів.

4.2. Синтез схем ПАЗЗЕ і їх елементів методом морфологічного аналізу

Створення ГВС механічної обробки на базі верстатів з ЧПК й ВМ вимагає нового методологічного підходу не тільки до вибору номенклатури деталей, вибору техпроцесу, але й до здійснення допоміжних рухів, пов'язаних зі швидким переналагодженням технологічного оснащення. Серед допоміжних рухів основними є операції, пов'язані з маніпулюванням (змінюю) ЗЕ й заготовками. ПАЗЗЕ з дискретною схемою охоплення створюють з використанням системно-морфологічного методу виявлення оновлених технічних рішень.

Основні морфологічні ознаки - переналагоджувана частина, вид ЗЕ, спосіб переналагодження, зв'язки переналагоджуваної частини (ЗЕ) із приводом затиску й корпусом, зберігання й рух переналагоджуваної частини, передача крутного моменту переналагоджуваної частини.

З урахуванням аналізу відомих рішень і конкретизації деяких морфологічних ознак з набором альтернатив для кожної ознаки запропоновано морфологічну матрицю ПАЗЗЕ (табл. 4.4), яка у спрощеному варіанті має вигляд:

Таблиця 4.4.- Узагальнена морфологічна матриця схем ПАЗЗЕ

| | | | |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| переналагоджувана частина і принцип переналагодження | вид переналагоджуваної частини | 1 | 1.1 цанга 1.2 патрон 1.3 шпindelний вузол 1.4 шпindelна бабка |
| | поділ діапазону | 2 | 2.1 є 2.2 немає |
| | робоча поверхня зе | 3 | 3.1 одноступінчаста 3.2 багатоступінчаста 3.3 безступінчаста |
| | тип зе | 4 | 4.1 основний 4.2 проміжний 4.3 основний і проміжний 4.4 додатковий |
| | спосіб переналагодження | 5 | 5.1 зміна однократна 5.2 вибір з набору - зміна багаторазова 5.3 зміна положення поворотом 5.4 зміна положення переміщенням 5.5 перехід на інший рівень |
| зв'язки | переналагоджуваної частини із приводом | 6 | 6.1 через різьбовий замок 6.2 через замок з байонетом 6.3 по торці (натиск) 6.4 через пружну ланку 6.5 комбінована 6.6 немає |
| | зе з патроном | 7 | 7.1 жорсткий 7.2 фрикційний 7.3 пружний 7.4 комбінований 7.5 немає |
| зберігання переналагоджуваної частини | спосіб | 8 | 8.1 у касеті 8.2 у кільцевому магазині 8.3 в одноярусному барабанному магазині 8.4 у багатоярусному барабанному магазині 8.5 у револьверній головці 8.6 у ланцюговому магазині |

| | | | |
|--|-----------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | розташування | 9 | 9.1 над зп 9.2 під зп 9.3 попереду зп 9.4 збоку зп 9.5 співвісно в площині зп 9.6 співвісно поза площиною зп |
| | рух переналагоджуваної частини до шпинделя | 10 | 10.1 немає 10.2 по радіусу 10.3 по діагоналі 10.4 по діагоналі в просторі 10.5 співвісно 10.6 з поворотом |
| | передача крутний моменту переналагоджуваної частини | 11 | 11.1 шпонкою 11.2 штифтом 11.3 підпружиненим пальцем 11.4 фрикційно 11.5 заклинюванням 11.6 немає |

$$M(C_x) \rightarrow \begin{bmatrix} 1.1 & 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 & 4.2 & 5.2 \\ 1.3 & & 3.3 & 4.3 & 5.3 \\ 1.4 & & & 4.4 & 5.4 \\ 1.5 & & & & 5.5 \\ 1.6 & & & & 5.6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 6.1 & 7.1 \\ 6.2 & 7.2 \\ 6.3 & 7.3 \\ 6.4 & 7.4 \\ 6.5 & 7.5 \\ 6.6 & \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 8.1 & 9.1 \\ 8.2 & 9.2 \\ 8.3 & 9. \\ 8.4 & 9.4 \\ 8.5 & 9.5 \\ 8.6 & 9.6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 10.1 & 11.1 \\ 10.2 & 11.2 \\ 10.3 & 11.3 \\ 10.4 & 11.4 \\ 10.5 & 11.5 \\ 10.6 & 11.6 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Дана матриця може бути представлена як сукупність декількох матриць за ознаками: конструктивного виконання, принципів переналагодження, способів зберігання об'єктів переналагодження, рухів маніпулювання, способів передачі моментів і сил. Однак навіть представлена в табл. 4.4 морфологічна матриця дозволяє одержати астрономічне число можливих і неможливих рішень:

$$N_{cx} = 6 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 6 = 33559232000 \text{ варіантів.}$$

Тому обмежимо число рішень усіканням морфологічної матриці виключивши багато альтернатив для різних ознак.

Залишимо як переналагоджувана частина альтернативу 1.1 - цанга, поділ діапазону - дискретний (альтернатива 2.1), робочі поверхні ЗЕ -

одноступінчаста й багатоступінчаста (альтернативи 3.1 і 3.2), тип ЗЕ - основний або проміжний (альтернативи 4.1 і 4.2), виключимо ознаки зберігання переналагоджуваної частини, залишимо рухи переналагоджуваної частини - співвісно (альтернатива 10.5), з поворотом (альтернатива 10.6) і введемо додаткові альтернативи 10.7 > 10.5+10.6, виключимо альтернативу 11.6 для ознаки «передача крутного моменту переналагоджуваної частини».

4.3. Складання скорочених морфологічних матриць

У результаті одержимо усічену морфологічну матрицю (табл. 4.5) пристроїв (автоматичної або ручної) зміни затискних цанг (ПЗЦЗ). У згорнутому виді морфологічна матриця (табл. 4.5) має такий вигляд:

$$M \rightarrow \begin{bmatrix} 1.1 & 2.1 & 3.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 \\ & & 3.3 \\ & & 3.4 \\ & & 3.5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \\ 4.4 \\ 4.5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 5.1 \\ 5.2 \\ 5.3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \\ 6.4 \\ 6.5 \end{bmatrix}$$

Таблиця 4.5 Морфологічна матриця пристроїв зміни затискних цанг (швидкопереналагоджуваних цангових патронів)

| | | |
|----------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Робоча поверхня ЗЦ | 1 | 1.1 Одноступінчаста 1.2 Багатоступінчаста |
| Тип ЗЦ | 2 | 2.1 Основна 2.2 Проміжна |
| Спосіб переналагодження | 3 | 3.1 Зміна (однократна) 3.2 Вибір з набору (багаторазовий) 3.3 Зміна положення поворотом 3.4 Зміна положення переміщенням 3.5 Перехід на інший рівень |
| Зв'язок ЗЦ із приводом затискача | 4 | 4.1 Через різьбовий замок 4.2 Через байонетний замок 4.3 По торці 4.4 Через пружну ланку 4.5 Комбіноване |

| | | |
|----------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Руху ЗЦ у шпинделі | 5 | 5.1 Співвісно 5.2 З поворотом 5.3 Співвісно з поворотом |
| Передача макрорельєфу моменту ЗЦ | 6 | 6.1 Шпонкою 6.2 Штифтом 6.3 Підпружиненим пальцем 6.4 Фрикційно 6.5 Заклинюванням |

Дана матриця дає обмежене число реальних рішень:

$$N_p = 2 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 5 = 1500 \text{ варіантів}$$

Як приклад приведемо сполучення альтернатив, що дає варіант швидкозмінного затискного цангового патрона стосовно до ПАЗЗЕ - пристроїв автоматичної зміни затискних цанг (ПАЗЗЦ) у верстатному модулі:

$$1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.2 - 5.3 - 6.3.$$

Конструктивне рішення представлено на рис. 4.2. Патрон (рис. 4.2, а), який розміщений у шпинделі 1, містить швидкозмінну затискну цангу (ЗЦ) 4, у якій у хвостовій частині зроблені спеціальні пази (два або три) (рис. 4.2, б) для зв'язку із трубою затискача 2 за допомогою байонетного замка. Від провороту труба затискача 2 утримується стопорним гвинтом 10, охоплюваних пружинним кільцем 11 для уникнення вигвинчування. Крутний момент від шпинделя 1 передається цанзі 4 через підпружинений палець 8, який втримується від висовування обоймою 7 з фасонним пазом «d» (рис. 4.2, в). Фіксація обойми 7 здійснюється підпружиненим фіксатором 6. Пружина 3 прямокутного січення сприяє розтиску цанги 4.

Зміна ЗЦ здійснюється в такий спосіб. Обойма 7 пересувається вліво за стрілкою I (рис. 4.2, а), стискаючи пружину 5 фіксатора 6, потім вертається на визначений кут α за стрілкою II (рис. 4.2, в). Під дією пружини 9 палець 8 попадає у фігурний паз «d» і виходить зі шпонкової канавки «с». Потім цанга 4 вертається за стрілкою IV в канавці «в» (рис. 4.2, б) і під дією пружини 3 виходить із отвору шпинделя 1, тому що виступ «а» виявляється на лінії поздовжньої частини паза «в». Далі цанга 4

вручну або автоматично витягається зі шпинделя. Установка нової ЗЦ здійснюється у зворотній послідовності .

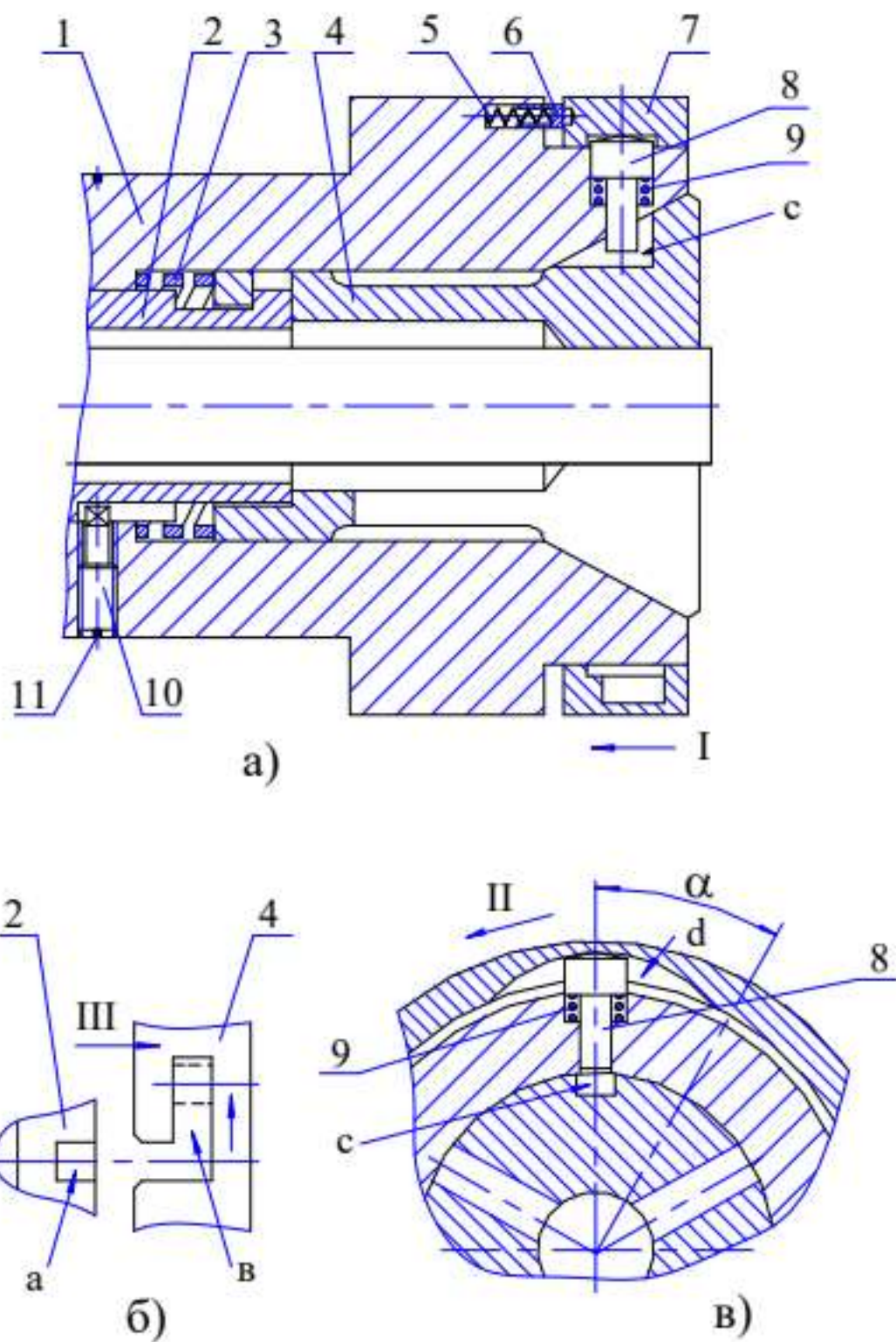


Рисунок 4.2 – Цанговий затискної патрон з швидкозмінною затискною цангою

У якості втягуючого пристрою або схвата ПР може бути використаний збірний подаючий патрон представлений на рис. 4.3.

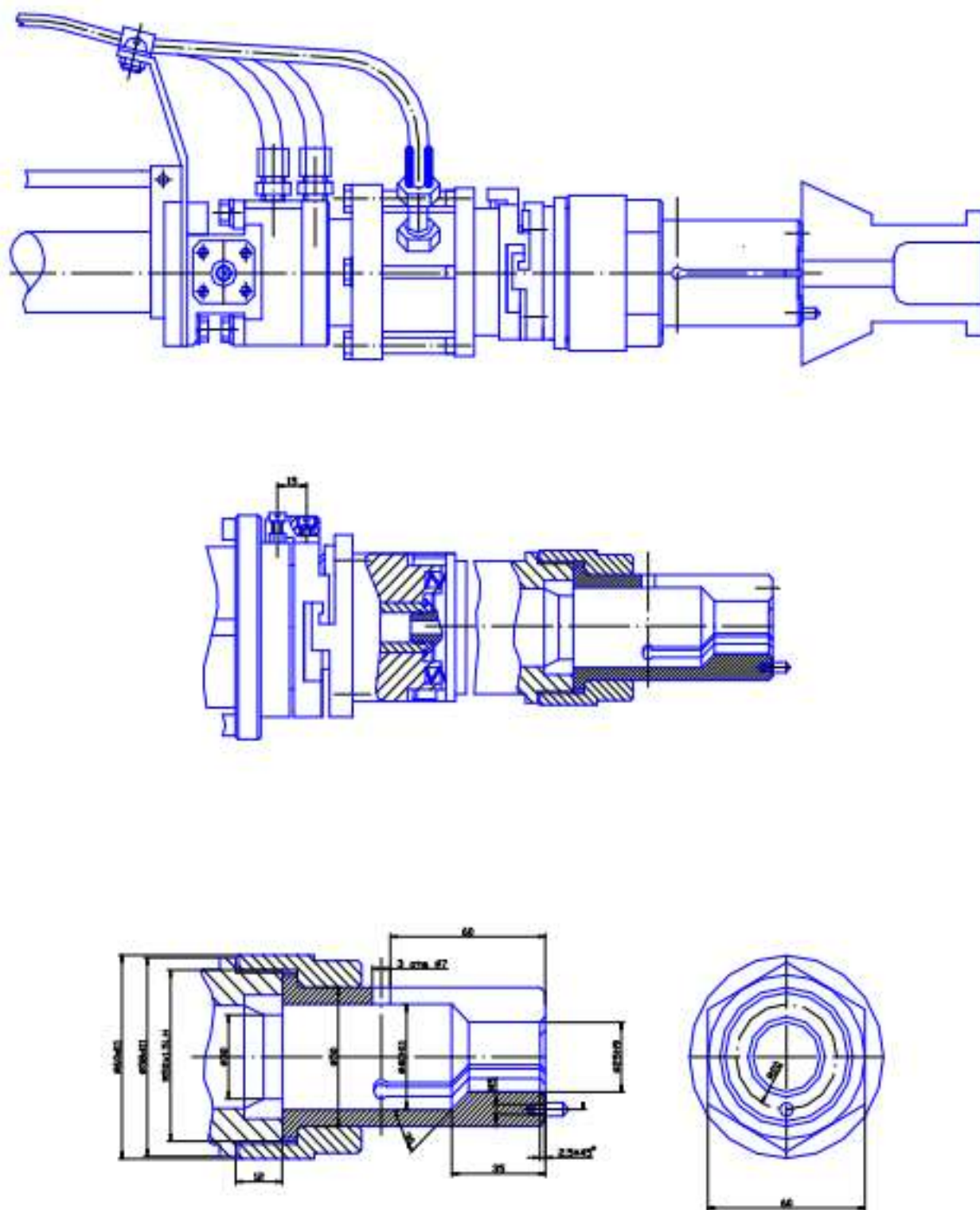


Рисунок 4.3 – Схват ПР у вигляді збірного подаючого патрона

При проектуванні механічної системи ПАЗЗЕ треба враховувати різні фактори й вибирати прийнятні рішення при великій кількості обмежуючих факторів і взаємовиключних рішень.

4.4. Методика проектувального розрахунку пристроїв автоматичної зміни затискних елементів

Проектний розрахунок ПАЗЗЕ з використанням ПР розглянемо на прикладі (рис. 4.4) у наступній послідовності:

Виходячи з технологічних вимог, визначаємо число ступенів рухливості, кінематична структура, переміщення, швидкості й прискорення ЗЕ при маніпулюванні.

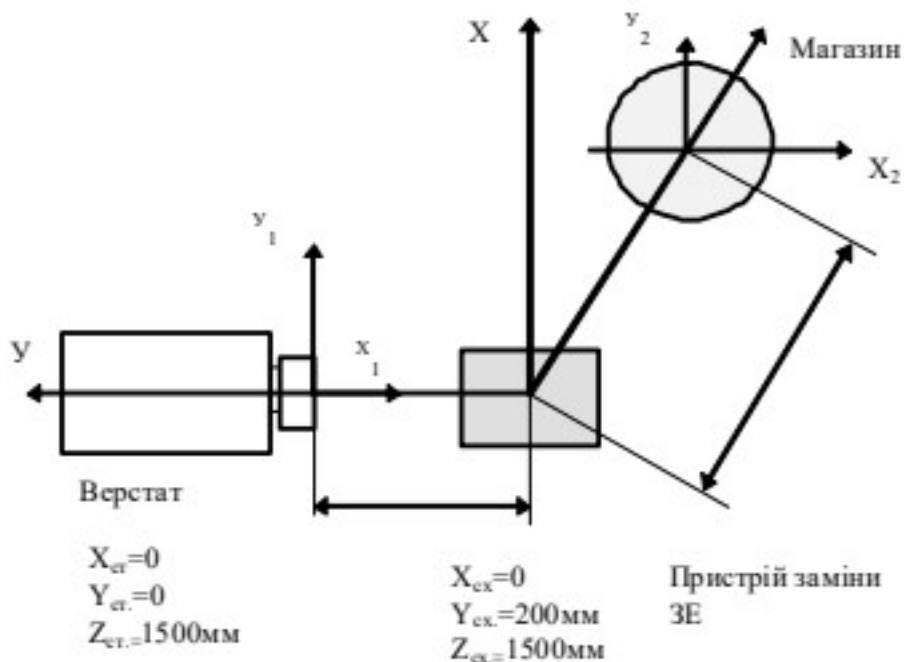


Рисунок 4.4 – Розрахункова схема для визначення точності й швидкодії ПАЗЗЕ на базі ПР

Розробляємо структурну схему з позначенням осей обертання, нумерацію починають від ступеня рухливості, пов'язаної з вихідною ланкою.

Визначаємо масу виконавчого механізму.

Визначаємо максимальна відстань від центра ваги об'єкта маніпулювання (ЗЕ) до осі вихідного фланця ПАЗЗЕ.

Обчислюють зусилля й моменти, що діють на вихідний ступінь рухливості ПАЗЗЕ.

По обчислених зусиллях і моментах визначають розміри кінематичних елементів вихідного ступеня рухливості (зубчасті колеса, вали, підшипники), розробляють компоновки креслення.

Знаходять відстань від центрів ваги робочого органа й об'єкта маніпулювання, рухливих елементів вихідного ступеня рухливості до осі другого ступеня рухливості.

Обчислюють зусилля й моменти, що діють на вихідну ланку другого ступеня рухливості, розраховують розміри кінематичних елементів і розробляють її компоновки креслення.

Знаходять відстань від центрів ваги виконавчого механізму й об'єкта маніпулювання, схвата, рухливих елементів третього й другого ступенів рухливості до осі першого ступеня.

Обчислюють зусилля й моменти, що діють на кінематичні елементи першого ступеня рухливості, розраховують розміри кінематичних елементів і розробляють креслення механізму, що орієнтує.

Аналіз конструктивних елементів ПАЗЗЕ й кінематичних структур їхніх компонувань дозволяє виділити наступні особливості, які необхідно враховувати при їхньому проектуванні:

- поступально, що рухаються частини, мають постійний перетин, а обертові - змінний поперечний переріз;
- піддатливість з'єднань порівнянна з піддатливістю ланок;
- значення маси ЗЕ, ланок і вузлів виконавчої системи впливають на деформацію несучої системи ПАЗЗЕ, тому розрахунок деформацій проводять у першу чергу.

Розрахунок несучої системи ПАЗЗЕ виконуємо в послідовності:

1. Визначають розміри перетинів і масу ланок, попередньо задавшись цими параметрами й виконавши розрахунок деформацій.
2. Розраховують орієнтовну масу виконавчих механізмів.
3. Проводять дискретизацію розподілених мас ланок.
4. Вибирають довжину закладень ланок і розмірів тіл кочення у вузлах з'єднання рухливих ланок.
5. Розробляють розрахункову схему несучої системи.
6. Знаходять переміщення ланок Δx , Δy , Δz виконавчого механізму від деформацій елементів несучої системи під дією інерційних сил за умови, що вузли з'єднань абсолютно тверді.
7. Знаходять переміщення Δx_k , Δy_k , Δz_k ланок виконавчого механізму від контактних деформацій вузлів з'єднання під дією інерційних сил за умови, що вузли з'єднань абсолютно тверді.

8. Визначають відносний коефіцієнт контактних деформацій $\mu_i = \frac{\Delta_{ik}}{\Delta_i}$, де $i = x, y, z$.

9. Знаходять власну частоту коливань рухливих елементів ПАЗЗЕ.

10. Будується графік $(\Delta_i + \Delta_{ik}) = \Phi(t)$ амплітуди коливань настановного органа для руху до крапки присохлого й порівнюють його з вимогою по точності позиціонування й швидкодії.

Визначають похибки позиціонування в просторі при зміні ЗЦ у приростах узагальнених координат:

Координати захвата робота:

$$x_{cx} = R \cos \varphi_1 = \sqrt{h^2 + S_3^2} \cos \varphi_1;$$

$$y_{cx} = R \sin \varphi_1 = \sqrt{h^2 + S_3^2} \sin \varphi_1;$$

$$z_{cx} = S_2;$$

де $h = 500$ мм - плече робота, S_3 - висування схвата (кисті) робота, S_2 - підйом схвата робота, φ_1 - кут повороту ПР. S_2 визначається як різниця положень по координаті висоти накопичувача й осі шпинделя верстата, S_3

визначається як різниця положень по відповідній координаті положень початку координат верстата й накопичувача:

$$S_3 = (y_{cm} - y_M) \sin \varphi_1;$$

Вираження для похибки позиціювання в приростах узагальнених координат при зміні затискних цанг:

$$\Delta x = \sqrt{h^2 + S_3^2} \sin \varphi_1 \Delta \varphi_1 + \frac{S_3}{\sqrt{h^2 + S_3^2}} \Delta S_3 \cos \varphi_1;$$

$$\Delta y = \sqrt{h^2 + S_3^2} \cos \varphi_1 \Delta \varphi_1 + \frac{S_3}{\sqrt{h^2 + S_3^2}} \Delta S_3 \sin \varphi_1;$$

$$\Delta z = \Delta S_2;$$

де $\Delta \varphi_1$, ΔS_3 й ΔS_2 - погрішності присохлого по відповідних координатах ПР. Для ПР «Бриг-10Б» вони відповідно рівні 1 мм і 1 град.

Координати точки установки цанги в конус шпинделя верстата рівні відповідно (у мм):

$$x_{cm} = 0 \quad y_{cm} = 2000 \quad z_{cm} = 1500.$$

З умови збігу схвата ПР і крапки верстата (шпинделя) $x_{cm} = x_{cx}$, $y_{cm} = y_{cx}$ і $z_{cm} = z_{cx}$ запишемо систему рівнянь стосовно до нашої розрахункової схеми.

$$\sqrt{h^2 + S_3^2} \cos \varphi_1 = 0$$

$$\sqrt{h^2 + S_3^2} \sin \varphi_1 = 2000$$

$$S_2 = 1500$$

Вирішуючи дану систему рівнянь, знаходимо значення узагальнених координат φ_1 і S_3 .

$$\sqrt{500^2 + S_3^2} \cos \varphi_1 = 0$$

$$\sqrt{500^2 + S_3^2} \sin \varphi_1 = 2000$$

Звідки знаходимо: $\varphi = 88,6^\circ$ і $S_3 = 353,5$ мм. Підставляючи знайдені значення узагальнених координат в отримані раніше вирази для похибки

позиціонування й приймаючи похибки висування й повороту з технічних характеристик ПР, одержимо похибки позиціонування робота по кожній осі.

$$\Delta x = \sqrt{500^2 + 353,5^2} \sin 88,6 \frac{3,14}{180} + \frac{353,5}{\sqrt{500^2 + 353,5^2}} 1 \cos 88,6 = 1,07 \text{ мм};$$

$$\Delta y = \sqrt{500^2 + 353,5^2} \cos 88,6 \frac{3,14}{180} + \frac{353,5}{\sqrt{500^2 + 353,5^2}} 1 \sin 88,6 = 1,41 \text{ мм};$$

$$\Delta z = \Delta S_2 = 1 \text{ мм}.$$

Модуль максимальної помилки позиціонування при зміні затискних цанг дорівнює:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} = \sqrt{1,06^2 + 1,41^2 + 1} = 2,02 \text{ мм}.$$

ВИСНОВКИ

В результаті проведених у роботі досліджень виявлено проблеми створення пристроїв автоматичної заміни затискних елементів у токарному модулі і зокрема встановлено їх значний вплив на підвищення гнучкості й переналагоджуваності затискних механізмів токарних верстатів з ЧПК. Сформульовано вимоги до пристроїв автоматичного маніпулювання затискними елементами та їх характеристики.

Теоретичний аналіз характеристик пристроїв автоматичної заміни затискних елементів вказав на ряд факторів які впливають на точність позиціонування пристроїв автоматичної заміни затискних елементів. Для вирішенні проблеми запропоновано підхід для проведення аналізу складових похибок позиціонування пристроїв автоматичної заміни затискних елементів. Доведено доцільність використання схвата і руки промислового робота для здійснення операцій заміни.

Представлено спосіб геометричної інтерпретації точності позиціонування пристроїв автоматичної заміни затискних елементів в процесі зміни затискної цанги. Також сформульовано основні принципи створення пристроїв автоматичної заміни затискних елементів із застосуванням системного підходу, що передбачає синтез схем пристроїв автоматичної заміни затискних елементів із застосуванням методу морфологічного аналізу.