

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

*Факультет інженерії машин, споруд та технологій*

(повна назва факультету)

*Інжинірингу машинобудівних технологій*

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

*магістр*

(назва освітнього ступеня)

на тему:

*Розроблення технології виготовлення*

*півкорпуса шарніра МК12.010.01 з дослідженням*

*характеристик кулькового зачеплення*

Виконав (ла): студент (ка) VI курсу, групи МІМ-61  
спеціальності \_\_\_\_\_

*131 «Прикладна механіка»*

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ *Ситарчук В.О.*  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ *Комар Р.В.*  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ *Дячун А.Є.*  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ *Окіпний І.Б.*  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Тернопіль  
2023

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

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра Інжинірингу машинобудівних технологій  
(повна назва кафедри)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«    »    20   р.

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

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Ситарчуку Владиславу Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення  
півкорпуса шарніра МК12.010.01 з дослідженням  
характеристик кулькового зацеплення

Керівник роботи Комар Роман Васильович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «16» листопада 2023 року № 4/7-1058

2. Термін подання студентом завершеної роботи   

3. Вихідні дані до роботи креслення деталі, технічні умови на виготовлення;  
річна програма випуску N = 20000 шт.; базовий технологічний процес виготовлення;  
базова література по об'єкту дослідження

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналітична частина. Науково-дослідна частина.

Технологічно-конструкторська частина.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

Результати наукових досліджень(2 арк. А1).

Складальні креслення пристроїв для механічної обробки (2 арк. А1).

Схеми інструментальних налагоджень на операції механічної обробки (2 арк. А1).

**6. Консультанти розділів роботи**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Ткаченко І.Г., доцент</i>		
<i>Безпека в надзв. ситуаціях</i>	<i>Клепчик В.М., ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання 17 листопада 2023 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналітична частина</i>		
2	<i>Науково-дослідна частина</i>		
3	<i>Технологічно-конструкторська частина</i>		
4	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>		
5	<i>Додатки</i>		
6	<i>Графічна частина</i>		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Ситарчук В.О.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Комар Р.В.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу .....	
Реферат .....	
Вступ .....	
1 Аналітична частина .....	
1.1 Інформативний аналіз тематики роботи .....	
1.2 Способи вирішення виявлених проблем .....	
1.3 Визначення завдань кваліфікаційної роботи .....	
2 Науково-дослідна частина .....	
2.1 Опис досліджуваного об'єкту .....	
2.2 Оброблення інформації досліджень .....	
2.3 Аналіз результатів та формування висновків досліджень .....	
3 Технологічно-конструкторська частина .....	
3.1 Службова характеристика об'єкту виробництва .....	
3.2 Аналіз технологічності заготовки і процесу її обробки .....	
3.3 Вибір способу одержання і розробка заготовки .....	
3.4 Вибір технологічних баз та маршруту оброблення деталі .....	
3.5 Вибір режимів оброблення деталі та норм часу .....	
3.6 Встановлення кількості обладнання .....	
3.7 Розробка спеціальної оснастки .....	
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	
Висновки .....	
Перелік посилань .....	
Додатки .....	

## РЕФЕРАТ

Тематика кваліфікаційної роботи: «Розроблення технології виготовлення півкорпуса шарніра МК12.010.01 з дослідженням характеристик кулькового зачеплення», автором є Ситарчук Владислав Олександрович.

Актуальність. Загальновідомо, що для передачі обертового руху у випадках наявних у приводі машини чи пристрою зміщених валів чи розташованими один щодо іншого під змінним, у робочому процесі, кутом найдоцільніше застосовувати кулькові шарніри рівних кутових швидкостей (ШРКШ). Проте з точки зору технологій оброблення необхідно встановити раціональні конструктивні співвідношення розмірів найбільш відповідальних елементів таких вузлів, якими є пари контакту, а саме кулькове зачеплення.

Мета і завдання. При виконанні даної кваліфікаційної роботи необхідно вирішити питання узагальнення і удосконалення методики розрахунку конструктивних параметрів кулькового зачеплення пристрою на основі шарніру рівних кутових швидкостей; за удосконаленою методикою провести розрахунок співвідношення розмірів контактуючих кульок і пазів з побудовою графічних залежностей за теоретичними і експериментальними даними; провести удосконалення існуючих і розроблення нових пристроїв для забезпечення безпосереднього здійснення технології механічної обробки; сформулювати заходи щодо забезпечення охорони праці на виробництві та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Практичне значення. Наведено практичні рекомендації щодо технології виконання кулькового зачеплення перспективної конструкції запобіжного шарніра; розроблено технологію виготовлення півкорпуса шарніра МК12.010.01.

Апробація. XII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», ТНТУ, 2023 р.

## ВСТУП

У сучасних умовах ринкової економіки прийняття рішень щодо виконання замовлення на виробництво промислової продукції неприпустимо без перевірки можливостей існуючих у виконавця виробничих потужностей. Крім того, без розрахунків потреби в кадрах відповідної кваліфікації, будь-який навіть найвигідніший контракт може призвести до фінансової катастрофи. Тому знання сучасних методів та методик розрахунку та проектування технологічних виробничих процесів необхідні кожному інженеру та менеджеру, що працює в галузі машинобудування.

Технологія виробництва – це сукупність конструкторських і технологічних документів, що містять принципове або остаточне рішення, що дає необхідне уявлення про об'єкт виробництва або виробничу систему (підприємства, цеху, ділянки, лінії) і вихідні дані для подальшої розробки робочої документації. Розроблення технології виготовлення є складним та трудомістким процесом, у ході якого одночасно вирішуються технічні, економічні та організаційні питання. У сучасних умовах проектування технологічних процесів стає комплексною проблемою, що поєднує передові досягнення технології машинобудування, економіки та організації промисловості та логістики. На проектування складних технологічних процесів виробництва певної деталі та повне освоєння проектних виробничих потужностей, за неправильно обраної методики проектування, можна затратити досить тривалий час. Відповідно задіяння передових технологій проектування виробничих процесів, зокрема засобів САПР, може забезпечити суттєве скорочення термінів та трудомісткості проектування.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Інформативний аналіз тематики роботи

Для передачі обертового руху за крутним моментом у випадках зміщених валів чи розташованими один щодо іншого під кутом, що змінюється в процесі роботи, приводів в техніці часто застосовують карданні шарніри [1, 2, 3]. Свою назву вони отримали за прізвищем італійського вченого Д. Кардано, який уперше створив таке з'єднання. Завдяки простоті, надійності, малій масі, високому коефіцієнту віддачі енергії обертового руху та довговічності вони широко використовуються в трансмісії різних механізмів. Але карданний привід, званий ще шарніром Гука (за ім'ям механіка, що його вдосконалив), має істотний недолік. Це не синхронність обертання – нерівність кутових швидкостей ведучого та веденого елементів. Відповідно реалізація з'єднань зміщених валів здійснювалися за допомогою звичайних карданних шарнірів. Однак зовнішньому шарніру доводиться працювати у виключно важких умовах – з кутами 30-35°. А вже при кутах, більших 10-12°, у карданній передачі різко збільшуються втрати потужності, до того ж обертання передається нерівномірно, зростає зношування шарніра, а шестерні та вали трансмісії починають працювати з великими навантаженнями [4, 5].

При постійному числі обертів провідного елемента цього шарніра кутова швидкість веденого змінюється циклічно: кожну чверть обороту вона зростає, то уповільнюється. Таке чергування створює додаткові інерційні пульсуючі навантаження у з'єднаних деталях. Різко зростаючи зі збільшенням числа обертів валів, з'єднаних шарніром, збільшенням кута між ними, ці додаткові навантаження можуть перевищити навантаження від передачі крутного моменту, на які розрахований вузол. Під їх впливом прискорюється знос шарнірів. Ось чому прості карданні з'єднання застосовують переважно, коли кут між провідним і провідним елементами не перевищує 7-8° і динамічні навантаження ще невеликі [5, 6].

Із розвитком машинобудування, а особливо галузі автомобілебудування, знадобилося зв'язувати між собою вали, кути між якими можуть досягати 30-40°. Звичайно, такий шарнір повинен забезпечувати синхронність передачі обертання, щоб бути досить довговічним.

Перші конструкції синхронних з'єднань, званих також шарнірами рівних кутових швидкостей (ШРКШ) (латиною — «томокінетичними»), були створені за допомогою спарювання простих карданних шарнірів і тому отримали назву здвоєних. Принцип їх дії такий: частота обертання валів на вході та виході шарніра буде рівною, якщо внутрішні вилки двох послідовно з'єднаних шарнірів лежать в одній площині, а кут між осями вилок однаковий. Іншими словами, точка, де перетинаються осі вилок, має лежати на бісектрисі кута, який вони утворюють. Два простих шарніра з'єднуються або безпосередньо, або через проміжну (ділильну) ланку, усередині якої є центруючий пристрій. Призначення останнього – постійно ділити навпіл кут між віссю внутрішньої здвоєної вилок і зовнішніми вилками. Здвоєний шарнір може працювати при кутах між валами до 40°. Його перевага – це відсутність кожухів для утримання мастила, недолік – порівняно невеликий ресурс [5].

Подальшим розвитком цієї конструкції став кулачковий шарнір типу «Тракта» (рис. 1.1). Вилки, виготовлені заодно з валами, з'єднуються в ньому через два фігурні кулаки. При роботі з'єднання кулаки зміщуються один відносно іншого в горизонтальній площині, а вилки - у вертикальній канавки відповідного кулака. Між собою кулаки контактують шиповим з'єднанням. Всі деталі шарніра укладені в корпусі, який постійно задає таке взаємне положення вилок, при якому точка, де перетинаються осі валів, завжди лежить на бісектрисі кута між ними. У зв'язку з тим, що кулаки шарніра при поворотах займають різні положення щодо інших частин, виникає циклічний дисбаланс, який на високих оборотах може прискорити знос шарніра. Тому з'єднання типу «Тракта» застосовують переважно у приводах де шарніри працюють із малими швидкостями.



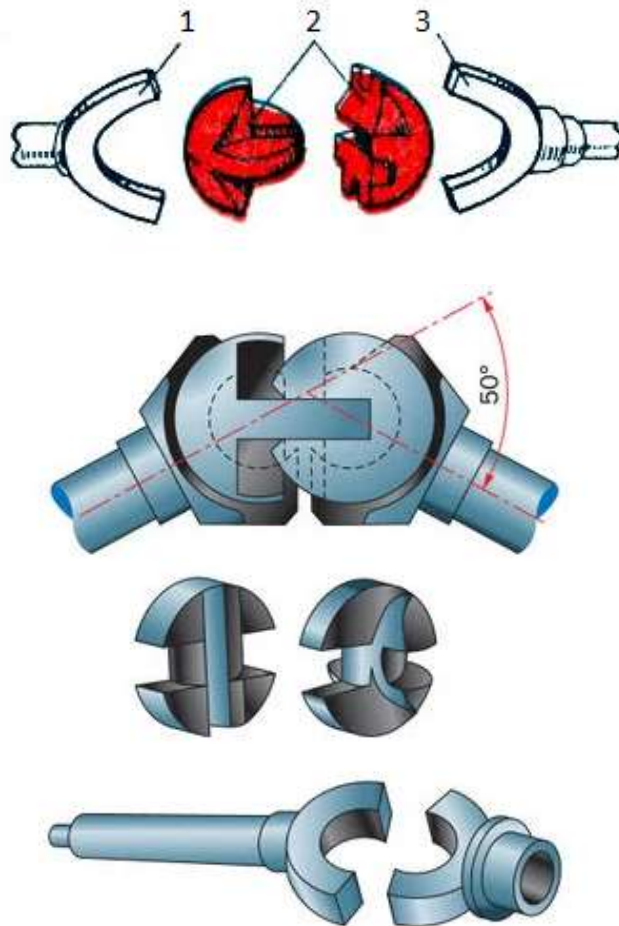


Рисунок 1.1 – Кулачковий шарнір типу «Тракта» [5]:

1, 2 – вилки; 3 – фігурні кулаки

Різновидом кулачкового шарніра є кулачково-дисковий (рис. 1.2), який складається з пов'язаних з ведучим і веденим валами вилок, а також вставлених в них циліндричних кулаків. У пази входить диск, що передає обертання від ведучої вилки. Під час роботи кожен із кулаків повертається одночасно щодо вилки та осі диска. У вертикальній площині вилки повертаються навколо кулаків, а горизонтальній – разом із ними навколо диска, оскільки вісь паза в кулаці перпендикулярна осі його зовнішньої циліндричної поверхні. Осі отворів вилок лежать в одній площині, що збігається із середньою площиною диска. Вони розташовані на рівних відстанях від точки, де перетинаються осі валів, і завжди перпендикулярні їм. Точка перетину осей отворів при будь-якому положенні вилки розташовується в бісекторній площині, тобто площині, що ділить кут між вилками навпіл.

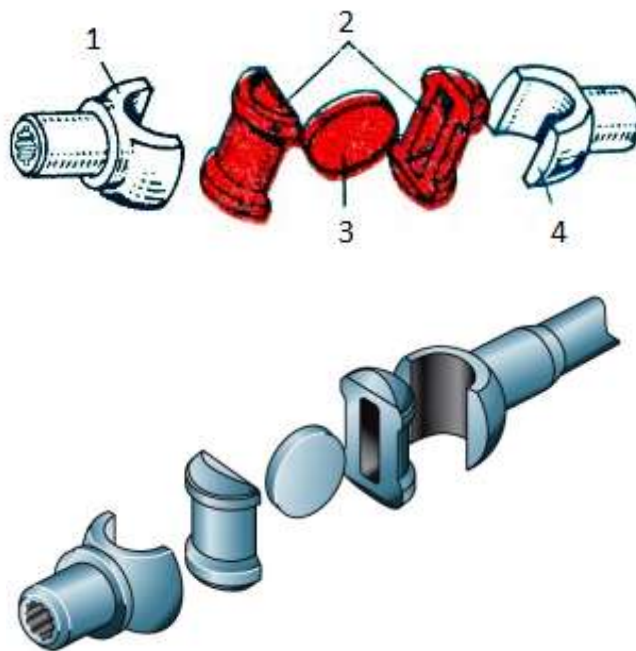


Рисунок 1.2 – Кулачково-дисковий шарнір [5]:

1, 4 – вилки; 2 – кулаки; 3 – диск

Завдяки великій контактній поверхні деталей, що сприймають зусилля, кулачково-дисковий, як і будь-який кулачковий шарнір, має компактні розміри. Основний недолік конструкції в тому, що контактуючі деталі працюють в умовах тертя ковзання. Це призводить до підвищеного нагрівання всього вузла та знижує його надійність і ресурс. Однак при гарному мастилі зносостійкість та надійність роботи цих шарнірів цілком задовільні. Максимальний кут, при якому може працювати таке з'єднання  $45-50^\circ$ .

Пошуки шляхів підвищення корисної дії і ресурсу призвели до розробки синхронних шарнірів, в яких обертовий момент передається за допомогою кульок, що завжди лежать у бісекторній площині.

Першою конструкцією такого роду став кульковий шарнір типу «Бендікс-Вейс» (рис. 1.3), який працездатний при кутах між валами до  $40^\circ$ . Вали 1 і 17 закінчуються вилками (їх називають також кулаками), на внутрішній поверхні яких у взаємно перпендикулярних площинах виконані чотири канавки напівкруглого профілю. У місцях, де перехрещуються канавки двох виделок, розташовано по одній кульці 8.

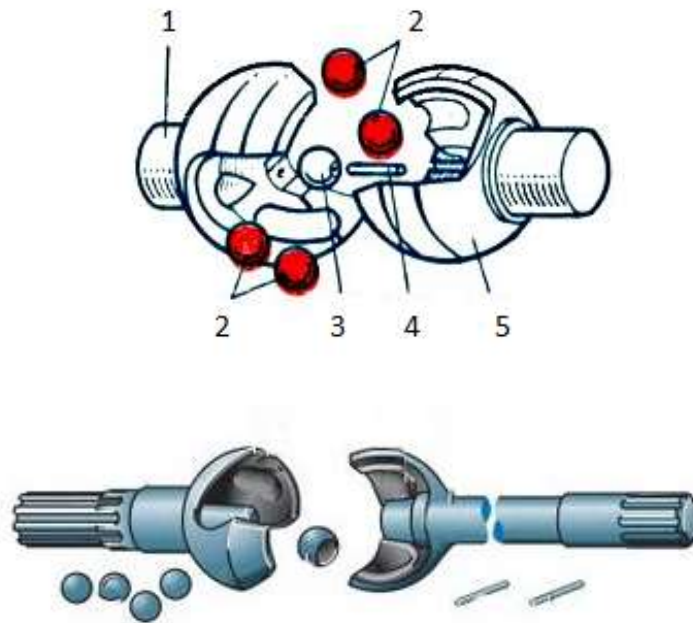


Рисунок 1.3 – Кульковий шарнір з ділительними канавками типу «Бендікс-Вейсс» [6]: 1 – ведучий вал; 2 – кульки; 3 – центрувальна кулька; 4 – центрувальний штифт; 5 – ведений вал

Середні лінії канавок є колами однакового радіусу, центри яких лежать на відповідних вилках і рівновіддалені від центру всього шарніра. При обертанні ці лінії утворюють дві сферичні поверхні, що перетинаються одна з одною по колу, яка є траєкторією руху кульок. Завдяки симетричному розташуванню канавок в обох вилках центри кульок завжди знаходяться в бісекторній площині, чим досягається рівномірність обертання валів. Однак навіть невелике осьове переміщення однієї вилки щодо іншої викликає зміну траєкторії руху кульок. Тому вилки фіксують від переміщення під дією осьових сил, встановлюючи між ними центрувальну кульку.

Оскільки шарнір такого типу не є самостійним вузлом, його важко виготовити з малими зазорами між канавками та кулькою та відбалансувати. Ця обставина негативно позначається при високій швидкості обертання приводу, відповідно виникає обмеженість застосування такого типу шарнірів. Крім того, в ній обертовий момент передають лише дві кульки, чим зумовлюються високі питомі тиски на контактуючих поверхнях і швидке зношування шарнірів.

Більш досконала конструкція кулькового шарніра типу «Рцеппа» (рис. 1.4), який у зібраному вигляді являє собою окремий вузол. У ньому обертовий момент в обох напрямках передається всіма кульками, завдяки чому значно вища довговічність. В результаті при менших розмірах шарніра можна передавати більший крутний момент. Однак шарнірне з'єднання «Рцеппа» складніше і дорожче за шарнір «Бендікс-Вейс».

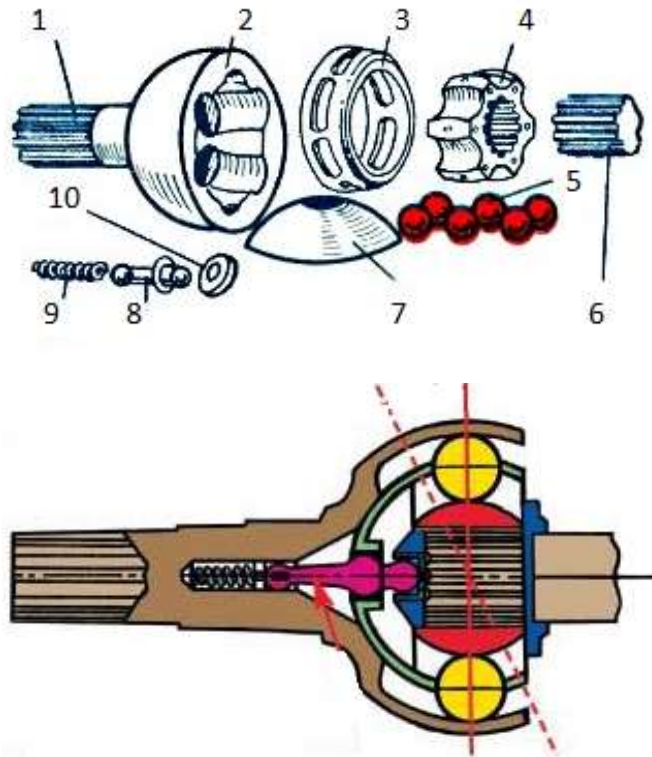


Рисунок 1.4 – Кульковий шарнір з ділильним важелем типу «Рцеппа» [5]:

- 1 – ведучий вал; 2 – корпус; 3 – сепаратор; 4 – обойма; 5 – кульки;  
 6 – ведений вал; 7 – опорна шайба; 8 – ділильний важіль;  
 9 – пружина; 10 – втулка

Деталі шарніра укладені в сферичному корпусі, на внутрішній поверхні якого нарізані шість рівнокруглих напівкруглих канавок. Такі канавки зроблені на обоймі, у внутрішні шліци якої входить ведений вал. Крутний момент передається від корпусу обоймі кульками. При зміні кута (до  $35^\circ$ ) між валами ділильний пристрій автоматично встановлює кульки в бісекторній площині. Вона складається з сепаратора, в якому розташовані кульки, сферичної опорної

шайби і ділильного важеля. Важіль, проходячи через отвір в опорній шайбі, входить сферичними поверхнями в сферичні гнізда ведучого і веденого валів.

У спрощених варіантах цієї конструкції роль розподільчого механізму виконують канавки. В одному з них (рис. 1.5) центр, з якого описані дуги канавок корпусу та обойми, зміщений від центру шарніру на 1-1,5 мм (шарнір типу «Рцеппа-Бірфільд»).

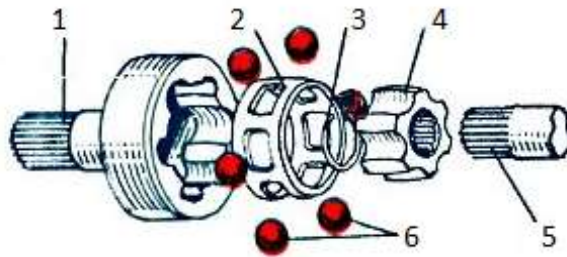


Рисунок 1.5 – Кульковий шарнір зі зміщеними ділильними канавками типу «Рцеппа-Бірфільд» [6]:

1 – ведучий вал-корпус; 2 – сепаратор; 3 – запірне кільце; 4 – обойма;  
5 – ведений вал; 6 – кульки

В іншому варіанті (рис. 1.6), відомому як «Рцеппа-Лебро», канавки еліптичного профілю попарно симетричні і розташовані під кутом  $16^\circ$  до твірної внутрішньої поверхні корпусу і зовнішньої поверхні обойми. В результаті перетину в просторі різноспрямованих канавок корпусу та зірочки кульки завжди лежать у бісекторній площині.

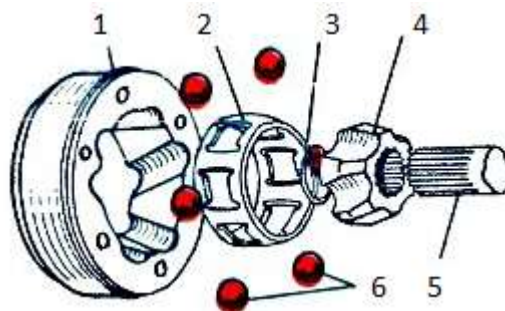


Рисунок 1.6 – Кульковий шарнір з непаралельними діючими канавками типу «Рцеппа-Лебро» [6]: 1 – корпус; 2 – сепаратор; 3 – запірне кільце;

4 – обойма; 5 – ведений вал; 6 – кульки

У деяких приводах застосовують синхронний шарнір «Трипод» [5] (рис. 1.7). У ньому обертовий момент передають три сферичні ролики, які насаджені на пальці хрестовини, пов'язаної з провідним валом, причому вони ковзають в циліндричних пазах вилки веденого вала. Ролики завжди знаходяться в бісекторній площині шарніра. Такий шарнір технологічно простіший за кулькові, допускає кути між валами до  $40^\circ$ , проте його кінематика не забезпечує повної синхронності передачі обертання.

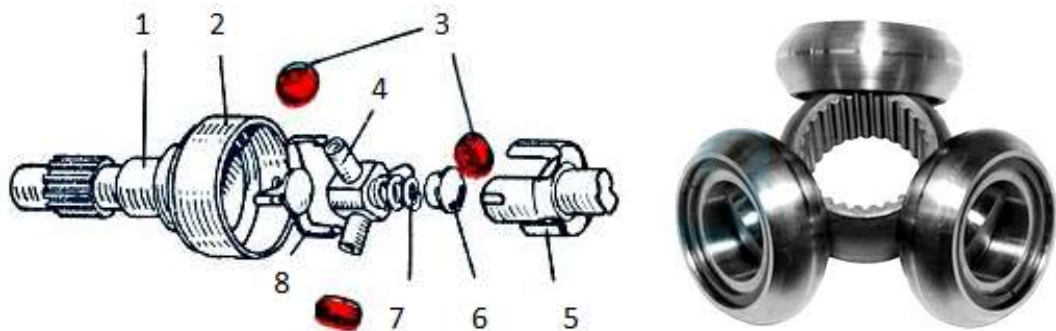


Рисунок 1.7 – Шарнір зі сферичними роликами та вилкою типу «Тріпод»:

- 1 – ведучий вал; 2 – корпус; 3 – сферичний ролик; 4 – хрестовина;  
5 – ведений вал-вилка; 6 – упор; 7 – пружина; 8 – вилка

Варто зазначити, що жодна з розглянутих конструкцій не розрахована на взаємні осьові переміщення валів, а такі явища досить часто супроводжують не співвісні вали приводів машин. Також перевищення допустимих кутових зміщень спричиняє руйнування хрестовин шарнірно-карданових і викришування тіл кочення у обгінних кулькових та синхронних вузлах.

## 1.2 Способи вирішення виявлених проблем

З урахуванням вище зазначених недоліків доцільно відзначити досконаліші конструкції [5] (рис. 1.8 і 1.9), які допускають взаємне поздовжнє переміщення ведучого та веденого валів на 13-24 мм при кутах зміщення між валами до  $18^\circ$ .

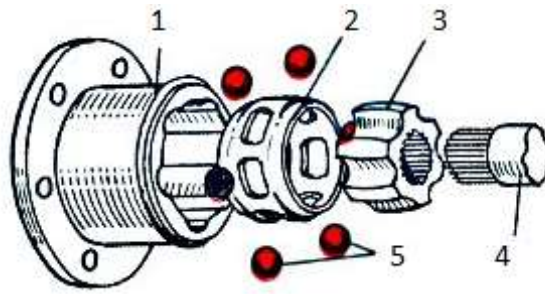


Рисунок 1.8 – Кульковий шарнір з ділительними канавками, що допускає осьове переміщення валів: 1 – корпус; 2 – сепаратор;  
3 – обойма; 4 – ведений вал; 5 – кульки

Провівши аналіз існуючих конструкцій таких пристроїв можна припустити, що перспективу використання має конструкція пристрою у якому кульки розміщують не у сепараторі, а утримуються у відповідних отворах обойми із підтисканням їх до робочої поверхні пазів. Тобто такий шарнір, у разі необхідності, може функціонувати у запобіжному режимі із проковзуванням кульок [1]. Загальна схема компоновки складових частин такого шарнірного пристрою наведено на рис. 1.9. Утримання обойм у зовнішньому корпусі забезпечують запірні кільця. Таке конструктивне виконання є досить технологічним і нескладним у виготовленні.

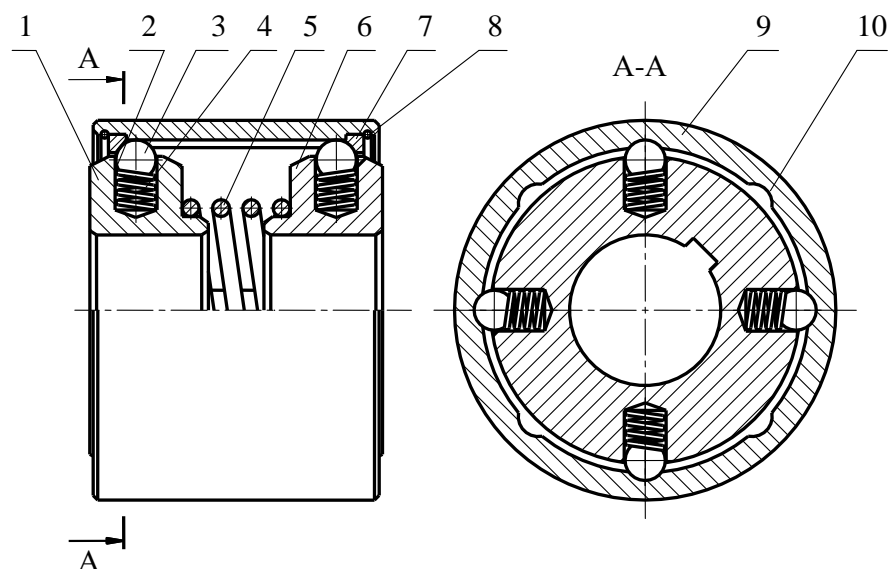


Рисунок 1.10 – Загальна схема будови запобіжного кулькового шарнірного вузла: 1, 6 – обойма; 2 – посадковий отвір; 3 – кульки; 4 – пружини;  
5 – пружина; 7 – кільце; 8 – запірне кільце; 9 – корпус; 10 – пази

### 1.3 Визначення завдань кваліфікаційної роботи

Підсумовуючи результати аналізу стану питання можна констатувати, що на даний час є перспективні конструктивні розробки щодо вирішення проблем безвтратної передачі обертових моментів у вузлах машин та пристроїв, які працюють в умовах зміщень привідних валів. Проте з точки зору технологій оброблення необхідно встановити раціональні конструктивні співвідношення розмірів найбільш відповідальних елементів таких вузлів. На нашу думку це є пари контакту, а саме кулькове зачеплення. Відповідно у даній кваліфікаційній роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- провести удосконалення методики розрахунку конструктивних параметрів кулькового зачеплення пристрою на основі шарніру рівних кутових швидкостей;
- за удосконаленою методикою провести розрахунок співвідношення розмірів контактуючих кульок і пазів з побудовою графічних залежностей;
- навести практичні рекомендації щодо конструктивного виконання співвідношення розмірів контактуючих кульок і пазів шарніра;
- розробити технологію виготовлення півкорпуса шарніра МК12.010.01 з опрацюванням маршруту оброблення, режимів обробки та оснастки;
- провести удосконалення існуючих і розроблення нових пристроїв для забезпечення здійснення технології механічної обробки;
- відповідно до умов виробництва та виробу, технологія виробництва якого розробляється, сформулювати заходи щодо забезпечення охорони праці на виробництві та безпеки у надзвичайних ситуаціях.



## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Опис досліджуваного об'єкту

Проаналізувавши поширені конструкції компенсувальних пристроїв на основі кулькових шарнірів встановлено, що переважно компенсація кутового зміщення обмежується розмірами контактуючих поверхонь. Якщо брати за основу розглядуваний пристрій [1] то необхідно розглянути співвідношення лінійно-діаметральних габаритів обойми, кульок, пазів. З прив'язкою до вище вказаних параметрів (рисунок 2.1), а саме ширини обойми  $b_n$ , відстані між обоймою і внутрішньою поверхнею корпуса (технологічний зазор)  $s$  максимально можливий кут  $\alpha'$  зміщення обойми такого пристрою

$$\alpha' = \arcsin \frac{2s}{b_n}. \quad (2.1)$$

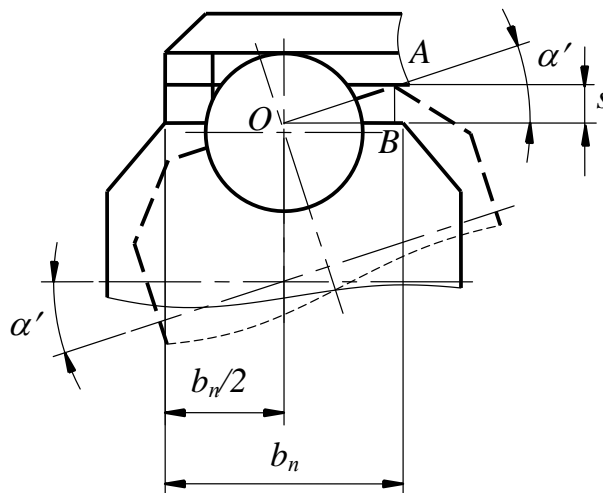


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема встановлення максимально можливого кута зміщення обойми

Природу зміщень, які може усувати такий пристрій, можна уявити за відповідною схемою (рис. 2.2), де вказано можливе осьове зміщення  $\Delta_o$ , кутове

$\Delta_\alpha$ , радіальне  $\Delta_r$  і параметри, які відображають конструктивні особливості такого вузла.

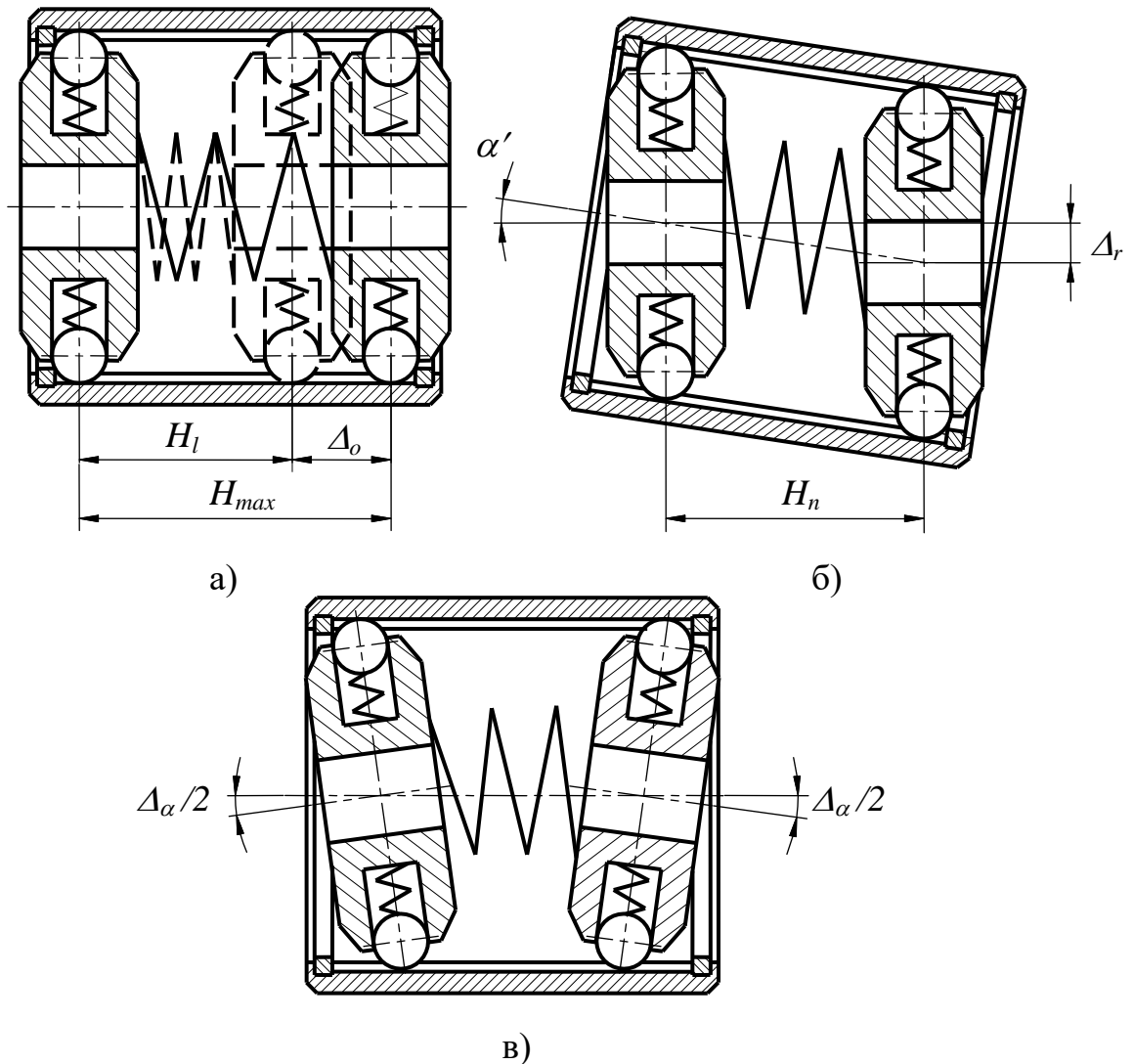


Рисунок 2.2 – Можливі зміщення, які здатен компенсувати пристрій, який базується на принципі зведеного шарніра, види зміщень:

а) осьове; б) радіальне; в) кутове

Класично вважається, що кулькова пара контакту сприймає обертовий момент рівний добутку колової сили  $P_\kappa$  на радіус  $R$  розміщення плями контакту кульки із поверхнею пазу [1]

$$T = P_\kappa R. \quad (2.2)$$

Радіус розміщення плями контакту кульки із поверхнею пазу буде змінною величиною оскільки для його розрахунку застосовують такі величини як радіус  $r_k$  кульки і висоту  $h_n$  посадкового пазу зовнішнього корпусу, а також відстань  $R_o$  від осі обойми до центру діаметрального розміщення кульок. Дві перші величини є постійними, оскільки встановлюються на стадії виготовлення шарнірного механізму, а значення  $R_o$  є змінним. Це зумовлено тим, що кулька, яка завдяки конструктивній особливості обойми, має «плаваюче» положення і при зростанні значення обертового моменту зминаючи пружину, переміщується вздовж осі посадкового отвору обойми. Відповідно для відображення цього явища використовується величина зміни лінійної довжини пружини  $\Delta_n$ . Для уявлення характеру цих змін доцільно скористатися схемою на рисунку 2.3. Згідно даної схеми зміна лінійної довжини пружини  $\Delta_n$

$$\Delta_n = R_o \left( \frac{1}{\cos \alpha'} - 1 \right). \quad (2.3)$$

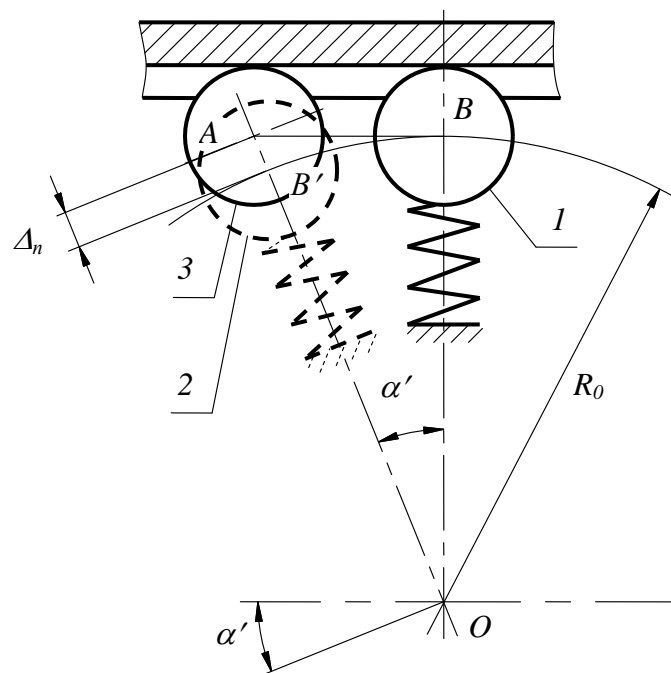


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема визначення величини зміни лінійної довжини пружини  $\Delta_n$

Проте залежність (2.3) не враховує обертового руху обойми шарніра. Але величина  $\Delta_n$  під час обертового руху муфти буде змінюватись. Зміну даної величини розглянемо на прикладі розрахункової схеми (рис. 2.19).

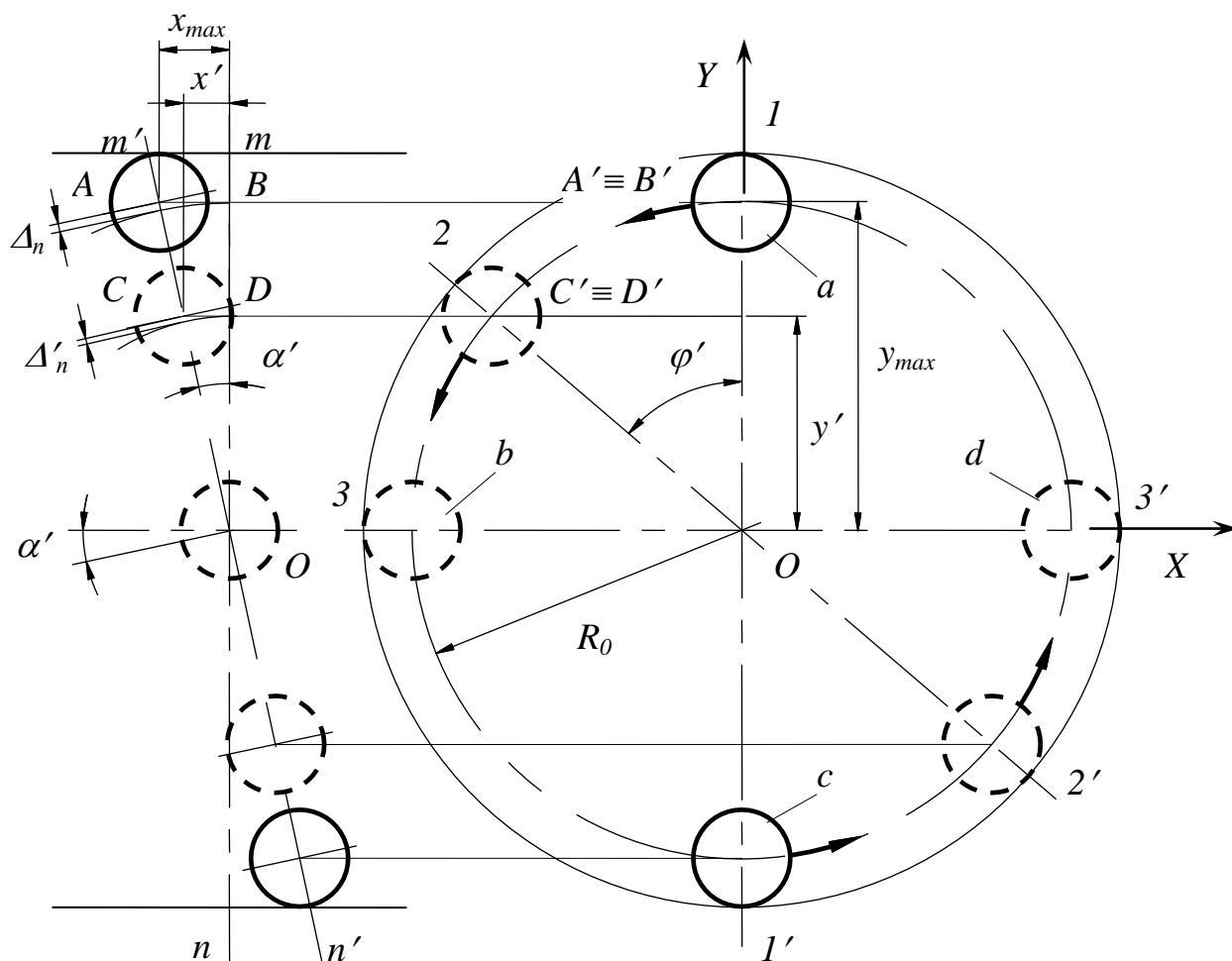


Рисунок 2.4 – Схематичне відображення зміни лінійної довжини пружини  $\Delta_n$  при обертовому русі

З урахування деякого кутового зміщення з'єднувальних валів вираженого через кут  $\alpha'$  і провертання обойми на певний кут  $\varphi'$  зміна лінійної довжини пружини рівна [1]

$$\Delta'_n = R_0 \cos \varphi' \left( \frac{1}{\cos \alpha'} - 1 \right). \quad (2.4)$$

Відповідно сили дії пружини на кульку

$$P_{np} = C \left[ \Delta'_o - \left| R_0 \cos \varphi' \left( \frac{1}{\cos \alpha'} - 1 \right) \right| \right]. \quad (2.5)$$

Для уявлення основних сил, які діють у кульковому зачепленні такого шарнірного пристрою доцільно скористатися схемою наведеною на рисунку 2.5. Згідно якої значення колової сили в зачепленні

$$P_{\kappa} = \frac{P_{np} \cos \alpha'}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (2.6)$$

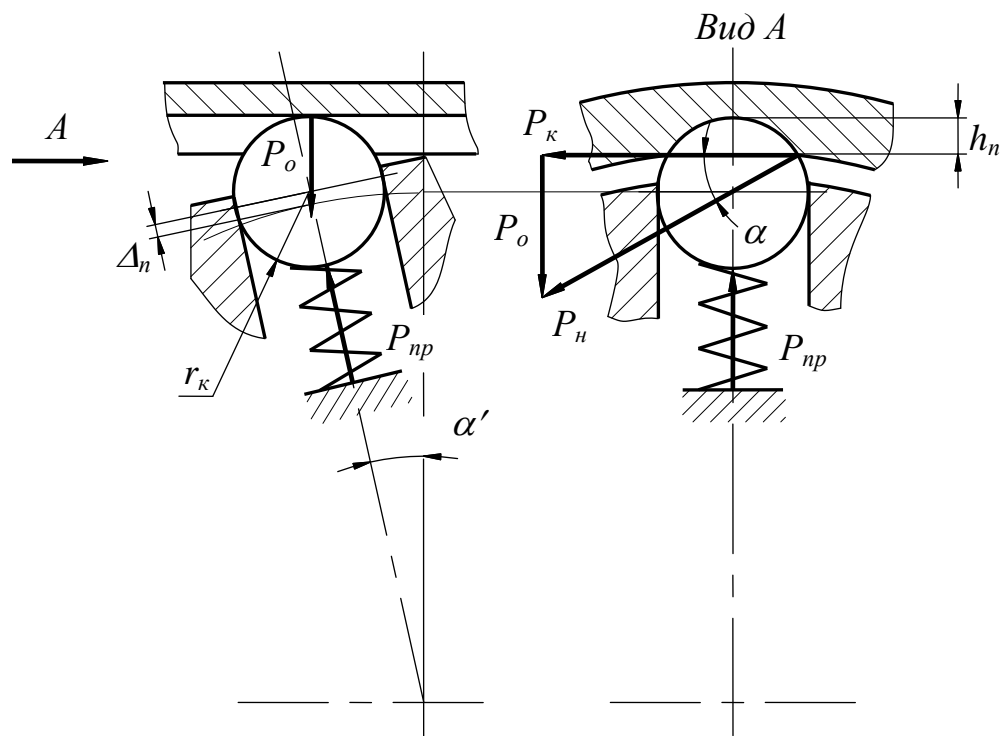


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема визначення зусиль, які діють у кульковому зачепленні шарнірного пристрою

Кут  $\alpha$ , який визначає напрям колового зусилля і нормалі певної точки у плямі контакту кульки із пазом (згідно розрахункової схеми рисунку 2.5)

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{r_{\kappa} - h_n}{r_{\kappa}} \right). \quad (2.7)$$

У результаті співставлення усіх, попередньо представлених, формул отримується залежність за якою можна встановити оптимальне співвідношення лінійно-діаметральних габаритів обойми, кульок, пазів у залежності від величини обертового моменту, що сприймає кулькове зачеплення

$$T = \frac{zC \cdot \cos \alpha' \cdot [\Delta'_o - |R_o \cos \varphi'(\sec \alpha' - 1)|] \cdot [R_o(1 + \cos \varphi'(\sec \alpha' - 1)) + r_k - h_n]}{\operatorname{tg} \left[ \arcsin \left( \frac{r_k - h_n}{r_k} \right) \right]} \quad (2.8)$$

Досліджувана модель пристрою, параметри якої порівнювалися із теоретичними даними, мала наступні конструктивно-технологічні особливості.

Таблиця 2.1 – Конструктивні технологічні характеристики дослідного зразка шарнірного пристрою

№ з/п	Параметр	Позначення	Числове значення
1	Габарити пристрою	$L \times D$	120×100 мм
2	Розміри кульок	$r_k$	6, 7, 8, 9 мм
3	Матеріал: - корпуса (розміщені пази) - обойми - кульки		25ХГТ 25ХГТ ШХ15
4	Твердість: - корпуса (розміщені пази) - обойми	HRC	58...60
5	Радіальне розміщення кульок	$R_o$	40 мм (min)
6	Висота паза корпусу	$h_n$	2÷5 мм
7	Попереднє підтискання пружини	$\Delta'_o$	5÷20 мм
8	Жорсткість пружини	$C$	630÷11000 Н/м
9	Кількість пар контакту	$z$	2, 4

## 2.2 Оброблення інформації досліджень

При теоретичному дослідженні необхідно було встановити зміну обертового моменту за рахунок варіації конструктивних значень основних розмірів кулькового зачеплення згідно залежності (2.8). Із прив'язкою до наявних розмірів і характеристик діючої моделі приймалися наступні теоретичні значення:

- $R_o = 0,04$  м;
- $r_k = 0,005 \div 0,009$  м;
- $h_n = 0,002 \div 0,006$  м;
- $C = 6000 \div 12000$  Н/м;
- $\Delta'_o = 0,005 \div 0,025$  м;
- $\varphi' = 0 \div 360^\circ$ ;
- $\alpha' = 0 \div 30^\circ$ .

Для аналізу відповідності теоретичних і експериментальних результатів за основу приймалися дані експерименту [1, 7]. За отриманими результатами сформовано графічні залежності зміни обертового моменту.

На рисунку 2.6 показано графічну циклічність зміни значення обертового моменту у кульковому шарнірі при повному оберті. Кількість пар кулькового зачеплення  $z = 2$ . Доцільно зауважити, подібна циклічність, з великими перепадами значень обертового моменту, властива лише для мінімальних значень кількості пар контактування. При збільшенні кількості контактних елементів спостерігається певне згладжування амплітуди коливань. Відповідно при застосуванні двох обойм можна припустити про подвійну стабілізацію подібних перепадів обертового моменту. Оскільки вибрана модель шарнірного пристрою конструктивно не може містити більше двох обойм із кульками – то можливість стабілізувати перепади обертового моменту за рахунок чисельно зміни кількості обойм є обмеженою. Відповідно можливі варіації із кількістю кулькових пар контакту, у даному випадку їх – 4 на обоймі з розміщенням

через  $90^\circ$ . Відповідно такий конструктивний підхід характеризується кращою стабілізацією кутових швидкостей (рис. 2.7).

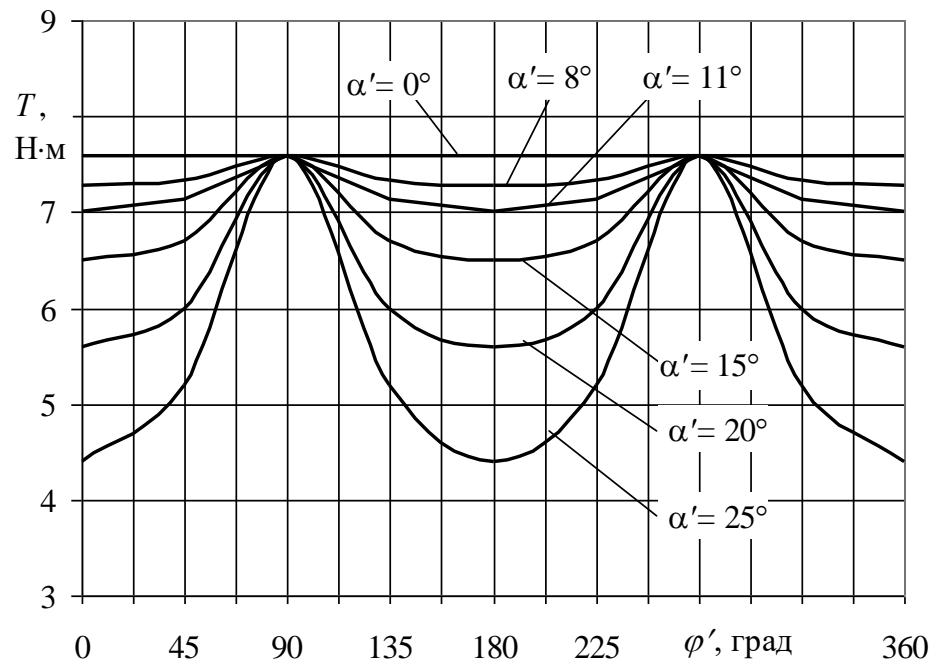


Рисунок 2.6 – Циклічність зміни значення обертового моменту у кульковому шарнірі при провертанні на  $360^\circ$

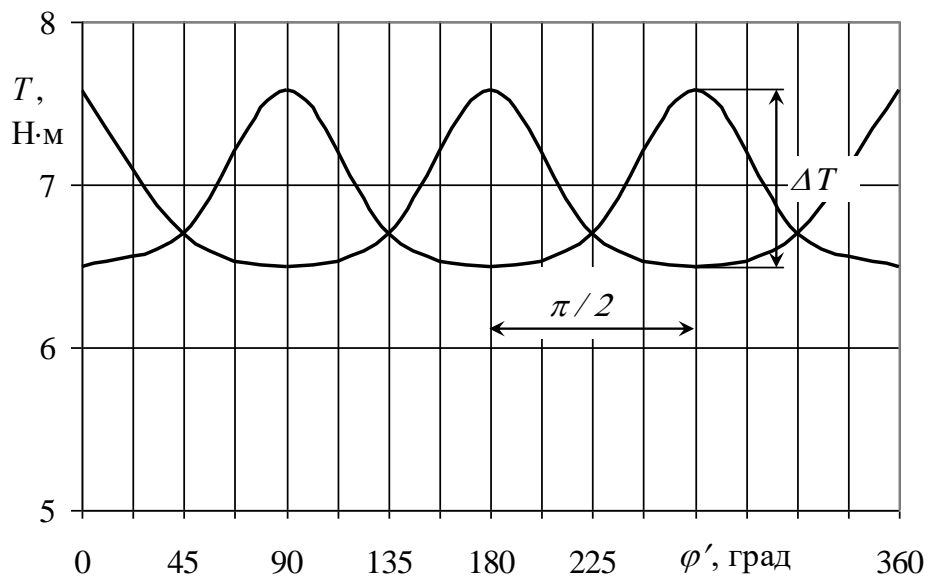


Рисунок 2.6 – Циклічність зміни значення обертового моменту у кульковому шарнірі при провертанні на  $360^\circ$  при кількості кулькових контактів  $z = 4$



Аналізуючи отримані розрахункові результати можна констатувати, що застосування кульок більшого діаметру при постійності висоти пазів не призводить до здатності такого кулькового зачеплення передавати більші обертові моменти, а радше має зворотний ефект. Фактично при  $h_n = 3$  мм і варіюючи значення діаметра  $d_k = 10 \div 18$  мм можна відзначити зменшення величини обертового моменту в межах від 11,5 до 6 Н·м. Якщо це явище виразити у відсотках то падіння навантаження відбувається до 48%, що є досить відчутним. Відповідно зміна конструктивних розмірів  $h_n$  у межах 2...6 мм при  $d_k = \text{const} = 14$  мм понижує здатність компенсувати кутові зміщення до – 36% , але спричиняє підвищення навантажувальної можливості пристрою (до спрацювання у запобіжному режимі) – до 45% .

Співставляючи наявні результати зміни величини обертового моменту виявлено, що при зміщенні  $0 \div 15^\circ$  і кількості кулькового зачеплення  $z \geq 4$  зміна навантажувальної здатності несуттєва і у числовому вираженні не перевищує 3,5% . З чого можна зробити висновок, що для аналогічних конструкцій кутові зміщення  $\leq 15^\circ$  не впливають на значення обертового моменту, що передається вузлом.

Зміна жорсткісних характеристик підтискних пружин також позитивно впливає на значення обертового моменту, що передається шарніром. Причому таке явище спостерігається при різних співвідношеннях  $r_k/h_n$  . Зокрема розрахунки обертового моменту з урахуванням початкової деформації підтискних пружин  $\Delta'_o = 5 \dots 25$  мм та конструктивної жорсткості  $C = 6000 \div 12000$  Н/м і співвідношеннях  $r_k/h_n = \text{const}$  показали тенденцію зміни обертового моменту у сторону збільшення, у окремих випадках до 75% .

За попереднім припущенням конструктивними параметрами, які найбільш суттєво вплинуть на є діаметр (у теоретичних залежностях виражений через радіус) кульки і висота пазу корпусу. Відповідно було побудовано графіки для порівняння числової розбіжності між розрахунковими і експериментальними даними (рис. 2.7).

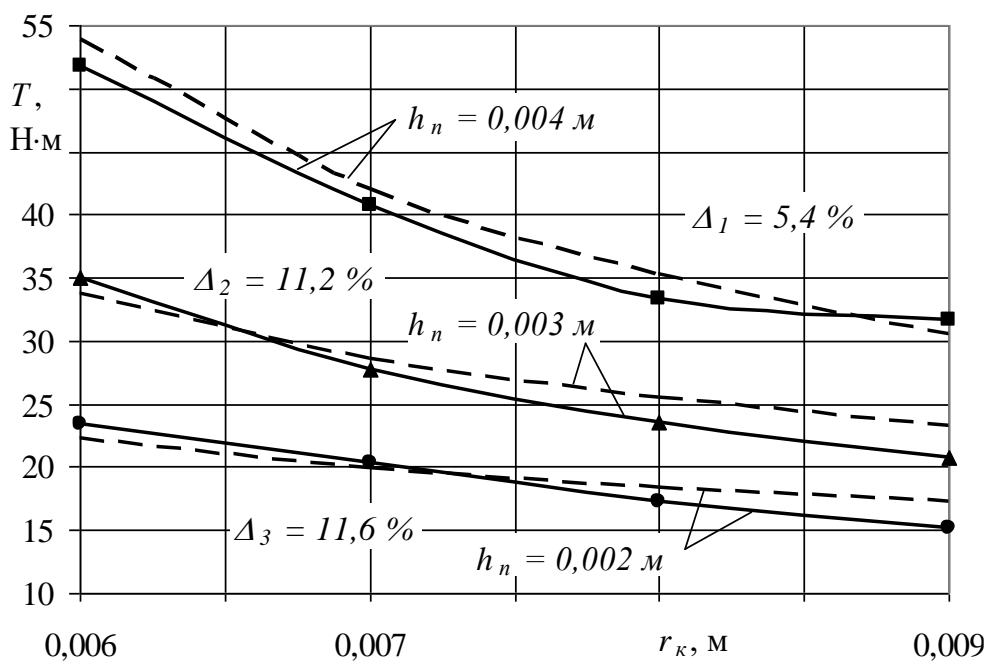


Рисунок 2.7 – Порівняння числової розбіжності між розрахунковими та експериментальними даними: - - - – теорія; ——— – експеримент

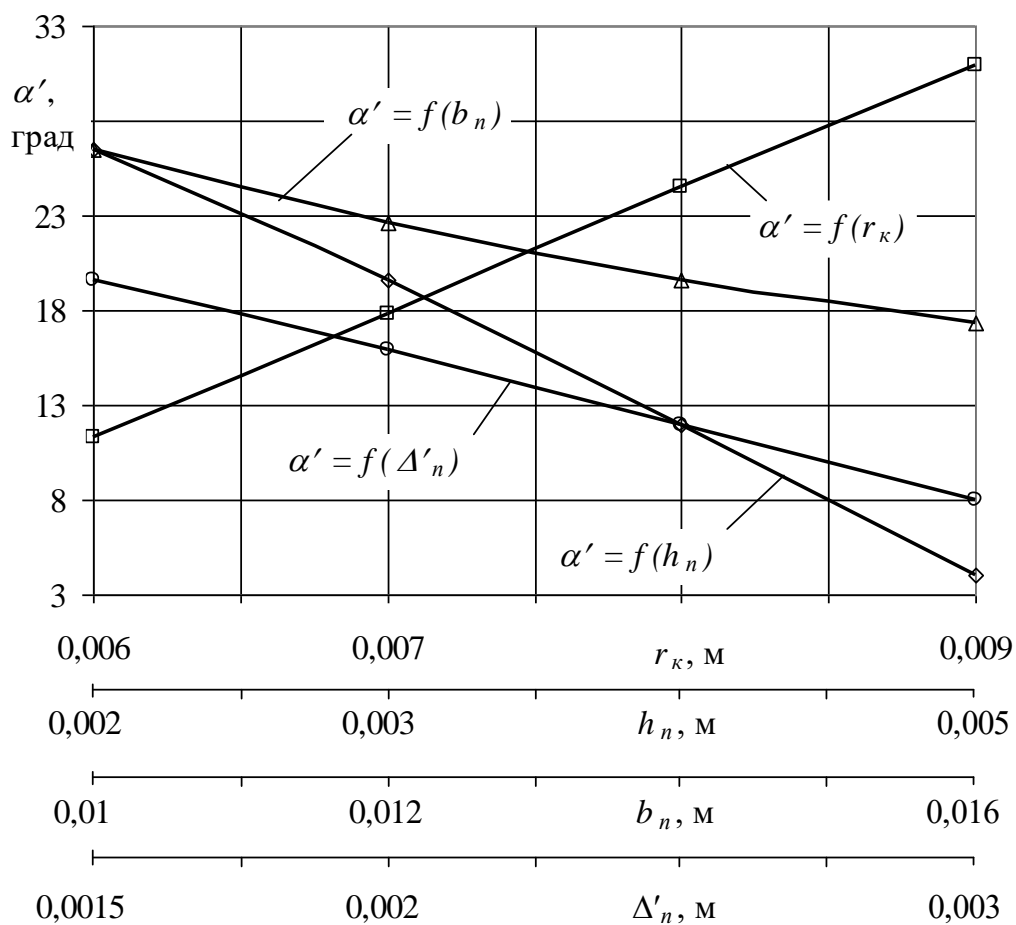


Рисунок 2.8 – Характер зміни кутового зміщення від розмірів контактної кулькової пари

У процесі дослідження отримане підтвердження теоретичного припущення щодо циклічності зміни навантаження у вигляді обертового моменту. Природа зміни даної величини спостерігалася при провертанні обойм пристрою за кутової швидкості  $\omega \approx 16 \text{ с}^{-1}$ , кількість кулькових пар контакту  $z = 2; 4$ , кутове зміщення валів у межах  $0 \div 25^\circ$  [1]. Результати представлені на рисунку 2.9.

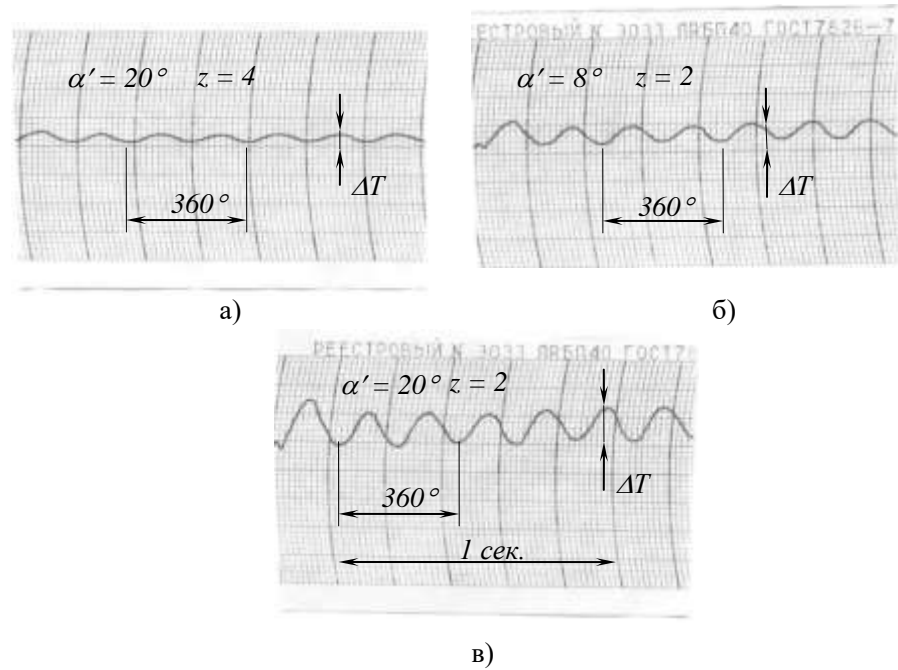


Рисунок 2.9 – Природа зміни циклічності обертового моменту

### 2.3 Аналіз результатів та формування висновків досліджень

Встановлено, що ідея застосування пристроїв на основі ШРКШ має перспективу у сучасному машинобудуванні. Відповідно багатofункціональні шарніри з кульковим зачепленням на прикладі конструкції пристрою у якому кульки розміщують не у сепараторі, а утримуються у відповідних отворах обойми із підтисканням їх пружинами до робочої поверхні пазів, можуть використовуватися у приводах машин. Тобто такий шарнір, у разі необхідності, може функціонувати у запобіжному режимі [8]. Відповідно для технологічного

виготовлення пристроїв на базі даної конструкції можуть мати практичне значення наступні результати досліджень:

- оптимальне значення зміщень при забезпеченні можливості спрацювання у запобіжному режимі  $\Delta_\alpha$  до  $25 \div 27^\circ$ ,  $\Delta_r$  до  $10 \div 12$  мм, при їх відсутності пристрій функціонує при заявлених  $\Delta_\alpha = 35^\circ$ ,  $\Delta_r = 15$  мм;

- зміна конструктивних розмірів радіуса  $r_k$  кульки на  $+1$  мм підвищує здатність компенсувати кутові зміщення – до  $28\%$ , але спричиняє зниження навантажувальної можливості пристрою (починає спрацьовувати у запобіжному режимі) – до  $38\%$ ;

- зміна конструктивних розмірів  $h_n$  на  $+1$  мм знижує здатність компенсувати кутові зміщення до  $-36\%$ , але спричиняє підвищення навантажувальної можливості пристрою (до спрацювання у запобіжному режимі) – до  $45\%$ ;

- встановлено, що при механічному обробленні (виготовленні) кулькової пари контакту кулькового шарніра, для забезпечення мінімізації втрат компенсуючи і навантажувальних характеристик пристрою раціонально витримувати співвідношення  $r_k/h_n = 0,5 \div 0,65$ .

- мінімізація циклічності зміни обертового моменту досягається при мінімальній кількості пар контакту на одній обоймі  $z = 4$ , відповідно циклічне коливання обертового моменту у  $3,5$  рази менше при  $z = 4$  ніж при  $z = 2$ ;

- невідповідність між результатами отриманими теоретичним шляхом розрахунками залежності (2.8) і наявними експериментальними даними [1] не перевищує  $5,5 \div 11,5\%$ .

## 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Службова характеристика об'єкту виробництва

Півкорпус шарніра МК12.010.01 є складовим привідного вузла із використанням принципу ШРКШ (шарніру рівних кутових швидкостей) і входить у привід валу відбору потужності малогабаритної мотоблокової техніки, де даний пристрій призначений для передачі обертового моменту в умовах не співвісності. Компенсаційний механізм знаходиться безпосередньо у корпусі, який є збірним. Корпус призначений для захисту робочих частин та контактуючих поверхонь від потрапляння у їх робочу зону пилу і забруднень. Півкорпуси МК12.010.01 і МК12.010.02 з'єднуються та фіксуються гвинтами для утворення цілого герметичного вузла коробчастого типу, де розміщені контактні пари типу «кулька-канавка». Даний пристрій, попри передачу крутного моменту, також забезпечує ймовірні кутові зміщення валів з'єднаних вузлів мотоблоку.

Для аналізу функціонального призначення поверхонь даного виробу та встановлення їх конструктивної важливості доцільно провести відповідне їх маркування. Згідно креслення встановлено, що основними та відповідальними поверхнями є:

- внутрішня виточка  $\varnothing 120 \text{ H}11^{+0,22}$ , яка призначена для центрування обох півкорпусів один відносно одного;
- виточка  $\varnothing 55$ , яка прив'язана до попереднього розміру розмірним ланцюгом  $102 \text{ H}11^{+0,26}$ ;
- 2 отвори  $\varnothing 35 \text{ H}9^{+0,062}$ , які зв'язані вимогами на позиційне розміщення відносно виточки  $\varnothing 120 \text{ H}11^{+0,22}$ , і на торцеве биття відносно торця основи півкорпуса;
- канавка  $\varnothing 43 \text{ H}9^{+0,062}$ , шириною  $5,2 \text{ H}12^{+0,12}$  з додатковою вимогою на радіальне биття відносно розміру  $\varnothing 35 \text{ H}9^{+0,062}$ ;
- кріпильні отвори М10-7Н з вимогами на позиційне розміщення по  $\varnothing 138$ ;

- отвори механізму фіксації сепаратора з парами контакту, які пов'язані лінійним розміром  $68H11^{+0,72}$  із виточкою  $\varnothing 55$  та умовою виконання діаметральних розмірів  $\varnothing 20 H10^{+0,084}$ . Відстань між отворами регламентується діаметральним розміром  $\varnothing 102,5 H12^{+0,35}$ ;

- отвір  $K1/8''$ .

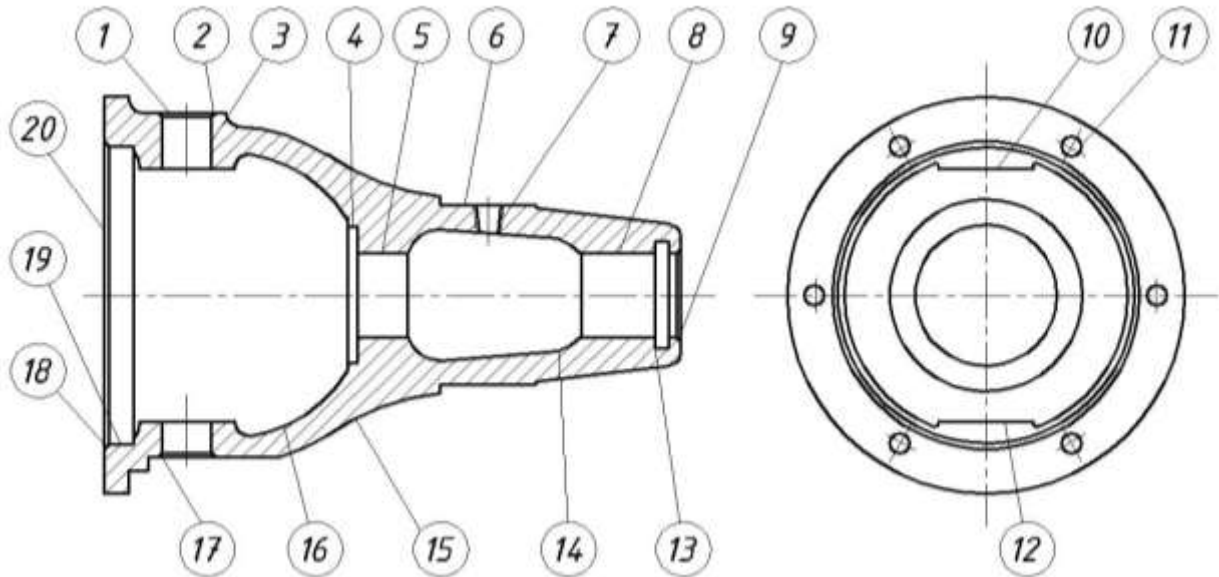


Рисунок 3.1 – Нумерація поверхонь виробу

Відповідно до рисунку 3.1 поверхні 1, 17 є площадками для розміщення відповідних отворів 3 із фасками 2. Дані отвори призначені для встановлення утримуючих пальців для фіксації привідного вала із сепаратором з кульками. Зовнішнім розміром сепаратор контактує із поверхнями 10 і 12 півкорпуса. Виточка 4 містить центрувальну втулку, яка забезпечує точність встановлення привідного вала у отворах 5 і 8 півкорпуса. Поверхня 6 є технологічною і призначена підвищити точність закріплення заготовки в патроні верстата і, відповідно, точність обробки. Також на ній знаходиться отвір 7 із конічною різьбою. Даний отвір призначений для подачі мастила у зону контакту привідного вала із центрувальними втулками. Для герметизації вужчої торцевої частини півкорпуса використовується гумова манжета, яка встановлюється у канавку 13. Для полегшення монтажу манжети на торцевій частині півкорпуса виконана фаска 9. З протилежної торцевої частини 20 міститься виточка 19 із

фаскою 18, які призначенні для центрування частин обох півкорпусів під час складання. Фіксація півкорпусів здійснюється гвинтовим з'єднанням через відповідні 6 глухих отворів 11 із нарізаною різьбою. Поверхні 14, 15, 16 в загальному формують конструкцію деталі і механічному обробленню, в процесі її виробництва, не піддаються.

Таблиця 3.1 – Технічні вимоги до оброблюваних поверхонь

Поверхня	Вид поверхні, розмір, вимоги	Точність	Шорсткість
1	Плоска $18^{-0,15}$ ; $65,25^{-0,74}$	H14	Rz80
2	Зрізаний конус $\varnothing 22 \times 28^\circ$	H10	Ra2,5
3	Циліндрична $\varnothing 19^{+0,3}$ ; $\varnothing 20 \text{H}10^{+0,084}$	H14 H10	Rz80; Ra2,5
4	Циліндрична $\varnothing 55^{+0,74}$ ; $102 \text{H}11^{+0,26}$	H11	Rz20; Rz80
5, 8	Циліндрична $\varnothing 34^{+0,16}$ ; $\varnothing 35 \text{H}9^{+0,062}$ ; $\nearrow 0,5$	H14 H9	Rz20; Ra2,5
6	Циліндрична $\varnothing 72^{+0,7}$ ; $135_{-0,1}$	H14	Rz80
7	Циліндрична $\varnothing 8,6^{+0,15}$ ; $70 \pm 0,8$ Конічна $1,6 \times 45^\circ$ Конічна K1/8"	H14	Rz80; R20
9	Конічна $1,6 \times 45^\circ$	H14	Rz80
10, 12	Плоска під $\varnothing 102,5 \text{H}12^{+0,35}$ ; $51,25^{+0,33}$	H12	Rz20
11	Циліндрична $\varnothing 8,5$ ; $31 \pm 0,5$ ; $\varnothing 138$ Конічна $1,6 \times 45^\circ$ ; Циліндрична M10-7H; $25^{+2,0}$	H14 H7	Rz40; Rz80; Rz20
13	Циліндрична $\varnothing 43 \text{H}9^{+0,062}$ ; $\nearrow 0,6$ ; $5,2 \text{H}12^{+0,12}$	H9 H12	Ra2,5
14, 15, 16	Циліндричні із змінними діаметрами	Забезпечується способом отримання заготовки	Згідно способу отримання заготовки
17	Плоска 15; $73,25^{-0,74}$	H14	Rz80
18	Конічна $2 \times 45^\circ$	H14	Rz20
19	Циліндрична $\varnothing 120 \text{H}11^{+0,22}$ ; $12 \pm 0,2$	H11	Rz20; Rz80
20	Торцева $232-0,1$ ; $10 \pm 1,5$	H14	Rz40

Таблиця 3.2 – Способи забезпечення виконання і контролю точності відповідальних поверхонь

Позначення	Технічна умова	Спосіб виконання	Спосіб контролю
3	Забезпечити точність поверхні по 10-му квалітету і шорсткість $R_a = 2,5$ мкм	Свердління з наступним зенкеруванням	Зразки шорсткості, калібри, спеціальний пристрій
4	Забезпечити точність поверхні по 11-му квалітету і шорсткість $R_z = 80$ мкм	Точне точіння	Калібри, зразки шорсткості
5, 8	Забезпечити точність поверхні по 9-му квалітету і шорсткість $R_a = 2,5$ мкм, торцеве биття не більше 0,05 мм, відхилення від співвісності не більше 0,05 мм	Зенкерування з наступним розверчуванням	Зразки шорсткості, калібри, спеціальні пристрої
10, 12	Забезпечити відстань між поверхнями по 12-му квалітету	Зенкування з використанням спеціальної оправки	Калібр
11	Забезпечити точність розміщення отворів по $\varnothing 138$ мм	Свердління в спеціальному пристрої	Калібр на розміщення
13	Забезпечити точність поверхні по 9-му і 12-му квалітетах і шорсткість $R_a = 2,5$ мкм, торцеве биття не більше 0,06 мм	Точне точіння	Калібри, зразки шорсткості
19	Забезпечити точність поверхні по 11-му квалітету і шорсткість $R_z = 20$ мкм	Точне точіння	Калібри, зразки шорсткості



Використовуваним матеріалом для виготовлення деталі є чавун марки СЧ20 ДСТУ 8833:2019. Хімічні і механічні властивості сірого чавуну вище вказаної марки наведено у табл. 3.3 [9].

Таблиця 3.3 – Хімічні та механічні властивості матеріалу СЧ20

Марка матеріалу	Вміст основних хімічних елементів						
	C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	Cr, %	Ni, %
Чавун СЧ20	3,0÷3,3	0,8÷1,2	1,3÷1,7	0,15	0,3	0,3	0,75
	не більше						
	Основні механічні властивості						
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	НВ	
210	315	40	45	75	170...240		

### 3.2 Аналіз технологічності заготовки і процесу її обробки

Виробником, виходячи із матеріалу деталі, встановлено досить раціональний спосіб виготовлення заготовки. Заготовка півкорпуса отримується литтям у земляні форми. Даний метод є технологічно не складним і оскільки всі відповідальні поверхні потребують обов'язкового механічного оброблення – то даний спосіб є доцільним. Але враховуючи низьку точність заготовок отримуваних литтям у земляні форми можна спрогнозувати, що коефіцієнт використання матеріалу буде відносно низьким. Хоча сірий чавун не є дефіцитним чи дорогим матеріалом, але в сучасних умовах доцільно розглянути способи зниження матеріаломісткості заготовки. Для підтвердження припущення щодо можливості підвищення відсотка використання конструкційного матеріалу проведемо розрахунок коефіцієнта застосування матеріалу базової заготовки, який рівний відношенню маси деталі ( $M_d = 7$  кг) до маси заготовки ( $M_z = 9,8$  кг). Відповідно коефіцієнт використання конструкційного матеріалу згідно базового способу отримання заготовки

$$K_{в.м} = \frac{7}{9,8} = 0,71.$$

Враховуючи, що більша площа поверхонь виробку механічно не обробляється, можна зробити висновок про необхідність вибору більш раціонального способу одержання заготовки із внесенням незначних змін у її конструкцію з метою підвищення рівня її технологічності.

Базовий технологічний процес оброблення заготовки для одержання півкорпуса є типовим маршрутом обробки для аналогічних виробів.

Таблиця 3.4 – Маршрут обробки і трудомісткість базового технологічного процесу

№ операції	Назва операції	Модель верстату	Штучний час, хв.
005	Токарна	1Н713	1,38
010	Токарна	1283	8,49
015	Токарна	1283	0,85
020	Вертикально-свердлильна	2Н150	0,39
025	Вертикально-свердлильна	2Н150	0,46
030	Вертикально-свердлильна	2Н150	1,25
035	Вертикально-фрезерна	6550	1,1
040	Вертикально-фрезерна	6550	0,9
045	Вертикально-свердлильна	2Н1150	2,08
050	Вертикально-свердлильна	2Н1150	2,06
055	Вертикально-свердлильна	2Н150	2,74
060	Вертикально-свердлильна	2Н150	0,84
065	Вертикально-свердлильна	2Н135	0,64
070	Вертикально-свердлильна	2Н135	0,89
075	Вертикально-свердлильна	2Н135	0,46
080	Вертикально-свердлильна	2Н135	0,25
085	Різьбонарізна	2056	0,36
090	Різьбонарізна	2056	0,32

Заздалегідь можна припустити, що базовий технологічний процес оброблення є недосконалим, оскільки він передбачає застосування великої кількості різнотипного застарілого обладнання, яке є на підприємстві. Тому існуючий технологічний процес механічного оброблення можна вдосконалити враховуючи дану причину і можливість використання удосконаленої заготовки пів корпусу.

Базовою поверхнею для більшості операцій механічного оброблення, а саме токарної обробки є технологічна поверхня 6, яку пропонується обробити за допомогою обточування на першій же операції механічної обробки. Це забезпечить відповідну точність оброблення на наступних операціях згідно принципу суміщення баз. Більшість однотипних операцій базового технологічного процесу, зокрема свердлильних, доцільно звести в одну і розробити спеціальне приспособлення для оброблення свердлінням.

Операції щодо свердління і нарізання різьби в отворі для закріплення фіксуючої планки можна усунути, оскільки даний отвір не впливає на функціональне призначення виробу, відповідно можна внести відповідні корективи в конструкцію виробу знизивши таким чином собівартість та підвищивши технологічність.

### **3.3 Вибір способу одержання і розробка заготовки**

Проаналізувавши конструктивні особливості виробу та технологічні властивості матеріалу на основі рекомендацій [10, 11] приймаємо наступні можливі способи отримання заготовки методом лиття:

- у земляні форми;
- у піщані форми.

Проводимо розробку конструкції заготовки. Оскільки конструкція деталі є достатньо технологічною, то суттєвих конструктивних змін заготовки не планується.

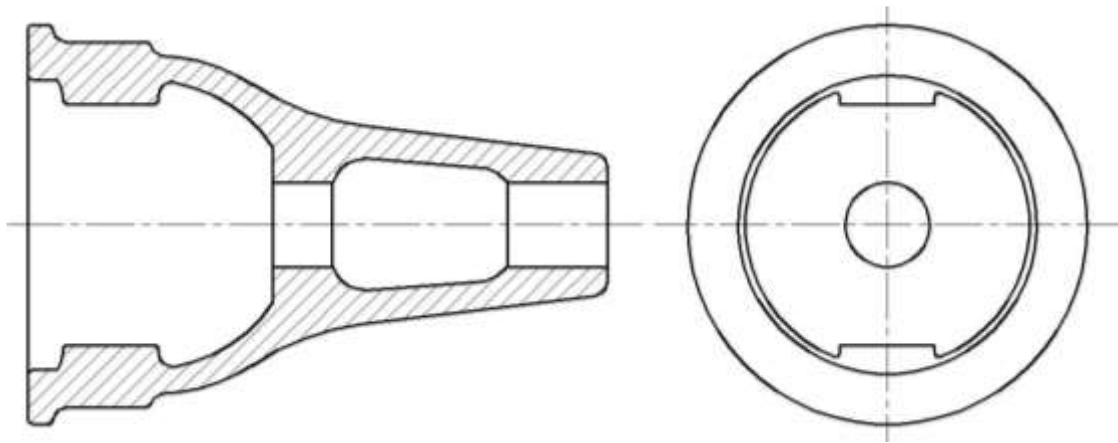


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд заготовки

Для встановлення припусків на оброблення за табличним методом необхідно встановити клас точності і ряд припусків. Встановимо їх згідно даних [10], додаток 1.1 на основі попередньо прийнятого способу отримання заготовки, орієнтовних найбільших габаритних розмірів та марки прийнятого матеріалу. Фактичний найбільший розмір деталі – 232 мм; маса – 7 кг; маса заготовки – 9,8 кг; матеріал – сірий чавун. Акцентуючи на питанні зменшення матеріалоемкості заготовки підберемо мінімально допустимі припуски на оброблення, у першу чергу це стосується поверхонь, які не підлягають механічному обробленню. Результати вибору для кожного із способів наведемо у вигляді таблиць. Позначення поверхонь згідно рис. 3.1.

Таблиця 3.5 – Характеристика заготовки отримуваної методом лиття у земляні форми

Клас точності розмірів	Клас точності мас	Найбільший ступінь жолоблення	Ряд припусків
10	11	10	4
Точність заготовки		10-11-10-4 ГОСТ 26645 - 85	
Поверхня	Допуски розміру, мм	Припуск, мм	Кінцевий розмір, мм
1	2	3	4
1	$\pm 2,80$	4,2÷5,0 приймаємо 4,2	69,45±2,80
2, 3	—	—	суцільний матеріал
4	$\pm 3,20$	5,0÷6,5 приймаємо 5,0	97±3,20

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4
5, 8	$\pm 2,20$	3,8÷4,6 приймаємо 3,8	$\varnothing 26,4 \pm 2,20$
6	$\pm 2,80$	4,2÷5,0 приймаємо 4,2	$\varnothing 80,4 \pm 2,80$
7	—	—	суцільний матеріал
9, 20	$\pm 3,60$	5,0÷6,5 приймаємо 5,0	$242 \pm 3,60$
10, 12	$\pm 2,40$	3,8÷4,6 приймаємо 3,8	$\varnothing 94,4 \pm 2,40$
11	—	—	суцільний матеріал
13	—	—	суцільний матеріал
14, 15, 16	$\pm 1,80$	2,4÷3,2 приймаємо 2,4	$10 \pm 1,80$
17	$\pm 2,80$	4,2÷5,0 приймаємо 4,2	$77,45 \pm 2,80$
18	—	—	суцільний матеріал
19	$\pm 3,20$	5,0÷6,5 приймаємо 5,0	$\varnothing 110 \pm 3,20$

Таблиця 3.6 – Характеристика заготовки отримуваної методом лиття у піщані форми

Клас точності розмірів	Клас точності мас	Найбільший ступінь жолоблення	Ряд припусків
9	10	10	3
Точність заготовки		9-10-10-3 ГОСТ 26645 - 85	
Поверхня	Допуски розміру, мм	Припуск, мм	Кінцевий розмір, мм
1	$\pm 2,20$	3,2÷4,0 приймаємо 3,8	$69,05 \pm 2,20$
2, 3	—	—	суцільний матеріал
4	$\pm 2,40$	3,2÷4,0 приймаємо 3,8	$97,6 \pm 2,40$
5, 8	$\pm 1,80$	2,8÷3,6 приймаємо 3,4	$\varnothing 27,2 \pm 1,80$
6	$\pm 2,20$	3,2÷4,0 приймаємо 3,8	$\varnothing 79,6 \pm 2,20$
7	—	—	суцільний матеріал
9, 20	$\pm 2,80$	3,6÷4,5 приймаємо 4,2	$240,4 \pm 2,80$
10, 12	$\pm 2,40$	3,2÷4,0 приймаємо 3,6	$\varnothing 95,3 \pm 2,40$
11	—	—	суцільний матеріал
13	—	—	суцільний матеріал
14, 15, 16	$\pm 1,20$	2,2÷3,0 приймаємо 2,2	$10 \pm 1,20$
17	$\pm 2,20$	3,2÷4,0 приймаємо 3,8	$77,05 \pm 2,20$
18	—	—	суцільний матеріал
19	$\pm 2,40$	3,2÷4,0 приймаємо 3,8	$\varnothing 112,4 \pm 2,40$

Таблиця 3.7 – Порівняння значень припусків заготовок

Поверхня	Значення припуску на поверхню, мм		Різниця припусків, %
	лиття у земляні форми	лиття у піщані форми	
1	4,2	3,8	10
4	10,0	7,6	24
5, 8	7,6	6,8	10
6	8,4	7,6	10
9, 20	10	8,4	16
10, 12	7,6	7,2	5
14, 15, 16	2,4	2,2	8
17	4,2	3,8	10
19	10,0	7,6	24
Середнє значення різниці припусків, %			13

Аналізуючи дані таблиці 3.7 встановлено, що проектна заготовка очікується легшою на 13%. Відповідно її маса

$$M_{n.з} = M_{б.з} - (0,13 \cdot M_{б.з}) = 9,8 - 1,1 = 8,7 \text{ кг}$$

Коефіцієнт використання конструкційного матеріалу згідно проектного способу отримання заготовки

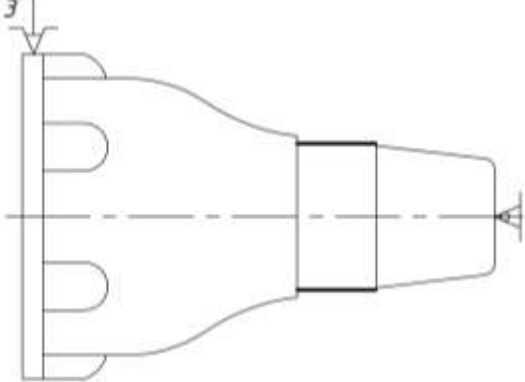
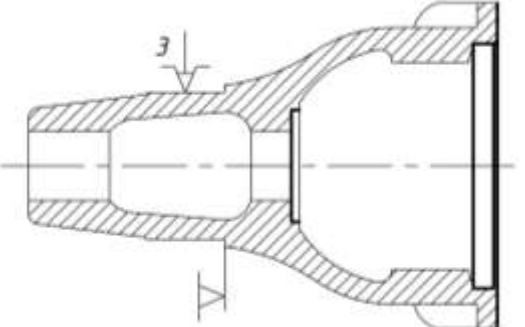
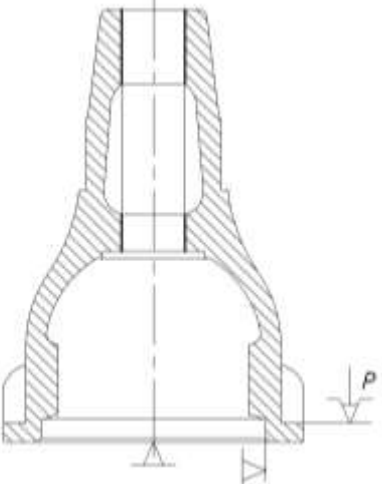
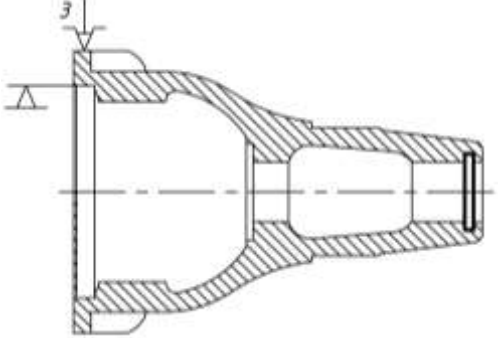
$$K_{в.м} = \frac{7}{8,7} \approx 0,8.$$

Дане значення коефіцієнта використання матеріалу є вищим ніж для базової заготовки, відповідно спосіб лиття у піщані форми є раціональним.

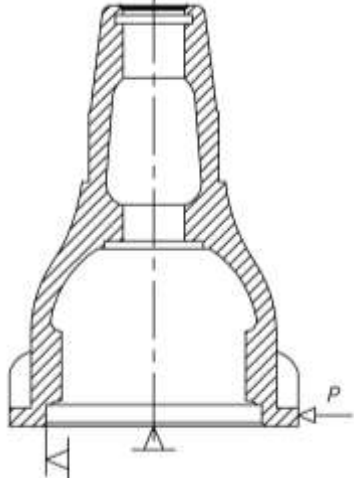
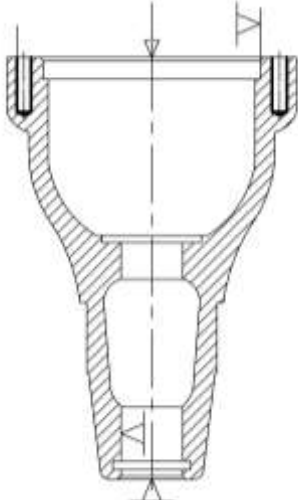
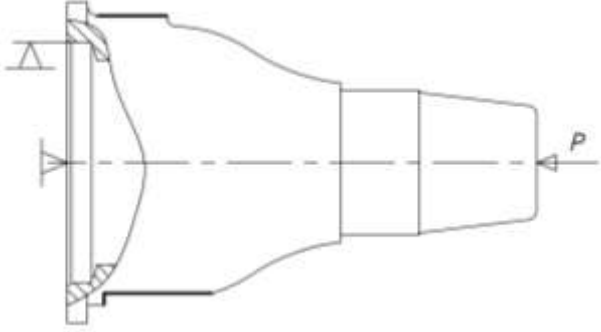
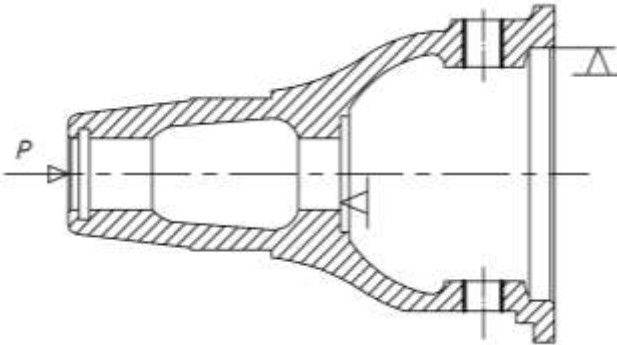
### 3.4 Вибір технологічних баз та маршруту оброблення деталі

При виборі технологічних баз використовуємо позначення оброблюваних і установчих поверхонь згідно позначень наведених на рисунку 3.1.

Таблиця 3.8 – Технологічні бази півкорпуса МК12.010.01

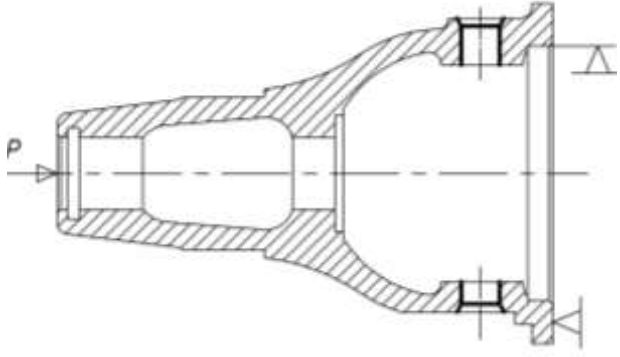
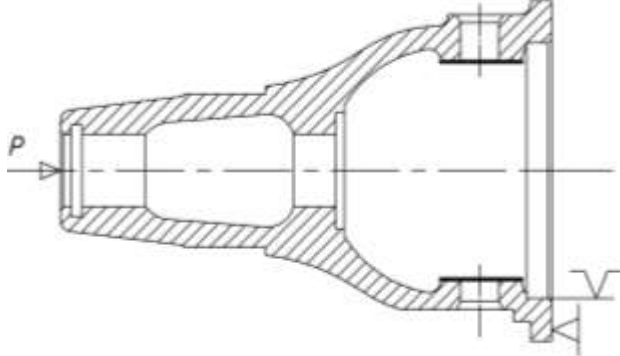
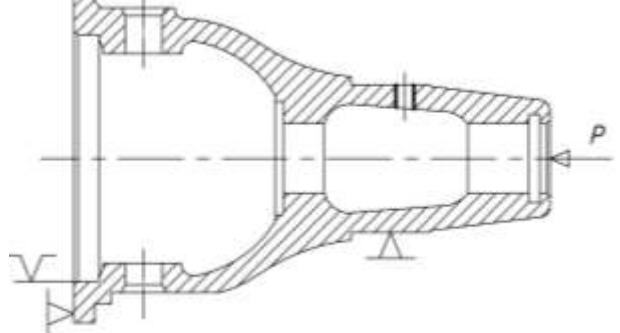
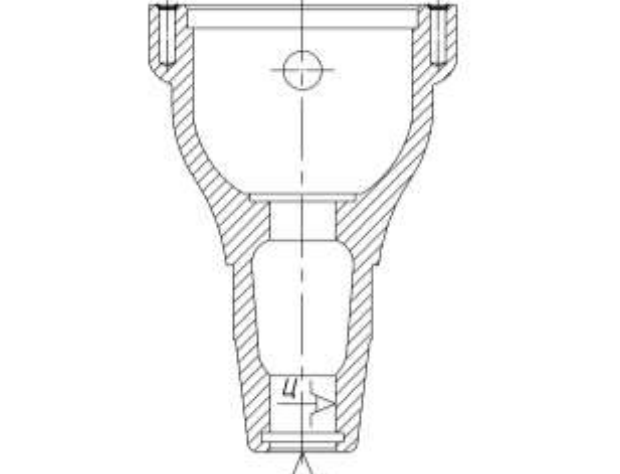
Порядок обробки	Оброблювана поверхня	Технологічна база	Схема базування і закріплення
1	2	3	4
1	6	9, 15	
2	4, 18, 19, 20	6	
3	5, 8	15, 19, 20	
4	13	15, 19	

Продовження таблиці 3.8

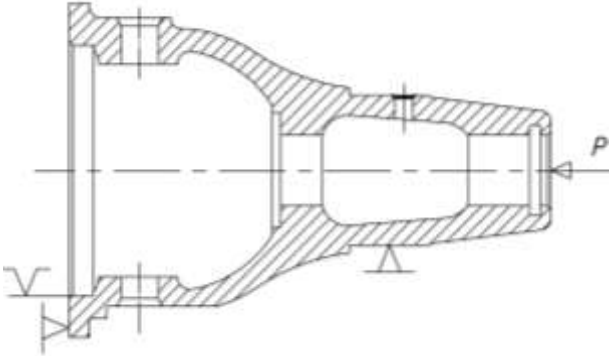
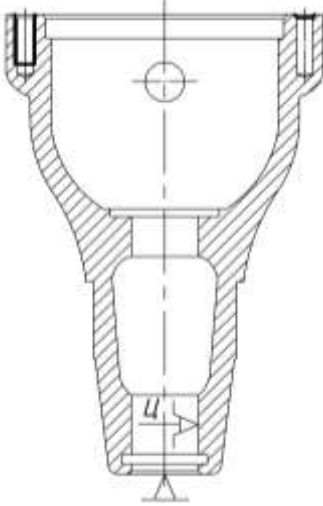
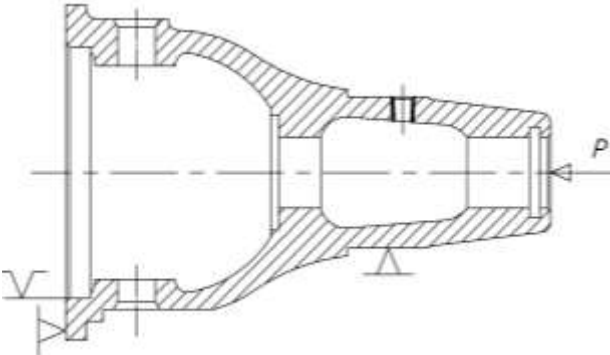
1	2	3	4
5	9	15, 19, 20	
6	11	8, 9, 19, 20	
7	1, 17	9, 19, 20	
8	3	4, 9, 19	



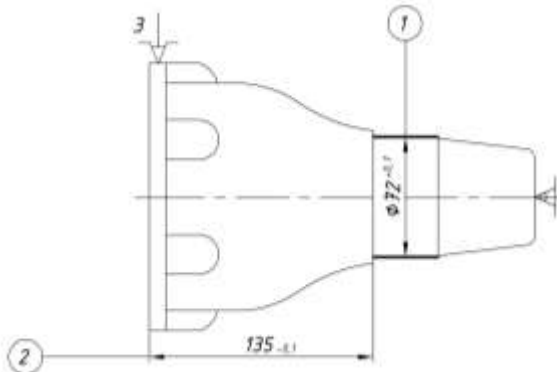
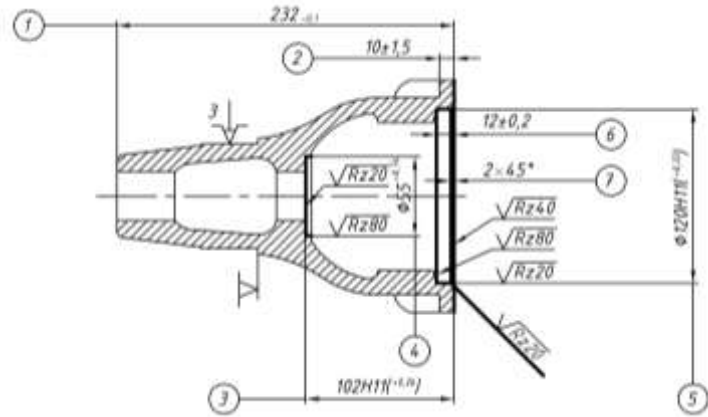
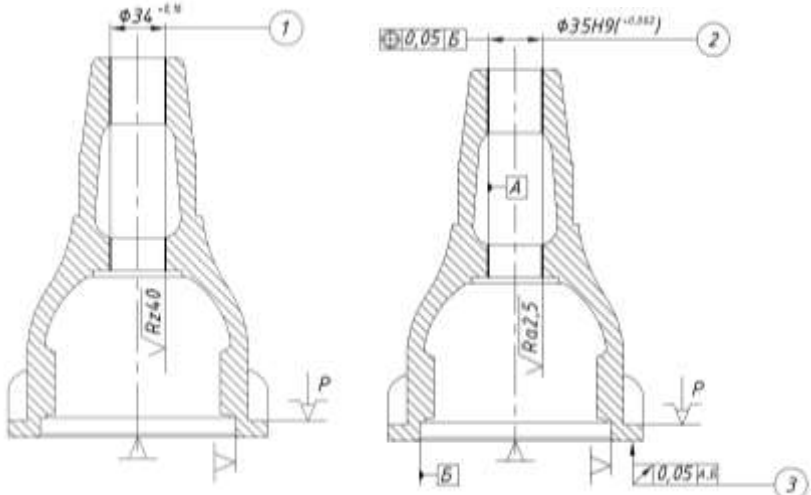
Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4
9	2, 3	9, 19, 20	
10	10, 12	9, 19, 20	
11	7	9, 19, 20	
12	11	8, 9, 19, 20	

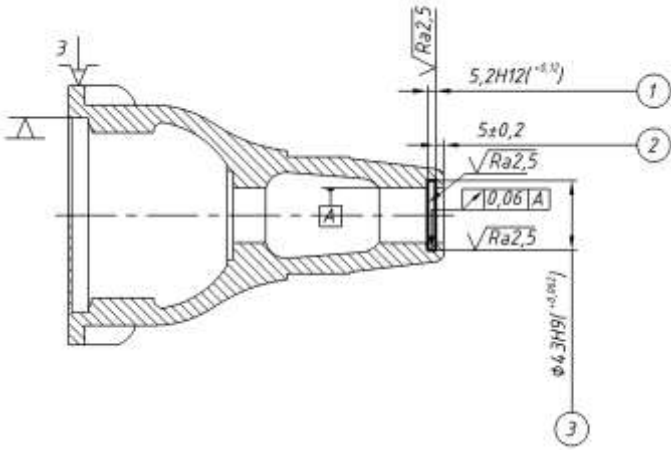
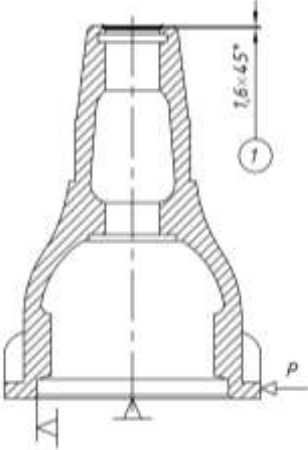
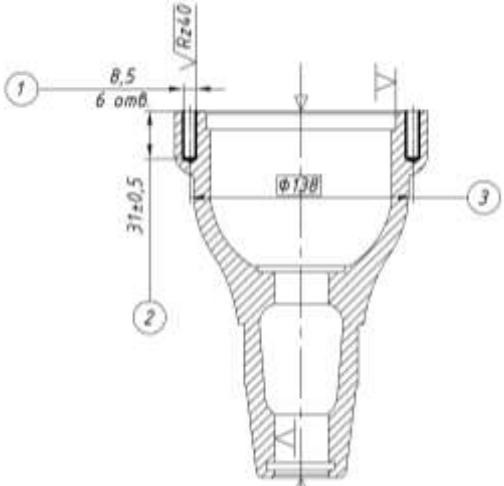
Закінчення таблиці 3.8

1	2	3	4
13	7	6, 9, 19, 20	
14	11	8, 9, 19, 20	
15	7	6, 9, 19, 20	

Таблиця 3.9 – Розроблений маршрут оброблення деталі

Назва операції, переходу, суть операції	Застосовуване обладнання
1	2
<p>005 Токарна</p> <p>1. Проточити поверхню в розмір 1, 2</p>	<p>Багаторізцевий токарний напівавтомат мод. 1A720</p>
	
<p>010 Токарна</p> <p>1. Підрізати торець в розмір 1, 2;</p> <p>2. Розточити виточку в розмір 3, 4;</p> <p>3. Розточити отвір і фаску в розмір 5, 6, 7</p>	<p>Багаторізцевий токарний напівавтомат мод. 1A720</p>
	
<p>015 Вертикально-свердлильна</p> <p>1. Зенкерувати отвір в розмір 1;</p> <p>2. Розвернути отвір в розмір 2, 3</p>	<p>Верстат вертикально свердлильний мод. 2Н135</p>
	

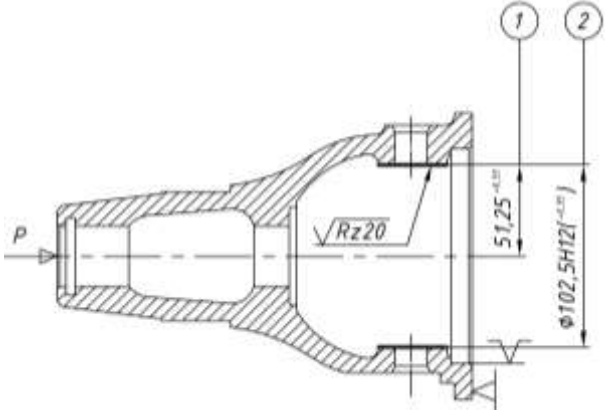
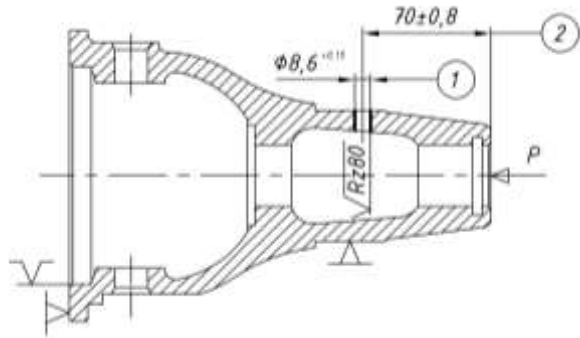
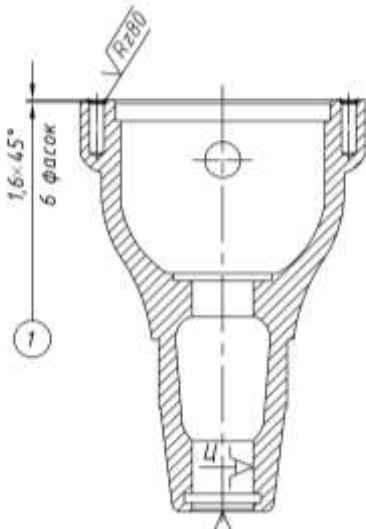
Продовження таблиці 3.9

1	2
<p>020 Токарна 1. Розточити канавку в розмір 1, 2, 3</p>	<p>Багаторізцевий токарний напівавтомат мод. 1A720</p>
	
<p>025 Вертикально-свердлильна 1. Зенкувати фаску в розмір 1</p>	<p>Верстат вертикально свердлильний мод. 2Н135</p>
	
<p>030 Вертикально-свердлильна 1. Свердлити 6 отв. в розмір 1, 2, 3</p>	<p>Верстат вертикально свердлильний мод. 2Н135</p>
	

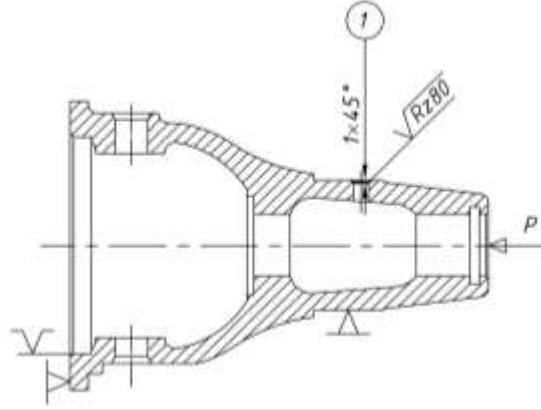
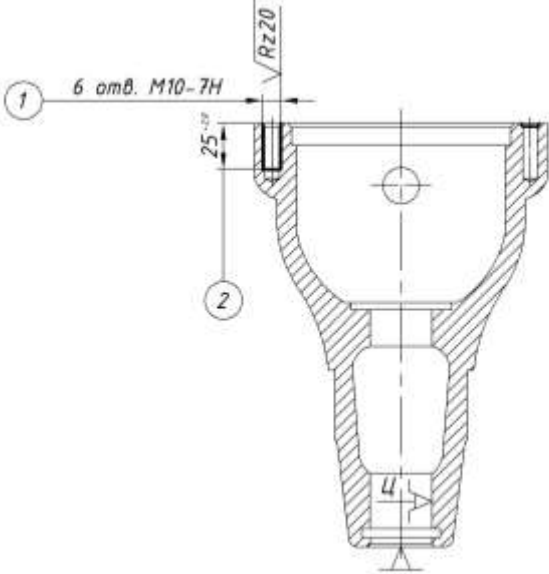
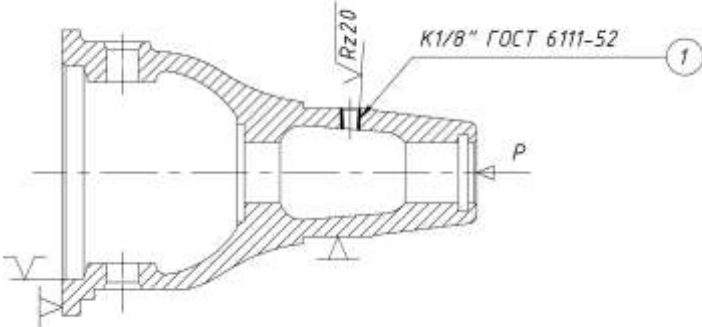
Продовження таблиці 3.9

1	2
<p>035 Вертикально-фрезерна</p> <p>1. Фрезерувати площину в розмір 1, 2;</p> <p>2. Переустановити деталь;</p> <p>3. Фрезерувати площину в розмір 3, 4</p>	<p>Верстат вертикально фрезерний мод. 6Н10</p>
<p>040 Вертикально-свердлильна</p> <p>1. Свердлити отвір в розмір 1, 2</p>	<p>Верстат вертикально свердлильний мод. 2Н135</p>
<p>045 Вертикально-свердлильна</p> <p>1. Зенкерувати отвір в розмір 1, 2, 3</p>	<p>Верстат вертикально свердлильний мод. 2Н135</p>

Продовження таблиці 3.9

1	2
<p>050 Вертикально-свердлильна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зенкувати площину в розмір 1;</li> <li>2. Переустановити деталь;</li> <li>3. Зенкувати площину в розмір 2</li> </ol>	<p>Верстат вертикально свердлильний мод. 2Н135</p>
	
<p>055 Вертикально-свердлильна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Свердлити отвір в розмір 1, 2</li> </ol>	<p>Верстат вертикально свердлильний мод. 2Н135</p>
	
<p>060 Вертикально-свердлильна</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зенкувати послідовно 6 фасок в розмір 1</li> </ol>	<p>Верстат вертикально свердлильний мод. 2Н135</p>
	

Закінчення таблиці 3.9

1	2
<p>065 Вертикально-свердлильна 1. Зенкувати фаску в розмір 1</p>	<p>Верстат вертикально свердлильний мод. 2Н135</p>
	
<p>070 Різьбонарізна 1. Нарізати різьбу в 6-ти отв. у розмір 1, 2. Обробку проводити послідовно.</p>	<p>Різьбонарізний напівавтомат мод. 2056</p>
	
<p>075 Різьбонарізна 1. Нарізати різьбу в розмір 1</p>	<p>Різьбонарізний напівавтомат мод. 2056</p>
	

### 3.5 Вибір режимів оброблення деталі та норм часу

При встановленні режимів оброблення деталі не застосовувався розрахунково-аналітичний спосіб у зв'язку із його громіздкістю. Призначення режимів різання проводимо згідно рекомендацій [12, 13], керуючись технічними вимогами до точності і шорсткості поверхонь та можливостями вибраного металообробного обладнання.

Таблиця 3.10 – Вибрані режими обробки

№ опер.	Назва операції і перехід	$L$ , мм	$t$ , мм	$i$	$S$ , мм/об	$S_m$ , мм/хв.	$n$ , об/хв.	$V$ , м/хв.	$T_o$ , хв.	$N$ , кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005	Токарна Прохід 1	50	2	1	0,2	–	250	56,5	0,32	1,75
010	Токарна Прохід 1	25	1	1	0,3	–	250	68	0,52	2,81
	Прохід 2	3	4	1	0,2		135	49	0,32	
	Прохід 3	12	3	1	0,3		250	68	0,67	
015	Вертикально-свердлильна Прохід 1	140	2	1	0,14	–	250	12,6	1,4	0,47
	Прохід 2	140	0,5	1	0,1	–	250	6	0,68	
020	Токарна Прохід 1	5,2	4	1	0,2	–	135	9,2	0,86	0,95
025	Вертикально-свердлильна Прохід 1	3	1,6	1	вруч.	–	180	21,6	0,04	0,23
030	Вертикально-свердлильна Прохід 1	31	4,25	1	0,04	–	125	13,3	0,68	2,15
035	Вертикально-фрезерна Прохід 1	40	3	1	–	100	315	44,5	0,6	2,1
	Прохід 3	40	1	1	–	50	150	24,5	0,41	
040	Вертикально-свердлильна Прохід 1	22	9,5	1	0,14	–	250	15	0,63	2,47
	Прохід 2	22	9,5	1	0,14	–	250	15	0,63	



Закінчення таблиці 3.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
045	Вертикально-свердлильна									0,47
	Прохід 1	17	0,5	1	0,56	–	250	17,7	1,12	
	Прохід 2	3	1	1	вруч.	–	250	15,2	0,04	
	Прохід 4	17	0,5	1	0,56	–	250	17,7	1,12	
	Прохід 5	3	1	1	вруч.	–	250	15,2	0,04	
050	Вертикально-свердлильна									1,47
	Прохід 1	69	2	1	0,2	–	125	15,7	0,24	
	Прохід 3	69	2	1	0,2	–	125	15,7	0,24	
055	Вертикально-свердлильна									0,87
	Прохід 1	31	4,25	1	0,04	–	125	13,3	0,68	
060	Вертикально-свердлильна									0,67
	Прохід 1	3	1,6	6	вруч.	–	500	15,7	0,24	
065	Вертикально-свердлильна									0,3
	Прохід 1	3	1	1	вруч.	–	500	15,7	0,1	
070	Різьбонарізна									0,56
	Прохід 1	30×2	0,75	6	1,5	–	180	5,6	1,34	
075	Різьбонарізна									0,48
	Прохід 1	40	0,7	2	0,941	–	112	3,8	0,37	

У сучасних виробничих умовах нормування часу на виготовлення деталі має відповідальне значення та фактично визначає такт виробництва, норми оплати роботи працюючого. Відповідно норми часу визначають регламент на здійснення певного виду робіт з урахуванням специфіки виробництва.

Технічні норми часу на операції маршруту оброблення деталі встановлюють розрахунково-аналітичним шляхом. Норми штучного часу на операцію за формулою [13]:

$$T_{шт} = T_o + T_{\partial} + T_{обсл} + T_{відн}, \quad (3.1)$$

де враховують основний або технологічний; допоміжний; час на обслуговування робочого місяця; час на особисті потреби працюючого, хв.

Норму оперативного часу

$$T_{on} = T_o + T_{\partial}. \quad (3.2)$$

Для умов серійних виробництв враховують штучно-калькуляційний час

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{н.з.}}{n}. \quad (3.3)$$

Таблиця 3.11 – Норми часових затрат на операції оброблення

Номер опер.	$T_o$ , хв.	Допоміжний, хв.			$T_{\partial}$ , хв.	$T_{on}$ , хв.	$T_{обс.}$ , хв.	$T_{відн.}$ , хв.	$T_{шт.}$ , хв.	$T_{нз.}$ , хв.	$T_{шт.к}$ , хв.
		$T_{уст}$	$T_{упр}$	$T_{вим}$							
005	0,32	0,21	0,11	0,02	0,34	0,40	0,026	0,026	1,57	12	1,62
010	1,51	0,20	0,12	0,08	0,40	0,92	0,03	0,03	1,98	18	2,06
015	2,08	0,64	0,48	0,08	1,20	1,8	0,11	0,11	3,02	24	3,12
020	0,86	0,32	0,18	0,08	0,58	1,16	0,16	0,16	1,48	16	1,74
025	0,04	0,35	0,12	0,11	0,58	0,84	0,19	0,19	1,22	16	1,79
030	0,68	0,20	0,12	0,08	0,40	0,80	0,03	0,03	0,86	12	0,91
035	1,01	0,42	0,16	0,11	0,69	0,92	0,04	0,04	7,83	12	8,05
040	1,26	0,32	0,12	0,08	0,52	0,98	0,04	0,04	1,98	14	2,12
045	0,32	0,21	0,11	0,02	0,34	0,40	0,026	0,026	1,57	12	1,62
050	0,48	0,21	0,11	0,02	0,34	0,40	0,026	0,026	1,67	12	1,92
055	0,68	0,20	0,12	0,08	0,40	0,80	0,03	0,03	0,86	12	0,91
060	0,24	0,32	0,12	0,08	0,52	0,98	0,04	0,04	1,98	14	2,12
065	0,1	0,32	0,18	0,08	0,58	1,16	0,16	0,16	0,88	16	1,02
070	1,34	0,32	0,12	0,08	0,52	0,98	0,04	0,04	1,98	14	2,12
075	0,37	0,21	0,11	0,02	0,34	0,40	0,026	0,026	1,59	12	1,69

Таблиця 3.12 – Різальні і вимірні засоби забезпечення виготовлення півкорпуса шарніра МК12.010.01

№ операції	Назва операції (переходу)	Інструмент	
		різальний	вимірювальний
1	2	3	4
005	Токарна	різець ВК8 ГОСТ 18879 - 73	штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80
010	Токарна	різець ВК8 ГОСТ 21151 - 75 ; різець ВК8 МН 3899 - 62 ; різець ВК8 ГОСТ 21151 - 75	штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80 ; пробка Ø120 ГОСТ 14823 - 69
015	Вертикально-свердлильна	зенкер Ø34 ВК8 ГОСТ 3231 - 71 ; розвертка Ø35 ВК8 ГОСТ 11175 - 80	штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80 ; пробка Ø35 ГОСТ 14823 - 69
020	Токарна	різець ВК8 ГОСТ 18879 - 73	шаблон (5,2) Н12; шаблон (5); нутромір; індикатор ИЧ10кл.0 ГОСТ 577 - 68
025	Вертикально-свердлильна	зенківка Ø35 ВК8 ГОСТ 14953 - 80	шаблон 8371 - 0188 МН 1422 – 61
030	Вертикально-свердлильна	свердло Ø8,5 Р18 (6 шт.) ГОСТ 10903 - 77	шаблон 8371 - 0199 МН 1422 – 61
035	Вертикально-фрезерна	фреза Ø40 ВК6 ГОСТ 17026 - 71	штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80
040	Вертикально-свердлильна	свердло Ø19 Р18 ГОСТ 10903 - 77	штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80
045	Вертикально-свердлильна	зенкер Ø20 ВК8 ГОСТ 3231 - 71 ; зенківка Ø25 ВК8 ГОСТ 14953 - 80	штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80 ; пробка Ø25 ГОСТ 14823 - 69 ; калібр 8338-4019

Закінчення таблиці 3.12

1	2	3	4
050	Вертикально-свердлильна	зенківка Ø50 BK8 ГОСТ 14953 - 80	пробка (102,5) Н11 8140-4038
055	Вертикально-свердлильна	свердло Ø8,7 P18 ГОСТ 10902 - 77	штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80; шаблон (70) 8419-4252
060	Вертикально-свердлильна	зенківка Ø10 BK8 ГОСТ 14953 - 80	шаблон (45°) 8371- 0165 МН 1422-61
065	Вертикально-свердлильна	зенківка Ø10 BK8 ГОСТ 14953 - 80	шаблон (45°) 8371-0165 МН 1422-61
070	Різьбонарізна	мітчик М10 P8 ГОСТ 3266 - 81	штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80; пробка М10 ГОСТ 17758 - 72
075	Різьбонарізна	мітчик К1/8" P8 ГОСТ 5227 - 80	пробка К1/8" ГОСТ 17758 - 72
080	Слюсарна	напильник ГОСТ 1465 - 80	–
085	Приймальний контроль	–	Контрольний спецпристрій; пробка Ø120 ГОСТ 14823 - 69 ; пробка Ø120 ГОСТ 14823 - 69 ; шаблон 8371 - 0199 МН 1422 – 61 ; пробка Ø25 ГОСТ 14823 - 69 ; пробка (102,5) Н11 8140-4038; штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80; пробка М10 ГОСТ 17758 - 72

### 3.6 Встановлення кількості обладнання

Кількість одиниць використовуваних верстатів визначають за числовим значенням відношень штучного часу і такту виробництва [14]

$$m_p = \frac{T_{um}}{t_B}. \quad (3.4)$$

Такт виробництва [11]

$$t_{\epsilon} = \frac{F_{\delta} \cdot 60}{N}, \quad (3.5)$$

де  $F_{\delta}$  – фактичний фонд часу функціонування верстатів у рік,  $F_{\delta} = 4015$  год.;

$N$  – програма виробництва виробів у рік,  $N = 20000$  шт.

$$t_{\epsilon} = \frac{4015 \cdot 60}{20000} = 12,05 \text{ хв.}$$

Операції, які виконуються на одному обладнанні доцільно згрупувати, а саме 005, 010, 020 – токарні, відповідно

$$m_p = \frac{1,62 + 2,06 + 1,74}{12,05} \approx 0,45$$

– мод. 1A720 – 1 верстат.

015, 025, 030, 040, 045, 050, 055, 060, 065 – вертикально-свердлильні

$$m_p = \frac{3,12 + 1,79 + 0,91 + 2,12 + 1,62 + 1,92 + 0,91 + 2,12 + 1,02}{12,05} \approx 1,23$$

– мод. 2Н135 – 2 верстати.

035 – вертикально-фрезерна

$$m_p = \frac{7,83}{12,05} \approx 0,65$$

– мод. 6Н10 – 1 верстат.

070, 075 – різьбонарізні

$$m_p = \frac{2,12 + 1,69}{12,05} \approx 0,32$$

– мод. 2056 – 1 верстат.

Коефіцієнт завантаження застосовуваних верстатів рівний відношенню відповідно розрахункового і прийнятого значення кількості верстатів

$$\eta_{з.ср} = \frac{0,45 + 1,23 + 0,65 + 0,32}{5} \approx 0,53.$$

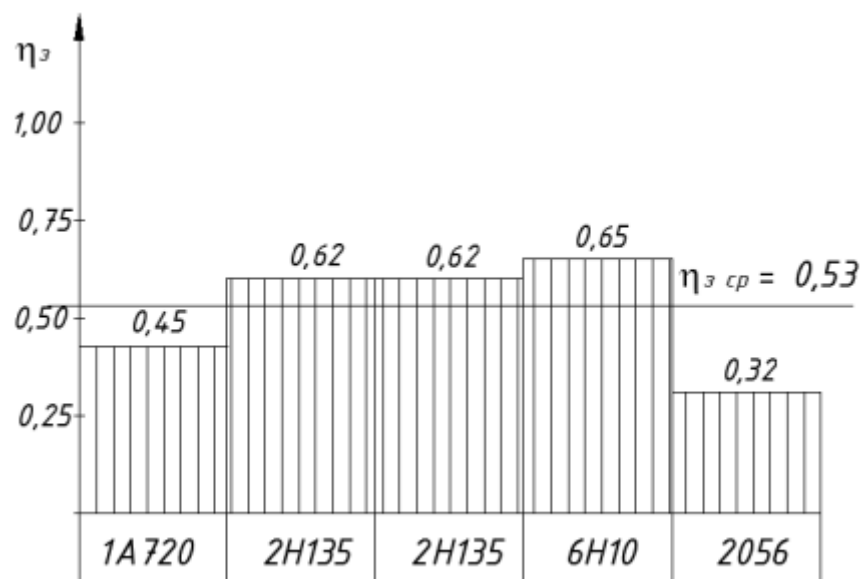


Рисунок 3.3 – Циклограма завантаженості верстатів

### 3.7 Розробка спеціальної оснастки

#### 3.7.1 Кондуктор свердлильний

Для з'єднання двох півкорпусів призначені 6 різьбових отворів, які розміщені по периметру торцевої поверхні півкорпуса МК12.010.01. Аналогічні отвори, але без різьби, виконуються на півкорпусі МК12.010.02. Для технологічного оброблення і точного позиціонування даних поверхонь доцільно застосовувати спеціальне приспособлення кондукторного типу. Такі пристрої дозволяють проведення механічного оброблення отворів одночасно, що значно підвищує продуктивність обробки і точність позиціонування.

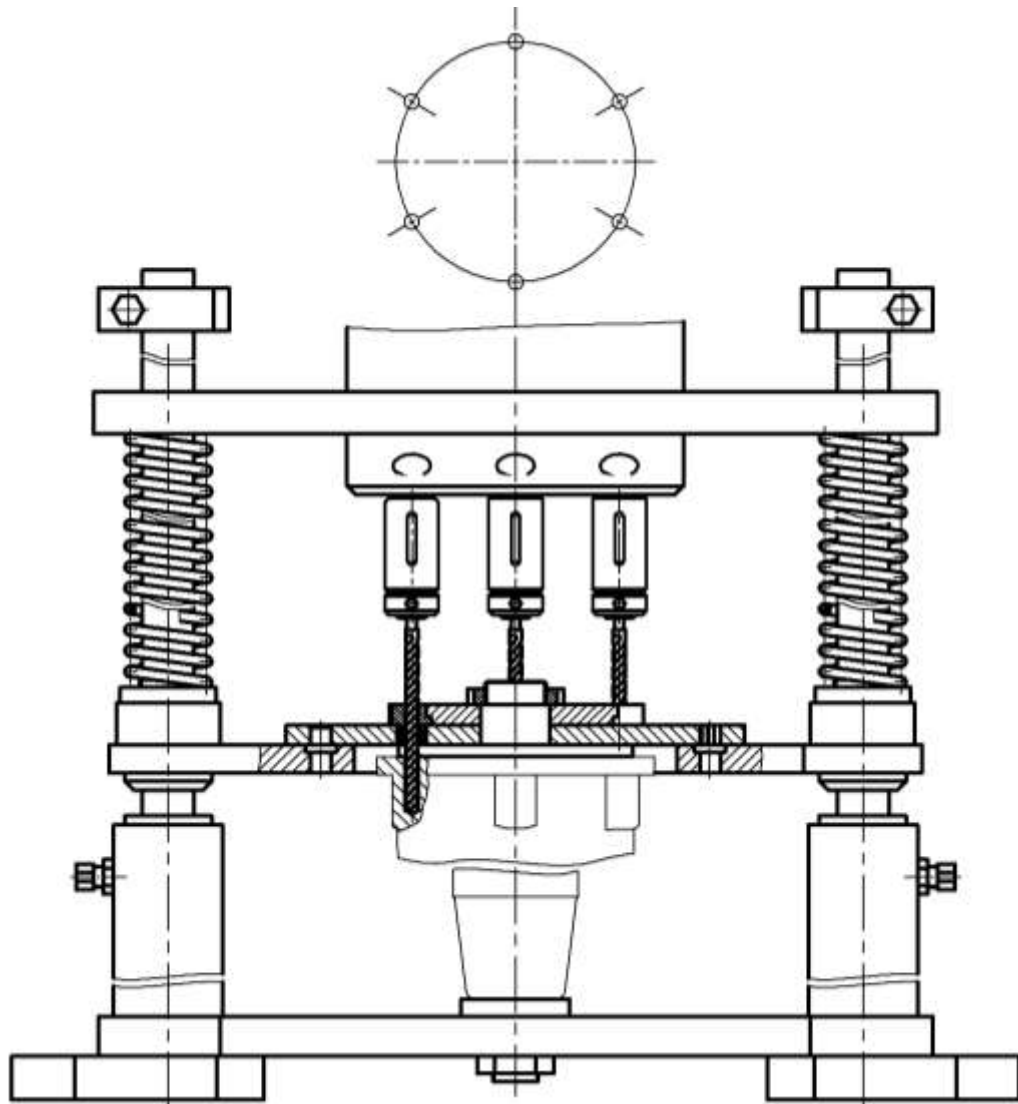


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд кондуктора для одночасного свердління  
6 глухих отв.  $\varnothing 8,5$  мм

Кондуктор застосовується разом із багатошпindelною (6-ти) свердлильною головою. Даний кондуктор складається з плити на якій фіксуються циліндричні стійки з обмежувачами. Стійки призначені для встановлення кондукторної плити, яка містить направляючі втулки для інструменту. Дані втулки забезпечують точність оброблення та позиціонування інструменту і є знімними. Точність встановлення деталі забезпечує установочний палець, на який півкорпус встановлюється попередньо обробленими поверхнями 19, 20 (позначення згідно рис. 3.1).



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд багатошпindelних свердлильних головок

Відповідно дані поверхні є установними базами під час механічного оброблення. А саме торцева поверхня 20 півкорпуса, яка є опорною і встановлюється на торець установчого пальця, а також циліндрична поверхня штиря (точність виконання – 7 кв.), яка контактує із пов. 19 півкорпуса. Підвищену точність встановлення відносно центру забезпечує циліндрична вставка на нижній частині кондукторної плити (точність виконання – 7 кв.). Затискне зусилля забезпечується через подачу шпинделя верстату за допомогою циліндричних пружин, які розміщені на направляючих стійках. Дані пружини, в процесі відведення шпинделя свердлильного верстата із



свердлильною головкою, утримують кондукторну плиту у кінцевому положенні до моменту виведення свердл із зони оброблюваних отворів. Це запобігає поломці інструменту внаслідок можливого перекосу головки через можливе її зміщення відносно вертикальної осі.

Точність установки кондуктора у робочій зоні обладнання підвищується за рахунок 2-х спеціальних шпонок, які містяться на нижній частині корпусу кондуктора. Закріплюється кондуктор спеціальними монтажними гвинтами, які фіксують корпус до стола верстату через бокові пази.

Точність кондуктора можна розрахувати за формулою [15]

$$\varepsilon_{np} = \delta - k \sqrt{(k_1 \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{yct}^2 + \varepsilon_{zn}^2 + \varepsilon_{p.i}^2 + (k_2 \omega)^2}. \quad (3.6)$$

Згідно відповідних довідників і посібників [15] вибираємо числові дані:

$$\delta = 0,75 \text{ мм};$$

$$k = 1,2;$$

$$\varepsilon_{\delta} = 0,35 \text{ мм};$$

$$k_1 = 0,7;$$

$$k_2 = 0,6;$$

$$\varepsilon_3 = 0,14 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_{yct} = 0,041 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_{zn} = 0,4 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_{p.i} = 0;$$

$$\omega = 0,1 \text{ мм}.$$

$$\varepsilon_{np} = 0,75 - 1,2 \sqrt{(0,7 \cdot 0,35)^2 + 0,140^2 + 0,041^2 + 0,04^2 + (0,6 \cdot 0,1)^2} \approx 0,397 \text{ мм}$$

– отже точність оброблення у даному кондукторі є достатньою.

Для забезпечення фіксуючого зусилля повинна виконуватись рівність

$$P \geq mP_o, \quad (3.8)$$

де  $m$  – число одночасно застосовуваних свердл.

Осьову силу різання  $P_o$  визначимо за наступною методикою [13]

$$P_o = 10C_p D^q s^y K_p. \quad (3.9)$$

Відповідно

$$P_o = 10 \cdot 42,7 \cdot 8,5^1 \cdot 0,04^{0,8} \cdot 1 = 276,3 \text{ Н.}$$

Необхідне фіксує зусилля на кондукторі

$$P \geq 6 \cdot 276,3 = 1657,8 \text{ Н.}$$

### 3.7.2 Пристрій фрезерний

Для механічного фрезерного оброблення плоских поверхонь півкорпуса шарніра МК12.010.01 у вигляді площадок розмірами  $65,25H12$  і  $73,25H12$  доцільно застосовувати відповідний фрезерний пристрій (рис. 3.6).

Даний фрезерний пристрій складається з основної корпус-плити на яку зварним способом фіксуються установочні і опорні плити. Для затиску заготовки під час оброблення використовується пневматика у вигляді пневмоциліндра із втягуючим штоком. Безпосереднє затискне зусилля передається через швидко знімну розрізну шайбу у торець 9. Заготовка установлюється попередньо обробленими поверхнями 19, 20 (позначення згідно рис. 3.1) на високоточні установчі поверхні спеціальної втулки пристрою. Такий технологічний підхід значно підвищує точність оброблення. Точність

установки фрезерного пристрою у робочій зоні обладнання підвищується за рахунок спеціальної установочної шпонки, яка знаходиться на нижній частині плити. Закріплюється фрезерний пристрій спеціальними монтажними гвинтами, які фіксують корпус пристосування до стола верстату через бокові пази.

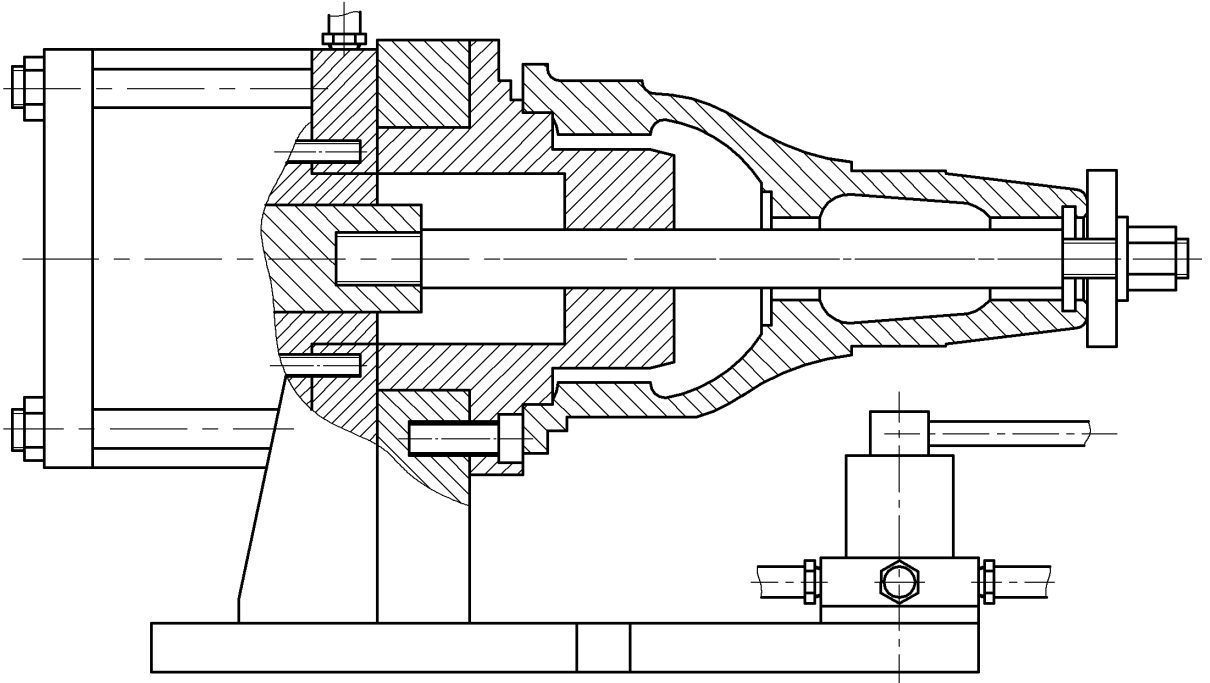


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд фрезерного пристрою для оброблення площадок розмірами  $65,25H12$  і  $73,25H12$

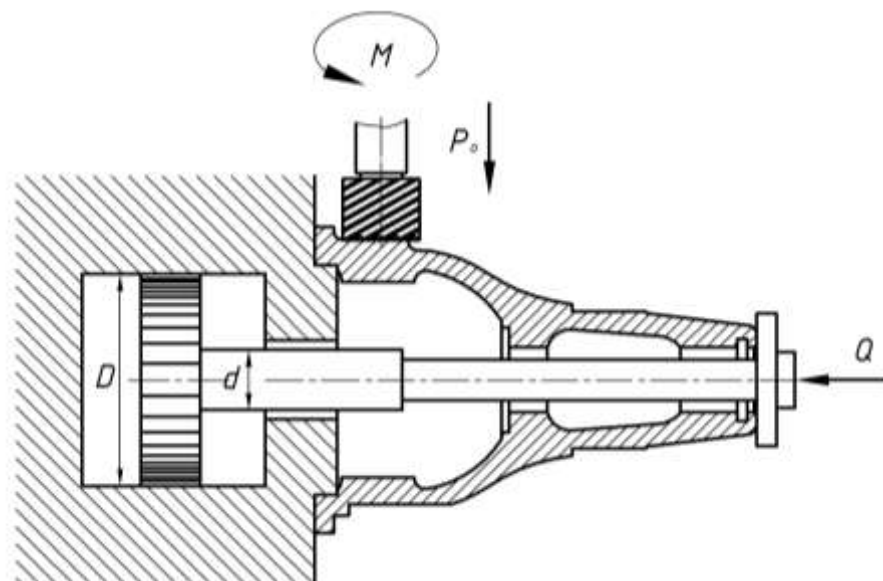


Рисунок 3.7 – Схема дії зусиль під час оброблення площин

Для встановлення точності фрезерного пристрою скористаємося вище застосовуваною методикою [15] і формулою (3.6). Необхідні коефіцієнти:

$$\delta = 0,36 \text{ мм};$$

$$k = 1,2;$$

$$\varepsilon_{\delta} = 0,18 \text{ мм};$$

$$k_1 = 0,7;$$

$$k_2 = 0,6;$$

$$\varepsilon_3 = 0,1 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_{уст} = 0,041 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_{зн} = 0,4 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_{p.i} = 0;$$

$$\omega = 0,1 \text{ мм}.$$

$$\varepsilon_{np} = 0,36 - 1,2 \sqrt{(0,7 \cdot 0,18)^2 + 0,1^2 + 0,041^2 + 0,04^2 + (0,6 \cdot 0,1)^2} \approx 0,142 \text{ мм}$$

– отже точність обробки достатня.

Затискне зусилля  $P$  рівне [15]

$$P = Ff + F_1f + F_2f \geq kP_{piz}, \quad (3.10)$$

де  $F$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  – сили тертя (три складові, оскільки заготовка контактує із установочними і затискними площинами пристрою на трьох поверхнях);

$f$  – коефіцієнт, що супроводжує контактні зусилля у контактних площинах дії сил тертя,  $f = 0,15$ ;

$P_{piz}$  – колова сила різання, визначена за рекомендаціями [13]

$$P_{piz} = C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot Z \cdot B^z \cdot D^q, \quad (3.11)$$

де  $C_p = 68$ ;

$t = 1$  мм;

$S_z = 0,08$  мм/зуб;

$Z = 12$ ;

$B = 40$  мм;

$D = 40$  мм;

$x = 0,86$ ;

$y = 0,74$ ;

$z = 1$ ;

$q = -0,86$ .

Відповідно

$$P_{pi3} = 68 \cdot 1^{0,86} \cdot 0,08^{0,74} \cdot 12 \cdot 40^1 \cdot 40^{-0,86} = 70,5 \text{ Н.}$$

$k$  – коефіцієнт запасу [13].

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (3.12)$$

де  $k_1 = 1,5$ ;  $k_2 = 1,0$ ;  $k_3 = 1,2$ ;  $k_4 = 1,0$ ;  $k_5 = 1,0$ ;  $k_6 = 1,5$ .

$$k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,7.$$

Складові сили затиску, тиску пневмоциліндра  $Q$  і тертя повинні відповідати умовам

$$F = F_1 = F_2 = P. \quad (3.13)$$

$$P = Q. \quad (3.14)$$

Відповідно рівність (3.10) набуде виду

$$Q \cdot f = kP_{\text{пиз}}. \quad (3.15)$$

Тиск, що забезпечує пневмоциліндр повинен бути

$$Q = \frac{kP_{\text{пиз}}}{f}. \quad (3.16)$$

$$Q = \frac{2,7 \cdot 70,5}{0,15} = 1268 \text{ Н.}$$

Необхідний робочий діаметр пневмоциліндра [15]

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot p, \quad (3.17)$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot p} + d^2}. \quad (3.18)$$

$d = 4$  см;  $p = 10$  кг/см<sup>2</sup>. Відповідно

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1268}{3,14 \cdot 10} + 4^2} = 12,7 \text{ см} \approx 127 \text{ мм.}$$

Найближчі стандартизовані значення (у більшу сторону)  $D = 160$  мм;  
 $d = 40$  мм [16].

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Конструювання системи пиловидалення із зони різання верстата

В процесі механічної обробки деталей виділяється значна кількість пилу, який спричиняє ряд захворювань дихальних шляхів працюючих. Для відводу пилу із зони обробки використовуються багато методів: змивання за допомогою ЗОР, фільтрація та інші. Одним із таких методів є видалення пилу витягуванням за допомогою насосів та системи повітропроводів.

Середній розхід повітря, яке витягується складає біля 500 м<sup>3</sup>/год. при швидкості транспортування 15-17 м/с у відвідному патрубку [17]. Діаметр повітропроводу в зоні витягування вибирається із стандартних значень на основі попередньо проведених розрахунків. Так необхідна продуктивність витягування знаходиться за формулою [17]

$$L = F \cdot V \cdot 3600, \quad (4.1)$$

де  $F$  – площа січення повітропроводу, м<sup>2</sup>;

$V$  – швидкість витягування повітря, м/с.

Встановимо продуктивність витягування  $L = 500$  м<sup>3</sup>/год.

Відповідно розв'язуючи рівність:  $500 = F \cdot 15 \cdot 3600$  визначимо площу січення повітропроводу

$$F = \frac{500}{15 \cdot 3600} = 0,009 \text{ м}^2.$$

Приймаємо стандартний діаметр повітропроводу  $d = 35$  мм.

Вибираємо вентилятор ЦП-7-40 №5 з параметрами:

– потужність електродвигуна  $N = 3$  кВт;

- число обертів  $n = 1960$  об/хв.;
- опір мережі  $P = 200 \text{ кг/м}^2 = 20 \text{ МПа}$ .

Вибираємо циклон №8 із зворотнім конусом технічні характеристики якого наступні [17]:

- швидкість повітря  $V = 16 \text{ м/с}$ ;
- продуктивність  $L = 300 \text{ м}^3/\text{год.}$ ;
- опір мережі  $P = 14 \text{ МПа}$ .

Об'єм повітря, що відсмоктується, забезпечує ефективне видалення пилю в залежності від обертової швидкості круга і розташування отвору кожуха.

Кількість повітря, яку необхідно видалити [17]

$$Q = kD_{кр}, \quad (4.2)$$

де  $D_{кр}$  – діаметр круга,  $D_{кр} = 45 \text{ мм}$ ;

$k$  – розмірний коефіцієнт, що залежить від діаметру круга,  $k = 1,8 \text{ м}^3/\text{с}$ .

$$Q = 1,8 \cdot 0,045 = 0,081 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для видалення пилюки безпосередньо із зони різання застосовуємо місцеве відсмоктування. Швидкість повітряного потоку у відповідному патрубку приймаємо по напрямленню пилового потоку безпосередньо в отвір  $V_{від} = 2,75 \text{ м/с}$ . Площа поперечного січення повітревідводу рівна [17]

$$F = \frac{Q}{V_{від}}. \quad (4.3)$$

$$F = \frac{0,081}{2,75} = 0,029 \text{ м}^2.$$

Діаметр патрубка рівний



$$D_{II} = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}. \quad (4.4)$$

$$D_{II} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,029}{3,14}} = 0,192 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний діаметр патрубку  $D = 195$  мм.

#### **4.2 Планування заходів цивільного захисту на промисловому підприємстві у випадку надзвичайних ситуацій**

Найбільш повне та організоване виконання заходів цивільного захисту (ЦЗ) на об'єкті досягається завчасною розробкою плану заходів, які необхідно проводити при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій (НС).

План дій органів управління і сил цивільної оборони (ЦО) із запобігання і ліквідації надзвичайних ситуацій розробляється на підставі законодавчих, директивних і нормативних документів і призначений для координації і діяльності центральних і місцевих органів виконавчої влади, керівництва промислового підприємства, а також оперативності їх реагування на загрозу і виникнення НС, відвернення або зниження можливої загибелі людей, мінімізація матеріальних збитків і втрат [18].

План визначає порядок дій і відповідальність керівництва відповідних органів управління підприємств, установ і організацій, а також основні заходи щодо організації і проведення робіт із запобігання і ліквідації НС техногенного і природного походження, узгодження термінів їх виконання, фінансові, матеріальні та інші ресурси, які необхідні для цих заходів і робіт. У план дій включаються заходи щодо захисту робітників і службовців, підтримування виробничої діяльності та інші з урахуванням обстановки після виникнення НС, передбачаються необхідна кількість сил і засобів для ліквідації наслідків НС.

План дій органів управління і сил ЦО із запобігання та ліквідації НС – це програма здійснення запобіжних та захисних заходів. Він дозволяє цілеспрямовано та організовано вирішувати завдання ЦО в умовах НС мирного та воєнного часу.

Основу плану складають заходи щодо захисту робітників, службовців і членів їх сімей. При визначенні цих заходів враховується важливість та особливості виробничої діяльності об'єкта, основні завдання органів управління та сил ЦО щодо запобігання і ліквідації НС.

План дій органів управління та сил ЦО складається із розділів [18]:

- висновки із оцінки обстановки на території об'єкта;
- приведення в готовність та організація роботи органів управління у НС;
- сили ЦО об'єкта, що залучаються до виконання аварійно-рятувальних, пошукових та відновлювальних робіт;
- організація забезпечення заходів та дій ЦО;
- організація управління, оповіщення і зв'язку.

Розділи визначають порядок дій керівного складу і працюючих та об'єкта при інформації загрози та виникнення НС, терміни оповіщення та збору складу ЦО в робочий та неробочий час. Визначається порядок організації забезпечення заходів та дій ЦО під час проведення відповідних заходів, а саме завдання розвідки, транспортного, матеріально-технічного, хімічного, медичного, протипожежного забезпечення і охорони громадського порядку.

Окремо розробляється «План дій органів управління та сил ЦО об'єкта при переведенні з мирного на воєнний стан» за ступенями готовності воєнного часу та при раптовому нападі супротивника. Крім цього, на об'єкті господарської діяльності розробляються плани служб ЦО щодо забезпечення заходів і дій органів управління і сил ЦО при загрозі і виникненні НС та при переведенні органів управління і сил з мирного на воєнний стан.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано раціональні конструкції пристроїв на основі шарніра рівних кутових швидкостей кулькового типу.
2. Проведено удосконалення методики розрахунку конструктивних параметрів кулькового зачеплення перспективного пристрою на основі шарніру рівних кутових швидкостей.
3. Встановлено співвідношення розмірів контактуючих кульок і пазів з побудовою графічних залежностей.
4. Запропоновано практичні рекомендації щодо технології виконання, шляхом механічного оброблення, кулькового зачеплення шарніра.
5. Розроблено технологію виготовлення півкорпуса шарніра МК12.010.01 з опрацюванням маршруту оброблення, режимів обробки та оснастки.
6. Проведено удосконалення існуючих і розроблення нових пристроїв для забезпечення здійснення технології механічної обробки.
7. Відповідно до умов виробництва та специфіки виробу сформовано заходи щодо забезпечення охорони праці на виробництві.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гевко Б. М. Пружно-запобіжні муфти: конструкції, розрахунок, дослідження / Б. М. Гевко, І. В. Луців, І. Б. Гевко та ін. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2019. 200 с.
2. Woernle, C. Multibody Systems: An Introduction to the Kinematics and Dynamics of Rigid Body Systems (German), 2nd ed.; Springer: Berlin, Germany, 2017.
3. Marter, P. Development of a Simulation Model for the Analysis of Rolling Element Kinematics and Dynamics in Constant Velocity Ball Joints under General, Transient Operating Conditions (German). Master's Thesis, Otto-von-Guericke University, Magdeburg, Germany, 2020.
4. Constant-velocity joint : веб сайт. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Constant-velocity\\_joint](https://en.wikipedia.org/wiki/Constant-velocity_joint) (дата звернення: 17.10.2023).
5. Синхронні карданні шарніри : веб сайт. URL: <https://own.in.ua/view/item/1110> (дата звернення: 17.10.2023).
6. Universal Joints (Automobile) : веб сайт. URL: <https://what-when-how.com/automobile/universal-joints-automobile/> (дата звернення: 17.10.2023).
7. Ляшук О. Л., Комар Р. В., Клендій В. М. та ін. Технологічний процес формоутворення сферичних поверхонь шарнірного гвинтового робочого органу / Вісник ЖДТУ. Серія «Технічні науки». Вип. 2 (80). Житомир : ЖДТУ, 2017. С. 105-108.
8. В. О. Ситарчук, Р. В. Комар Синхронні шарніри кулькового типу : Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. С.47.
9. Бялік О. М., Черненко В. С., Писаренко В. М. та ін. Металознавство : підручник. Київ : Політехніка, 2018. 384 с.
10. Боженко Л. І. Проектування та виробництво заготовок : підручник / Л. І. Боженко. Львів : Світ, 1996. 368 с.

11. Пилипець М. І., Комар Р. В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин : метод. вказівки. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 58 с.

12. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.

13. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

14. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Проектування машинобудівних виробництв» зі спеціальності 131 Прикладна механіка для підготовки освітнього рівня «магістр» / Укладачі : Комар Р.В., Окіпний І.Б., Сенчишин В.С. Тернопіль : 2022. 42 с.

15. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань : навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.

16. Конструкція пневматичного циліндра - пневмоциліндри односторонньої та двосторонньої дії : веб сайт. URL: <https://spc.com.ua/blogs/pneumatic-cylinders/the-construction-of-a-one-way-and-two-way-pneumatic-cylinder> (дата звернення: 20.11.2023).

17. Пістун І. П. Охорона праці в галузі машинобудуванні : навч. посіб. Суми : Университетская книга, 2011. 557 с.

18. Стищенко Т. Є., Пронюк Г. В., Сердюк Н. М. та ін. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2018. 336 с.