

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розроблення технології виготовлення вісі колеса КС6Б-02.662**
з дослідженням точності позиціювання промислового робота

Виконали: студенти VI курсу, групи МПм-61

спеціальності 131 прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Черевик Р. І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Ткаченко І. Г.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ткаченко І. Г.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І. Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Ляшук О. Л.

(прізвище та ініціали)

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)

« 24 » вересня 2021 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Черевіку Руслану Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення вісі колеса КС6Б-02.662
з дослідженням точності позиціювання промислового робота

Керівник роботи Ткаченко Ігор Григорович, к. т. н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» вересня 2021 року № 4/7-791

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес виготовлення вісі колеса КС6Б-02.662,
річна програма випуску 24000 шт., наукова література, присвячена дослідженням точності
позиціювання промислових роботів.

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

Зміст. Реферат. Вступ. Аналітична частина. Науково-дослідна частина.

Технологічно-конструкторська частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Висновки. Перелік посилань.

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

Плакати для ілюстрації результатів наукових досліджень – 2А1.

Карти технологічних налагоджень на операції – 2А1.

Складальне креслення пристрою для токарної обробки – А1.

Складальне креслення пристрою захватного – А1.

Складальне креслення пристрою для фрезерування – А1.

РЕФЕРАТ

Черевик Руслан Іванович, кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр на тему: «Розроблення технології виготовлення вісі колеса КС6Б-02.662 з дослідженням точності позиціонування промислового робота». Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, кафедра інжинірингу машинобудівних технологій, група МПм-61. Керівник – канд. техн. наук, доцент Ткаченко Ігор Григорович.

Роботи дозволяють звільнити людину від виконання важкої та напруженої ручної праці, а також у тих випадках, коли робота пов'язана з використанням шкідливих речовин. Вони дозволяють інтенсифікувати використання технологічного обладнання, підвищити змінність його роботи, зменшити дефіцит допоміжного персоналу і робітників основного виробництва. Моральне старіння промислових роботів відбувається дуже повільно, бо за необхідності зміни об'єктів виробництва достатньо замінити просте і відносно недороге технологічне оснащення і програму. Промислові роботи можуть бути використані багатократно.

Одним з найбільш важливих факторів, що впливають на конструктивні та технічні характеристики промислових роботів точність позиціонування. Тому, розроблення методики дослідження точності позиціонування промислового робота є актуальним завданням.

Мета роботи – розроблення технології механічного оброблення вісі колеса КС6Б-02.662, а також методики дослідження спільних механічних характеристик маніпулятора порталного типу МРЛ-901П.

Завдання досліджень: встановити фактори, які найбільш суттєво впливають на точність позиціонування промислових роботів і побудувати схему фізичної моделі; розробити методику дослідження точності позиціонування промислового робота та відповідне лабораторне устаткування; провести експериментальні дослідження жорсткості елементів промислового робота; скласти блок-схему алгоритму роботи робототехнічного комплексу для виготовлення вісі колеса

КС6Б-02.662; розробити маршрутно-операційний технологічний процес механічного оброблення вісі колеса КС6Б-02.662; спроектувати спеціальне технологічне оснащення; розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення вісі колеса КС6Б-02.662, а також точність позиціонування промислового робота.

Наукова новизна: Розроблено методику дослідження спільних механічних характеристик маніпулятора порталного типу МРЛ-901П, а також стенд для їх досліджень. Отримано результати експериментальних досліджень жорсткості елементів маніпулятора, за якими побудовано графічні залежності деформації консольної частини від зміщення робочого органу і від натягу зубчастого паса.

Практичне значення отриманих результатів: розроблено раціональний технологічний процес виготовлення та створено блок-схему алгоритму роботи робототехнічного комплексу, які можуть використовуватися для виготовлення вісі колеса КС6Б-02.662.

Апробація. Основні результати роботи доповідались на IV Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», м. Тернопіль, 28-29 квітня 2021 р.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, переліку посилань із 22 найменувань та додатків. Обсяг основної частини становить 68 сторінок, 15 рисунків, 12 таблиць, додатків – 32 сторінки. Графічна частина включає 7 аркушів формату А1.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 7 |
| 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА | 8 |
| 1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами. Актуальність теми роботи | 8 |
| 1.2 Методи вирішення поставленої проблеми | 10 |
| 1.3 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу | 12 |
| 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА | 14 |
| 2.1 Характеристика об'єкту дослідження | 14 |
| 2.2 Програма і методика експериментальних досліджень | 14 |
| 2.3 Результати експериментальних досліджень | 18 |
| 2.4 Розробка компоновки робототехнічного комплексу і побудова циклограми його роботи | 20 |
| 2.5 Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень | 23 |
| 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА | 24 |
| 3.1 Службове призначення та характеристика об'єкту виробництва. Аналіз технологічності виробу | 24 |
| 3.2 Розроблення маршрутно-операційного технологічного процесу виготовлення виробу | 29 |
| 3.3 Визначення кількості обладнання | 48 |
| 3.4 Конструювання спеціального оснащення | 53 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ | 60 |
| 4.1 Пристрої захисного вимкнення, їх типи та принцип дії | 60 |
| 4.2 Заходи пожежної безпеки на дільницях механоскладального цеху | 61 |
| 4.3 Оцінка стійкості роботи промислового об'єкту в умовах надзвичайних ситуацій | 62 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 66 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 67 |
| ДОДАТКИ | 69 |

ВСТУП

Сучасні умови роботи промислового комплексу визначають необхідність прийняття рішень, пов'язаних з використанням оптимальних технологій виробництва машин і устаткування. Серед найважливіших завдань сучасного машинобудування особливе місце посідає підвищення ефективності обробки деталей машин. Це завдання включає в себе досягнення високої продуктивності і забезпечення якості виготовлення виробів.

Одним із шляхів підвищення ефективності промислового виробництва є застосування для виконання основних та допоміжних технологічних операцій промислових роботів.

Розширення обсягів використання у машинобудуванні широкої гами матеріалів та особливості їхньої обробки вимагають удосконалення існуючих технологічних процесів.

В сучасному машинобудуванні при розробці нових технологічних процесів значна увага приділяється питанням пов'язаним із забезпеченням якості оброблення деталей.

Розвиток та вдосконалення технологічних процесів неможливий без розробки та поширення високонадійного, сучасного технологічного обладнання та різального інструменту, який здатен технологічно забезпечити якість обробленої поверхні, а від так і конкурентну здатність деталі та машини.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами.

Актуальність теми роботи

Промисловими роботами (ПР) називають автоматичні швидко-налагоджувані універсальні маніпулятори з програмним керуванням, здатні за допомогою механічних маніпуляторів здійснювати захоплення, орієнтацію і транспортування оброблюваних деталей або виконувати різноманітні операції, відносяться до діяльності людини ПР застосовують як для виконання основних технологічних операцій (різання, точкового зварювання, фарбування та ін.), так і для виконання допоміжних операцій (обслуговування обладнання, виконання вантажно-розвантажувальних робіт при обслуговуванні металорізального, складального, ковальсько-пресового, ливарного та іншого обладнання).

Роботи дозволяють звільнити людину від виконання важкої та напруженої ручної праці, а також у тих випадках, коли робота пов'язана з використанням шкідливих речовин.

ПР дозволяють інтенсифікувати використання технологічного обладнання, підвищити змінність його роботи, зменшити дефіцит допоміжного персоналу і робітників основного виробництва. Моральне старіння промислових роботів відбувається дуже повільно, бо за необхідності зміни об'єктів виробництва достатньо замінити просте і відносно недороге технологічне оснащення і програму. Тому ПР можуть бути використані багатократно.

Одним з найбільш важливих факторів, що впливають на конструктивні та технічні характеристики ПР, є необхідна точність позиціонування. Конструкція роботів являє собою просторово незамкнуті стрижневі системи з високою кінематичної рухливістю. Захвати роботів зазвичай розташовані консольно, тому зі збільшенням вильоту робочого органу збільшується амплітуда його коливання та вигину, що знижує точність і збільшує витрати часу на позиціонування. На

точність позиціонування чинять значний вплив розміри і маса переміщуваної деталі, відстань переміщень, швидкості і прискорення тощо.

Точність (ПР) є комплексним поняттям, що включає в себе позиційні та траєкторні складові, кожна з яких характеризує особливості конструкції маніпуляційної системи (МС) ПР, особливості системи управління ПР тощо. Недостатня інформаційна наповненість технічної документації щодо точнісних параметрів ПР призводить до необхідності аналізу загальної сукупності існуючих характеристик та визначення відсутніх, але необхідних, на етапі проектування/синтезу роботизованих механоскладальних технологій у гнучких комп'ютерно-інтегрованих системах [1].

Існуючі на сьогодні проблеми, що пов'язані з аналізом точності виконання технологічних операцій та виготовлення якісних виробів, породжують питання щодо узагальнення та систематизації точнісних характеристик ПР.

У інформаційних джерелах [2, 3, 4] основними є такі терміни щодо точності ПР: точність позиціонування (англ. pose accuracy), позиційна повторюваність (англ. pose repeatability), траєкторна точність (англ. path accuracy) та траєкторна повторюваність (англ. path repeatability).

Більшість сучасних провідних виробників ПР у технічній документації вказують лише значення саме позиційної повторюваності (repeatability) як основної характеристики точності ПР за вимогою стандарту [5], нехтуючи при цьому іншими, не менш важливими параметрами. В більшості випадків для вибору конкретної моделі ПР, при плануванні траєкторних переміщень його робочого органу (РО), наприклад, схвата (Сх) та при розміщенні основного та допоміжного технологічного обладнання, що формують множину робочих позицій недостатньо знати лише величину позиційної повторюваності.

Недостатня інформаційна наповненість технічної документації часто призводить до неможливості однозначно визначити певні точнісні характеристики, що вимагає обов'язкового попереднього моделювання МС ПР. Існуючі на сьогодні підходи до аналізу та моделювання точності ПР формують два напрямки досліджень, а саме: імовірнісний [1, 6] та детермінований [6, 7, 8].

1.2 Методи вирішення поставленої проблеми

Враховуючи можливості ймовірнісного та детермінованого підходів та з метою зменшення впливу їх недоліків на повноцінний аналіз похибок ПР доцільно розглядати комбінований підхід, що об'єднує їх переваги. Він полягає в оперуванні абсолютними значеннями похибок, що подаються в технічних характеристиках ПР, із застосуванням понять теорії ймовірності та математичної статистики [9, 10, 11]. Складові похибки у з'єднаннях МС ПР, які викликані різноманітними випадковими факторами, розглядаються як випадкові величини, що набувають певних випадкових значень із вказаного «поля допуску» та розподіляються в межах цього поля за певним законом розподілу ймовірності. Вказаний підхід дозволяє провести статистичний аналіз похибок, визначити параметри закону розподілу: математичне сподівання, середнє квадратичне відхилення, кореляційні моменти та коефіцієнти кореляції [9, 10], що доцільно використовувати як кількісні оцінки для подальших точнісних досліджень ПР та відповідно сам закон розподілу (за умови попередньо отриманих експериментальним шляхом вибірок фактичних координат положення СхПР в РЗ ПР).

Точність позиціонування (pose accuracy або accuracy pose – AP) є узагальнюючим поняттям, оскільки містить величини похибок позиціонування та позиційної повторюваності, що, в свою чергу, породжені великою кількістю як випадкових, так і систематичних впливів (рис. 1.1), зокрема похибками, що діють з боку системи керування, механічної та привідної систем [12].

Точність позиціонування ПР відчутно залежить від послідовності їх проектування. На початковому етапі необхідно визначити допустимі швидкості переміщення деталі при отриманні заданої точності позиціонування, після чого вибирати тип приводу та конструктивні параметри всіх механізмів, провести розрахунки конструкції на міцність, жорсткість та динамічну стійкість.

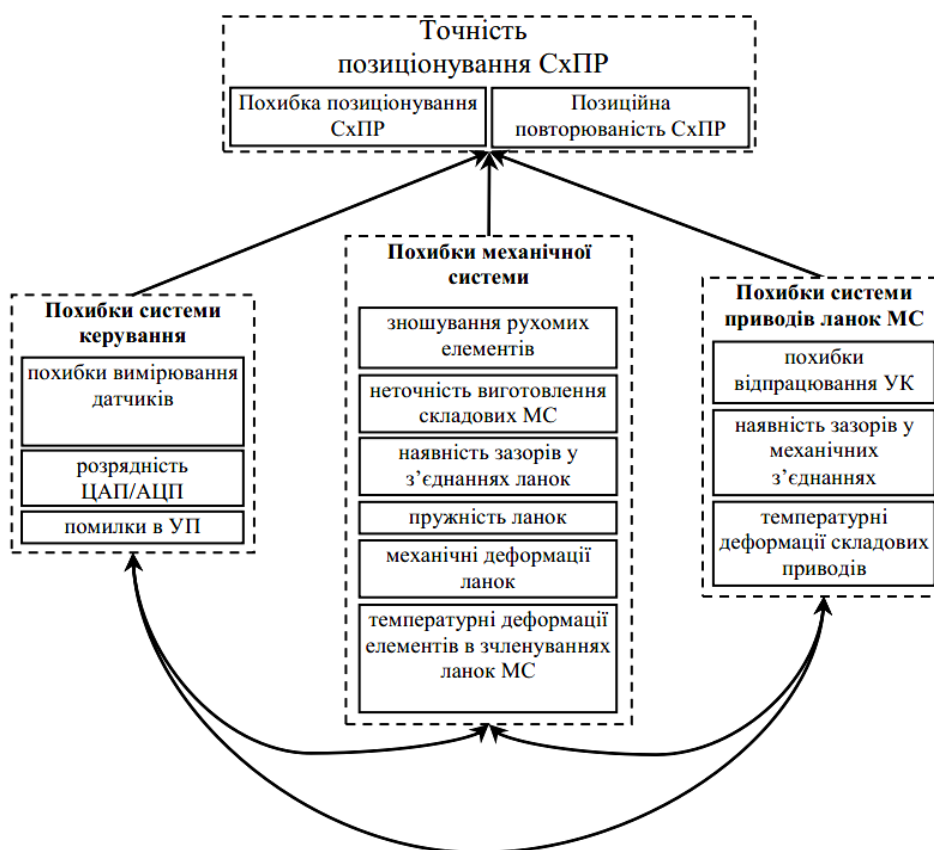


Рисунок 1.1 – Узагальнена схема формування точності промислового робота

Для визначення швидкості лінійного позиціонування в діапазоні переміщень $L_x = 0,4 \dots 1,2$ м у горизонтальній площині може бути використана емпірична залежність

$$v_x = \frac{1,4 \cdot \sqrt{L_x} \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{G_{det}}}, \quad (1.1)$$

де Δl – похибка позиціонування, мм;

G_{det} – маса об'єкту маніпулювання, Н.

При менших відстанях переміщення $L_x = 0,05 \dots 0,8$ м може бути використана лінійна залежність

$$v_x = \frac{2 \cdot L_x \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{G_{det}}}. \quad (1.2)$$

В діапазоні $L_x = 0,4 \dots 0,8$ м залежності 1.1 і 1.2 дають близькі результати. Зі збільшенням значення до $L_x = 0,8 \dots 2,0$ м залежність набуває вигляду

$$v_x = \frac{1,6 \cdot L_x \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{G_{dem}}}. \quad (1.3)$$

Коли значення L_x перевищує 2 м, значення швидкості v_x приймають дещо нижчою за розрахункову.

Швидкість вертикального переміщення зазвичай неоднакова для рухів вгору і вниз. Однак, при раціональному урівноваженні мас ці відмінності менші, а швидкість можна розрахувати користуючись залежністю

$$v_z = \frac{a_z \cdot L_z \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{G_{dem}}}. \quad (1.4)$$

де a_z – коефіцієнт, що залежить від типу приводу;

L_z – шлях при вертикальному переміщенні, м;

G_{dem} – маса об'єкту маніпулювання, Н.

Для визначення допустимої швидкохідності пристрою повороту усієї «руки» відносно вертикальної осі може бути використана емпірична залежність

$$\omega = \frac{0,5 \cdot \sqrt{\psi} \cdot \sqrt[4]{\delta}}{\sqrt[3]{(2L_x)^4}}. \quad (1.4)$$

де ψ – кут повороту «руки», рад;

δ – похибка кутового позиціювання, с.

1.3 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу

На підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що виготовлення виробів машинобудування в умовах автоматизованого виробництва неможливе без забезпечення необхідної точності позиціювання маніпуляторів промислових

роботів. Тому, розроблення методики дослідження точності позиціювання промислового робота є актуальним завданням.

У зв'язку з цим, а також враховуючи зміст завдання, сформульовані наступні завдання кваліфікаційної роботи.

1. Встановити фактори, які найбільш суттєво впливають на точність позиціювання промислових роботів і побудувати схему фізичної моделі.

2. Розробити методику дослідження точності позиціювання промислового робота та відповідне лабораторне устаткування.

3. Провести експериментальні дослідження жорсткості елементів промислового робота.

4. Скласти блок-схему алгоритму роботи робототехнічного комплексу для виготовлення вісі колеса КС6Б-02.662.

5. Розробити маршрутно-операційний технологічний процес механічного оброблення та спеціальне технологічне оснащення, для виготовлення вісі колеса КС6Б-02.662.

6. Розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика об'єкту дослідження

В якості структурних елементів робототехнологічного комплексу для виготовлення вісі колеса КС6Б-02.662 вибрані токарний верстат з числовим програмним керуванням моделі 1П732Ф3, промисловий маніпулятор МРЛ-901П і тактовий стіл СТ220.

Токарний верстат моделі 1П732Ф3 оснащений оперативним пристроєм ЧПК «Електроника НЦ-31» і має наступні технічні характеристики:

| | |
|---|---------------|
| Найбільший діаметр виробу, встановленого над станиною, мм.. | 500 |
| Найбільший діаметр виробу, встановленого над супортом, мм.. | 225 |
| Найбільша довжина заготовки, мм..... | 1000 |
| Діапазон частот обертання шпинделя, хв^{-1} | 22,4-2240 |
| Поздовжня подача, мм/хв..... | 2-2000 |
| Поперечна подача, мм/хв..... | 0,1-1250 |
| Кількість позицій різцетримача..... | 6 |
| Потужність електродвигуна, кВт..... | 8 |
| Габаритні розміри, мм..... | 3700×170×1700 |
| Кількість керованих координат..... | 2 |

Тактовий стіл СТ220 має розміри в плані 3260×700 мм при висоті 700 мм, вантажопідйомність 10 кг і оснащений 24 пластинами для поштучного транспортування заготовок в зону дії маніпулятора.

2.2 Програма і методика теоретичних та експериментальних досліджень

Схема фізичної моделі маніпулятора зображена на рисунку 2.1. Елементами маніпулятора, що деформуються у процесі роботи є: зубчастий пас, позначений пружиною; консольна частина, на якій міститься зосереджена маса m . Деформація консольної частини відбувається на кут α_3 . Для розрахунків використаємо

наступні вихідні дані: зосереджену масу m , плече її прикладання l , а також коефіцієнт, який враховує ступінь натягу паса.

Після зупинки електроприводів рухомі маси будуть продовжувати рух внаслідок дії сил інерції. Внаслідок цього точки A і B займуть положення A' і B' , після чого – зупиняться. Під дією сил пружної деформації консольної частини балки почнуть здійснювати коливальний рух.

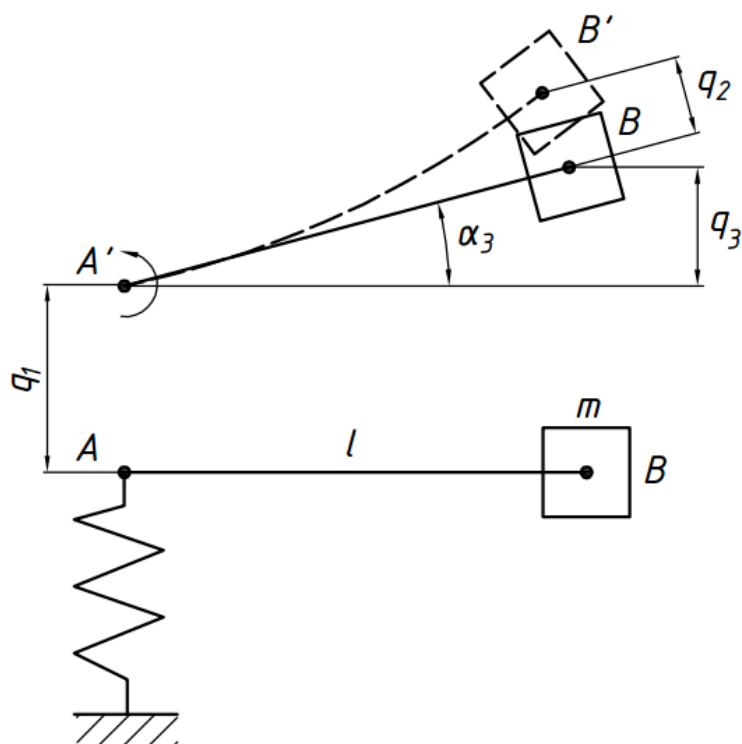


Рисунок 2.1 – Схема фізичної моделі маніпулятора

Жорсткість ланок маніпулятора визначали експериментальним шляхом. З цією метою вимірювали значення деформації консольної частини маніпулятора, прикладаючи до неї визначені зусилля.

Для дослідження спільних механічних характеристик маніпулятора портального типу МРЛ-901П найбільш зручною є наступна методика вимірів.

До вихідного кінця вала крокового електричного двигуна ШД 5Д1МУ3 було закріплено тахогенератор, електричний вихід якого було з'єднано з вимірювальною схемою (див. рис. 2.2) вольтметра. Схему тарували за допомогою пристрою керування 2Р22 шляхом забезпечення постійних значень швидкості

руху на робочому органі маніпулятора. При цьому електродвигун був цілком розвантажений.

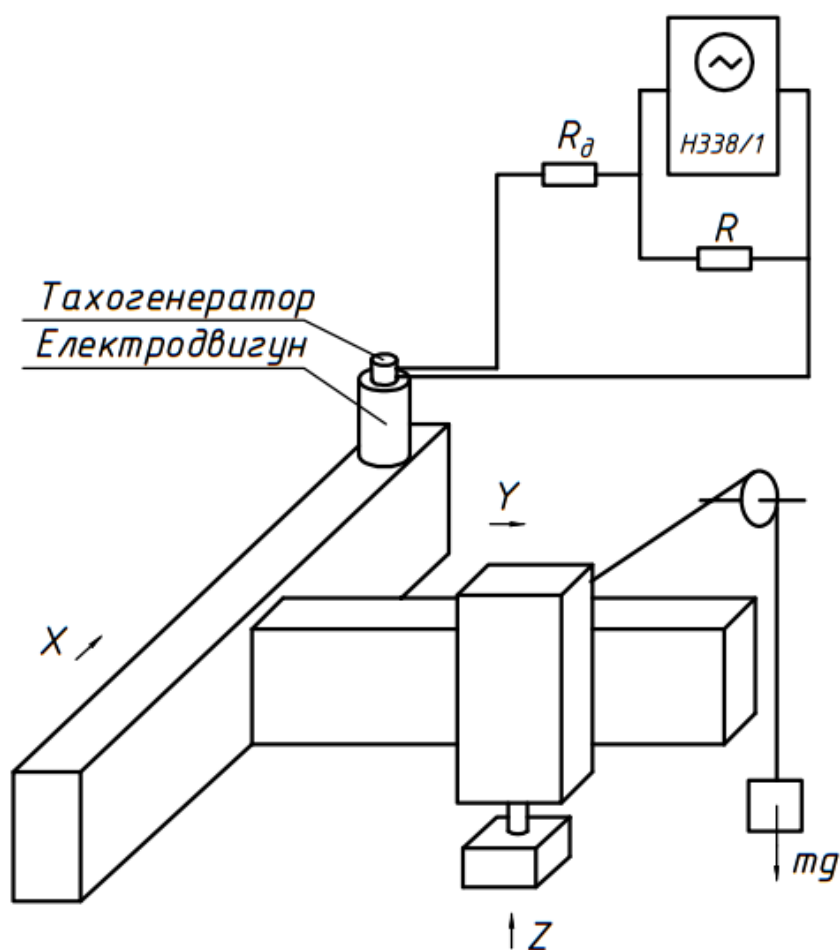


Рисунок 2.2 – Схема стенду для дослідження спільних механічних характеристик маніпулятора МРЛ-901П

Після тарування системи до консольної частини маніпулятора кріпили перекинуту через блок гнучку сталеву струну, на вільний кінець якої підвішувався змінний вантаж масою m_i . За командою системи керування електродвигун починав рівноприскорено обертатися, переміщаючи при цьому робочий орган маніпулятора і переборюючи протидію вантажу $m_i g$. Досягнувши певної частоти обертання, що відповідала швидкості v_i двигун виходив із синхронізму, що відбивалося на тахограмі різким падінням рівня сигналу.

При зміні маси m_i вантажу електродвигун виходив із синхронізму вже при іншій швидкості v_{i+1} . Таким чином, були визначені залежності критичної синхронної швидкості крокового електродвигуна на усьому робочому діапазоні від ваги протидіючого вантажу.

Для зменшення впливу інерційності системи їй надавалися прискорення значно нижчі від значення g , що дозволило з точністю в межах 5% вважати, що вся сила F_m в момент виходу крокового електродвигуна із синхронізму витрачається на утримання вантажу $m_i g$, тобто $F_m = m_i g$.

Спільні механічні характеристики маніпулятора визначалися послідовно, для кожної з координат програми.

Для досліджень решти динамічних характеристик продуктивності маніпулятора, поверталися до описаного вище перехідного процесу при позиціюванні маніпулятора.

У рівняння переміщення маніпулятора як постійні величини входить коефіцієнт демпфування, пропорційний швидкості переміщення робочого органу.

Коефіцієнт демпфування β можна визначити з осцилограми коливань робочого органу маніпулятора за формулою

$$\beta = \frac{2mD}{T}, \quad (2.1)$$

де m – маса рухомої частини маніпулятора;

D – логарифмічний декремент згасання коливного руху;

T – період коливань.

Швидкохідність маніпулятора характеризується часом переміщення його робочого органу в необхідну позицію. З теоретичних передумов випливає, що на час переміщення безпосередньо впливають механічні характеристики електроприводу маніпулятора.

Дослідження спільних механічних характеристик здійснювалося на підставі аналізу тахограм руху маніпулятора, зареєстрованих самописцем НЗ38/1.

В результаті аналізу даних встановлено, що зв'язок сили тяги, a , отже, і припустимого прискорення a_i зі значенням досягнутої швидкості v_i суттєво не лінійна. Для визначення квазіоптимальних режимів руху маніпулятора необхідно встановити теоретичний зв'язок між параметрами a і v .

Кожне значення F_i спільних механічних характеристик може бути описане залежністю

$$F_i = F_{cm} - A_i, \quad (2.2)$$

де F_{cm} – статична тягова синхронізуюча сила;

A_i – втрати тягової сили, залежно від швидкості руху робочого органу.

Такий опис спільних механічних характеристик має ту очевидну перевагу, що для будь якого з маніпуляторів дослідженої моделі можуть бути введені уточнення у формулу шляхом виміру значення F_{cm} .

Встановлення емпіричної залежності спільних механічних характеристик зводиться до встановлення залежності $A = f(V)$. Скориставшись способом відшукування емпіричних формул, легко установити, що експериментальні точки A_i найбільш точно відображають лінійну залежність на напівлогарифмічній функціональній координатній сітці. Отже, вираз $A = f(V)$ може бути описаний логарифмічною функцією.

2.3 Результати експериментальних досліджень

Результати дослідження жорсткості приведені в таблиці 2.1. За цими даними були отримані графічні залежності деформації консольної частини від зміщення робочого органу (рис. 2.3) і від натягу зубчастого паса (рис. 2.4).

Таблиця 2.1 – Значення деформації ланок по осях внаслідок дії збурюючої сили

| Збурююча сила, Н | Величина деформації по осях, мм | | | |
|------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------|--------|
| | Вісь X | | | Вісь Y |
| | $Y=0$ | $Y = \frac{Y_{\max}}{2}$ | $Y = Y_{\max}$ | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0,112 | 0,134 | 0,177 | 0,112 |
| 20 | 0,205 | 0,235 | 0,391 | 0,205 |
| 30 | 0,266 | 0,335 | 0,559 | 0,264 |
| 40 | 0,301 | 0,417 | 0,751 | 0,303 |
| 50 | 0,344 | 0,506 | 0,931 | 0,347 |
| 60 | 0,391 | 0,581 | 1,089 | 0,394 |
| 70 | 0,419 | 0,659 | | 0,422 |
| 80 | 0,461 | 0,744 | | 0,464 |
| 90 | 0,497 | 0,826 | | 0,504 |
| 100 | 0,533 | 0,901 | | 0,541 |

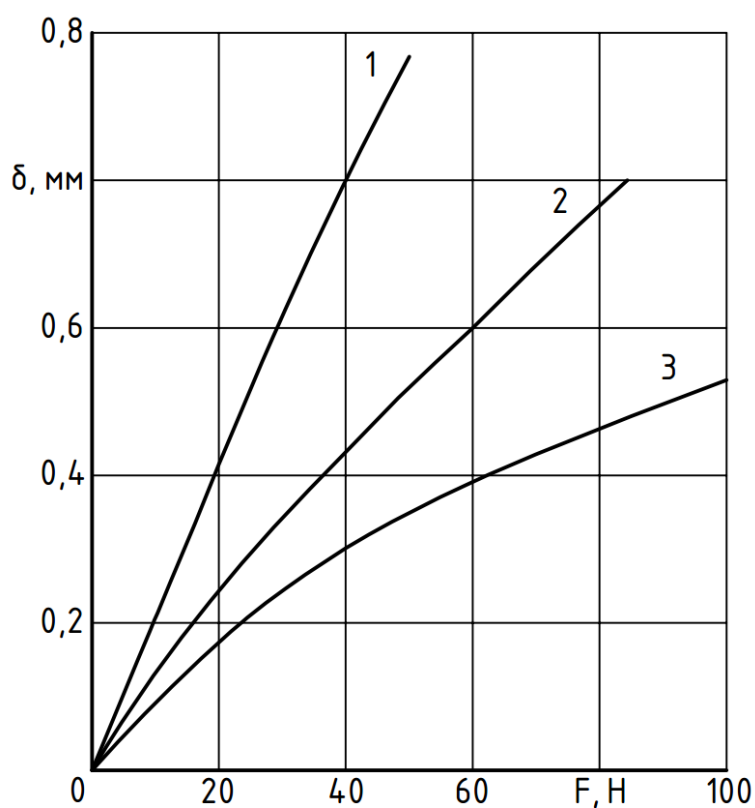


Рисунок 2.3 – Жорсткість кінематичних ланок маніпулятора:

- 1 – деформація по осі X при $Y = Y_{\max}$; 2 – деформація по осі X при $Y = Y_{\max}/2$;
3 – деформація по осі X при $Y = 0$ і по осі Y

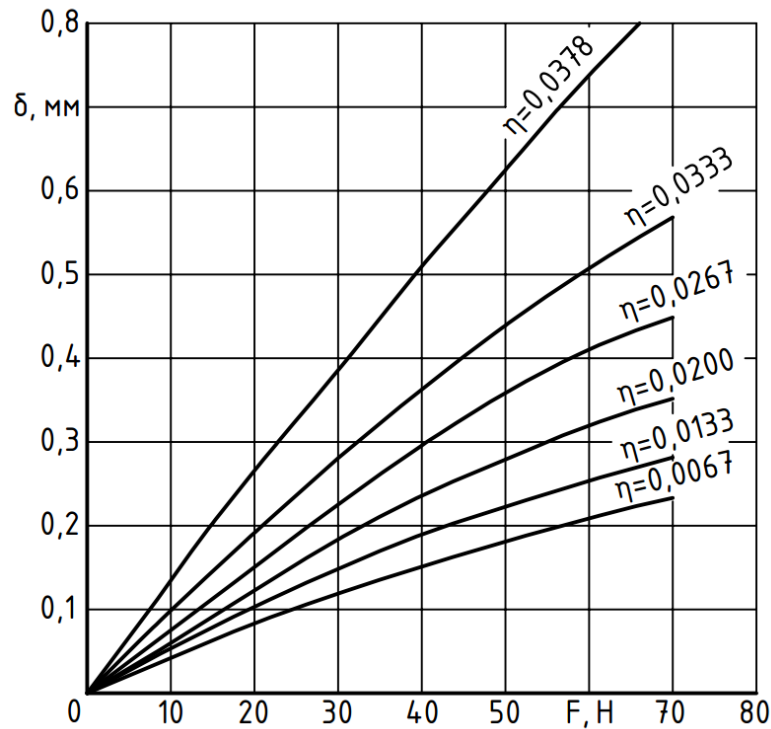


Рисунок 2.4 – Залежність деформації δ модуля маніпулятора з зубчастою пасовою передачею від збудюючого зусилля F для різних значеннях початкового натягу η зубчастого паса

2.4 Розробка компоновки робототехнічного комплексу і побудова циклограми його роботи

Послідовність роботи робототехнічного комплексу (РТК) описується блок-схемою алгоритму (див. рис. 2.5) і складається з таких елементів робочого циклу: захоплення заготовки промисловим роботом (ПР) на тактовому столі; перенесення заготовки до верстату; відкриття огорож і верстату; встановлення заготовки в патрон і затиск в ньому; закриття огорожі; обробка деталі з одного боку; зупинка головного приводу; відкриття огорожі; захоплення заготовки; розтиск патрона; вийняття заготовки з патрона та її поворот на 180° тощо.

Команди на відкриття і закриття огорожі, затиск-розтиск патрона, пуск і зупинку верстата і тактового стола видаються системою керування ПР після виконання відповідних елементів циклу.



Рисунок 2.5 – Блок-схема алгоритму роботи робототехнічного комплексу

Компонувальна схема роботизованого технологічного комплексу, який реалізує розроблений алгоритм роботи, зображена в графічній частині.

Враховуючи дані, тривалість обробки при першому та другому встановленнях:

$$t_{кп1} = t_{01} / \varphi = 0.85 / 0,6 = 1,42 \text{ хв};$$

$$t_{кп2} = t_{02} / \varphi = 1.47 / 0,6 = 2,45 \text{ хв.}$$

Результати розрахунку тривалості допоміжних переходів оформлені у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку тривалості допоміжних переходів циклограми

| Зміст елементу циклограми | Напрямок переміщення або повороту | Довжина переміщення або кут повороту | Швидкість | Час виконання |
|--|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------|---------------|
| Поворот в горизонтальній площині | Θ | 180° | 30 град/с | 6 с |
| Переміщення в робочу зону верстата | R | 887 мм | 0.3 м/с | 3 с |
| Переміщення вздовж осі шпинделя | β | 3° | 30 град/с | 0.1 с |
| Переміщення вертикальне при зніманні заготовки з тактового стола | Z | 60 мм | 0.1 м/с | 0.6 с |
| Поворот деталі в захваті | α | 90°/180° | 30 град/с | 3с / 6с |

За даними розрахунку будемо циклограму роботи РТК (рис. 2.6).

| Пристрої | Час, с | |
|--------------------------------------|--------|--|
| Верстат 1П732Ф3 | | |
| Промисловий робот М20П.40.01 | | |
| Тактовий стіл СТ220 | | |
| Корекція положення захвата | █ | |
| Ввід руки робота в робочу зону | █ | |
| Взяття деталі з робочої зони | █ | |
| Переміщення до тактового стола | █ | |
| Встановлення деталі на тактовий стіл | █ | |
| Взяття деталі з тактового стола | █ | |
| Переміщення до верстата | █ | |
| Ввід руки в робочу зону | █ | |
| Встановлення деталі в патрон | █ | |
| Вивід руки з робочої зони | █ | |
| Поворот стола | █ | |

Рисунок 2.6 – Циклограма роботи робототехнічного комплексу

2.5 Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень

За результатами досліджень побудовано схему фізичної моделі маніпулятора, яка включає елементи, що деформуються в процесі роботи.

Розроблено методику дослідження спільних механічних характеристик маніпулятора порталного типу МРЛ-901П, а також стенд для їх досліджень.

Отримано результати експериментальних досліджень жорсткості елементів маніпулятора, за якими побудовано графічні залежності деформації консольної частини від зміщення робочого органу і від натягу зубчастого паса.

Створено блок-схему алгоритму роботи робототехнічного комплексу, який може використовуватися для виготовлення вісі колеса КС6Б-02.662.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Службове призначення та характеристика об'єкту виробництва.

Аналіз технологічності виробу

Об'єктом виробництва є деталь – «Вісь колеса КС6Б-02.662». Деталь (рис. 3.1) є складовою частиною бортового редуктора ходової трансмісії коренезбиральної машини КС6Б, що служить для передачі крутного моменту від коробки швидкостей до ведучого колеса машини. Деталь встановлюється на три опори, якими є підшипники кочення (поверхні А($\varnothing 65g6$), Б($\varnothing 75g6$), В($\varnothing 95js6$)). Крутний момент передається за допомогою шліцевої поверхні. За допомогою різьби, на яку нагвинчується гайка М64, виключається осьове переміщення вісі відносно опор. Отвори К ($\varnothing 25H9$) – Ра6,3 служать для закріплення ходових коліс машини.

Для правильної роботи машини, при проектуванні осі, необхідно витримати наступні технічні вимоги: зміщення осей отворів $\varnothing 25^{+0,6}$ відносно осі не більше 0,01 мм; радіальне биття поверхонь А, Б, В, відносно осі центрів не більше 0,03 мм; поверхні Г не більше 0,05 мм. Також необхідно забезпечити шорсткість поверхонь А, Б, В, Г – Ra 1,25. На торцевих поверхнях фланця допускається спіральний слід від виходу різця глибиною не більше 0,5 мм та кільцева риска глибиною не більше 0,5 мм. Тріщини, волосовини, розшарування металу, забоїни і раковини не допускаються. До решти поверхонь, згідно конструктивного призначення підвищених вимог не має.

Ці технічні вимоги можна витримати, обробляючи вказані поверхні на точних верстатах продуктивними методами при використанні принципу сталості і суміщення баз.

Оскільки деталь буде працювати під постійними динамічними навантаженнями і повинна передавати великі крутні моменти, то для її виготовлення необхідно застосовувати матеріал, який має високі механічні властивості, добру оброблюваність, стійкість до вібрацій і невисоку вартість. Враховуючи конструктивні особливості деталі, її форму, розміри, застосуємо для

виготовлення даної деталі леговану сталь 40Х ГОСТ4543-71. Приведемо хімічний склад і механічні властивості сталі 40Х (таблиця 3.1, 3.2).

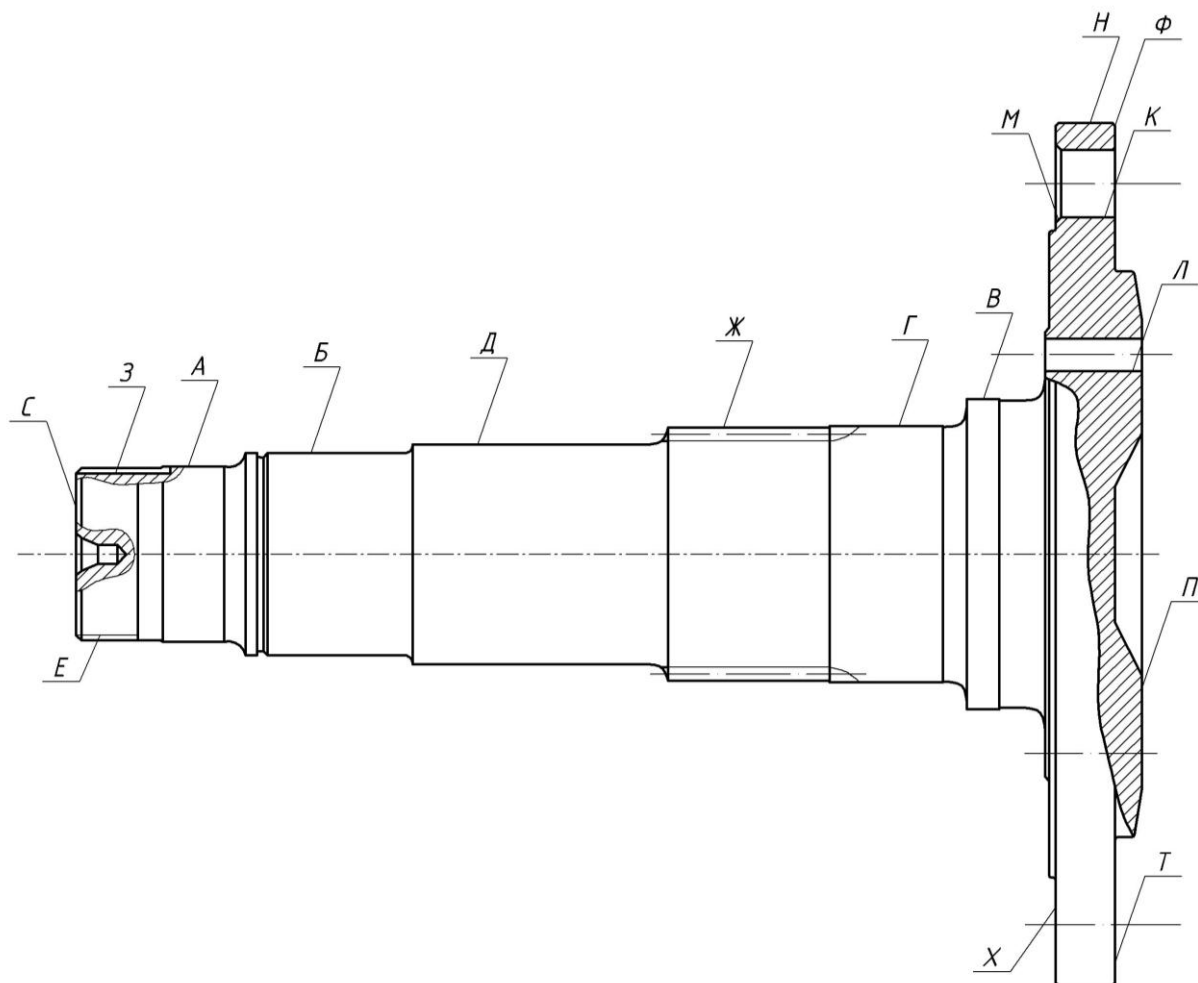


Рисунок 3.1 – Позначення поверхонь деталі

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі 40Х ГОСТ 4543-71

| С | Si | Mn | Cr | S | P | Cu | Ni |
|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|-------|-----|-----|
| 0,36-0,44 | 0,17-0,37 | 0,50-0,80 | 0,8-1,1 | не більше | | | |
| | | | | 0,035 | 0,035 | 0,3 | 0,3 |

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сталі 40Х ГОСТ 4543-71

| σ_B МПа | $\delta_5(\delta_4)$, % | ψ | НВ не більше |
|----------------|--------------------------|--------|-----------------|
| 530 | 17 | 40 | 248 |

Проведемо аналіз технічних умов деталі, результати зведемо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Аналіз технічних умов

| Позначення поверхні | Технічна умова чи вимога | Метод виконання | Метод контролю |
|---------------------|--|-----------------------|--------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| А | Забезпечити задану точність та шорсткість поверхні Ra1,25 | Шліфування чистове | Скоба Ø65g6, зразки шорсткості |
| Б | Забезпечити задану точність та шорсткість поверхні Ra1,25 | Шліфування чистове | Скоба Ø75g6 зразки шорсткості |
| В | Забезпечити задану точність та шорсткість поверхні Ra1,25 | Шліфування чистове | Скоба Ø95js6 зразки шорсткості |
| Г | Забезпечити задану точність та шорсткість поверхні Ra 1,25 | Шліфування чистове | Скоба Ø115u6 зразки шорсткості |
| Є, З, Л, Н, М | Забезпечити задану точність та шорсткість | Точіння напівчистове | Штангенциркуль |
| Е | Забезпечити профіль та точність різі М64×2-6g | Нарізання різі різцем | Кільце М64×2 |

Кінець таблиці 3.3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------|--|---------------------------|--|
| Д | Забезпечити точність виконання пазу та задану шорсткість Ra 25 | Фрезерування чистове | Спеціальний штангенциркуль |
| О,П | Забезпечити точність та співвісність отворів з віссю колеса | Свердління, розвертування | Втулка, штангенциркуль |
| Інші поверхні | Забезпечити задану точність і шорсткість | | Штангенциркуль, шаблон, втулка, зразки шорсткості. |

Заготовкою для даної деталі служить поковка, яка кується на пневматичному молоті, що є достатньо технологічним.

З точки зору механічної обробки, конструкція деталі дозволяє здійснювати обробку зовнішнього контуру прохідними різцями. В деталі має місце зовнішній шпоночний паз, який легко обробляється фрезою. Жорсткість осі є достатньо високою ($l:d = 5 < 10$) Що дозволяє одержати високу точність обробки і не обмежує режими різання. В конструкції деталі відсутні різкі переходи діаметрів, тому технологічний процес характеризується простотою і економічністю.

Деталь має добрі базові поверхні, до всіх оброблюваних поверхонь є вільний доступ інструменту. При обробці вісі можна застосовувати пристрої з пневматичним затиском.

Рівень технологічності конструкції по точності характеризується кількісним показником технологічності: коефіцієнтом точності, що визначається за формулою [13]

$$K_{mч} = 1 - \frac{1}{T_{cp}}, \quad (3.1)$$

де T_{cp} – середній клас точності обробки виробу

$$T_{cp} = \frac{\sum T_{n_i}}{\sum n_i}, \quad (3.2)$$

де T – клас точності обробки;

n_i – число розмірів відповідного класу точності.

$$T_{cp} = \frac{5 \cdot 2 + 5 \cdot 3 + 9 \cdot 4 + 4 \cdot 5 + 4 \cdot 7}{27} = 4;$$

$$K_{mч} = 1 - \frac{1}{4} = 0,75.$$

Рівень технологічності по шорсткості поверхні оцінюється коефіцієнтом шорсткості, що визначається за формулою [13]

$$K_u = 1 - \frac{1}{Ш_{cp}}, \quad (3.3)$$

де $Ш_{cp}$ – середній клас шорсткості.

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (3.4)$$

де $Ш$ – числове значення параметра шорсткості,

n_i – число поверхонь з відповідним числовим значенням параметра шорсткості.

$$Ш_{cp} = \frac{5 \cdot 2 + 5 \cdot 3 + 9 \cdot 4 + 4 \cdot 5 + 4 \cdot 7}{5 + 5 + 9 + 4 + 4} = 5;$$

$$K_u = 1 - \frac{1}{5} = 0,81.$$

Коефіцієнт використання матеріалу визначається за формулою:

$$K_{\text{вм}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{з}}}, \quad (3.5)$$

де $M_{\text{д}}$ – маса деталі, $M_{\text{д}} = 31$ кг;

$M_{\text{з}}$ – маса заготовки, $M_{\text{з}} = 51$ кг.

$$K_{\text{вм}} = \frac{31}{51} = 0,61.$$

Отже, деталь достатньо технологічна.

3.2 Розроблення маршрутно-операційного технологічного процесу виготовлення виробу

3.2.1 Вибір заготовки

Вибір способу отримання заготовки здійснюється в залежності від призначення, розмірів, річної програми випуску, типу виробництва, марки матеріалу, відповідно його хімічних і механічних властивостей, технічних вимог до деталі.

Приймаємо два варіанти отримання заготовки [14]. Перший – поковка, отримана штампуванням на пневматичному молоті, другий – поковка, яка виготовляється на кривошипному пресі.

Визначимо вартість заготовки, одержаної куванням на молоті, станом на 09.12.2021 за формулою [13]

$$S_{\text{загл}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{II} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, \quad (3.6)$$

де C_i – базова ціна 1 тонни заготовок, $C_i = 64\,500$ грн;

Q – маса заготовки, $Q = 52$ кг;

k_T – коефіцієнт, що залежить від класу точності поковки, $k_T = 1$;

k_C – коефіцієнт, що залежить від матеріалу поковки, $k_C = 0,87$;

k_B – коефіцієнт, що залежить від маси заготовки, $k_B = 0,73$;

k_M – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу, $k_M = 1,13$;

k_{II} – коефіцієнт, що залежить від об'єму виготовлення заготовок, $k_{II} = 0,8$;

g – маса деталі, $g = 31$ кг;

$S_{відх}$ – ціна однієї тонни відходів, $S_{відх} = 7800$ грн;

$$S_{заг1} = \left(\frac{64500}{1000} \cdot 52 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 0,73 \cdot 1,13 \cdot 0,8 \right) - (52 - 31) \cdot \frac{7800}{1000} = 1761,83 \text{ грн.}$$

Визначимо вартість заготовки, одержаної штампуванням на кривошипному пресі за формулою (3.7)

$$S_{заг2} = \left(\frac{64500}{1000} \cdot 51 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 0,73 \cdot 1,13 \cdot 0,8 \right) - (51 - 31) \cdot \frac{7800}{1000} = 1732,60 \text{ грн.}$$

Визначимо річний економічний ефект за формулою

$$E_p = (S_{заг1} - S_{заг2}) \cdot N,$$

де N – річна програма випуску деталей, $N = 24000$ шт.

$$E_p = (1761,83 - 1732,60) \cdot 24000 = 701520 \text{ грн.}$$

Отже, отримання заготовки штампуванням на кривошипному пресі – більш ефективний спосіб, який дозволяє зекономити матеріал та витрати на виготовлення заготовок.

3.2.2 Вибір методів оброблення, технологічних і вимірювальних баз

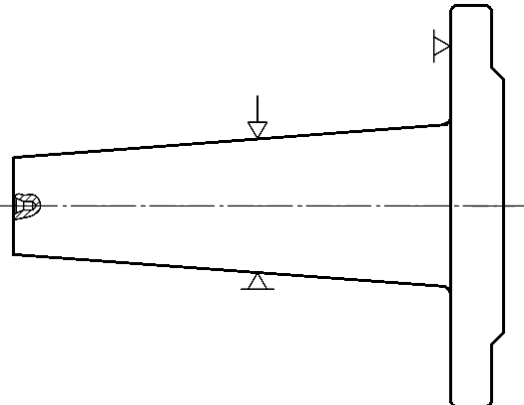
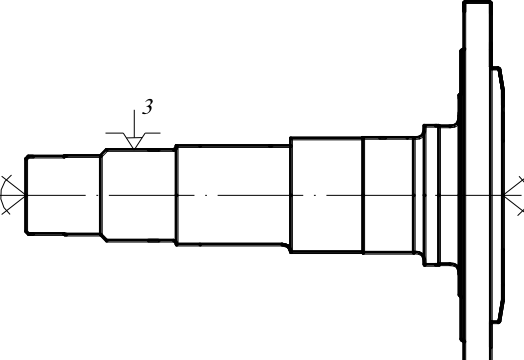
Від правильного вибору технологічних баз значною мірою залежить фактична точність виконання розмірів, правильність взаємного розміщення поверхонь, складність пристроїв, різальний та вимірювальний інструменти, загальна продуктивність обробки заготовок. При виборі технологічних баз важливою умовою являється те, щоб при першій операції вибрати базами такі

поверхні, які б в подальшому не оброблялись. На всіх наступних операціях необхідно дотримуватися принципу суміщення технологічних, конструкторських та вимірювальних баз, а також принципу сталості баз.

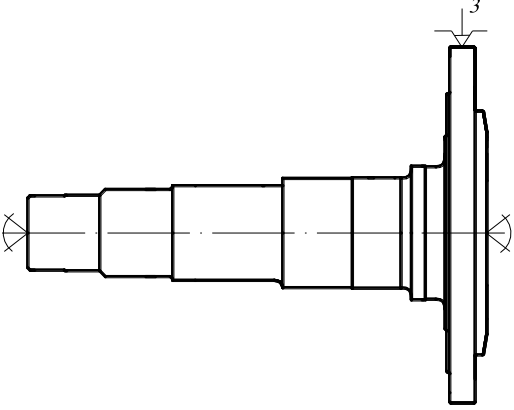
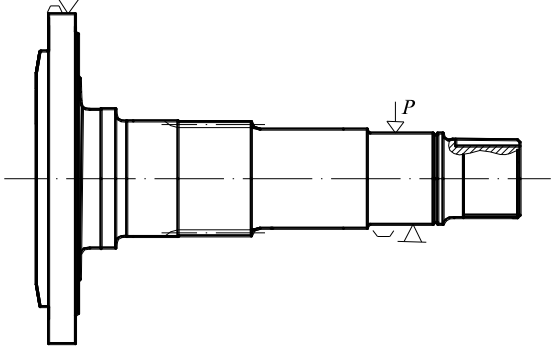
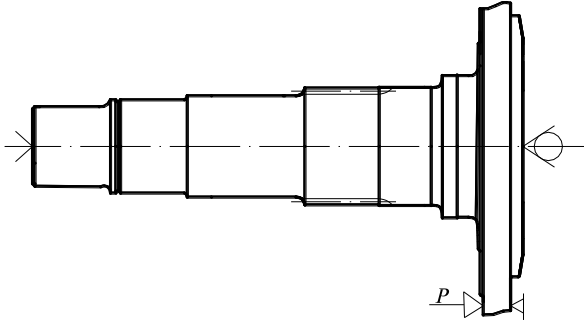
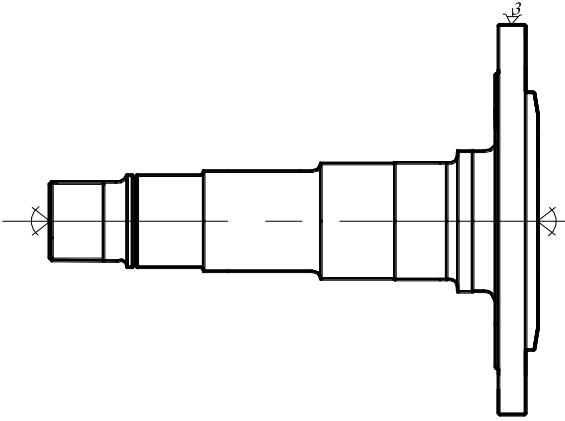
Базові поверхні повинні бути простими за формою та мати достатню протяжність. Заготовка повинна займати в пристрої відповідне їй місце, а не в результаті прикладання затискних зусиль. З точки зору експлуатації деталі чорнові базові поверхні повинні бути найбільш відповідальними. В цьому разі при їх обробці на наступних операціях забезпечуються рівномірність припусків та однорідна за якістю поверхня.

Схеми базування деталі на операціях технологічного процесу подано у таблиці 3.4.

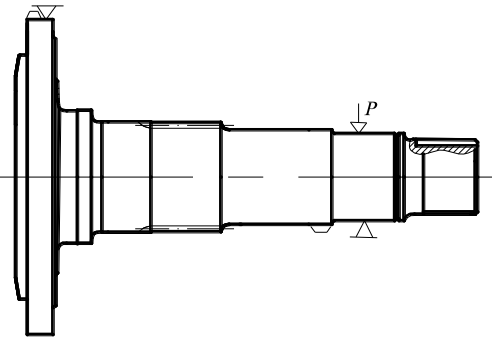
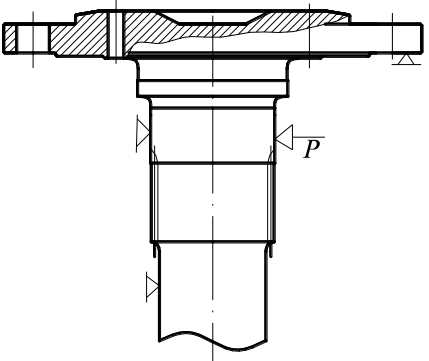
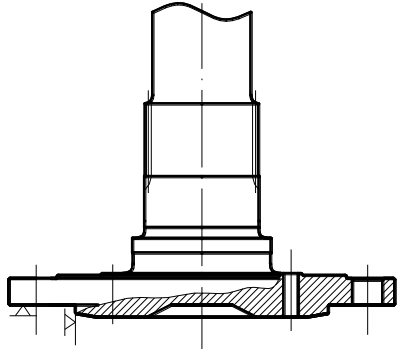
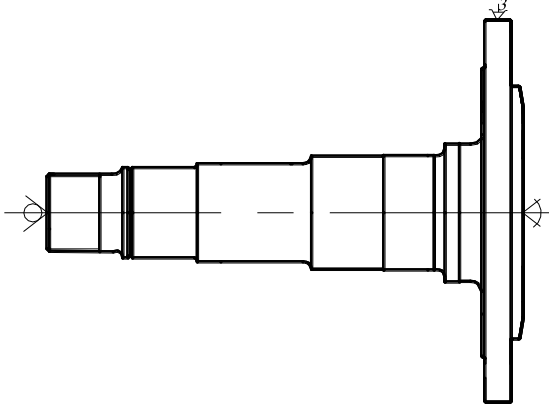
Таблиця 3.4 – Вибір технологічних баз

| Операція | Схема базування |
|----------|--|
| 005 |  |
| 010 |  |

Продовження таблиці 3.4

| 1 | 2 |
|-----|--|
| 015 |  |
| 025 |  |
| 030 |  |
| 035 |  |

Кінець таблиці 3.4

| 1 | 2 |
|-----|--|
| 040 |  |
| 045 |  |
| 050 |  |
| 055 |  |

3.2.3 Формування маршрутно-операційного технологічного процесу виготовлення деталі

Складаємо два варіанти технологічного маршруту механічної обробки деталі та зводимо їх у таблиці 3.5 і 3.6.

Таблиця 3.5 – Перший варіант маршруту механічної обробки деталі

| № | Назва операції (переходу) | Оброблювані поверхні | Базові поверхні | Назва обладнання |
|-----|--|----------------------|-----------------|---------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 005 | Фрезерно-центрувальна: 1. Фрезерувати торці 2.Свердлити отвори | Р, Ф П | С, Т | Фрезерно-центрувальний верстат КЛ-180 |
| 010 | Токарно-гвинторізна: 1. Точити поверхню | А, Б, Є | Р, П | Токарно-гвинторізний верстат 16К20 |
| 015 | Токарно-гвинторізна: 1. Точити поверхню | Г, В, М | Р, П | Токарно-гвинторізний верстат 16К20 |
| 020 | Токарно-гвинторізна: 1. Точити поверхню 2. Точити фаску | Н, З, Л | Р,Т | Токарно-гвинторізний верстат 16К20 |
| 025 | Слюсарна: 1. Зачистити загусениці | Г, Л, М | А | Верстак |
| 030 | Шліцефрезерна: 1. Фрезерувати шліци | Ж | Є | Шліцефрезерний напівавтомат 5350 |
| 035 | Токарно-гвинторізна: 1. Точити поверхню | Е | А | Токарно-гвинторізний верстат 16К20 |
| 040 | Різьбофрезерна: 1. Фрезерувати різь | Е | А | Різьбофрезерний верстат МГ56002 |
| 045 | Вертикально-фрезерна: 1. Фрезерувати паз | Д | Г, А | Вертикально-фрезерний верстат 6550 |

Кінець таблиці 3.5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----|---|------|------|---|
| 050 | Вертикально-свердлильна: 1. Свердлити отвори 2. Свердлити отвори 3. Розвернути отвори 4. Зенкувати отвори | К, П | З, Л | Вертикально-свердлильний верстат 2Н150 |
| 055 | Вертикально-свердлильна: 1. Зенкувати фаски | Х | Є | Вертикально-свердлильний верстат 2Н135 |
| 060 | Круглошліфувальна: 1. Шліфувати поверхню | А, Б | К | Круглошліфувальний верстат 3М134Е |
| 065 | Круглошліфувальна: 1. Шліфувати поверхню | В, Г | К | Круглошліфувальний верстат 3М134Е |

Таблиця 3.6 – Другий варіант маршруту механічної обробки деталі

| № | Назва операції (переходу) | Оброблювані поверхні | Базові поверхні | Назва обладнання |
|-----|--|----------------------|-----------------|---------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 005 | Фрезерно-центрувальна: 1. Фрезерувати торці 2. Свердлити отвори | Р, Ф П | С, Т | Фрезерно-центрувальний верстат КЛ-180 |
| 010 | Токарна з ЧПК: 1. Точити торець 2. Точити поверхню 3. Точити торець | Л З М | Д | Токарний напівавтомат 1П732Ф3 |
| 015 | Токарна з ЧПК: 1. Точити поверхні 2. Точити канавку | Е, А, Б, Є, Г | Н, М | Токарний напівавтомат 1П732Ф3 |

Кінець таблиці 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----|--|--------------------------|------|--|
| 020 | Токарна роботизована: 1. Точити поверхні 2. Точити канавку 3. Точити фаску | Е, А, Б, Є, Г, Ш Ч | Н, Р | Токарний напівавтомат 1П732РФ3 |
| 025 | Токарна роботизована: 1. Точити поверхні 2. Точити канавку | З, М, Н | Л | Токарний напівавтомат 1П732РФ3 |
| 030 | Шліцефрезерна: 1. Фрезерувати шліци | Ж | Є | Шліцефрезерний напівавтомат 5350 |
| 035 | Токарно-гвинторізна: 1. Нарізати різь | Е | А | Токарно-гвинторізний верстат 16К20 |
| 040 | Вертикально-фрезерна: 1. Фрезерувати паз | Д | А, Е | Вертикально-фрезерний верстат 6550 |
| 045 | Агрегатна: 1. Свердлити отвори 2. Зенкувати отвори 3. Розвернути отвори | П, Є Є П, Є | З | Агрегатний верстат 13А356 |
| 050 | Вертикально-свердлильна: 1. Зенкувати фаски | Х | Є | Вертикально-свердлильний верстат 2Н135 |
| 055 | Круглошліфувальна: 1. Шліфувати поверхню 2. Шліфувати поверхню 3. Шліфувати поверхню 4. Шліфувати поверхню | А Б В Г | Є, В | Круглошліфувальний верстат 3М124Е |

Другий варіант відрізняється від першого тим, що токарно-гвинторізні операції 010 і 015 замінені на токарні з ЧПК, токарно-гвинторізна операція 020 – на токарну роботизовану, а вертикально-свердлильна 050 – на агрегатну. Це дасть змогу знизити штучно-калькуляційний час на операціях.

3.2.4 Вибір різального, вимірювального та допоміжного інструменту

Вибір різального інструменту здійснюється з ряду найбільш використовуваних стандартних інструментів, але можна застосовувати також спеціальний інструмент. При виборі типу та конструкції різального інструменту, необхідно враховувати характер виробництва, метод обробки, тип верстату, розмір, конфігурацію і матеріал оброблюваної заготовки, необхідну якість і точність обробки.

Вибір різального інструменту ведемо згідно рекомендацій, приведених в [15]. Результати оформляємо у вигляді таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Вибір різального та вимірювального інструменту

| № | Назва операції | Інструмент | |
|-----|--|--|--|
| | | Різальний | Вимірювальний |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 005 | Фрезерно-центрувальна: 1. Фрезерувати торці 2. Свердлити отвори | Дві торцеві фрези з механічним кріпленням круглих пластин з твердого сплаву Т15К6 по ГОСТ 26595-85. $D = 160$ мм, $b = 50$ мм, $d = 50H7$, число зубів –14. Свердло 2317-0044 ГОСТ 14952-74. | Штангенциркуль ШЦ-III-250-630-0,1 ГОСТ 166-80 |
| 010 | Токарна з ЧПК: 1. Точити торець 2. Точити торець 3. Точити поверхню 4. Точити торець | Прохідний упорний правий різець. Матеріал ріжучої частини – Т15К6. $L = 415$ мм $\alpha = 11^\circ$, $\alpha_1 = 6-8^\circ$, $\gamma = 15^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, $\psi = 60^\circ$, $a = 2,5$ мм, $l = 145$ мм. | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80 |
| 015 | Токарна з ЧПК: 1. Точити поверхню по контуру деталі | Прохідний упорний прямий правий різець з пластинкою з твердого сплаву Т15К6, $L = 150$ мм, $\alpha = 8^\circ$, $\alpha_1 = 15^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, $\lambda = 15^\circ$. | Шаблон Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80 |

Продовження таблиці 3.7

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----|---|---|--|
| 020 | Токарна роботизована: 1. Точити поверхню 2. Точити поверхню 3. Точити поверхню | Прохідний упорний прямий правий різець з пластинкою з твердого сплаву T15K6 з кутом в плані 90° по ГОСТ 18879-73 $h = 32$ мм, $L = 140$ мм, $b = 20$ мм, $l = 20$ мм, $R = 1,5$ мм. Фасонний різець | Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-80 Фаскомір ГОСТ 577-68. |
| 025 | Токарна роботизована: 1. Точити поверхню 2. Точити поверхню по контурі 3. Точити поверхню 4. Точити канавку 5. Точити канавку | Прохідний упорний Лівий різець ГОСТІ 0903-77. Матеріал ріжучої частини – T15K6. $L = 50$ мм, $h = 32$ $l = 185$ мм, $\alpha = 11^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, $\gamma = 15^\circ$, $\alpha_1 = 6-8^\circ$. Різець спеціальний | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80. Скоба $\varnothing 81,5$ b12 |
| 030 | Шліцефрезерна: 1. Фрезерувати шліци | Шліцева фреза з вставними пластинками і з конічним хвостовиком по ГОСТ 14953-80. Матеріал ріжучої частини – T15K6. $D = 33$ мм, $L = 150$ мм, $f = 1$ мм, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 30^\circ$, $\omega = 15^\circ$, $\lambda = 15^\circ$, $\alpha_1 = 15^\circ$ | Втулка по ГОСТ 13598-85; Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80 |
| 035 | Токарно-гвинторізна: 1. Нарізати різь | Токарний різьбовий різець з пластинкою з твердого сплаву T15K6 по ГОСТ 18885-73. $h = 25$ мм, $L = 140$ мм $l = 8$ мм, $b = 16$ мм, $n = 4$, крок різі – 1,5 мм | Кільце M64×2-6g ГОСТ 17763-72 |
| 040 | Вертикально-фрезерна: 1. Фрезерувати паз | Пазова затилована фреза ГОСТ 8543-71. Матеріал ріжучої частини – P18. $D = 80$ js15, $B = 8$ мм $d = 27$ H7 мм, число зубів – 12 | Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80; Шаблон для контролю пазу |

Кінець таблиці 3.7

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----|--|--|---|
| 045 | Агрегатна: 1. Свердлити отвори 2. Свердлити отвори 3. Зенкувати отвори 4. Розвернути отвори | Свердла спіральні з конічним хвостовиком по ГОСТ 10903-77: $D = 12$ мм, $L = 182$ мм, $D = 23,5$ мм, $L = 276$ мм. Зенкер із забірним конусом з конічним хвостовиком по ГОСТ 12489-71 $D = 24,7$ мм, $L = 281$ мм. Розвертка з конічним хвостовиком ГОСТ 19268-73 $D = 25$ мм, $L = 273$ мм | Штангенциркуль ШЦ-П-250-0,1. Шаблон для контролю розміщення отворів |
| 050 | Вертикально-свердлильна: 1. Зенкувати фаску | Зенківка ГОСТ 14953-80 $D = 31,5$ мм, $L = 127$ мм | Штангенциркуль ШЦ-П-250-0,05 ГОСТ 162-80 |
| 055 | Круглошліфувальна: 1. Шліфувати поверхню 2. Шліфувати поверхню 3. Шліфувати поверхню 4. Шліфувати поверхню | Круг шліфувальний ПП600×80×30 525А40ПС15К6 50 м/с А1кл. ГОСТ 2424-83 | Скоба Ø65g6. Скоба Ø75g6. Скоба Ø95js. Скоба Ø115u8. Зразки шорсткості ГОСТ 9378-75 |

3.2.5 Визначення режимів різання та технічних норм часу

Визначаємо розрахунково-аналітичним методом режими різання для двох операцій, а на інші переходи та операції назначаємо режими різання за нормативними даними [16].

За даними [17] визначаємо режими різання для вертикально-фрезерної операції (фрезерування пазу).

Глибина фрезерування $t = 4,5$ мм. Подача $s_z = 0,1$ мм/зуб [18].

Швидкість різання (колова швидкість фрези) визначається за формулою

$$v = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z^p}, \quad (3.7)$$

де C_v – коефіцієнт, $C_v = 68,5$ [18];

D – діаметр фрези, $D = 80$ мм;

$q; m; x; y; u; p$ – показники степені, $q = 0,25; m = 0,2; x = 0,3; y = 0,2; u = 0,1; p = 0,1$ [18];

K_v – поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання;

T – період стійкості фрези, $T = 120$ хв [18];

t – глибина різання, $t = 4,5$ мм;

s_z – подача, $s_z = 0,1$ мм;

B – ширина фрези, $B = 8$ мм;

z – кількість зубів фрези, $z = 12$.

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}, \quad (3.8)$$

де K_{mv} – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу [18];

K_{nv} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки, $K_{nv} = 0,8$ [18];

K_{uv} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту, $K_{uv} = 1$ [18].

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}, \quad (3.9)$$

де K_r – коефіцієнт, що характеризує оброблюваність матеріалу, $K_r = 1$ [18];

n_v – показник степені, $n_v = -0,9$ [18].

$$K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{530} \right)^{-0,9} = 0,73;$$

$$K_v = 0,73 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,58.$$

$$v = \frac{68,5 \cdot 80^{0,25} \cdot 0,58}{120^{0,2} \cdot 4,5^{0,3} \cdot 0,1^{0,2} \cdot 8^{0,1} \cdot 12^{0,1}} = 44,83 \text{ м/хв.}$$

Визначимо частоту обертання фрези

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}; \quad (3.10)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 44,83}{3,14 \cdot 80} = 178,4 \text{ об/хв.}$$

Коректуємо оберти за паспортом верстата і приймаємо $n_d = 180$ об/хв
Знайдемо дійсну швидкість різання

$$v = \frac{180 \cdot 3,14 \cdot 80}{1000} = 45,24 \text{ м/хв.}$$

Знайдемо силу різання за формулою

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z \cdot K_{mp}}{D^q \cdot n_d^w}, \quad (3.11)$$

де C_p – коефіцієнт, $C_p = 68,2$ [18];

x ; y ; u ; q ; w – показники степені, $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1,0$; $q = 0,86$; $w = 0$ [18];

K_{mp} – коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності [18]

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \quad (3.12)$$

де n – показник степені, $n = 0,3$ [18].

$$K_{mp} = \left(\frac{530}{750} \right)^{0,3} = 0,31;$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 4,5^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 8^{1,0} \cdot 12 \cdot 0,31}{80^{0,86} \cdot 180^0} = 513 \text{ Н.}$$

Крутний момент на шпинделі [18]

$$M_{kp} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100}; \quad (3.13)$$

$$M_{kp} = \frac{513 \cdot 80}{2 \cdot 100} = 205 \text{ Нм.}$$

Потужність різання [18]

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}; \quad (3.14)$$

$$N_e = \frac{513 \cdot 45,24}{1020 \cdot 60} = 0,4 \text{ кВт},$$

Основний час на обробку

$$T_o = \frac{L_{px}}{s_z \cdot z \cdot n_o}, \quad (3.15)$$

де L_{px} – довжина робочого ходу фрези, мм.

$$L_{px} = L_{вріз} + L_{різ} + L_{пероб}$$

де $L_{різ}$ – довжина різання, мм;

$L_{вріз}$, $L_{пероб}$ – відповідно величина врізання і перебігу інструменту [18], мм;

$$L_{px} = 8 + 35 + 7 = 51 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{50}{0,1 \cdot 12 \cdot 180} = 0,23 \text{ хв.}$$

Визначимо режими різання для вертикально-свердлильної операції 045 (свердління отвору $\varnothing 12$ мм). Глибина свердління $l = 36$ мм.

За даними [18], визначаємо режими різання для свердлильного переходу операції 010: $s = 0,25$ мм/об; $t = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 12 = 6,0$ мм.

Швидкість різання визначається за формулою

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot s^y} \cdot K_v, \quad (3.16)$$

де $C_v = 9,8$; $q = 0,4$; $m = 0,2$; $y = 0,5$ – коефіцієнт, і показники степенів, що визначаються за [18];

D – діаметр свердла, $D = 12$;

K_v – поправочний коефіцієнт, що враховує фізичні умови різання;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv}, \quad (3.17)$$

K_{mv} – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу, $K_{mv} = 0,73$ [18];

K_{uv} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту, $K_{uv} = 1,0$ [18];

K_{lv} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління, $K_{lv} = 1,0$ [15];

T – період стійкості свердла, $T = 45$ хв [15];

s – подача, $s = 0,25$ мм/об.

$$K_v = 0,73 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,73;$$

$$v = \frac{9,8 \cdot 12^{0,4}}{45^{0,2} \cdot 0,25^{0,5}} \cdot 0,73 = 24,7 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо оберти шпинделя за формулою (3.10)

$$n = \frac{1000 \cdot 24,7}{3,14 \cdot 12} = 655,5 \text{ м/хв.}$$

За паспортними даними верстата $n_\phi = 500$ об/хв. Дійсна швидкість різання

$$v_\phi = \frac{3,14 \cdot 12,0 \cdot 500}{1000} = 18,8 \text{ м/хв.}$$

Крутний момент визначаємо за формулою

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p, \quad (3.18)$$

де $C_m = 0,0345$; $q = 2,0$; $y = 0,8$ – коефіцієнт, і показники степенів, що визначаються за [18];

K_p – коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки [18], $K_p = K_{mp}$.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \quad (3.19)$$

де n – показник степені, $n = 0,75$ [18].

$$K_{mp} = \left(\frac{530}{750} \right)^{0,75} = 0,77.$$

$$M_{kp} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 12^2 \cdot 0,25^{0,8} \cdot 0,77 = 12,63 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Осьова сила визначається за формулою

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.20)$$

де $C_p = 68$; $q = 1,0$; $y = 0,7$ – коефіцієнт, і показники степенів, що визначаються за [18]

$$P_0 = 10 \cdot 68 \cdot 12^{1,0} \cdot 0,25^{0,7} \cdot 0,77 = 2380,9 \text{ Н};$$

Потужність різання

$$N_B = \frac{M_{kp} \cdot n_\phi}{9750}; \quad (3.21)$$

$$N_B = \frac{12,63 \cdot 500}{9750} = 0,65 \text{ кВт}.$$

Основний час на обробку

$$T_0 = \frac{L_{px}}{s \cdot n_\phi}; \quad (3.22)$$

$$T_0 = \frac{51}{0,25 \cdot 500} = 0,41 \text{ хв}.$$

Значення режимів різання для інших операцій, визначених за нормативними даними [16] зводимо в таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Режими різання по операціях

| Назва операції, переходу | t , мм | L , мм | i | s , мм/об | n , хв ⁻¹ | v , м/хв | s_m , мм/хв | T_o , хв | N , кВт |
|-------------------------------|----------|----------|-----|-------------|------------------------|------------|---------------|------------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 005. Фрезерно-центрувальна: | | | | | | | | | |
| 1. Фрезерувати поверхню | 5,0 | 140 | 1 | 1,4 | 315 | 158 | 441 | 1,8 | 2,9 |
| 2. Фрезерувати поверхню | 5,0 | 140 | 1 | 1,4 | 315 | 158 | 441 | 1,8 | 2,9 |
| 3. Свердлити отвори | 5,0 | 19 | 1 | 0,1 | 250 | 63 | 25 | 0,7 | 1,7 |
| 010. Токарна з ЧПК: | | | | | | | | | |
| 1. Точити торець | 3,0 | 75 | 2 | 0,2 | 125 | 86,3 | 25 | 2,82 | 3,6 |
| 2. Точити торець | 3,0 | 60 | 1 | 0,3 | 90 | 92 | 27 | 2,28 | 3,7 |
| 3. Точити поверхню | 2,5 | 50 | 1 | 0,3 | 90 | 92 | 27 | 2,13 | 1,5 |
| 4. Точити торець | 3,0 | 55 | 1 | 0,3 | 90 | 92 | 27 | 1,87 | 2,8 |
| 015. Токарна з ЧПК: | | | | | | | | | |
| 1. Точити поверхню по контуру | 3,0 | 415 | 2 | 0,25 | 250 | 75 | 62,5 | 13,2 | 3,5 |
| 020. Токарна роботизована: | | | | | | | | | |
| 1. Точити поверхню | 3,0 | 50 | 1 | 0,5 | 90 | 18 | 45 | 2,11 | 3,9 |
| 2. Точити поверхню | 2,5 | 45 | 1 | 0,25 | 63 | 15 | 16 | 2,75 | 2,5 |
| 3. Точити поверхню | 2,0 | 49 | 1 | 0,35 | 90 | 25 | 31 | 2,25 | 2,2 |
| 025. Токарна роботизована: | | | | | | | | | |
| 1. Точити поверхню | 1,0 | 63 | 1 | 0,2 | 250 | 51 | 50 | 1,4 | 0,7 |
| 2. Точити поверхню по контуру | 1,0 | 460 | 1 | 0,25 | 250 | 59 | 62 | 4,35 | 2,2 |
| 3. Точити поверхню | 1,0 | 415 | 1 | 0,25 | 300 | 85 | 75 | 5,65 | 5,6 |
| 4. Точити канавку | 2,8 | 4 | 1 | 0,25 | 330 | 78 | 83 | 1,1 | 0,3 |
| 5. Точити канавку | 2,5 | 4 | 1 | 0,25 | 330 | 78 | 83 | 0,8 | 0,3 |
| 030. Шліцефрезерна: | | | | | | | | | |
| 1. Фрезерувати шліци | 5,0 | 70 | 18 | 1,25 | 125 | 35 | 156 | 11,45 | 2,6 |
| 035. Токарно-гвинторізна: | | | | | | | | | |
| 1. Нарізати різь | 1,0 | 30 | 1 | 2,0 | 100 | 21,7 | 25 | 4,02 | 1,3 |
| 040. Вертикально-фрезерна: | | | | | | | | | |
| 1. Фрезерувати паз | 4,5 | 50 | 1 | 0,1 | 180 | 45,2 | 216 | 0,23 | 1,9 |
| 045. Агрегатна: | | | | | | | | | |
| 1. Свердлити отвори | 11,75 | 41 | 1 | 0,4 | 110 | 8,1 | 44 | 0,93 | 1,56 |
| 2. Свердлити отвори | 6,0 | 51 | 1 | 0,25 | 500 | 18,8 | 125 | 0,41 | 0,65 |
| 3. Зенкувати отвори | 0,6 | 41 | 1 | 0,8 | 101 | 7,8 | 81 | 0,51 | 0,21 |
| 4. Розвернути отвори | 0,15 | 41 | 1 | 1,1 | 45 | 3,5 | 50 | 0,83 | 0,09 |
| 050. Вертикально-свердлильна: | | | | | | | | | |
| 1. Зенкувати фаску | 2,0 | 5 | 8 | Ручна | 180 | 14,1 | - | 1,12 | 0,42 |

Кінець таблиці 3.8

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|-----|----|---|-------|-----|----|------|-----|-----|
| 055. Кругло-шліфувальна: | | | | | | | | | |
| 1. Шліфувати поверхню | | | | | | | | | |
| 2. Шліфувати поверхню | 0,5 | 60 | 1 | 0,008 | 170 | 27 | 0,46 | 1,1 | 4,5 |
| 3. Шліфувати поверхню | | | | | | | | | |
| 4. Шліфувати поверхню | 0,5 | 60 | 1 | 0,008 | 170 | 27 | 0,46 | 1,1 | 4,5 |
| | 0,5 | 25 | 1 | 0,008 | 170 | 27 | 0,46 | 0,8 | 4,5 |
| | 0,5 | 15 | 1 | 0,008 | 170 | 27 | 0,46 | 0,8 | 4,5 |

Норми штучного часу на операцію визначається за формулою [17]

$$T_{шт} = T_o + T_{\partial} + T_{обсл} + T_{відп}, \quad (3.23)$$

де T_o – основний час;

T_{∂} – допоміжний час;

$T_{обсл}$ – час на обслуговування робочого місця;

$T_{відп}$ – час на відпочинок та природні потреби робітника.

Оперативний час складається

$$T_{оп} = T_o + T_{\partial}. \quad (2.24)$$

Тоді штучний час буде складати

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{обсл} + T_{відп}. \quad (2.25)$$

Штучно-калькуляційний час в серійному виробництві визначають за формулою

$$T_{шк} = T_{шт} + \frac{T_{н.з.}}{n}, \quad (3.26)$$

де $T_{н.з.}$ – підготовчо-заклучний час;

n – величина партії деталей, $n = \frac{N \cdot a}{F}$;

N – річна програма випуску деталей, $N = 24000$ шт;

a – необхідний запас деталей на складі, $a = 5$;

F – кількість робочих днів у році, $F = 257$ днів.

$$n = \frac{24000 \cdot 5}{257} = 467 \text{ дет.}$$

Розрахуємо норми часу на вертикально-свердлильну операцію 050.

Час на встановлення та зняття деталі $T_{в.з.} = 0,22$ хв. згідно [17].

Час на вимірювання деталі [17] $T_{вим} = 0,08$ хв.

Час на управління верстатом [17] $T_{уп} = 0,22$ хв.

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок [17]

$$T_{обс} = 0,0415 \cdot T_o;$$

$$T_{від} = 0,0415 \cdot T_o.$$

Тоді допоміжний час

$$T_{\partial} = T_{в.з.} + T_{вим} + T_{уп};$$

$$T_{\partial} = 0,22 + 0,08 + 0,22 = 0,52 \text{ хв.}$$

Оскільки основний час на цій операції складає $T_o = 1,12$ хв., то оперативний час буде

$$T_{он} = T_o + T_{\partial};$$

$$T_{он} = 1,12 + 0,52 = 1,64 \text{ хв};$$

$$T_{обс} = 0,0415 \cdot 1,12 = 0,05 \text{ хв};$$

$$T_{відн} = 0,0415 \cdot 1,12 = 0,05 \text{ хв.}$$

Звідси штучний час на операції:

$$T_{шт} = 1,64 + 0,05 + 0,05 = 1,74 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час $T_{п.з.} = 24$ хв. [17].

Штучно калькуляційний час складе

$$T_{\text{шк}} = 1,74 + \frac{24}{467} = 1,79 \text{ хв.}$$

Для решти переходів (операцій) технологічного процесу розрахунки проводимо по довідковій літературі і зводимо в таблицю 3.9.

Таблиця 3.9 – Норми часу на операції технологічного процесу

| Номер операції | T_o , хв. | Допоміжний, хв. | | | T_{on} , хв. | $T_{обс}$, хв. | $T_{від}$, хв. | $T_{шт}$, хв. | $T_{п.з.}$, хв. | n , шт. | $T_{шк}$, хв. |
|----------------|-------------|-----------------|-----------|----------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-----------|----------------|
| | | $T_{в.з.}$ | $T_{вим}$ | $T_{ун}$ | | | | | | | |
| 005 | 4,30 | 0,18 | 0,13 | 0,20 | 4,81 | 0,18 | 0,18 | 4,91 | 24 | 467 | 5,22 |
| 010 | 9,10 | 0,22 | 0,08 | 0,22 | 9,62 | 0,38 | 0,38 | 9,74 | 29 | 467 | 10,44 |
| 015 | 13,20 | 0,22 | 0,08 | 0,22 | 13,72 | 0,55 | 0,55 | 13,84 | 29 | 467 | 14,88 |
| 020 | 7,11 | 0,22 | 0,12 | 0,22 | 7,67 | 0,30 | 0,30 | 7,79 | 29 | 467 | 8,32 |
| 025 | 13,27 | 0,22 | 0,12 | 0,22 | 13,83 | 0,55 | 0,55 | 13,95 | 29 | 467 | 14,99 |
| 030 | 11,45 | 0,22 | 0,08 | 0,22 | 11,97 | 0,48 | 0,48 | 12,15 | 41 | 467 | 13,01 |
| 035 | 4,02 | 0,26 | 0,23 | 0,15 | 4,66 | 0,17 | 0,17 | 4,76 | 24 | 467 | 5,04 |
| 040 | 0,23 | 0,20 | 0,20 | 0,18 | 0,81 | 0,01 | 0,01 | 0,99 | 41 | 467 | 0,92 |
| 045 | 2,68 | 0,26 | 0,23 | 0,24 | 3,41 | 0,11 | 0,11 | 3,59 | 41 | 467 | 3,72 |
| 050 | 1,12 | 0,22 | 0,08 | 0,22 | 1,64 | 0,05 | 0,05 | 1,74 | 24 | 467 | 1,79 |
| 055 | 3,80 | 0,22 | 0,28 | 0,16 | 4,46 | 0,16 | 0,16 | 4,78 | 24 | 467 | 4,83 |

3.3 Визначення кількості обладнання

Розрахункову кількість верстатів визначають за формулою [19]

$$m_p = \frac{T_{\text{шк}}}{t_g}, \quad (3.27)$$

де $T_{\text{шк}}$ – штучно-калькуляційний час, хв;

t_g – такт випуску деталей.

$$t_g = \frac{F_d \cdot 60}{N}, \quad (3.28)$$

Де F_d – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, $F_d = 4015$ год;

N – річна програма випуску деталей, $N = 24000$ шт.

$$t_{\varepsilon} = \frac{4015 \cdot 60}{24000} = 10,04 \text{ хв/шт.}$$

Отже, розрахункова і фактично прийнята кількість верстатів

| | | |
|----------|--|-----------------|
| КЛ-180 | $m_{p1} = \frac{5,22}{10,04} = 0,52;$ | $m_{\phi1}=1;$ |
| 1П732Ф3 | $m_{p2} = \frac{10,44}{10,04} = 1,04;$ | $m_{\phi2}=2;$ |
| 1П732Ф3 | $m_{p3} = \frac{14,88}{10,04} = 1,48;$ | $m_{\phi3}=2;$ |
| 1П732РФ3 | $m_{p4} = \frac{8,32}{10,04} = 0,83;$ | $m_{\phi4}=1;$ |
| 1П732РФ3 | $m_{p5} = \frac{14,99}{10,04} = 1,49;$ | $m_{\phi5}=2;$ |
| 5350 | $m_{p6} = \frac{13,01}{10,04} = 1,30;$ | $m_{\phi6}=2;$ |
| 16К20 | $m_{p7} = \frac{5,04}{10,04} = 0,50;$ | $m_{\phi7}=1;$ |
| 6550 | $m_{p8} = \frac{0,92}{10,04} = 0,09;$ | $m_{\phi8}=1;$ |
| 13А356 | $m_{p9} = \frac{3,72}{10,04} = 0,37;$ | $m_{\phi9}=1;$ |
| 2Н135 | $m_{p10} = \frac{1,79}{10,04} = 0,18;$ | $m_{\phi10}=1;$ |
| 3М124Е | $m_{p11} = \frac{4,83}{10,04} = 0,48;$ | $m_{\phi11}=1.$ |

Визначимо коефіцієнт завантаження верстатів за формулою [13]

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{m_p}{m_{\phi}}, \quad (3.29)$$

$$\text{КЛ-180} \quad \eta_{\varepsilon 1} = \frac{0,52}{1} = 0,52;$$

$$1П732Ф3 \quad \eta_{32} = \frac{1,04}{2} = 0,52;$$

$$1П732Ф3 \quad \eta_{33} = \frac{1,48}{2} = 0,74;$$

$$1П732РФ3 \quad \eta_{34} = \frac{0,83}{1} = 0,83;$$

$$1П732РФ3 \quad \eta_{35} = \frac{1,49}{2} = 0,75;$$

$$5350 \quad \eta_{36} = \frac{1,30}{2} = 0,65;$$

$$16К20 \quad \eta_{37} = \frac{0,50}{1} = 0,50;$$

$$6550 \quad \eta_{38} = \frac{0,09}{1} = 0,09;$$

$$13А356 \quad \eta_{39} = \frac{0,37}{1} = 0,37;$$

$$2Н135 \quad \eta_{310} = \frac{0,18}{1} = 0,18;$$

$$3М124Е \quad \eta_{311} = \frac{0,48}{1} = 0,48.$$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання буде складати

$$\eta_{3c} = \frac{0,52 + 0,52 + 0,74 + 0,83 + 0,75 + 0,65 + 0,50 + 0,09 + 0,37 + 0,18 + 0,48}{11} = 0,51.$$

Графік завантаження обладнання зображено на рис. 3.2.

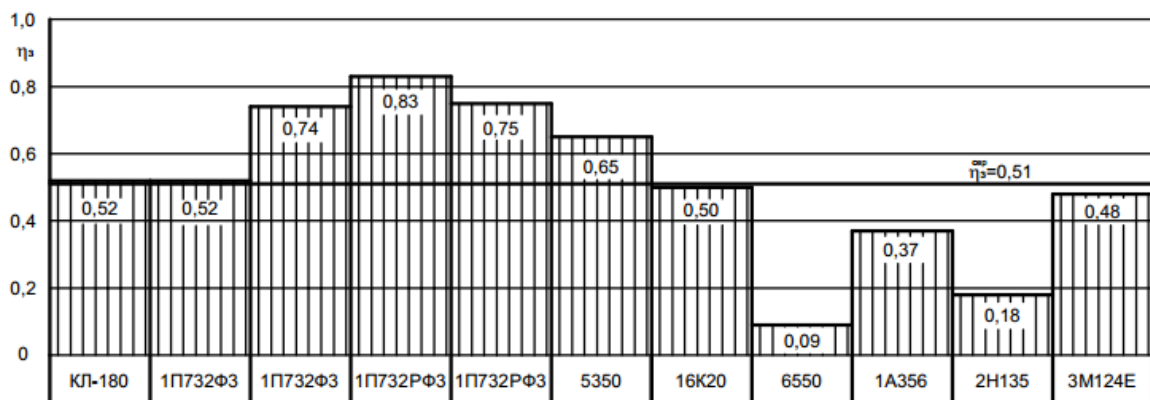


Рисунок 3.2 – Графік завантаження обладнання

Визначимо коефіцієнт використання обладнання за основним часом за формулою [13]

$$\eta_0 = \frac{T_o}{T_{шк}}, \quad (3.30)$$

де T_o – основний час операції, хв;

$T_{шк}$ – штучно-калькуляційний час операції, хв.

$$\text{КЛ-180} \quad \eta_{o1} = \frac{4,30}{5,22} = 0,82;$$

$$\text{1П732Ф3} \quad \eta_{o2} = \frac{9,10}{10,44} = 0,87;$$

$$\text{1П732Ф3} \quad \eta_{o3} = \frac{13,20}{14,88} = 0,89;$$

$$\text{1П732РФ3} \quad \eta_{o4} = \frac{7,11}{8,32} = 0,85;$$

$$\text{1П732РФ3} \quad \eta_{o5} = \frac{13,27}{14,99} = 0,88;$$

$$\text{5350} \quad \eta_{o6} = \frac{11,45}{13,01} = 0,88;$$

$$\text{16К20} \quad \eta_{o7} = \frac{4,02}{5,04} = 0,80;$$

$$\text{6550} \quad \eta_{o8} = \frac{0,23}{0,92} = 0,25;$$

$$\text{13А356} \quad \eta_{o9} = \frac{2,68}{3,72} = 0,72;$$

$$\text{2Н135} \quad \eta_{o10} = \frac{1,12}{1,79} = 0,63;$$

$$\text{3Н124Е} \quad \eta_{o11} = \frac{3,80}{4,83} = 0,79.$$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання за основним часом буде складати

$$\eta_{oc} = \frac{0,82 + 0,87 + 0,89 + 0,85 + 0,88 + 0,88 + 0,80 + 0,25 + 0,72 + 0,63 + 0,79}{11} = 0,76.$$

Графік використання обладнання за основним часом зображено на рис.3.3.

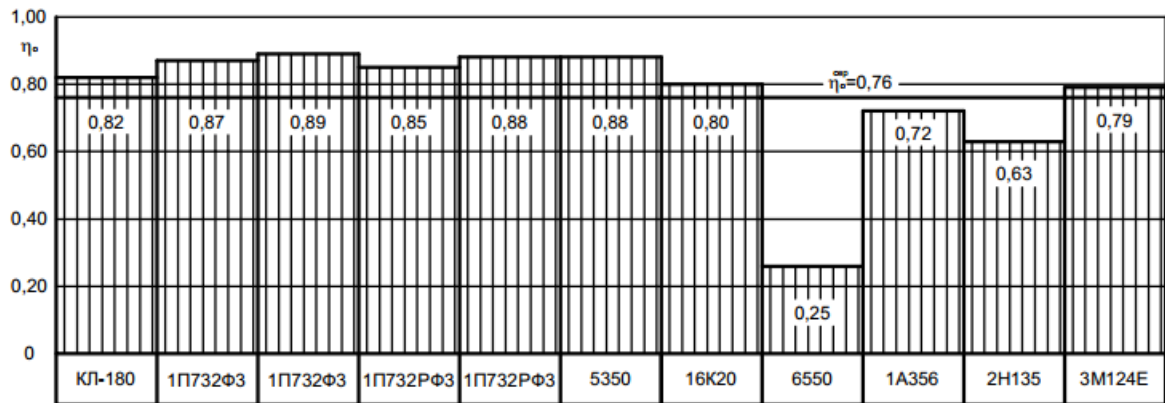


Рисунок 3.3 – Графік використання обладнання за основним часом

Визначимо коефіцієнт використання обладнання за потужністю за формулою [13]

$$\eta_n = \frac{N_{piz}}{N_\delta}, \quad (3.31)$$

де N_{piz} – потужність різання, кВт;

N_δ – потужність двигуна приводу головного руху верстата, кВт.

$$\text{КЛ-180} \quad \eta_{n1} = \frac{2,9}{11,0} = 0,26;$$

$$1П732Ф3 \quad \eta_{n2} = \frac{3,7}{11,0} = 0,34;$$

$$1П732Ф3 \quad \eta_{n3} = \frac{3,5}{11,0} = 0,32;$$

$$1П732РФ3 \quad \eta_{n4} = \frac{3,9}{11,0} = 0,35;$$

$$1П732РФ3 \quad \eta_{n5} = \frac{5,6}{11,0} = 0,51;$$

$$5350 \quad \eta_{n6} = \frac{2,6}{7,5} = 0,35;$$

$$16К20 \quad \eta_{n7} = \frac{1,3}{11,0} = 0,12;$$

$$6550 \quad \eta_{n8} = \frac{1,9}{10,0} = 0,19;$$

$$13A356 \quad \eta_{n9} = \frac{1,56}{7,5} = 0,21;$$

$$2H135 \quad \eta_{n10} = \frac{0,42}{4,0} = 0,10;$$

$$3M124E \quad \eta_{n11} = \frac{4,5}{7,5} = 0,60.$$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання за потужністю буде складати

$$\eta_{nc} = \frac{0,26 + 0,34 + 0,32 + 0,35 + 0,51 + 0,35 + 0,12 + 0,19 + 0,21 + 0,10 + 0,60}{11} = 0,30.$$

Графік використання обладнання за потужністю зображено на рис.3.4.

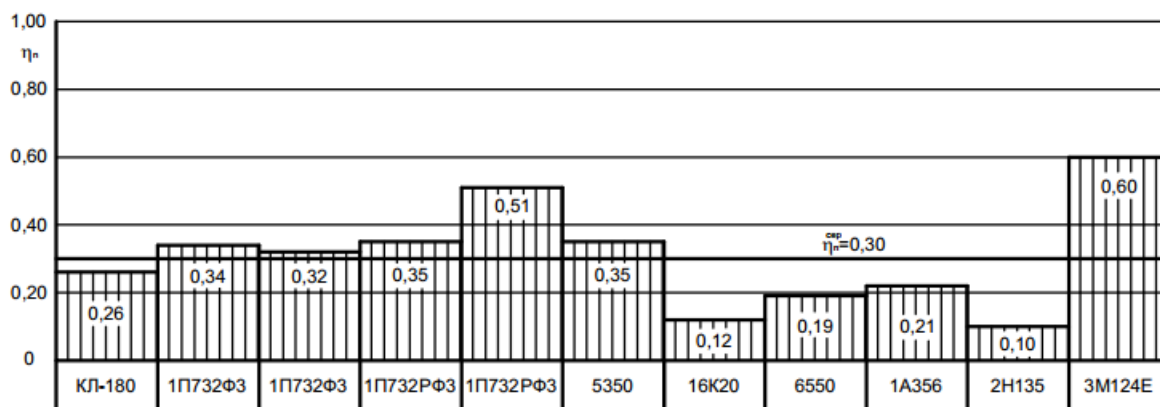


Рисунок 3.4 – Графік використання обладнання за потужністю

3.4 Конструювання спеціального оснащення

3.4.1 Пристрій затискний для токарної обробки

Для токарної обробки деталі спроектовано спеціальний затискний пристрій (рис. 3.5), що встановлюється на шпинделі токарного напівавтомата 1П732Ф3.

Коли тиск у пневмокамері відсутній, пружини 37 переміщують штовхач 6 вліво і кулачки переміщуються до центра обертання пристрою.

3.4.2 Пристрій захватний

Оскільки деталь важить 31 кг, то у виробничих умовах маніпулювати нею вручну під час зміни операцій неможливо, тому для цього розроблено спеціальний пристрій для знімання і навішування деталі.

Пристрій (рис. 3.6) складається з: лапи 1, стяжки 2, важеля 3, основи 4, стопорних планок 5 і осей 6, 7.

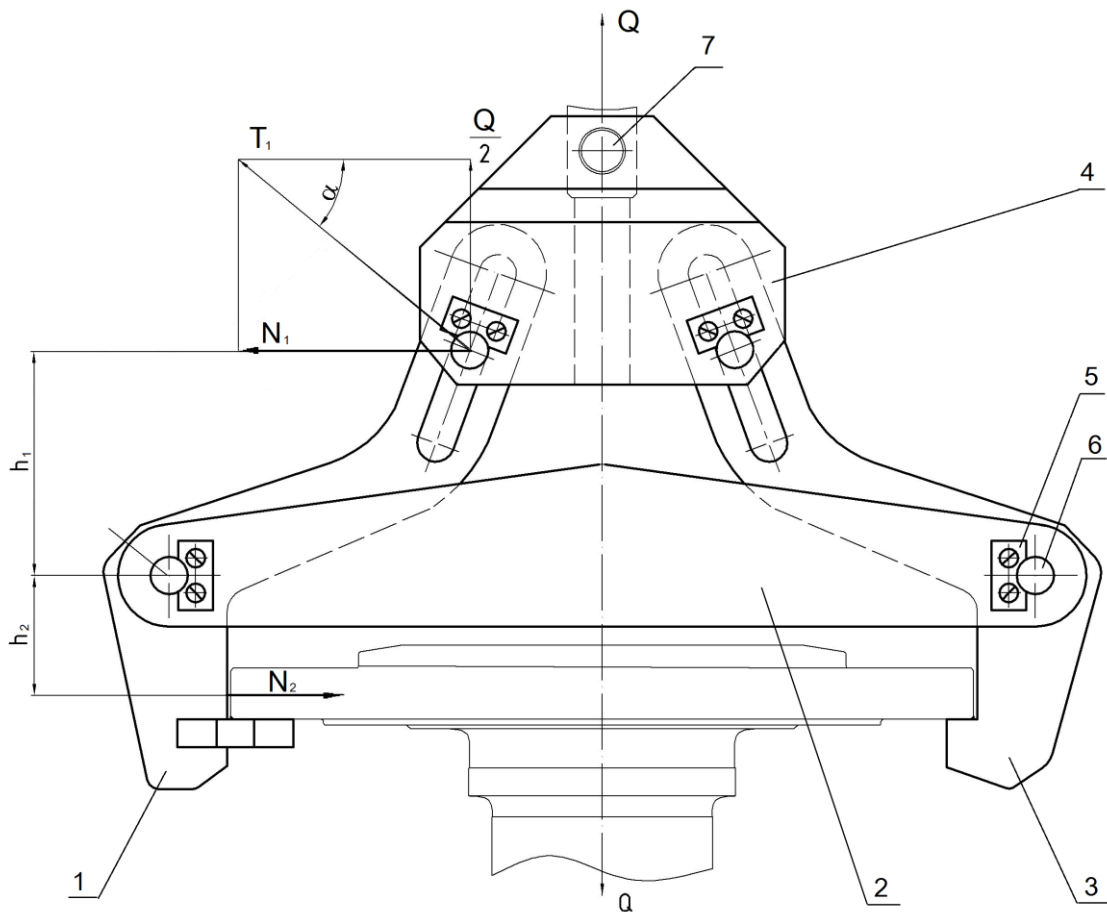


Рисунок 3.6 – Пристрій захватний

Пристрій кріпиться за допомогою шини до підвісного крана. Деталь захоплюється важелем і фіксується лапою. При вертикальному переміщенні шини

лапа і важіль повертаються на осях, що дає змогу при достатньо надійно зафіксувати деталь.

Під час виконання піднімально-транспортних робіт на лапу і важіль пристрою діє навантаження $Q = 40$ кг. Конструктивні розміри пристрою: $\alpha = 40^\circ$, $h_1 = 140$ мм, $h_2 = 55$ мм. Матеріал: сталь 20, $[\sigma]_{зг} = 1200$ кГ/см².

Зусилля, яке стягує плече дорівнює [20]

$$T_1 = \frac{Q}{2 \cdot \cos \alpha}. \quad (3.32)$$

Горизонтальна складова цього зусилля

$$N_1 = \frac{Q \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2}. \quad (3.33)$$

Зусилля, що защемляє вантаж

$$N_2 = N_1 \frac{h_1}{h_2} = \frac{Q \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2} \cdot \frac{h_1}{h_2}. \quad (3.34)$$

$$N_2 = \frac{40 \cdot \operatorname{tg} 40}{2} \cdot \frac{140}{55} = 42,7 \text{ кг.}$$

Вага вантажу, яка припадає на лапу, рівна 20 кг, а зусилля, що розвиває пристрій $N_2 = 42,7$ кг. Звідси випливає, що він надійно утримує вантаж.

3.4.3 Пристрій для фрезерування пазу

Пристрій служить для фрезерування пазу у вісі колеса КС6Б-02.662 на вертикально-фрезерному верстаті 6550.

Пристрій (рис. 3.7) складається з корпусу 3, на якому змонтовані всі вузли і деталі, що входять в конструкцію пристрою.

Оброблювана деталь встановлюється на призму 6. Затиск деталі здійснюється важелем 4, який через перехідник 5 з'єднується з приставним

пневматичним приводом, який не входить в конструкцію пристрою оскільки є універсальним і застосовується у різних пристроїв даного класу.

Пристрій за допомогою 4 пазів в нижній плиті корпусу 1 закріплюється до столу верстата.

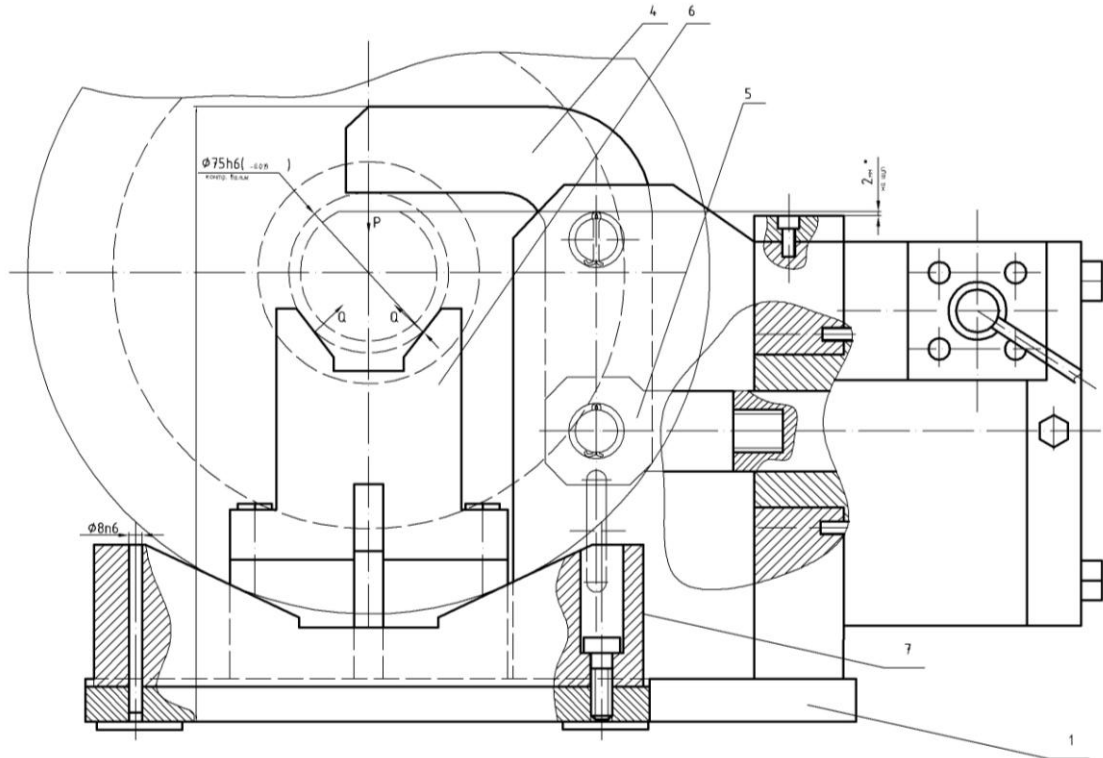


Рисунок 3.7 – Пристрій для фрезерування пазу

Схема затиску деталі і сили, які діють на деталь в процесі обробки приведені на рисунку 4.1.

Під час механічної обробки заготовка своїми циліндричними поверхнями встановлюється на призму 6 і опору 7 пристрою. Для закріплення заготовки використовується притискний важіль 4, який діє нормально до поверхні заготовки і повинен створити силу затиску P , яка перешкоджає її переміщенню під дією горизонтальної складової сили різання P_z в процесі фрезерування.

Сили затиску P_1 і P_2 обох притисків рівні, і, відповідно сили тертя T_1 і T_2 також рівні.

Як відомо, сила тертя рівна добутку сили затиску на коефіцієнт тертя f Тоді можна записати:

$$T_1 = T_2 = T = f \cdot P. \quad (3.35)$$

Належний затиск заготовки забезпечується при умові

$$2 \cdot f \cdot P > k \cdot P_z, \quad (3.36)$$

або

$$P = \frac{k \cdot P_z}{2 \cdot f}, \quad (3.37)$$

де f – коефіцієнт тертя;

k – коефіцієнт запасу.

Необхідну силу дії пневмоприводу Q можна визначити за формулою

$$Q = P \frac{L_1}{L_2} = \frac{L_1 \cdot P_z \cdot k}{2 \cdot L_2 \cdot f}, \quad (3.38)$$

де L_1 і L_2 – геометричні параметри пристрою, $L_1 = 135$ мм; $L_2 = 315$ мм.

Коефіцієнт запасу k може бути представлений як добуток первинних коефіцієнтів [20]

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (3.39)$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу, $k_0 = 1,5$;

k_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при затупленні інструменту, $k_1 = 1,2$;

k_2 – коефіцієнт зміни величини припуску чорнових заготовок, $k_2 = 1,0$;

k_3 – коефіцієнт збільшення сил різання при переривному фрезеруванні, $k_3 = 1,2$;

k_4 – коефіцієнт роду приводу, $k_4 = 1,0$;

k_5 – коефіцієнт, який враховує зручне розміщення ручки затиску ручних затискних приводів, $k_5 = 1,0$;

k_6 – коефіцієнт, який враховує наявність моментів, які намагаються повернути заготовку на опорах, $k_6 = 1,3$.

$$k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,3 = 2,81.$$

За даними підрозділу 3.2.5, сила різання при фрезеруванні $P_z = 513$ Н.

$$Q = \frac{135 \cdot 513 \cdot 2,81}{2 \cdot 310 \cdot 0,15} = 2093 \text{ Н.}$$

Вибираємо для пристрою пневмопривід з пневмоциліндром $\varnothing 125$ мм, який на виході важеля затиску розвиває зусилля 3100 Н при тиску повітря в пневмосистемі 0,4 МПа.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Пристрої захисного вимкнення, їх типи та принцип дії

Захисно-вимикаючим пристроєм називається пристрій, який швидко (не більше як за 0,2 с) автоматично вимикає ділянку електричного кола при виникненні небезпеки ураження людини струмом [21].

Основними частинами пристрою захисного вимкнення є прилад захисного вимикання і автоматичний вимикач.

Прилад захисного вимикання – це сукупність окремих елементів, які реагують на зміну певних параметрів електричного кола і дають сигнал на вимикання електричного кола. До основних елементів відносяться: датчик, підсилювач, коло контролю і автоматичний вимикач.

Датчик – це пристрій, що сприймає зміну параметра і перетворює його в відповідний сигнал. У якості датчиків, як правило, служать реле відповідних типів.

Підсилювач призначений для підсилення сигналу датчика, якщо він є недостатньо потужним.

Коло контролю служить для періодичної перевірки справності схеми захисного вимикаючого пристрою.

Автоматичний вимикач – пристрій, що служить для ввімкнення і вимкнення кіл, що знаходяться під захистом. Він повинен вимикати коло автоматично при надходженні сигналу від приладу захисного вимикання.

До допоміжних елементів відносяться сигнальні лампи, вимірювальні прилади (наприклад, омметр), що характеризують стан електропристрою тощо.

Кожен захисно-вимикаючий пристрій в залежності від параметру, на який він реагує, може бути віднесений до того чи іншого типу, в тому числі до типу пристроїв, що реагують на напругу корпусу відносно землі, струм замикання на землю, напругу фази відносно землі, напругу нульової послідовності, струм нульової послідовності, оперативний струм тощо. Нижче розглянуто два типи таких пристроїв.

Захисно-вимикаючі пристрої, що реагують на напругу корпусу відносно землі, повинні знешкодити небезпеку ураження струмом при його виникненні на заземленому або зануленому корпусі. Ці пристрої є засобами захисту, що використовуються додатково до заземлення чи занулення.

Принцип дії – швидке від'єднання від кола установки, якщо напруга її корпусу відносно землі виявиться вище певного гранично допустимого значення, при якому дотикання до корпусу стає небезпечним.

4.2 Заходи пожежної безпеки на дільницях механоскладального цеху

Холодна обробка металу в механічних та інших цехах потенційно не призводить до пожежі. Але в цих цехах зберігаються гас та мастильні матеріали, запас яких слід обмежувати до добової потреби і тримати у металевих шафах або ящиках. У тих цехах, де вогнебезпечна робота проводиться постійно, для цих матеріалів відводяться постійні спеціальні місця, оснащені необхідними засобами для гасіння пожеж.

Особливу увагу треба звертати на зварювальні роботи. При проведенні їх забороняється: користуватися несправною апаратурою, зварювати вироби, апарати і прилади, що перебувають під тиском рідини, пари й повітря, а також під електричною напругою; працювати в приміщеннях, де застосовуються або зберігаються легкозаймисті матеріали й рідини прокладати струмоведучі зварювальні проводи разом із газозварювальними шлангами та трубопроводами; зберігати у зварювальних кабінах одяг і рукавиці з слідами мастил, бензину і гасу.

Досить небезпечними в пожежному відношенні є малярні дільниці, в яких застосовуються фарби, лаки, емалі, та летючі розчинники. Під час роботи з пульверизаторами частина барвників розпилюються в повітрі і при певній концентрації утворює вибухонебезпечну суміш.

Малярні цехи, де робота проводиться з нітрофарбами, обладнують спеціальними витяжними вогнетривкими кабінами.

Вентиляція малярної дільниці, камер, кабін розраховується на повне видалення парів розпилювачів. Щоб запобігти іскроутворенню, кожух вентилятора обкладають зсередини листами кольорового металу. Електродвигуни вентиляторів, насоси, світильники та ін. повинні бути тільки вибухозахищені (у вибухонепроникному або спеціальному виконанні).

4.3 Оцінка стійкості роботи промислового об'єкту в умовах надзвичайних ситуацій

Стійкість роботи об'єкта – це його здатність випускати продукцію в надзвичайних ситуаціях у запланованому обсязі, необхідної номенклатури і відповідної якості, а у випадку впливу на об'єкт вражаючих факторів, стихійних лих та виробничих аварій – в мінімально короткі строки відновити своє виробництво.

Більш підготовленими до стійкої роботи будуть ті об'єкти, на яких будуть враховані усі небезпечні фактори, їх несприятливий вплив на виробництво і розроблять відповідні заходи. Завчасне проведення організаційних, агрохімічних, агротехнічних, інженерно-технічних, ветеринарно-санітарних, лісотехнічних, лісгосподарських, меліоративних та інших заходів максимально знизить результати впливу вражаючих факторів мирного і воєнного часу на людей, сільськогосподарських тварин і створить сприятливі умови для швидкої ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

Для розробки заходів підвищення і забезпечення стійкості роботи об'єктів у надзвичайних ситуаціях необхідно оцінити стійкість об'єкту проти впливу вражаючих факторів.

Вихідними даними для проведення розрахунків стійкості об'єкта до ураження є: максимальні значення параметрів можливих вражаючих факторів і характеристики елементів об'єкта [22]:

- відстань від цеху до сховища вуглеводних продуктів – 0,7 км;
- цех розташований до сховища по азимуту 270°;

- тип вуглеводневого продукту – пропан;
- маса продукту – 300 т.;
- характеристика механічного цеху: будівля – залізобетон; верстати – середні; трубопроводи – на металевих естакадах, наземні;
- кабельні мережі – наземні.

Зони осередку ураження при вибуху газоповітряної суміші показано на рисунку 4.1.

Визначаємо максимально ймовірний надмірний тиск, що очікується при вибуху у районі розташування об'єкту

Зона I – зона детонаційної хвилі

$$R_1 = 17,5 \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (4.10)$$

де $Q = 300$ т. – маса вуглеводневого продукту.

$$R_1 = 17,5 \cdot \sqrt[3]{300} = 117,151 \text{ м};$$

$$\Delta P_1 = 1700 \text{ кПа};$$

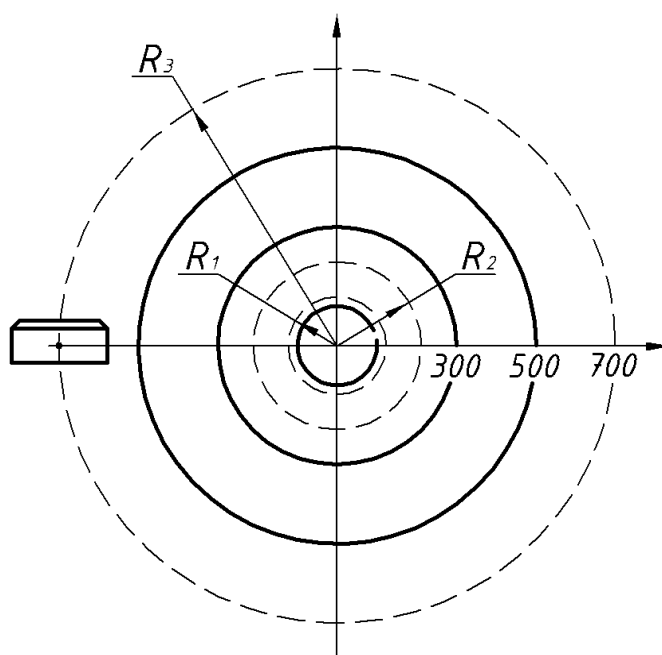


Рисунок 4.1 – Зони осередку ураження при вибуху газоповітряної суміші

Зона II – зона дії продуктів вибуху:

$$R_2 = 1,7 \cdot r_1 = 199,156 \text{ м}; \quad (4.11)$$

$$\Delta P_2 = 1300 \cdot \left(\frac{r_l}{r} \right)^3 + 50 = 56,094 \text{ кПа}. \quad (4.12)$$

Зона III – зона дії повітряної ударної хвилі:

Визначимо відносну величину ψ :

$$\psi = 0,24 \cdot \frac{r}{r_1} = 1,434. \quad (4.13)$$

При $\psi \leq 2$:

$$\Delta P_3 = \frac{700}{3 \cdot (\sqrt{1 + 29,8 \cdot \psi^3} - 1)} = 27,686 \text{ кПа}. \quad (4.14)$$

Визначимо фактичний надмірний тиск:

$$\Delta P_\phi = \left(1,05 \cdot \frac{\sqrt[3]{Q}}{r} + 4,3 \cdot \frac{\sqrt[3]{Q}}{r^2} + 14 \cdot \frac{Q}{r^5} \right) \cdot 100 = 1,043 \text{ кПа}. \quad (4.15)$$

Виділимо основні елементи об'єкту і визначимо їх ступені руйнування в залежності від ΔP_ϕ ударної хвилі:

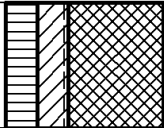
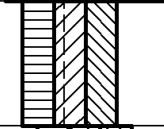
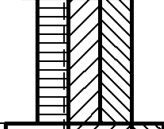
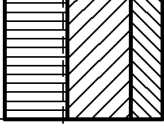
- механічний цех: $\Delta P_{\phi \text{ lim}} = 20 \dots 30$ кПа (середній);
- верстатний парк: $\Delta P_{\phi \text{ lim}} = 25 \dots 35$ кПа (середній);
- трубопроводи: $\Delta P_{\phi \text{ lim}} = 20 \dots 30$ кПа (слабкий);
- кабельні мережі: $\Delta P_{\phi \text{ lim}} = 10 \dots 30$ кПа (слабкий).

Порівнюючи $\Delta P_{\phi \text{ lim}}$ (по найменшому показнику: механічний цех) з $\Delta P_{\phi \text{ lim}} = 30$ кПа визначимо, що об'єкт є досить стійким до ударної хвилі.

Результати розрахунків наведено у таблиці 4.1.

Висновок: межа стійкості об'єкту $\Delta P_{\phi \text{ lim}} = 20$ кПа, що відповідає межі стійкості найуразливішого елемента об'єкту, тобто будівлі механічного цеху. На об'єкті від ударної хвилі очікується середній ступінь руйнування будівлі механічного цеху та обладнання і легкий ступінь руйнування для трубопроводів та кабельних мереж. Можливий збиток складе: для будівлі механічного цеху – 45 %, для технологічного обладнання – 37 %, для трубопроводів – 27 %, для кабельних мереж – 27 %.

Таблиця 4.1 – Результати оцінки стійкості об'єкту до ударної хвилі

| Елементи цеху та їх характеристики | Ступінь руйнування при ΔP_{ϕ} , кПа | Межа стійкості елемента $\Delta P_{\phi \text{ lim}}$, кПа | Збитки при $\Delta P_{\phi \text{ max}}$, % | Примітка |
|---|---|---|--|---|
| | 10 20 30 40 50 60 70 | | | |
| Будівля: залізобетон |  | 20 | 45 | Межа стійкості об'єкту $\Delta P_{\phi \text{ lim}} = 20$ кПа |
| Технологічне обладнання: верстати середні |  | 25 | 37 | |
| Трубопроводи: на металевих естакадах |  | 30 | 27 | |
| Електромережа: кабельна наземна |  | 30 | 27 | |

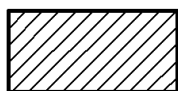
$\Delta R_{\phi \text{ max}}$ →



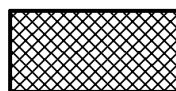
- слабкі руйнування



- сильні руйнування



- середні руйнування



- повні руйнування

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. За результатами досліджень побудовано схему фізичної моделі маніпулятора, яка включає елементи, що деформуються в процесі роботи.
2. Розроблено методику дослідження спільних механічних характеристик маніпулятора порталного типу МРЛ-901П, а також стенд для їх досліджень.
3. Отримано результати експериментальних досліджень жорсткості елементів маніпулятора, за якими побудовано графічні залежності деформації консольної частини від зміщення робочого органу і від натягу зубчастого паса.
4. Створено блок-схему алгоритму роботи робототехнічного комплексу, який може використовуватися для виготовлення вісі колеса КС6Б-02.662.
5. Проаналізовано службове призначення та дана технологічна характеристика вісі колеса КС6Б-02.662, проведено аналіз технічних умов та технологічний контроль креслення деталі, перевірена технологічність конструкції деталі, проаналізовано також базовий технологічний процес її виготовлення.
6. На основі проведеного аналізу розроблено технологію виготовлення вісі колеса КС6Б-02.662, спроєктовано спеціальне технологічне оснащення для її реалізації. Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гнучкі комп'ютерно-інтегровані системи: планування, моделювання, верифікація, управління: підручник / Л. С. Ямпольський, П. П. Мельничук, К. Б. Остапченко, О. І. Лісовиченко. Житомир : ЖДТУ, 2010. 786 с.
2. ГОСТ 25686-85. Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Системы производственные гибкие. Термины и определения. Введ. 1986–02–01. Москва : Изд-во. стандартов, 1986. 6 с.
3. ГОСТ 4.480-87. Система показателей качества продукции. Роботы промышленные. Номенклатура основных показателей. Введ. 1989–01–01. Москва : Изд-во. стандартов, 1987. 8 с.
4. Robotic Gripper Repeatability Definition and Measurement / Samuel Bouchard. : веб сайт. URL: <https://blog.robotiq.com/bid/36551/Robotic-Gripper-Repeatability-Definition-and-Measurement> (дата звернення: 16.10.2021).
5. Statistics – Vocabulary and symbols – Part 1: General statistical terms and terms used in probability: ISO 3534-1:2006 [Чинний від 2006]. – Geneve: International Organization for Standartization, 2006. 105 p.
6. Шисман В. Е. Точность роботов и робототехнических систем. Харьков : Вища шк. Изд-во при ХГУ, 1988. 154 с.
7. Павленко І. І. Мажара В. А. Роботизовані технологічні комплекси : навч. посібник. Кіровоград : КНТУ, 2010. 392 с.
8. Яглінський В. П., Іоргачов Д. В. Моделювання динамічних процесів роботизованого виробництва. Одеса : Астропринт, 2004. 234 с.
9. Михайленко В. В. Теорія ймовірностей, математична статистика та випадкові функції. Курс лекцій : навч. посіб. Житомир : ЖІТІ, 2003. 292 с.
10. Ясній О. П., Валяшек В. Б., Крива Н. Р. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Теорія ймовірностей та математична статистика» для студентів факультету «Комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії». Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2020. 76 с. : веб сайт. URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31094> (дата звернення: 08.10.2021).
11. Черевик Р. Аналіз результатів досліджень характеристик промислових роботів : Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання : Зб. тез IV Міжнар. студ. наук.-техн. конф., м. Тернопіль, 28-29 квітня 2021 р. Тернопіль : ТНТУ, 2021.

С. 127-128. : веб сайт. URL: <https://m.tntu.edu.ua/storage/pages/00000852/Zbirnyk-studconf2021.pdf> (дата звернення: 01.12.2021).

12. Кирилович В. А., Черепанська І. Ю., Сазонов А. Ю. Термінологічний та змістовний аспекти точності промислових роботів // Міжнародний збірник наукових праць ЖДТУ. Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Вип. 12. Житомир : ЖДТУ, 2012. С. 41 – 55.

13. Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учеб. пособ. для вузов. Москва : ООО «ИД» Альянс, 2007. 256 с.

14. Руденко П. О. Вибір, проектування і виробництво заготовок деталей машин / П.О. Руденко, В.О. Харламов, О.Г. Шустик. Київ : Вища школа, 1993. 288 с.

15. Дячун А. Є., Капаціла Ю. Б., Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин». Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.

16. Режимы резания металлов: Справочник / Под ред. Ю. В. Барановского. Москва : Машиностроение, 1972. 409 с.

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

18. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. Москва : Машиностроение, 1985. 496 с.

19. Капаціла Ю. Б., Комар Р. В. Проектування машинобудівних виробництв : Навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2017. 40 с.

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

21. Основи охорони праці : Підручник / О. І. Запорожець, О. С. Протоєрейський, Г. М. Франчук, І. М. Боровик. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 264 с.

22. Шоботов В. М. Цивільна оборона: Навч. посіб. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 438 с.

ДОДАТОК А

КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ

на технологічний процес механічної обробки

вісі колеса КС6Б-02.662

Дубл.
Зам.
Підпис

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | | |
|-------------|-------------|--------------|
| ТНТУ | КС6Б-02.662 | 46000 |
| Вісь колеса | | 50141.000001 |

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедрою _____ /Окіпний/

КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ на технологічний процес механічної обробки

Виконав: _____ / Черевик /
 Перевірив: _____ / Ткаченко /
 Нормоконтроль: _____ / Ткаченко /
 Рецензент: _____

| Дубл. | Замість. | Підпис. | | | | | | | | | | | 2 | | | | | |
|-------|---|---------|--------------------|-------|---------------------|----|-------|---|----|----|------|----|--------------------|-------|-------|-------|---|------------------|
| | | | КС6Б-02.662 | | | | | | | | | | Вісь колеса | | | | | |
| А | Цех | Дільн. | РМ | Опер. | Код, назва операції | СМ | Проф. | Р | УП | КР | КОВД | ОН | ОП | К шт. | Т п.С | Т шт. | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Назва деталей, скл. одиниці або матеріалу | Позначення, код |
| Т 01 | Втулки 6120-0344 ГОСТ13409-67, 6120-0145 ГОСТ13598-68. Окуляри 012-72 ГОСТ12.6.013-85. Шітка ЩТР ОСТ17830-80. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 02 | Фреза торцева 2214-0547 Т15К6 ГОСТ 26595-85. Свердло центрувальне Ф10 Р6М5 2317-0112 ГОСТ 14952-75. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| К 03 | Штангенциркуль ШЦ-І-125-0,05 ГОСТ166-81. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 04 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| А 06 | 021 | | | | | | | | | | | | | | | | Токарна з ЧПК | Тд=0,52 Тшт=9,7. |
| Б 07 | Токарний з ЧПК 1П732ФЗ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 08 | 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 09 | 2. Точити торець в розмір (4) . | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 10 | L=75 мм; t=3,0 мм; i=2; S=0,2 мм/од; n=125 од/хв; V= 86,3 м/хв; To=2,82 хв. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 11 | 3. Точити торець в розмір (3). | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 12 | L=60 мм; t=3,0 мм; i=2; S=0,3 мм/од; n=90 од/хв; V= 92 м/хв; To=2,28 хв. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 13 | 4. Обточити поверхні в розміри (1) , (6) . | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 14 | L=50 мм; t=2,5 мм; i=2; S=0,3 мм/од; n=90 од/хв; V= 92 м/хв; To=2,13 хв. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 15 | 5. Точити торець в розміри (2) і (5) . | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 16 | L=55 мм; t=3,0 мм; i=1; S=0,3 мм/од; n=90 од/хв; V= 92 м/хв; To=1,87 хв. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 17 | Патрон 7-9 6161-0103 ГОСТ 21938-76. Кулачки. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МК | Механічної обробки | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Додл. | Замість. | Підпис. | | | | | | | | | | | 3 | | | |
|----------|--|---------------|----------------------|-------|-----------------------|----|-------|---|----|----|------|----|--------------------|-------|-------|------------------|
| | | | КС6Б-02.662 | | | | | | | | | | Вісь колеса | | | |
| | | | Позначення документу | | | | | | | | | | | | | |
| А | Цех | Дільн. | РМ | Опер. | Код, назва операції | СМ | Проф. | Р | УП | КР | КОВД | ОН | ОП | К шт. | Т п.С | Т шт. |
| Б | Назва деталей, скл. одиниці або матеріалу | | | | Код, назва обладнання | | | | | | | | | | | Н. випр. |
| Кім | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 01 | Окуляри 012-72 ГОСТ12.6.013-85. Щітка ЩТР ОСТ17830-80. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 02 | Різець 2102-0055 ВК8 ГОСТ18877-73. Різець 2112-0058 ВК8 ГОСТ18880-73. Різець 2102-4049 Т15К6 ГОСТ15877-73. | | | | | | | | | | | | | | | |
| К 03 | Штангенциркуль ШЦ-І-125-0,05 ГОСТ166-81. | | | | | | | | | | | | | | | |
| 04 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 05 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| А 06 021 | 015 | Токарна з ЧПК | | | | | | | | | | | | | | Тд=0,52 Тшт=13,8 |
| Б 07 | Токарний з ЧПК 1П732ФЗ | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 08 | 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 09 | 2. Точити поверхню по контуру деталі в розміри ①, ①①, ②, ⑩, ③, ⑨, ④, ⑧, ⑤, ⑧, ⑥, ⑦. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 10 | L=415 мм; t=3,0 мм; i=2; S=0,25 мм/об; n=250 об/хв; V= 75 м/хв; To=13,2 хв. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 11 | Патрон 7-9 6161-0103 ГОСТ 21938-76. Кулачки. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 12 | Окуляри 012-72 ГОСТ12.6.013-85. Щітка ЩТР ОСТ17830-80. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 13 | Різець 2102-0055 ВК8 ГОСТ18877-73. Різець 2112-0058 ВК8 ГОСТ18880-73. Різець 2102-4049 Т15К6 ГОСТ15877-73. | | | | | | | | | | | | | | | |
| К 14 | Штангенциркуль ШЦ-І-125-0,05 ГОСТ166-81. | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МК | Механічної обробки | | | | | | | | | | | | | | | |

| Дубл. | Замість. | Підпис. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|---------|--------------------|-------|--|----------------------|-------|---|----|----|------|----|--------------------|-------|-------|--------------------------------|--|--|--|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 |
| | | | КС6Б-02.662 | | | | | | | | | | Вісь колеса | | | | | | | |
| А | Цех | Дільн. | РМ | Опер. | Код, назва операції | СМ | Проф. | Р | УП | КР | КОВД | ОН | ОП | К шт. | Т п.С | Т шт. | | | | |
| Б | Назва деталей, скл. одиниці або матеріалу | | | | Код, назва обладнання | Позначення документу | | | | | | | | | | | | | | |
| Кім | | | | | | Позначення, код | | | | | | | | | | | | | | |
| А 01 021 | 020 | | | | Токарна з ЧПК роботизована | | | | | | | | | | | Т _д =0,56 Тшт=7,7. | | | | |
| Б 02 | | | | | Токарний з ЧПК 1П732ФЗ | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 03 | | | | | 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 04 | | | | | 2. Точити поверхню в розміри ③, ④, ⑥, ⑧, ⑩, ⑪. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 05 | | | | | L=50 мм; t=3,0 мм; i=1; S=0,5 мм/об; p=90 об/хв; V= 18 м/хв; T _о =2,1 хв. | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 06 | | | | | 3. Точити поверхню і фаску в розмірі ②, ⑤. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 07 | | | | | L=45 мм; t=2,5 мм; i=1; S=0,25 мм/об; p=63 об/хв; V= 15 м/хв; T _о =2,75 хв. | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 08 | | | | | 4. Точити поверхню в розмірі ①, ⑦, ⑨. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 09 | | | | | L=49 мм; t=2,0 мм; i=1; S=0,35 мм/об; p=90 об/хв; V= 25 м/хв; T _о =2,25 хв. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 10 | | | | | Патрон 7-9 6161-0103 ГОСТ 21938-76. Кулачки. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 11 | | | | | Окуляри 012-72 ГОСТ12.6.013-85. Щітка ЩТР ОСТ17830-80. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 12 | | | | | Різець 2102-0055 ВК8 ГОСТ18877-73. Різець 2112-0057 ВК8 ГОСТ18880-73. Різець 2102-4049 Т15К6 ГОСТ15877-73. | | | | | | | | | | | | | | | |
| К 13 | | | | | Штангенциркуль ЩЦ-ІІ-250-0,05 ГОСТ166-81. Биттемір ПБ-1400 ОТУ6240-62. Фаскомір ГОСТ577-68. | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| А 16 021 | 025 | | | | Токарна з ЧПК роботизована | | | | | | | | | | | Т _д =0,56 Тшт=13,9. | | | | |
| Б 17 | | | | | Токарний з ЧПК 1П732ФЗ | | | | | | | | | | | | | | | |
| МК | | | | | Механічної обробки | | | | | | | | | | | | | | | |

| Додл. | Замість. | Підпис. | | | | | | | | | | | 5 | | | | |
|-------|--|---------|--------------------|-------|---------------------|----|-------|---|----|----|------|----|--------------------|-------|-------|-------|---|
| | | | КС6Б-02.662 | | | | | | | | | | Вісь колеса | | | | |
| А | Цех | Дільн. | РМ | Опер. | Код, назва операції | СМ | Проф. | Р | УП | КР | КОВД | ОН | ОП | К шт. | Т п.С | Т шт. | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Назва деталей, скл. одиниці або матеріалу |
| О 01 | 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 02 | 2. Точити поверхню в розміри 1, 15, 16. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 03 | L=63 мм; t=1,0 мм; i=1; S=0,2 мм/об; n=250 об/хв; V= 51 м/хв; To=1,4 хв. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 04 | 3. Точити поверхню по контуру в розміри 2, 13, 3, 12, 4, 5, 6, 9. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 05 | L=460 мм; t=1,0 мм; i=1; S=0,2 мм/об; n=250 об/хв; V= 59 м/хв; To=4,35 хв. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 06 | 4. Точити поверхню в розміри 8, 9. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 07 | L=415 мм; t=1,0 мм; i=1; S=0,25 мм/об; n=300 об/хв; V= 85 м/хв; To=5,65 хв. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 08 | 5. Точити канавку в розміри 14, 17, 18, 19. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 09 | L=4 мм; t=2,8 мм; i=1; S=0,25 мм/об; n=330 об/хв; V= 78 м/хв; To=1,1 хв. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| О 10 | 6. Точити канавку в розміри 7, 9, 10, 11. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 11 | L=4 мм; t=2,5 мм; i=1; S=0,25 мм/об; n=330 об/хв; V= 78 м/хв; To=0,8 хв. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 12 | Патрон 7-9 6161-0103 ГОСТ 21938-76. Кулачки. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 13 | Окуляри 012-72 ГОСТ12.6.013-85. Щітка ЩТР ОСТ17830-80. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 14 | Різець 2102-0055 ВК8 ГОСТ18877-73. Різець 2112-0057 ВК8 ГОСТ18880-73. Різець 2102-4049 Т15К6 ГОСТ15877-73. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| К 15 | Штангенциркуль ЩЦ-І-125-0,05 ГОСТ166-81. Скоба 8118-4849. Скоба 8113-0336. Пристрій для контролю. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МК | Механічної обробки | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Додл. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------------------|----|-------|---------------------|-----------------------|-------|---|----|----|-----------------|----|----|-------|-------|-------|----|----|-----|----|----------|-----------|------------|
| Замість. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Підпис. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 6 | | | |
| КС6Б-02.662 Вісь колеса | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Позначення документа | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| А | Цех | Дільн. | РМ | Опер. | Код, назва операції | СМ | Проф. | Р | УП | КР | КОВД | ОН | ОП | К шт. | Т п.С | Т шт. | ОН | ОВ | ППП | КВ | Н. вимр. | | |
| Б | Назва деталі, скл. одиниці або матеріалу | | | | | Код, назва обладнання | | | | | Позначення, код | | | | | | | | | | | | |
| Кім | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| А 02 021 | 030 | Шліцефрезерна | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $Td=0,52$ | $Tшт=12,1$ |
| Б 03 | Шліцефрезерний 5350А | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 04 | 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 05 | 2. Фрезерувати шліци в розміри ①, ②, ③, ④, ⑤. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 06 | $L=70$ мм; $t=5,0$ мм; $i=18$; $S=1,25$ мм/об; $n=125$ об/хв; $V=35,3$ м/хв; $To=11,45$ хв. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 07 | Пристрій спеціальний. Окуляри 012-72 ГОСТ12.6.013-85. Щітка ЩТР ОСТ17830-80. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 08 | Фреза шліцева ГОСТ6637-80. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 09 | Штангенциркуль ШЦ-І-125-0,05 ГОСТ166-81. Ролік 8312-4.025. Плита перевірна ГОСТ10905-86. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| А 12 021 | 035 | Токарно-гвинторізна | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | $Td=0,64$ | $Tшт=4,7$ |
| Б 13 | Токарно-гвинторізний 16К20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 14 | 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 15 | 2. Нарізати різь в розміри ①, ②. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 16 | $L=30$ мм; $t=1,0$ мм; $i=1$; $S=2,0$ мм/об; $n=100$ об/хв; $V=21,7$ м/хв; $To=4,02$ хв. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 17 | Патрон 7-9 6161-0103 ГОСТ 21938-76. Кулачки. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МК | Механічної обробки | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Дудл. | Замість. | Підпис. | | | | | | | | | | | | 7 | | | |
|-------|--|---------|----------------------|---|---------------------|----|-----------------|---|----|----|------|----|----|-------------|-------|-------|------------------|
| | | | КС6Б-02.662 | | | | | | | | | | | Вісь колеса | | | |
| | | | Позначення документа | | | | | | | | | | | | | | |
| А | Цех | Дільн. | РМ | Опер. | Код, назва операції | СМ | Проф. | Р | УП | КР | КОВД | ОН | ОП | К шт. | Т п.С | Т шт. | |
| Б | Назва деталей, скл. одиниці або матеріалу | | | Код, назва обладнання | | | | | | | | | | | | | |
| Кім | | | | | | | Позначення, код | | | | | | | | | | |
| Т 01 | Окуляри 012-72 ГОСТ12.6.013-85. Щітка ЩТР ОСТ17830-80. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 02 | Різець 2660-0155 Т15К6 ГОСТ1877-73. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| К 03 | Штангенциркуль ШЦ-І-125-0,05 ГОСТ166-81. Кільце контрольне М64'2-6д. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 04 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 05 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| А 06 | 021 | 040 | | Вертикально-фрезерна | | | | | | | | | | | | | Тд=0,58 Тшт=0,9; |
| Б 07 | | | | Вертикально-фрезерний 6550 | | | | | | | | | | | | | |
| О 08 | | | | 1. Встановити, закрити, зняти заготовку. | | | | | | | | | | | | | |
| О 09 | | | | 2. Фрезерувати поверхню в розміри (1), (2), (3), (4). | | | | | | | | | | | | | |
| Р 10 | | | | L=50 мм; t=4,5 мм; i=1; S=216 мм/хв; n=180 об/хв; V= 45,2 м/хв; То=0,23 хв. | | | | | | | | | | | | | |
| Т 11 | | | | Пристрій спеціальний. Захват 5638-0030. | | | | | | | | | | | | | |
| Т 12 | | | | Окуляри 012-72 ГОСТ12.6.013-85. Щітка ЩТР ОСТ17830-80. | | | | | | | | | | | | | |
| Т 13 | | | | Фреза пазова затілована 2250-0059 ГОСТ 8543-71. | | | | | | | | | | | | | |
| К 14 | | | | Штангенциркуль ШЦ-І-125-0,05 ГОСТ166-81. Шаблон для контролю пазу. | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МК | | | | Механічної обробки | | | | | | | | | | | | | |

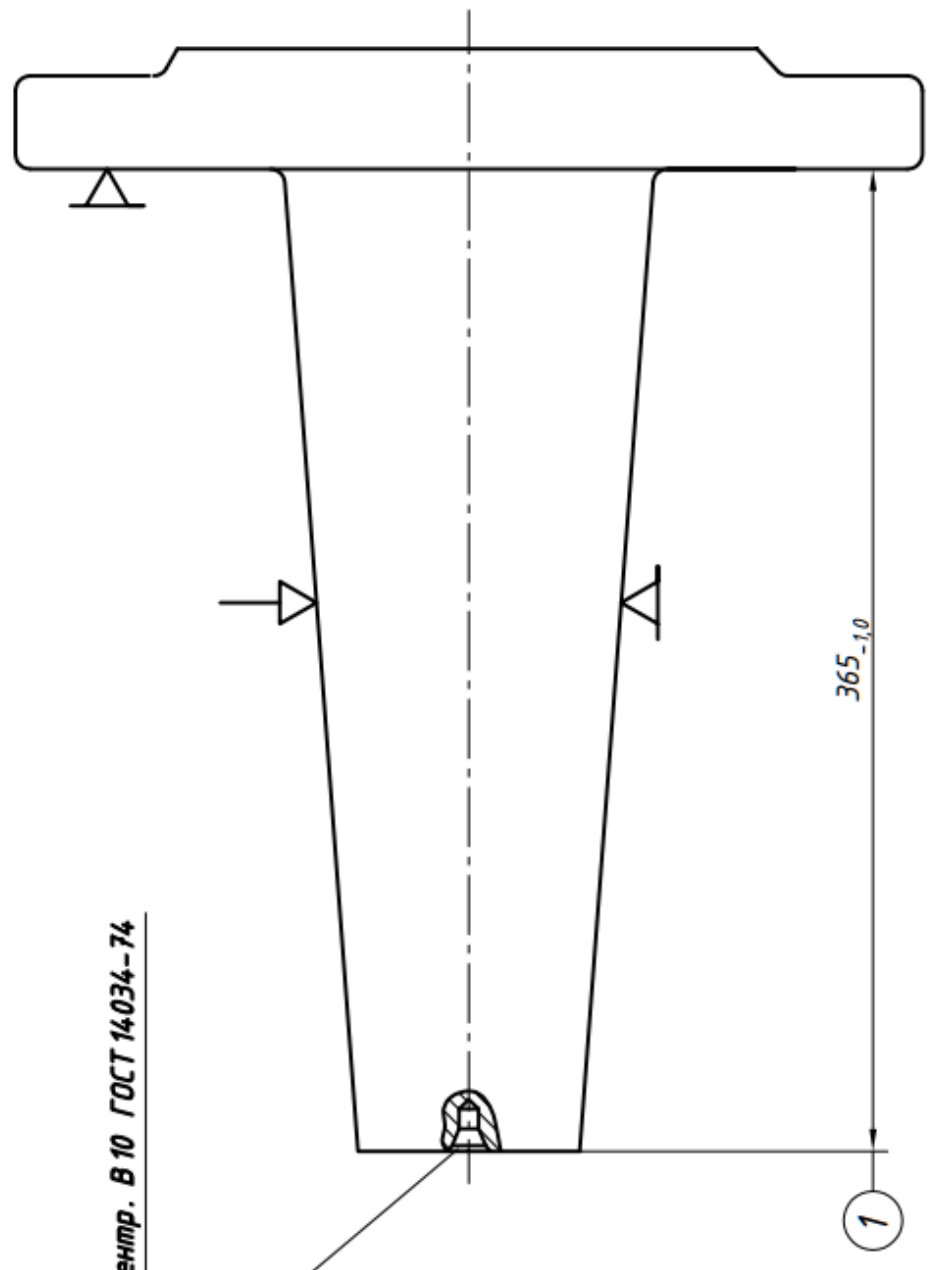
| Дубль | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|--------|-------------|-------|---------------------|-------|---|----|----------------------|------|-------------|----|-------|-------|-------|----|----|----|----------|
| Замість | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Підлис. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | КС6Б-02.662 | | | | | | | | Вісь колеса | | | | | | | | |
| А | | Цех | Дільн. | РМ | Опер. | Код, назва операції | | | | Позначення документу | | | | | | | | | | |
| Б | | Код, назва обладнання | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Кім | | Назва деталей, скл. одиниці або матеріалу | | | | СМ | Проф. | Р | УП | КР | КОВД | ОН | ОП | К шт. | Т п.С | Т шт. | КВ | ОН | ОВ | Н. випр. |
| А 01 021 | | | | | | 045 | | | | Агрегатна | | | | | | | | | | |
| Б 02 | | | | | | Агрегатний 15А356 | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 03 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 04 2. Свердлити 8 отворів до розміру $\Phi 23,5$ в розмір (1). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 05 $L=41$ мм; $t=11,75$ мм; $i=1$; $S=0,4$ мм/об; $p=110$ об/хв; $V=8,1$ м/хв; $T_0=0,93$ хв. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 06 3. Свердлити 3 отвори в розмірі (2) і (4). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 07 $L=51$ мм; $t=6,0$ мм; $i=1$; $S=0,25$ мм/об; $p=500$ об/хв; $V=18,8$ м/хв; $T_0=0,41$ хв. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 08 4. Зенкувати вісім отворів в розмір $\Phi 24,7$. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 09 $L=41$ мм; $t=0,6$ мм; $i=1$; $S=0,8$ мм/об; $p=101$ об/хв; $V=7,8$ м/хв; $T_0=0,51$ хв. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 10 5. Розвернути 8 отворів в розмірі (1) і (3). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 11 $L=41$ мм; $t=0,15$ мм; $i=1$; $S=1,1$ мм/об; $p=45$ об/хв; $V=3,5$ м/хв; $T_0=0,83$ хв. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 12 Пристрій спеціальний. Наладка. Захват. Патрон плаваючий | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 13 Окулярі 012-72 ГОСТ12.6.013-85. Щітка ЩТР ОСТ17830-80. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 14 Свердло $\Phi 12$ 2301-0039 ГОСТ10903-77. Свердло $\Phi 23,5$ 2301-0081 ГОСТ10903-77. Зенкер $\Phi 24,7$ 2353-2592 ГОСТ12489-71. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 15 Розвертка $\Phi 25$ 2363-3589 ГОСТ19268-73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| К 16 Штангенциркуль ШЦ-І-125-0,05 ГОСТ166-81. Шаблон для контролю розміщення отворів. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МК | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Механічної обробки | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---|--------|----|--------------------|--|--|--|---|-------|---|----|-------------|------|----|----|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Додл. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Замість. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Підпис. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| КС6Б-02.662 | | | | | | | | | | | | Вісь колеса | | | | | | | | | | | | | | |
| Позначення документу | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| А | Цех | Дільн. | РМ | Опер. | Код, назва операції | | | СМ | Проф. | Р | УП | КР | КОВД | ОН | ОП | К шт. | Т п.С | Т шт. | | | | | | | | |
| Б | Назва деталей, скл. одиниці або матеріалу | | | | Код, назва обладнання | | | Позначення, код | | | ОН | ОВ | ОН | КВ | | | | | | | | | | | | |
| Кім | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A 01 021 | 050 | | | | Вертикально-свердлильна | | | Т _д =0,52 Тшт=1,7 ₄ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B 02 | | | | | Вертикально-свердлильний 2H135 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O 03 | | | | | 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O 04 | | | | | 2. Зенкувати фаску в розмірі <u>1</u> , <u>2</u> . | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P 05 | | | | | L=5 мм; t=2, мм; i=8; S-ручна; n=180 об/хв; V= 14,1 м/хв; T _о =1,12хв. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T 06 | | | | | Підставка. Втулка ГОСТ13598-85. Захват 5638-0003. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T 07 | | | | | Окуляри 012-72 ГОСТ12.6.013-85. Щітка ЩТР ОСТ17830-80. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T 08 | | | | | Зенківка ГОСТ14953-80. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K 09 | | | | | Штангенциркуль ЩЦ-І-125-0,05 ГОСТ166-81. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A 12 021 | 055 | | | | Круглошліфувальна | | | Т _д =0,66 Тшт=4,7 ₄ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B 13 | | | | | Круглошліфувальний ЗМ124Е | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O 14 | | | | | 1. Встановити, закріпити, зняти заготовку. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O 15 | | | | | 2. Шліфувати поверхню в розмірі <u>1</u> , <u>5</u> , <u>10</u> . | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P 16 | | | | | L=60 мм; t=0,5 мм; i=1; S=0,008 мм/об; n=170 об/хв; V= 27 м/с; T _о =1,1 хв. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O 17 | | | | | 2. Шліфувати поверхню в розмірі <u>2</u> , <u>6</u> . | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| МК | | | | Механічної обробки | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

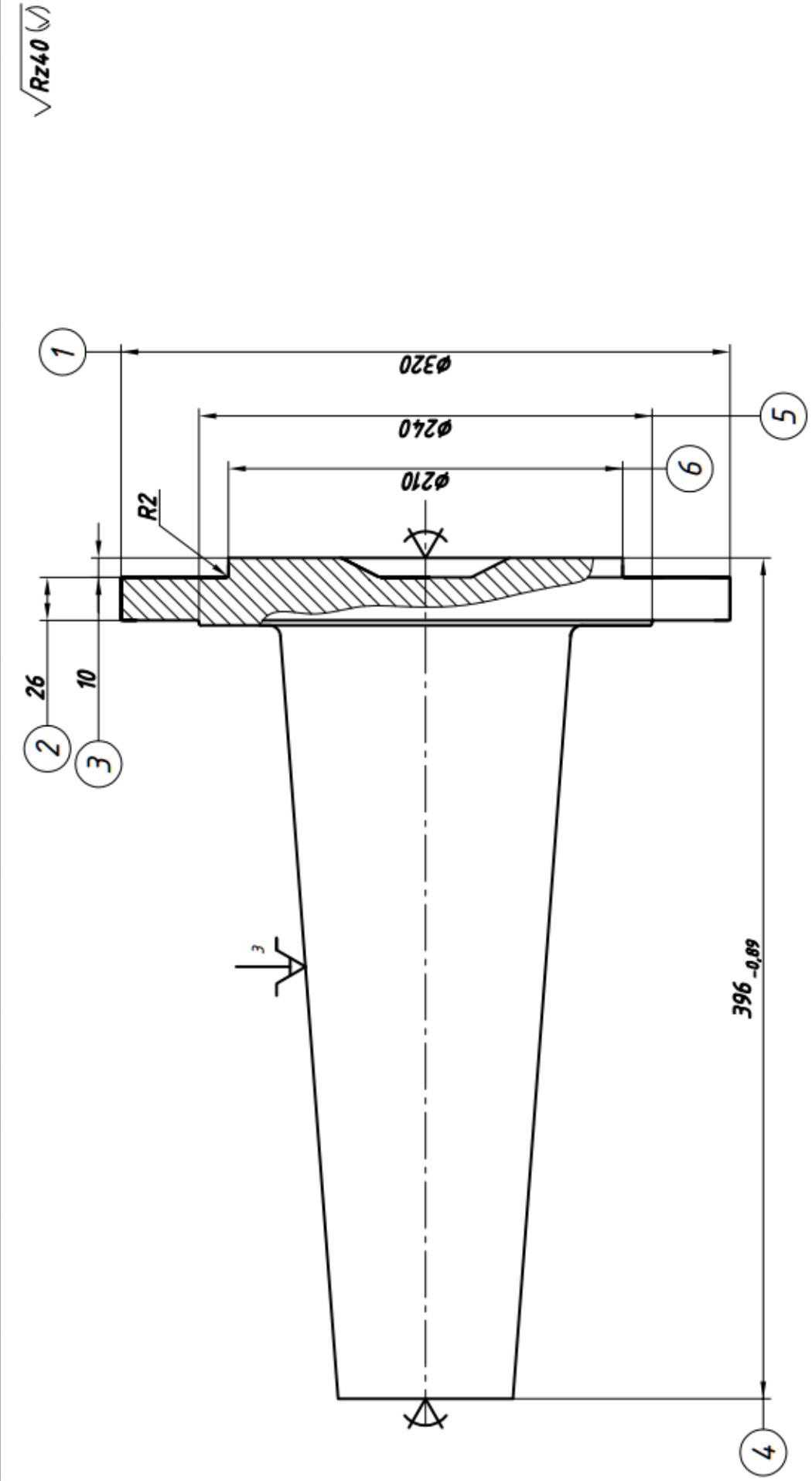
| Дудл. | Замість. | Підпис. | | | | | | | | | | | 10 | | |
|----------|--|---------|--------------------|-------|---------------------|-----------------|-------|---|----|----|------|----------------------|--------------------|-------|-------|
| | | | КС6Б-02.662 | | | | | | | | | | Вісь колеса | | |
| А | Цех | Дільн. | РМ | Опер. | Код, назва операції | СМ | Проф. | Р | УП | КР | КОВД | Позначення документа | | | |
| | | | | | | | | | | | | ОН | ОП | К шт. | Т п.С |
| Б | Назва деталей, скл. одиниці або матеріалу | | | | | Позначення, код | | | | ОН | ОП | К шт. | Т п.С | Т шт. | |
| Кім | | | | | | | | | | ОН | ОП | К шт. | Т п.С | Т шт. | |
| Р 01 | L=60 мм; t=0,5 мм; i=1; S=0,008 мм/об; n=170 об/хв; V= 27 м/с; To=1,1 хв. | | | | | | | | | | | | | | |
| О 02 | 4. Шліфувати поверхню в розміри (3), (8). | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 03 | L=25 мм; t=0,5 мм; i=1; S=0,008 мм/об; n=170 об/хв; V= 27 м/с; To=1,1 хв. | | | | | | | | | | | | | | |
| О 04 | 5. Шліфувати поверхню в розміри (4), (7), (9). | | | | | | | | | | | | | | |
| Р 05 | L=15 мм; t=0,5 мм; i=1; S=0,008 мм/об; n=170 об/хв; V= 27 м/с; To=1,1 хв. | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 06 | Окуляри 012-72 ГОСТ12.6.013-85. Щітка ЩТР ОСТ17830-80. | | | | | | | | | | | | | | |
| Т 07 | Круг ПП600-80-30 25А40 ПС15К6 50 м/с А1 кл ГОСТ2424-83. | | | | | | | | | | | | | | |
| К 08 | Скоби 8113-0147, 8113-0151, 8113-0155, 8113-0206 ГОСТ 18360-93. Зразки шорсткості ГОСТ9378-75. | | | | | | | | | | | | | | |
| 09 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| А 11 021 | 060 Промивання | | | | | | | | | | | | | | |
| Б 12 | Машина промивочна М2А | | | | | | | | | | | | | | |
| О 13 | 1. Промити деталь. | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | |
| А 15 021 | 065 Технічний контроль | | | | | | | | | | | | | | |
| Б 16 | Стіл контролера 1346 ПР | | | | | | | | | | | | | | |
| О 17 | 1. Провести вибірковий контроль патрії деталей. | | | | | | | | | | | | | | |
| МК | Механічної обробки | | | | | | | | | | | | | | |

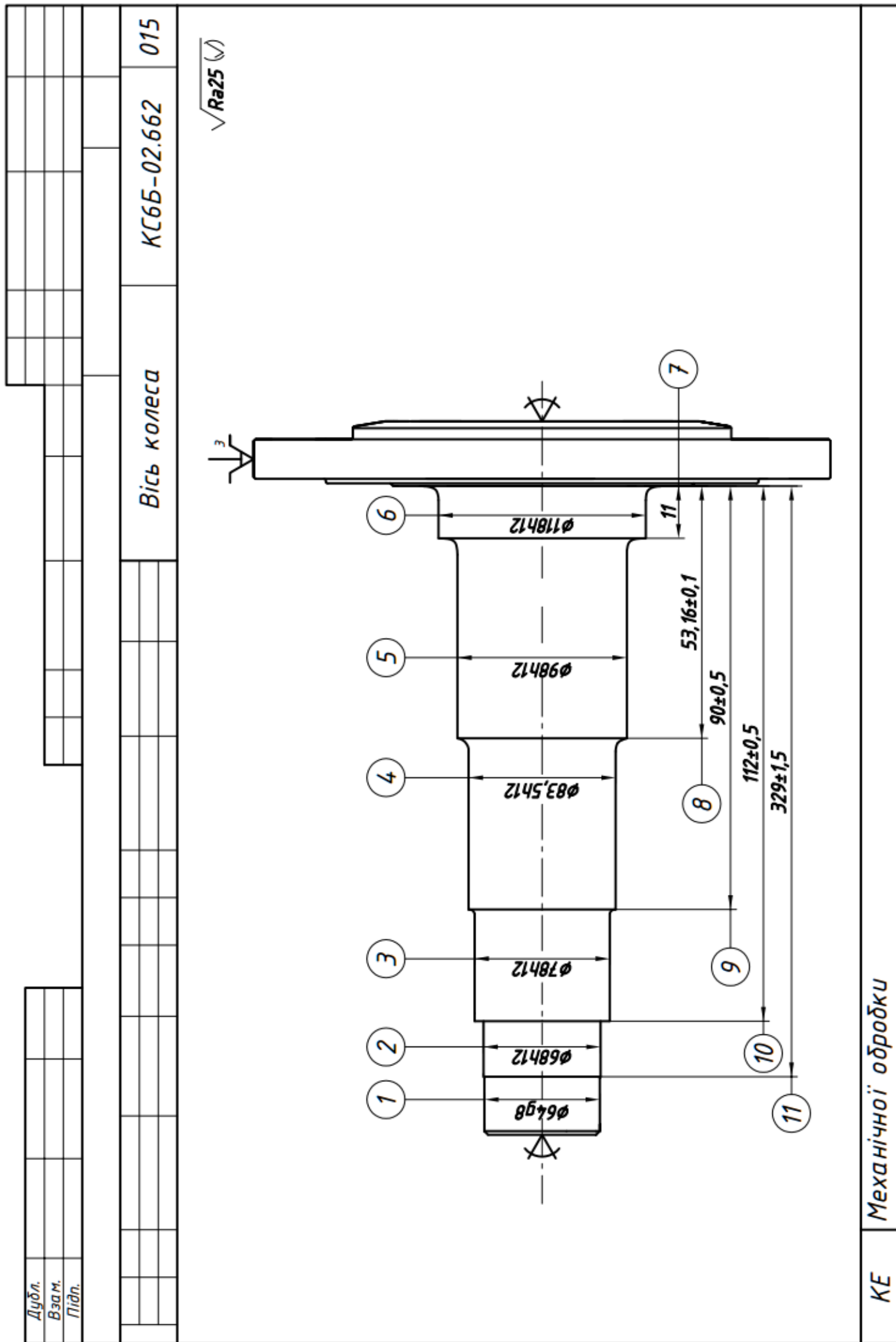
| | | | | | | | |
|-----------|----------|--|--|--|-------------|-------------|-----|
| Дубл. | | | | | | | |
| Замість | | | | | | | |
| Підпис. | | | | | | | |
| Розробив | Черевик | | | | | | |
| Нормував | | | | | ТНТУ | КС6Б-02.662 | |
| Погодив | Ткаченко | | | | | | |
| Затвердив | Окільний | | | | | | |
| Н. контр. | Ткаченко | | | | Вісь колеса | | 005 |

√Rz80 (M)



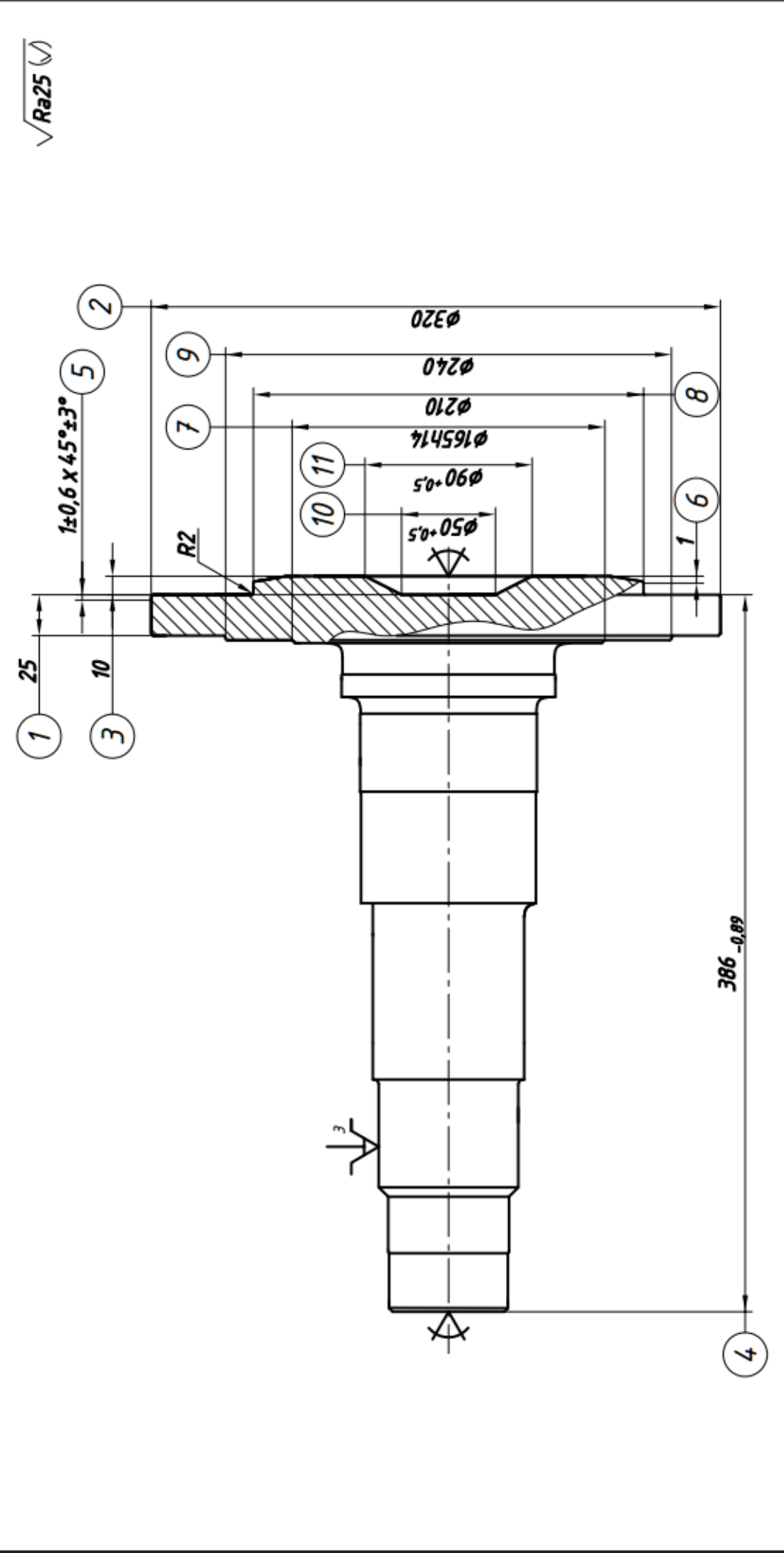
| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------|--|-----|--|--|
| Дубл. | | | | | | | | | | | | | | |
| Взм. | | | | | | | | | | | | | | |
| Підп. | | | | | | | | | | | | | | |
| Вісь колеса | | | | | | | | | | КС6Б-02.662 | | 010 | | |





| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------|--|--|--|--|--|--|-----|--|--|--|--|
| Вісь колеса | | | | | | | | | | | | | КС6Б-02.662 | | | | | | | 020 | | | | |
|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------|--|--|--|--|--|--|-----|--|--|--|--|

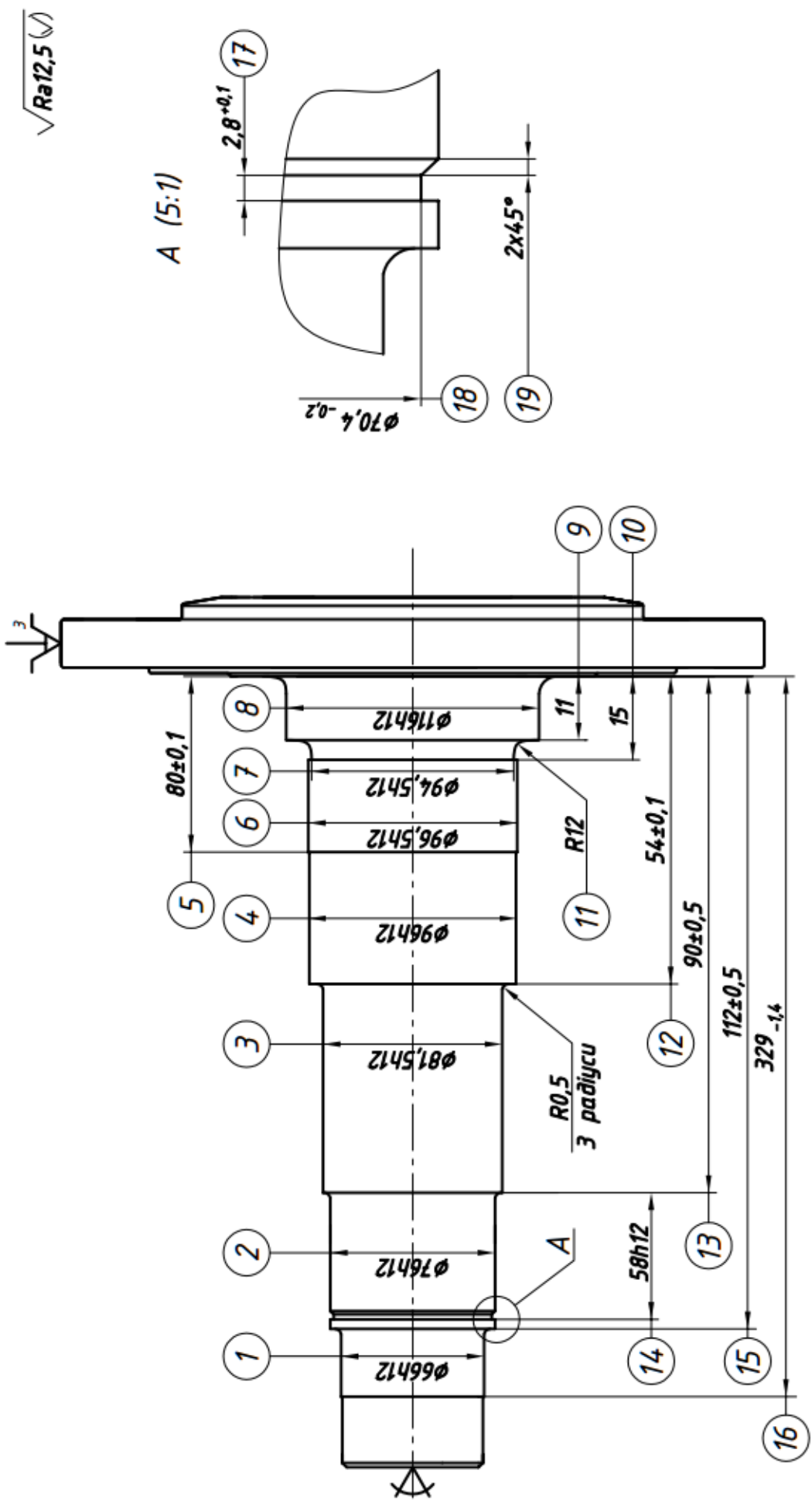


КЕ

Механічної обробки

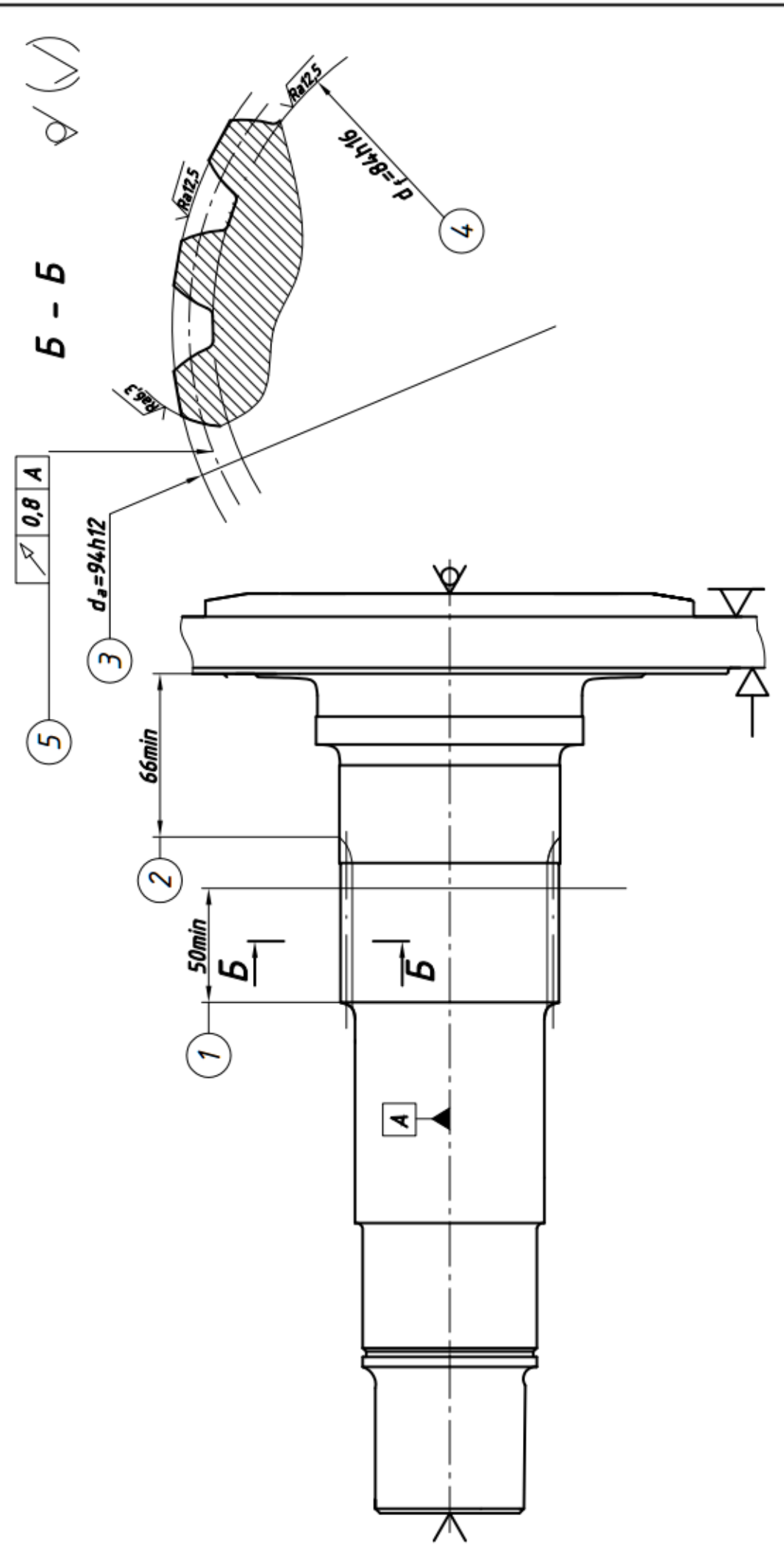
| | | | | |
|-------|--|--|--|--|
| Дубл. | | | | |
| Взам. | | | | |
| Підп. | | | | |

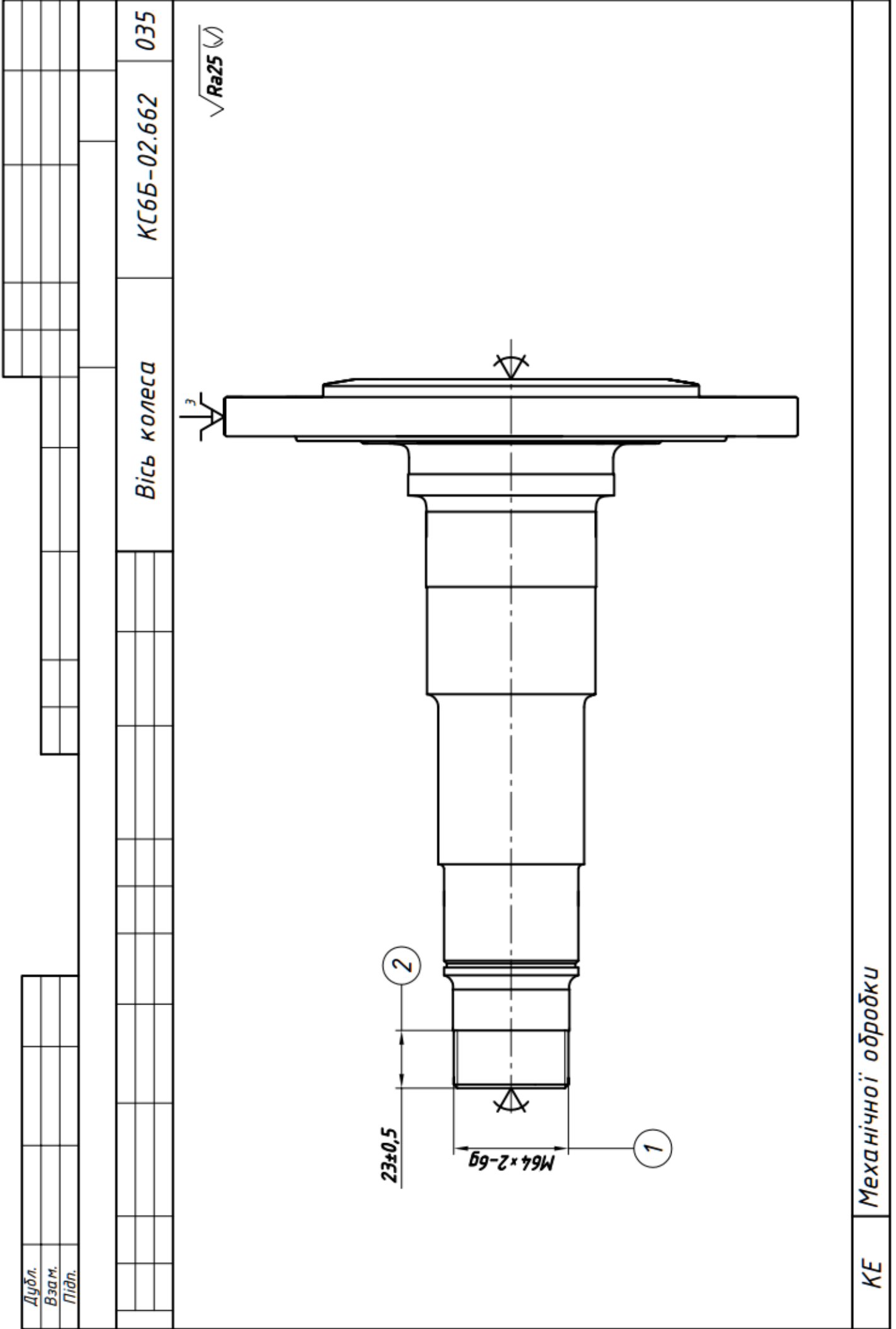
Вісь колеса КС6Б-02.662 025



$\sqrt{Ra12,5}$ (V)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|--|--|--|--|
| Дубл. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Взам. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Підп. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Вісь колеса | | | | | | | | | | КС6Б-02.662 | | | | | | | | | | 030 | | | | |





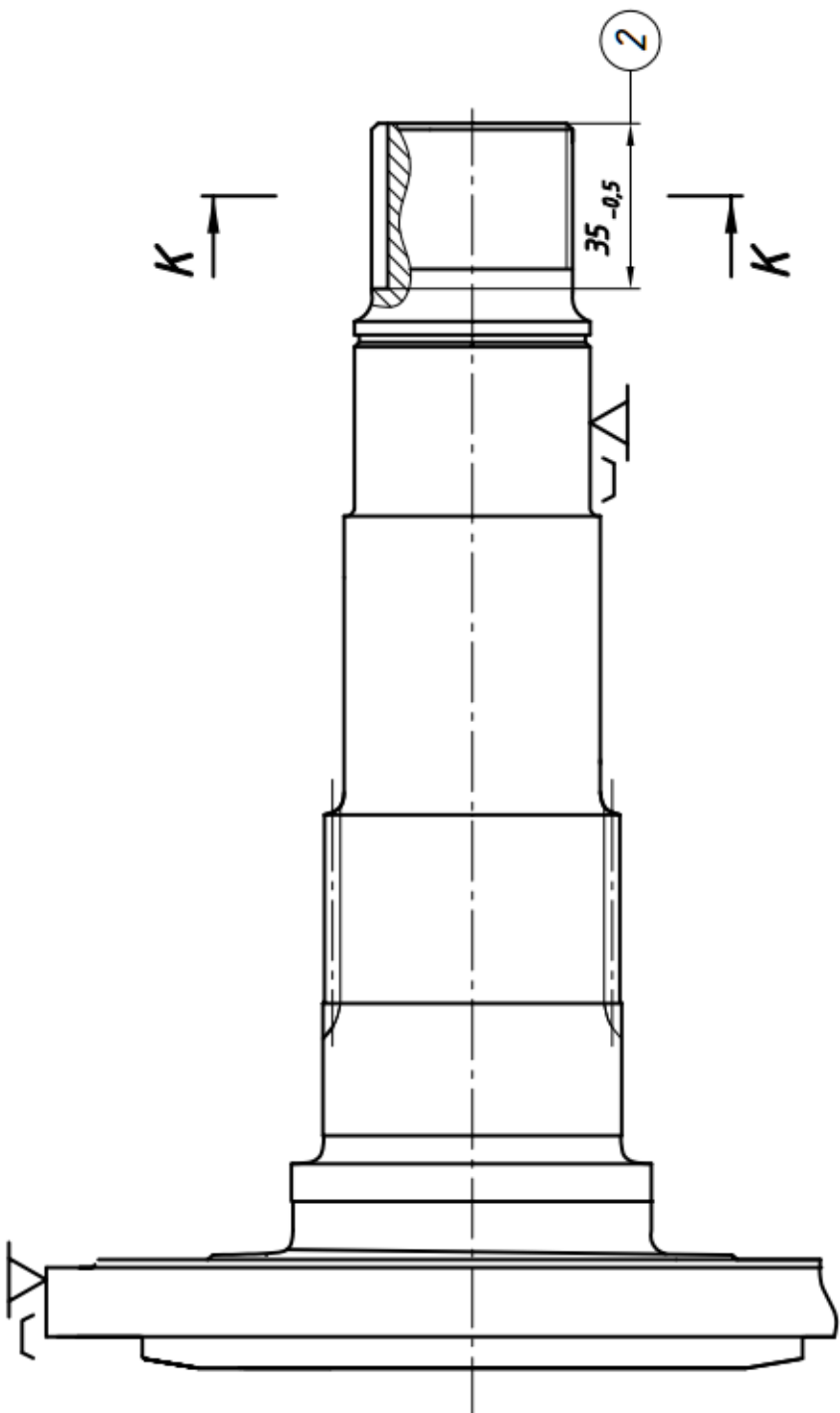
Дубл.
Взам.
Підп.

Вісь колеса

КС6Б-02.662

040

√Ra25 (✓)



| | | | | | | | | | | |
|-------|-------------|--|--|--|--|--|--|-------------|-----|--|
| Дубл. | | | | | | | | | | |
| Взам. | | | | | | | | | | |
| Підп. | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | КС6Б-02.662 | 050 | |
| | Вісь колеса | | | | | | | | | |

$\sqrt{Ra25}$ (✓)

ДОДАТОК Б
СПЕЦИФІКАЦІЇ

Б.1 Пристрій затискний для токарної обробки.

Б.2 Пристрій захватний.

Б.3 Пристрій для фрезерування пазу.

| Формат | Зона | Поз. | Позначення | Назва | Кільк. | Примітка |
|--|------|----------|---------------------|----------------------|----------------------------------|----------|
| | | | | <u>Документація</u> | | |
| A1 | | | KPM 20-403.05.00 СК | Складальне креслення | | |
| | | | | <u>Деталі</u> | | |
| | | 1 | KPM 20-403.05.01 | Корпус | 1 | |
| | | 2 | KPM 20-403.05.02 | Стакан | 1 | |
| | | 3 | KPM 20-403.05.03 | Губка | 3 | |
| | | 4 | KPM 20-403.05.04 | Кулачок | 3 | |
| | | 5 | KPM 20-403.05.05 | Палець | 3 | |
| | | 6 | KPM 20-403.05.06 | Штовхач | 1 | |
| | | 7 | KPM 20-403.05.07 | Гвинт центральний | 1 | |
| | | 8 | KPM 20-403.05.08 | Упор | 1 | |
| | | 9 | KPM 20-403.05.09 | Втулка | 1 | |
| | | 10 | KPM 20-403.05.11 | Втулка | 1 | |
| | | 11 | KPM 20-403.05.12 | Тяга | 1 | |
| | | 12 | KPM 20-403.05.13 | Кільце | 1 | |
| | | 13 | KPM 20-403.05.14 | Сухар | 3 | |
| | | 14 | KPM 20-403.05.15 | Фіксатор | 6 | |
| | | 15 | KPM 20-403.05.16 | Пробка | 6 | |
| | | 16 | KPM 20-403.05.17 | Упор | 6 | |
| | | 17 | KPM 20-403.05.18 | Втулка | 1 | |
| | | 18 | KPM 20-403.05.19 | Гайка | 1 | |
| | | 19 | KPM 20-403.05.21 | Гвинт | 1 | |
| | | 20 | KPM 20-403.05.22 | Пружина тарілчаста | 54 | |
| | | 21 | KPM 20-403.05.23 | Кільце | 1 | |
| KPM 20-403.05.00 | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |
| Розроб. | | Черевик | | | Літ. | Аркуш |
| Перев. | | Ткаченко | | | | 1 |
| Н. контр. | | Ткаченко | | | ТНТУ, ФМТ, | |
| Затв. | | Окіпний | | | каф. МТ, гр. МП _М -61 | |
| Пристрій затискний для токарної обробки | | | | | 2 | |

| Формат | Зона | Поз. | Позначення | Назва | Кільк. | Примітка |
|--------------------|----------|----------|---------------------|---------------------------|--|----------|
| | | | | | | |
| | | | | <u>Документація</u> | | |
| A1 | | | KPM 20-403.06.00 СК | Складальне креслення | | |
| | | | | <u>Складальні одиниці</u> | | |
| | | 1 | KPM 20-403.06.10 | Лапа | 1 | |
| | | | | <u>Деталі</u> | | |
| | | 2 | KPM 20-403.06.01 | Стяжка | 1 | |
| | | 3 | KPM 20-403.06.02 | Важіль | 1 | |
| | | 4 | KPM 20-403.06.03 | Основа | 1 | |
| | | 5 | KPM 20-403.06.04 | Планка стопорна | 4 | |
| | | 6 | KPM 20-403.06.05 | Вісь | 4 | |
| | | 7 | KPM 20-403.06.06 | Вісь | 1 | |
| | | | | <u>Стандартні вироби</u> | | |
| | | 9 | | Гвинт А.М6-8g×16.48 | | |
| | | | | ГОСТ 17473-80 | 8 | |
| | | 10 | | Гайка М12-7Н.5 | | |
| | | | | ГОСТ 5918-73 | 1 | |
| | | 11 | | Шайба 12.01 | | |
| | | | | ГОСТ 11371-78 | 1 | |
| | | 12 | | Шплінт 3,2×32 | | |
| | | | | ГОСТ 397-79 | 1 | |
| | | | | KPM 20-403.06.00 | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |
| Розроб. | Черевик | | | | Літ. | Аркуш |
| Перев. | Ткаченко | | | | | Аркушів |
| | | | | | | 1 |
| Н. контр. | Ткаченко | | | | ТНТУ, ФМТ, каф. МТ, гр. МП _М -61 | |
| Затв. | Окіпний | | | | | |
| Пристрій захватний | | | | | | |

| Формат | Зона | Поз. | Позначення | Назва | Кільк. | Примітка |
|--------|------|------|---------------------|---------------------------|--------|----------|
| | | | | | | |
| | | | | <u>Документація</u> | | |
| A1 | | | KPM 20-403.07.00 СК | Складальне креслення | | |
| | | | | <u>Складальні одиниці</u> | | |
| | | 1 | KPM 20-403.07.10 | Пневмоциліндр Ø125 мм | 1 | |
| | | 2 | KPM 20-403.07.20 | Пневморозподільник | | |
| | | 3 | KPM 20-403.07.30 | Корпус | | |
| | | | | <u>Деталі</u> | | |
| | | 4 | KPM 20-403.07.01 | Важіль | 1 | |
| | | 5 | KPM 20-403.07.02 | Перехідник | 1 | |
| | | 6 | KPM 20-403.07.03 | Призма | 1 | |
| | | 7 | KPM 20-403.07.04 | Опора | 1 | |
| | | | | <u>Стандартні вироби</u> | | |
| | | 11 | | Болт М8-6g×30.58.019 | | |
| | | | | ГОСТ 7798-70 | 2 | |
| | | | | Гвинти ГОСТ 1491-80 | | |
| | | 13 | | А.М6-6g×16.58.016 | 2 | |
| | | 14 | | А.М8-6g×16.58.016 | 1 | |

| | | | | | | | | |
|-----------|----------|----------|--------|------|---|--|-------|---------|
| | | | | | KPM 20-403.07.00 | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | Черевик | | | | Пристрій для фрезерування пазу | Літ. | Аркуш | Аркушіє |
| Перев. | Ткаченко | | | | | | 1 | 2 |
| Н. контр. | Ткаченко | | | | | ТНТУ, ФМТ, каф. МТ, гр. МП_М-61 | | |
| Зате. | Окіпний | | | | | | | |

ДОДАТОК В

Черевик Р. Аналіз результатів досліджень характеристик промислових робіт : Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання : Зб. тез IV Міжнар. студ. наук.-техн. конф., м. Тернопіль, 28-29 квітня 2021 р. Тернопіль : ТНТУ, 2021. С. 127-128. : веб сайт. URL: <https://m.tntu.edu.ua/storage/pages/00000852/Zbirnyk-studconf2021.pdf> (дата звернення: 01.12.2021).

УДК 621.91

Черевик Р. – ст. гр. МПм-51

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Науковий керівник: к.т.н., доцент Ткаченко І. Г.

Cherevyk R.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

ANALYSIS OF RESULTS OF RESEARCH CHARACTERISTICS OF INDUSTRIAL ROBOTS

Supervisor: Ph.D., Assoc. prof. I. Tkachenko

Ключові слова: промисловий робот, маніпулятор, точність позиціонування.

Keywords: industrial robot, manipulator, pose accuracy.

Промисловими роботами (ПР) називають автоматичні швидконалагоджувані універсальні маніпулятори з програмним керуванням, що здатні здійснювати захоплення, орієнтацію і транспортування оброблюваних деталей або виконувати різноманітні технологічні операції. ПР застосовують як для виконання основних (різання, точкового зварювання, фарбування тощо), так і допоміжних (обслуговування обладнання, виконання вантажно-розвантажувальних робіт тощо) технологічних операцій.

ПР дозволяють інтенсифікувати використання технологічного обладнання, підвищити змінність його роботи, зменшити потребу у робітниках основного виробництва та допоміжному персоналі виробничого цеху. Робот не стомлюється, він практично не чутливий до умов праці. Моральне старіння промислових роботів відбувається дуже повільно, бо за необхідності зміни об'єктів виробництва достатньо замінити просте і відносно недороге технологічне оснащення і програму. Тому ПР можуть використовуватись упродовж тривалого часу.

Одним з найбільш важливих факторів, що впливають на конструктивні та технічні характеристики ПР, є необхідна точність позиціонування. Конструкція роботів представляє собою просторово незамкнуті стрижневі системи з високою кінематичною рухливістю. Захвати роботів зазвичай розташовані консольно, тому зі збільшенням вильоту робочого органу збільшується амплітуда його коливання та вигину, що знижує точність і збільшує витрати часу на позиціонування. На точність позиціонування чинять значний вплив розміри і маса переміщуваної деталі, відстань переміщення, швидкість і прискорення тощо.

Точність ПР є комплексним поняттям, що включає в себе позиційні та траєкторні складові, кожна з яких характеризує особливості конструкції маніпуляційної системи (МС) ПР, особливості системи управління ПР тощо. Недостатня інформаційна наповненість технічної документації щодо параметрів точності ПР призводить до необхідності аналізу загальної сукупності існуючих характеристик та визначення відсутніх, але необхідних, на етапі проєктування/синтезу роботизованих механоскладальних технологій у гнучких комп'ютерно-інтегрованих системах [1].

Існуючі на сьогодні проблеми, що пов'язані з аналізом точності виконання технологічних операцій та виготовлення якісних виробів, породжують питання щодо

узагальнення та систематизації характеристик точності ПР.

У інформаційних джерелах [2, 3, 4] основними є такі терміни щодо точності ПР: точність позиціонування (англійською *pose accuracy*), позиційна повторюваність (англійською *pose repeatability*), траєкторна точність (англійською *path accuracy*) та траєкторна повторюваність (англійською *path repeatability*).

Більшість сучасних провідних виробників ПР у технічній документації вказують лише значення саме позиційної повторюваності, як основної характеристики точності ПР за вимогою стандарту [5], нехтуючи при цьому іншими, не менш важливими параметрами. В більшості випадків для вибору конкретної моделі ПР, при плануванні траєкторних переміщень його робочого органу (РО), наприклад, схвату (Сх) та при розміщенні основного та допоміжного технологічного обладнання, що формують множину робочих позицій недостатньо знати лише величину позиційної повторюваності.

Недостатня інформаційна наповненість технічної документації часто призводить до неможливості однозначно визначити певні точнісні характеристики, що вимагає обов'язкового попереднього моделювання МС ПР. Існуючі на сьогодні підходи до аналізу та моделювання точності ПР формують два напрямки досліджень, а саме: імовірнісний та детермінований [6].

Враховуючи можливості ймовірнісного та детермінованого підходів та з метою зменшення впливу їх недоліків на повноцінний аналіз похибок ПР доцільно розглядати комбінований підхід, що об'єднує їх переваги. Він полягає в оперуванні абсолютними значеннями похибок, що подаються в технічних характеристиках ПР, із застосуванням понять теорії ймовірності та математичної статистики. Складові похибки у з'єднаннях МС ПР, які викликані різноманітними випадковими факторами, розглядаються як випадкові величини, що набувають певних випадкових значень із вказаного «поля допуску» та розподіляються в межах цього поля за певним законом розподілу ймовірності. Вказаний підхід дозволяє провести статистичний аналіз похибок, визначити параметри закону розподілу: математичне сподівання, середнє квадратичне відхилення, кореляційні моменти та коефіцієнти кореляції, що доцільно використовувати як кількісні оцінки для подальших точнісних досліджень ПР та відповідно сам закон розподілу (за умови попередньо отриманих експериментальним шляхом вибірок фактичних координат положення СхПР в РЗ ПР).

Література

1. Гнучкі комп'ютерно-інтегровані системи: планування, моделювання, верифікація, управління : підручник / Л. С. Ямпольський, П. П. Мельничук, К. Б. Остапченко, О. І. Лісовиченко. Житомир : ЖДТУ, 2010. 786 с.
2. ГОСТ 25686-85. Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Системы производственные гибкие. Термины и определения : – Введ. 1986–02–01. Москва : Изд-во. стандартов, 1986. 6 с.
3. ГОСТ 4.480-87. Система показателей качества продукции. Роботы промышленные. Номенклатура основных показателей : – Введ. 1989–01–01. Москва : Изд-во. стандартов, 1987. 8 с.
4. Robotic Gripper Repeatability Definition and Measurement : веб-сайт. URL: <https://blog.robotiq.com/bid/36551/Robotic-Gripper-Repeatability-Definition-and-Measurement> (дата звернення 31.03.2021).
5. Statistics – Vocabulary and symbols – Part 1: General statistical terms and terms used in probability: ISO 3534-1:2006. Geneva: International Organization for Standardization, 2006. 105 p.
6. Шисман, В.Е. Точность роботов и робототехнических систем. Харьков : Вища шк. Изд-во при ХГУ, 1988. 154 с.