

*Міністерство освіти і науки України*  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАТРОНИКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ ТА МАШИН

## **ДИПЛОМНИЙ БАКАЛАВРСЬКИЙ ПРОЄКТ**

на тему

«Робототехнічний пристрій для завантаження міжцехового транспорту»

Виконав: студент групи БЗПМ-17  
спеціальності 131 Прикладна механіка

Пономаренко О.В.

Науковий керівник: канд. техн. наук,  
доц. Ковальов Ю.А.

Рецензент: канд. техн. наук, доц.  
Плешко С.А.

Київ 2021

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

Факультет Мехатроніки та комп'ютерних технологій

Кафедра Прикладної механіки та машин

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Освітня програма Прикладна механіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ПММ

\_\_\_\_\_ О.П. Манойленко

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Пономаренко Олександр Васильович

1. Тема роботи: Робототехнічний пристрій для завантаження міжцехового транспорту

Науковий керівник роботи: канд. техн. наук, доцент Ковальов Ю.А.

затверджені наказом КНУТД від „15”березня 2021 року №75-уч.

2. Строк подання студентом дипломної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до дипломної роботи (проєкту):

– науково-технічні публікації, присвячені процесам завантаження об'єктів виробництва;

– результати науково-дослідних робіт кафедри ПММ;

– матеріали виробничої та переддипломної практик.

4. Зміст дипломний проєкт (перелік питань, які потрібно розробити)

- Титульний лист;
- Завдання на дипломний проєкт;
- Зміст;
- Вступ;
- РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ (ПЕРЕЗАВАНТАЖЕННЯ) ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ;
- РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ РОБОТОТЕХНІЧНОГО ПРИСТРОЮ;
- РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ;
- ВИСНОВКИ;
- СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.
- ДОДАТКИ

5. Дата видачі завдання: 18.02.2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи  | Терміни виконання етапів | Примітка про виконання |
|-------|--|--------------------------|------------------------|
| 1     | Вступ  | 05.05.2021 р.            |                        |
| 2     | Розділ 1 (назва )  | 10.05.2021 р.            |                        |
| 3     | Розділ 2 (назва )  | 17.05.2021 р.            |                        |
| 4     | Розділ 3 (назва )  | 24.05.2021 р.            |                        |
| 5     | Висновки   | 27.05.2021 р.            |                        |
| 6     | Оформлення дипломної роботи (чистовий варіант)   | 29.05.2021 р.            |                        |
| 7     | Здача дипломної роботи на кафедрі для рецензування (за 14 днів до захисту)               | 31.05.2021 р.            |                        |
| 8     | Перевірка дипломної роботи (проекту) на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту) | ____.06.2021 р.          |                        |
| 9     | Подання дипломної роботи на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)       | ____.06.2021 р.          |                        |

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис)

О.В. Пономаренко

Науковий керівник  
роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис)

Ю.А. Ковальов

Рецензент

\_\_\_\_\_ ( підпис)

С.А. Плешко

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАТРОНИКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ ТА МАШИН

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

дипломного проєкту

на тему

«Робототехнічний пристрій для завантаження міжцехового транспорту»

Виконав: студент групи БЗПМ-17  
спеціальності 131 Прикладна механіка

---

Пономаренко О.В.

---

Науковий керівник: Ковальов Ю.А.

---

Рецензент: Плешко С.А.

---

(прізвище та ініціали)

Київ 2021

## Зміст

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 3  |
| РОЗДІЛ 1 . ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ<br>(ПЕРЕЗАВАНТАЖЕННЯ) ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ..... | 6  |
| 1.1 Огляд сучасних пристроїв для перевантаження об'єктів транспортування ...                                       | 6  |
| 1.2 Основні типи промислових роботів .....   | 12 |
| 1.3 Огляд сучасних моделей шарнірних промислових роботів .....   | 16 |
| Висновки до розділу 1 .....  | 18 |
| РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ<br>РОБОТОТЕХНІЧНОГО ПРИСТРОЮ .....                              | 19 |
| 2.1 Принцип роботи та технічна характеристика робототехнічного пристрою<br>(промислового робота) .....             | 19 |
| 2.2 Механізм повороту навколо вертикальної осі .....   | 24 |
| 2.3 Кінематична схема робота.....  | 26 |
| 2.4 Електромеханічні приводи робота .....  | 27 |
| 2.5 Механізм врівноваження статичних моментів робота.....  | 30 |
| Висновки до розділу 2 .....  | 31 |
| РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ.....   | 32 |
| 3.1 Перевірочні розрахунки шестерні .....  | 32 |
| 3.2 Уточнений розрахунок валу.....   | 34 |
| 3.3 Вибір та перевірка підшипників кочення .....   | 37 |
| 3.4 Розрахунок шпонкових з'єднань.....   | 38 |
| Висновки до розділу 3 .....  | 38 |
| ВИСНОВКИ.....  | 39 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....  | 40 |
| ДОДАТКИ.....   | 42 |

|           |      |             |        |      |  |  |  |                            |      |         |
|-----------|------|-------------|--------|------|--|--|--|----------------------------|------|---------|
|           |      |             |        |      | <b>БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ</b>   |  |  |                            |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.    | Підпис | Дата | Робототехнічний пристрій для<br>завантаження міжцехового<br>транспорту<br><br>Пояснювальна записка |  |  | Літ.                       | Арк. | Акрушів |
| Розробив  |      | Пономаренко |        |      |  |  |  | 2                          | 76   |         |
| Перевірив |      | Ковальов    |        |      |  |  |  | Кафедра ПММ<br>Гр. БЗПМ-17 |      |         |
| Н. Контр. |      |             |        |      |  |  |  |                            |      |         |
| Затв.     |      | Манойленко  |        |      |  |  |  |                            |      |         |

## Вступ

Успішна робота сучасного підприємства легкої промисловості пов'язана з переміщенням великої кількості різноманітних вантажів та їх переробка: затарування, формування в партії, завантаження в міжопераційну та міжцехову тару – контейнери, завантаження транспортних засобів та власне транспортування. Об'єкти транспортування мають різні типи, розміри та інші параметри. Тому проблема аналізу об'єктів логістичних систем взуттєвого виробництва є актуальною та своєчасною [1].

Для успішного рішення проблеми, яка пов'язана з промисловим виробництвом, особу актуальність набувають питання визначення досягнутого рівня техніки та напрямів її подальшого розвитку. Для рішення цих задач потрібен аналіз конструкцій існуючих машин та механізмів, а також обробка науко-технічної інформації – опис винаходів, патентів, наукових публікацій, промислових каталогів тощо [2].

Усі вантажі, з якими взаємодіють робочі органи транспортних пристроїв, поділяються на насипні та штучні [3, 4]. Штучні вантажі, по характеру та особливостям їх переробки, можна умовно поділити на одиничні (власне штучні), тарні, вантажі що запаковані та контейнерні.

Для обробки вантажопотоків створюються транспортні системи, до складу яких входять: транспортуючі машини безперервної дії (конвеєри різних конструкцій), машини не періодичної дії (крани, електротельфери, штабелери, вантажні візки тощо), а також різне технологічне обладнання.

Завантаження та розвантаження транспортувального, складського та технологічного обладнання здійснюють перевантажувальні пристрої, які встановлені проміж окремими видами обладнання. Продуктивна та надійна робота усієї транспортної системи багато в чому залежить від роботи перевантажувальних пристроїв. Особливого значення набуває вибір того чи іншого типу перевантажувального пристрою з урахуванням властивостей вантажів які обробляються та технологічного процесу. Необхідно помітити, що більшість видів перевантажувального обладнання серійно не випускається, а розробляється та випускається як нестандартне [5].

Крім зв'язку технологічних ліній з проміжними накопичувачами залишається важлива проблема передачі об'єктів транспортування взуттєвого виробництва з одного транспортного засобу на інший, з однієї технологічної лінії на іншу. Транспортні засоби відрізняються один від одного за такими особливостями: конструктивними (стрічковий конвеєр зв'язується з рольганговим, або люльковим тощо), геометричними (наприклад, розташовані на різних рівнях), частотою роботи (постійний режим чи дискретний), кінематичними параметрами (швидкість). Ці фактори також впливає на якість та ефективність транспортного ланцюга.

Таким чином, транспортні засоби, які стикаються, обумовлюють завдання їх взаємного зв'язку. В теперішній час в якості цього зв'язку виступає людина.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 3    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

завантаження та розвантаження транспортного засобу, перевантаження вантажів з одного конвеєра на інший виконується вручну. Це праця тяжка, стомлива, монотонна. Вирішити дану проблему можливо використанням робототехнічних пристроїв, які зв'язують розрізнені міжопераційні технологічні конвеєрні лінії в єдину систему. При цьому вирішуються наступні задачі:

- забезпечення компактності та гнучкості виробництва;
- підвищення продуктивності усього виробничого процесу;
- забезпечення технологічної надійності функціонування виробництва;
- підвищення ефективності управління виробництвом;
- забезпечення якості виробів, що випускаються;
- підвищення економічної ефективності процесу виготовлення взуття;
- ліквідація важкої, монотонної праці.

Пристрій для здійснення рухових функцій, аналогічних функціям руки людини при переміщенні об'єктів в просторі, відповідно до [5], зветься маніпулятором. Іншими словами, транспортний пристрій, яке виконує допоміжні операції (передача, завантаження-розвантаження тощо), є маніпулятором.

Для автоматизації процесу перевантаження, маніпулятор слід оснастити перепрограмованим пристроєм управління, тим самим перетворивши маніпулятор, відповідно до [6], у промисловий робот (ПР), який відрізняється від інших роботів, що використовуються у виробничому процесі транспортування. Під перепрограмуванням розуміється властивість ПР, у якого при потребі замінюють управляючу програму. До перепрограмування відноситься зміна послідовності або значень переміщень по ступеням рухомості.

Таким чином, використовуючи в якості перевантажувальних пристроїв ПР, можливо вирішити встановлену раніше задачу – автоматизувати процес передачі об'єктів транспортування взуттєвого виробництва з одного транспортного засобу на інший з метою створення безперервного транспортного ланцюга.

По характеру операцій, які виконуються, перевантажувальні пристрої можна віднести до допоміжних роботів [6], які виконують дії типу взяти-перенести-покласти. ПР цієї групи використовують при обслуговуванні основного технологічного обладнання, для автоматизації допоміжних операцій по установці-зняттю об'єктів виробництва, а також на інших операціях.

Маніпулятори та промислові роботи є одними з основних компонент гнучких виробничих систем, підйомно-транспортного обладнання та логістичних систем.

У сучасному виробництві все найчастіше використовуються промислові роботи, які здатні незалежно від людини виконувати досить складні завдання, що пов'язані з переміщенням та транспортуванням різних об'єктів, виконанням технологічних функцій, здійсненням функцій контролю та обслуговування. Перевагою промислових роботів є можливість переналагодження тільки шляхом зміни виконавчих пристроїв, перепрограмуванням алгоритму виконання закладених функцій та траєкторії переміщення робочих органів. Це дає можливість використовувати промислові роботи для вирішування широкого кола

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 4    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

задач у складі виробничих та логістичних систем [7].

Працездатність маніпуляторів характеризується рядом технічних характеристик: робоча зона, зона обслуговування, число ступенів свободи, вантажопідйомність, швидкість руху, енергетичні показники тощо.

**Метою** проєкту є розроблення та аналіз спеціального промислового робота.

**Завдання:**

- аналіз існуючих конструкцій механізмів завантаження (перезавантаження);
- розробка конструкції робототехнічного пристрою для завантаження (перезавантаження) міжцехового транспорту підприємств легкої промисловості;
- теоретичний аналіз робототехнічного пристрою для завантаження (перезавантаження) міжцехового транспорту підприємств легкої промисловості;
- розробка спеціального обладнання (схвату) маніпулятора.

**Об'єкт дослідження:** процес завантаження (перезавантаження) міжцехового транспорту підприємств легкої промисловості.

**Предмет дослідження:** робототехнічний пристрій для завантаження (перезавантаження) міжцехового транспорту підприємств легкої промисловості.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 5    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |



# РОЗДІЛ 1 . ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ (ПЕРЕЗАВАНТАЖЕННЯ) ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ

## 1.1 Огляд сучасних пристроїв для перевантаження об'єктів транспортування

Завантаження та розвантаження транспортувального, складського та технологічного обладнання здійснюють перевантажувальні пристрої, які встановлені проміж окремих видів обладнання.

Перевантажувальні пристрої, що більш підходять для транспортування об'єктів взуттєвого виробництва враховуючи як властивості об'єктів транспортування в логістичних системах цього виробництва [1] так і особливості логістичних схем вантажопотоків взуттєвих підприємств [8].

Перевантажувальні операції у ряді випадків можуть здійснюватися і без спеціальних перевантажувальних пристроїв шляхом безпосереднього перевантаження з одного конвеєра на інший за належним взаємним розташуванням трас конвеєрів.

Безпосереднє перевантажування використовується переважно для наступних типів операцій:

- проміжне перевантажування об'єктів з підвісних конвеєрів на стрічкові, роликові, візкові або пластинчаті конвеєри та навпаки у різній комбінації;
- прикінцеве перевантажування з стрічкових, роликових та візкові конвеєрів на любий інший зі згадуваних конвеєрів.

В окремих випадках, безпосереднє перевантажування полегшується використанням живильників та допоміжних пристроїв у вигляді відсікачів, стрілок, поворотних кругів, які дозволяють здійснювати безпосереднє перевантажування вантажів і в складних розподільчих, з'єднувальних та комбінованих системах, які скомпоновані з підлогових конвеєрів різних типів. Перевантаження без використання спеціальних перевантажувальних механізмів може здійснюватися як безпосередньо з конвеєра на конвеєр, так і за допомогою проміжних несучих елементів як приводних, так і не приводних (рис. 1.1).

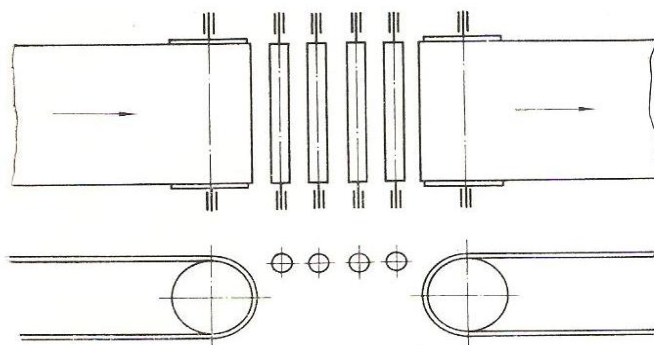


Рис. 1.1. Перевантаження з одного конвеєра на інший (проміжний елемент – неприводний рольганг)

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 6    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

В якості несучих елементів виступають різні типи конвеєрів [3]: стрічкові, роликові або пластинчаті. Неприводні проміжні елементи можуть бути горизонтальними та похилими.

В похилих (гравітаційних) спусках переміщення вантажу відбувається під дією сил гравітації. В якості несучої поверхні виступає гладкий гравітаційний спуск (сковзало) та роликовий спуск.

Кінцева швидкість, яку має вантаж при виході з гладкого гравітаційного пристрою, завжди обмежена рядом чинників: міцність тари та вантажу, геометричні параметри вантажу, умови перевантаження тощо. Ця обставина обмежує кут нахилу прямолінійного спуску, який на практиці не перевищує 20...30°. При такому куті нахилу та значній висоті перевантажування, прямолінійний пристрій буде мати велику довжину та займати значну площу. В цих умовах доцільне використання спусків спірального типу, які мають наступні переваги у порівнянні з прямолінійними: займають меншу площу, можуть мати значний кут нахилу, крім того вони забезпечують подачу та видачу вантажу у різних напрямках. До недоліків цього типу відносяться: інтенсивне стирання робочої поверхні спуску, можливість заклинювання вантажів, труднощі візуального контролю за процесом перевантажування.

Роликові спуски (рольганги), в залежності від технологічних особливостей, бувають прямолінійні, криволінійні та спіральні. Основними перевагами роликових спусків є: простота конструкції, невелика вартість, надійність в експлуатації, простота обслуговування.

Широке використання отримали пристрої, які виштохують при механізації операцій по завантаженню та розвантаженню різного технологічного та підйомно-транспортного устаткування. У даному типі перевантажувального пристрою виконавчий орган безпосередньо впливає на об'єкт транспортування, який розташовано на опорній площині. Пристрої поділяються на дві групи: що ковзають та захватні. Використання захватного пристрою виключає можливість розвороту вантажу при перевантаженні та, завдяки контакту з вантажем, забезпечує більш його точну видачу. Значний вплив на конструкцію даного пристрою впливає тип приводу: гідравлічний, пневматичний, електричний.

Пристрої що зіштовхують поділяються на стаціонарні, які обслуговують один визначений пункт перевантажування, та пересувні, які обслуговують заданий фронт роботи. Перший тип простіше за конструкцією (не має приводу переміщення та системи керуванням), але другий дозволяє використовувати гнучку систему організації праці.

Для стрічкових, роликових, пластинчатих та візкових конвеєрів, а також для ряду технологічного обладнання, використовуються пристрої горизонтального типу. Найбільше широке використання вони отримали при двохпозиційному перевантажуванні, коли вантаж передається з однієї площини на іншу.

При цьому опорні площини не рухомі (не приводний рольганговий конвеєр, приймальний стіл, платформа візка тощо) або знаходяться в русі (полотно підлогового конвеєру, підвіска конвеєру, який несе вантаж, підвіска

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 7    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

горизонтально або вертикально замкненого конвеєру тощо). Можливі різні комбінації несучих площин. На рис. 1.2 представлені деякі схеми двопозиційного перевантажування об'єкту транспортування з допомогою стаціонарних пристроїв що зіштовхують з пневматичним та гідравлічним приводом.

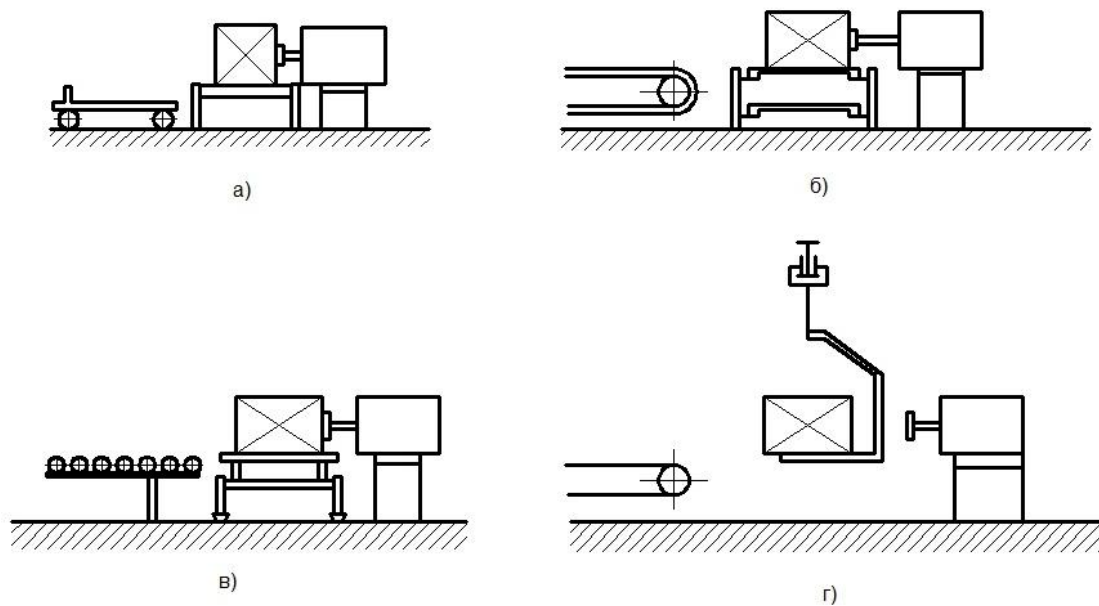


Рис. 1.2. Схеми двопозиційного перевантажування горизонтальними пристроями що зіштовхують: а – з роликового конвеєра на електрокару; б – з одного пластинчатого конвеєра на інший; в – з візка конвеєра на рольганговий конвеєр; г - з підвісного конвеєра на стрічковий

Наступну групу складають важільні перевантажувальні пристрої, у яких виконавчим органом, який активно впливає на вантаж, є важелі. До переваг даного типу перевантажувальних пристроїв слід віднести простоту конструкції, а до недоліків – деякі обмеження у швидкості руху ходової частини конвеєру та габаритів вантажу.

По конструктивному виконанню важільні перевантажувальні пристрої поділяються на дві групи: плоскі та просторові.

До плоских відносять важільні пристрої з виконавчим органом у вигляді важелів першого та другого роду. Важіль приводиться у коливальний рух (за звичаєм силовим пневматичним циліндром), який впливає безпосередньо на вантаж, що розташований на робочому органі конвеєру, та знімає його.

Розташування виконавчого органу, важеля, може бути горизонтальним – для стрічкових, пластинчатих та візкових конвеєрів (див. рис. 1.3), так і вертикальним – для підвісних (див. рис. 1.4) та підлогових конвеєрів (див. рис. 1.5 та 1.6) [9-11].

Залежно від розташування важелів у просторі, пристрої поділяють на плоскі та просторові. Плоскі багатоланкові важільні механізми (див. рис. 1.5 та 1.6) складаються з ланок, які здійснюють плоскі переміщення та можуть перевантажувати вантажі більш різноманітної форми.

|      |      |          |        |      |                           |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                           |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           |  |  |  |  | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ |  |  |  |  |      |

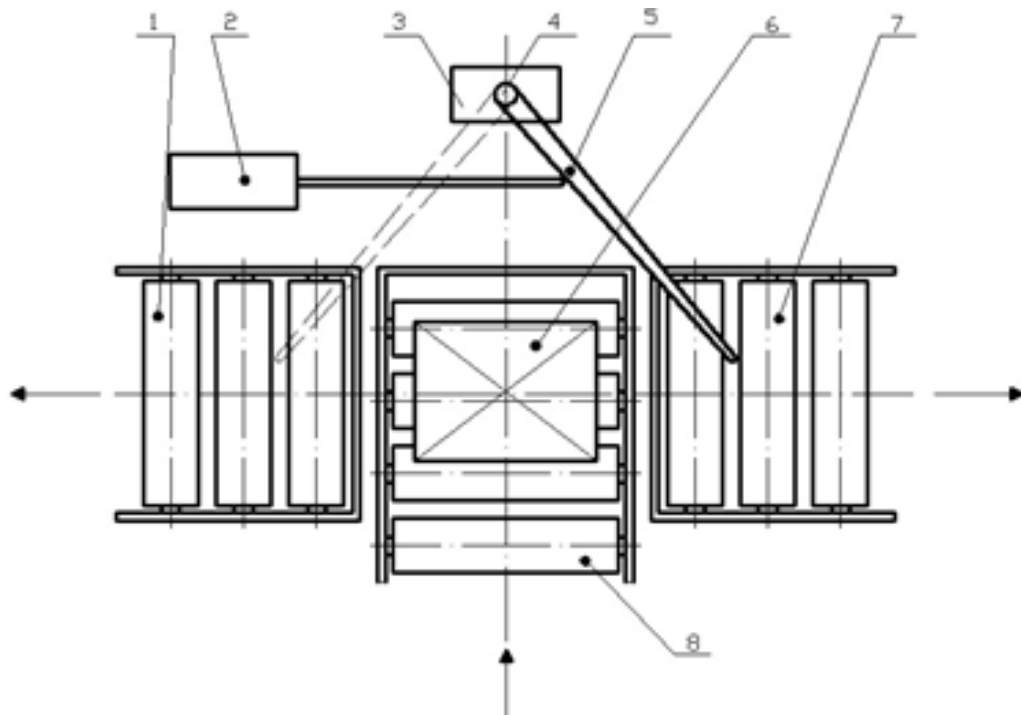


Рис. 1.3. Горизонтальний важільний перевантажувальний пристрій: 1 – приймальний конвеєр; 2 – пневматичний циліндр; 3 – основа; 4 – шарнір; 5 – шарнірний важіль; 6 – об’єкт перевантажування; 7 – приймальний конвеєр; 8 – подавальний конвеєр

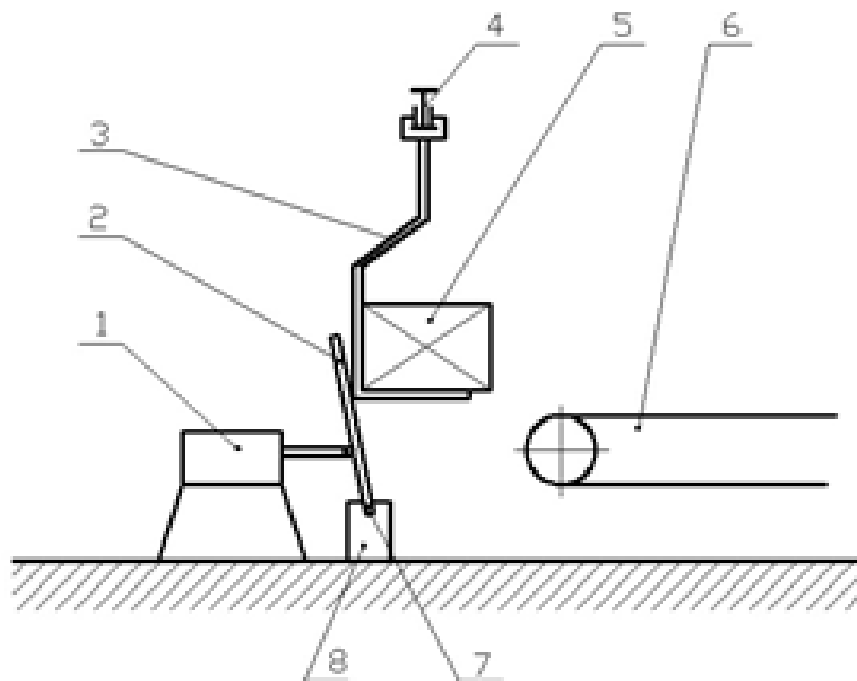


Рис. 1.4. Вертикальний важільний перевантажувальний пристрій: 1 – гідроциліндр; 2 – важільний перевантажувач; 3 – підвіска подавальний конвеєру;

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

4 – підвісний подавальний конвеєр; 5 – об’єкт перевантажування; 6 – приймальний стрічковий конвеєр; 7 – шарнірне з’єднання; 8 – основа

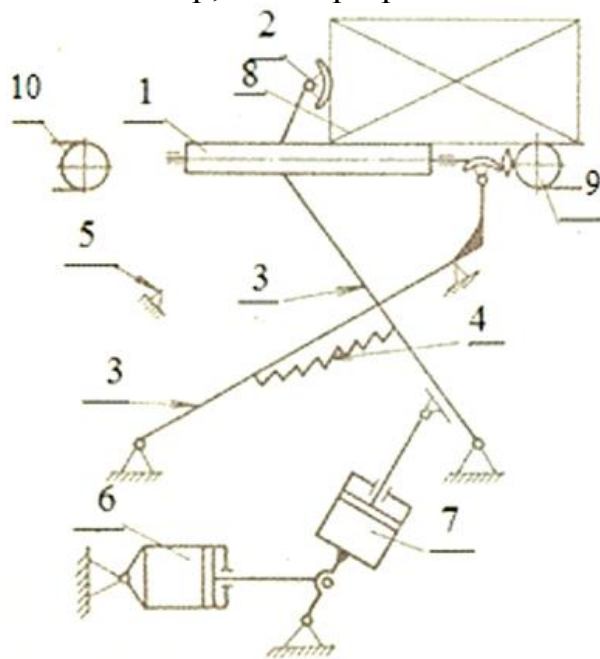
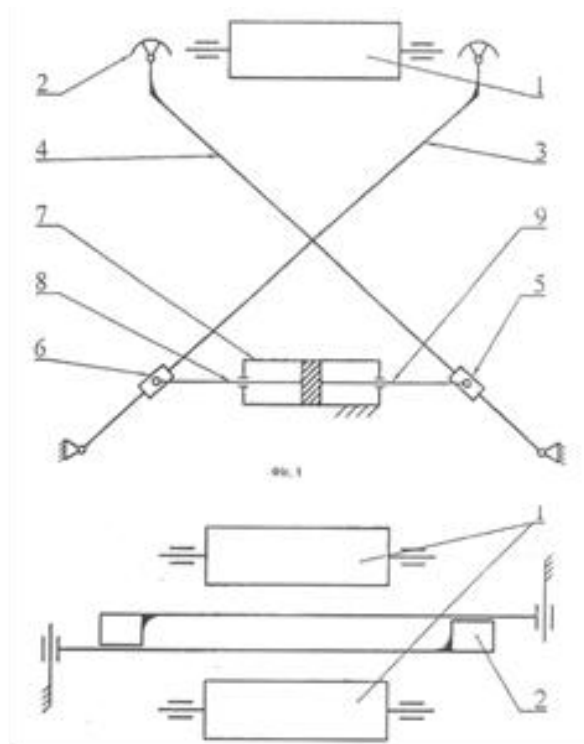


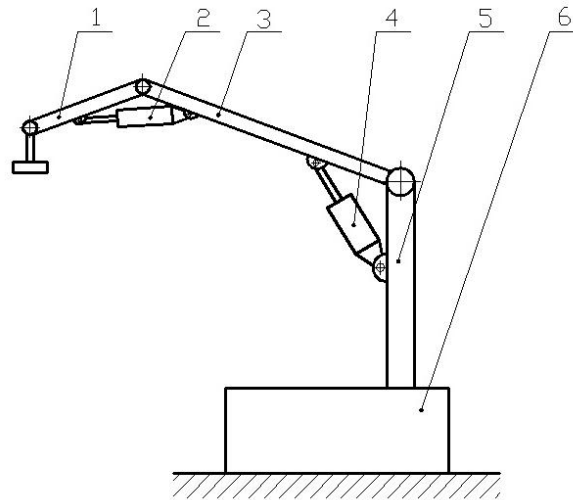
Рис. 1.5. Вертикальний важільний перевантажувальний пристрій: 1 – подавальний конвеєр; 2 – штовхач; 3 – важіль; 4 – пружина; 5 – упор; 6, 7 – пневматичний циліндр; 8 – об’єкт перевантаження; 9 – подавальний конвеєр; 10 – приймальний конвеєр



|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Рис. 1.6. Вертикальний важільний перевантажувальний пристрій: 1 – подавальний конвеєр; 2 – штовхач; 3,4 – важелі; 5,6 – повзуни; 7 – пневматичний циліндр; 8, 9 – штоки

Просторові важільні механізми мають ланки, які здійснюють переміщення у площинах, які розташовані довільно по відношенні один до одного. Вони мають більш складну структуру ніж плоскі.



Конструктивно шарнірно-зчленовані стрілові перевантажувачі відрізняються кількістю стріл (стержнів), видом приводу, зміною вильоту стріли та підйому вантажозахватного пристрою, наявністю поворотного механізму (рис. 1.7).

Рис. 1.7. Перевантажувальний пристрій з двома стрілами: 1 – допоміжна стріла; 2, 4 – гідроциліндр, 3 – основна стріла; 5 – колона; 6 – основа з приводом

До візкових перевантажувачів відносять пристрої, які містять візок та механізм перевантаження у вигляді захватів, пристроїв які перештовхують або скидають тощо. Візкові пристрої можуть виконувати вантажні, розвантажні та перевантажні операції. За конструкцією поділяються на: підлогові (рейкові та без рейкові) та підвісні (монорейкові та мостові) (див. рис. 1.8). Це дозволяє компонувати візкові пристрої зі стандартних елементів серійних підйомно-транспортних машин, таких як електроталі, кран-балки і мостові крани, авто- та електронавантажувачі, авто- та електроштабелери і так далі, що значно здешевлює вартість цих найбільш складних перевантажувальних пристроїв.

Обмежуючи у значних межах швидкість руху ходових частин транспортних засобів що обслуговуються, являючись найбільш метало- і енергоємними у порівнянні з іншими видами перевантажувальних механізмів, проте візкові пристрої широко використовуються при передачі вантажів на велику відстань з одного підлогового конвеєра на інший, особливо, коли ця передача робиться над проходами у цеху або на складі, та при подачі вантажу одночасно на велику відстань та висоту. Перевагою візкових пристроїв є також можливість обробляти

|      |      |          |        |      |                           |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                           |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           |  |  |  |  | 11   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ |  |  |  |  |      |

вантажі великої маси та значних габаритних розмірів, що дозволяє використовувати ці пристрої переважно на складських роботах.

Візкові перевантажувачі можуть бути обладнані захватами різних конструкцій.

Напільні візкові пристрої застосовуються за для зв'язку з підлогових конвеєрів.

Візковий перевантажувальний пристрій підвісного типу (див. рис. 1.8), дозволяють зв'язувати підлогові конвеєрні лінії з монорейковими автоматизованими системами, створюючи тим самим прямі стики циклічного та безперервного транспорту з можливостями самої широкої механізації та автоматизації таких об'єднаних автоматизованих транспортних систем. Автоматизовані підвісні візкові перевантажувачі оснащуються різними автоматичними захватами, а також системами адресування та програмного керування.

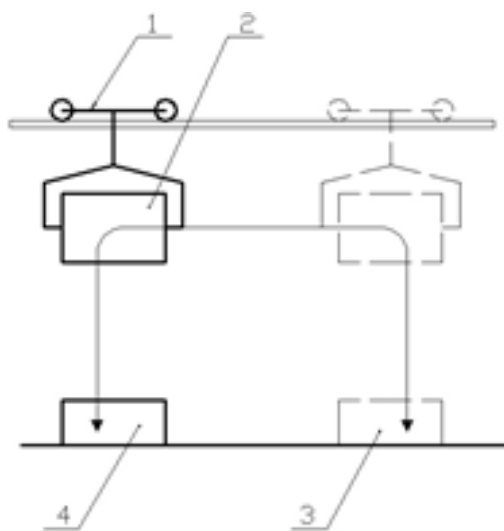


Рис. 1.8. Візковий перевантажувальний пристрій підвісного типу: 1 – перевантажувальний пристрій; 2 – об'єкт перевантажування; 3 – приймальний конвеєр; 4 – подаючий конвеєр

## 1.2 Основні типи промислових робіт

За конструктивними особливостями можна виділити, наприклад, такі промислові роботи, які мають свої особливості структури:

- підлогові промислові роботи;
- підвісні промислові роботи;
- спеціальні промислові роботи;
- мобільні промислові роботи;
- промислові роботи агрегатно-модульного типу.

Підлогові промислові роботи є найпростішими роботами, оскільки мають лише маніпуляційну систему та пристрій керування. Переміщення робочого

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 12   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

органу здійснюється тільки за допомогою маніпулятора, який жорстко встановлений на підлозі.

У разі потреби використовують засоби переміщення робота, що встановлюють на підлозі (рис. 1.9).

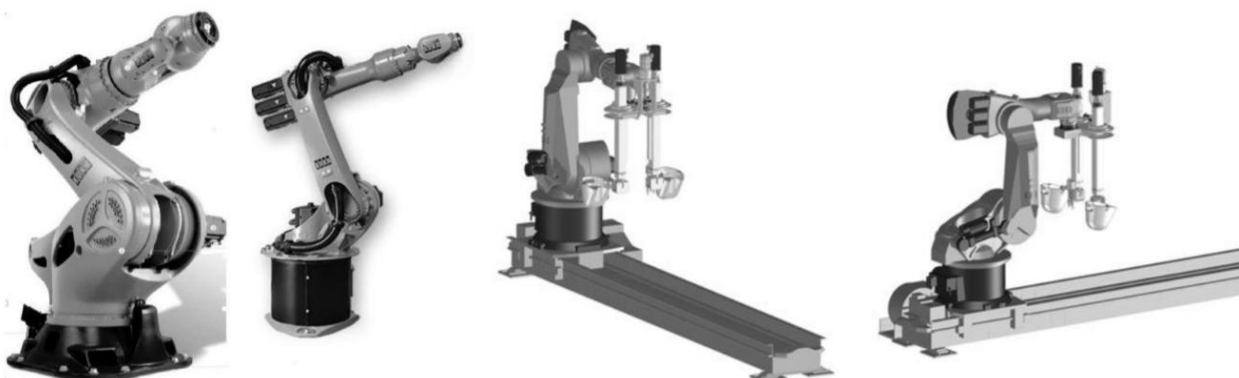


Рис. 1.9. Підлогові промислові роботи

Підвісні роботи (рис. 1.10), як правило, працюють в прямокутній системі координат, тобто мають два основних руху - уздовж осі (осей) порталу (рух каретки) і в напрямку, перпендикулярному осі порталу (висування руки по вертикалі або під кутом до вертикалі); в циліндричній полярній системі координат, тобто мають три основних руху – уздовж вертикальної осі порталу, поворот руки навколо горизонтальній осі (хитання руки) і висунення руки; в циліндричній кутовий системі координат, тобто мають три основних руху - уздовж осі порталу і хитання кожної з ланок шарнірної руки.

Також використовують підвісні промислові роботи тельферного типу, які переміщуються по монорейковому або двохрейковому шляху, підвішеному до перекриття цеху або до спеціальних стійок, при цьому монорельсовий шлях може бути як прямолінійним, так і овальним.

Підвісні промислові роботи бувають різних виконань. Крім основних рухів, що визначають систему координат, підвісний робот може виконувати наступні рухи, що здійснюють орієнтацію: обертання кисті з загартбним пристроєм навколо осі руки; поворот кисті навколо осі (однієї або двох), перпендикулярній осі руки.





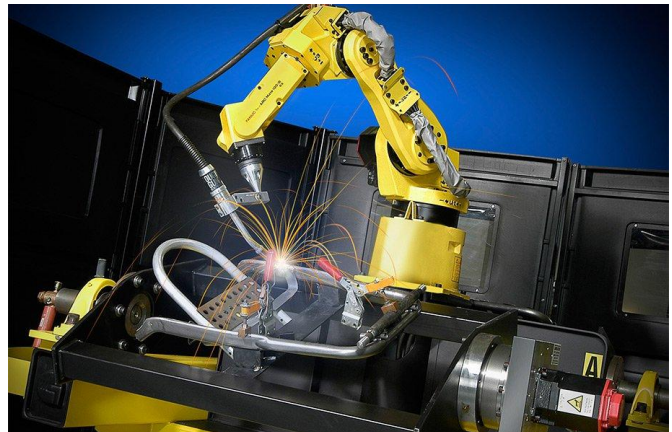
Рис. 1.10. Підвісні роботи

За ступенем спеціалізації промислові роботи можна поділити на:

- спеціальні, що виконують певну технологічну операцію або обслуговують конкретну модель основного технологічного обладнання;
- спеціалізовані (цільові), що виконують технологічні операції одного виду (збірка, зварювання і т.д.) або обслуговують широку номенклатуру моделей основного технологічного обладнання, об'єднаних спільністю маніпуляційних дій;
- багатоцільові, що виконують різні основні і допоміжні операції.



а)



б)

Рис. 1.11. Спеціальні промислові роботи: а – робот для демонтажу будівельних споруд; б – робот для зварювальних робіт

Мобільні роботи (рис. 1.12) можна поділити на виробничі, транспортні та спеціальні.

Виробничі мобільні роботи найчастіше мають маніпулятор з виконавчим пристроєм, яким може бути захоплюючий пристрій або різні технологічні пристрої, наприклад, зварювальний пристрій, пристрій для різання, фарбування тощо. Такі роботи використовуються у різних технологічних процесах, де

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | 14   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |  |      |

технологічне обладнання або об'єкти треба переміщувати на досить великих площах по різних траєкторіях переміщення.

Виробничі мобільні роботи можна поділити на маніпуляційні та технологічні мобільні роботи.

Транспортні мобільні роботи призначені для автоматизованого транспортування об'єктів, а також для використання у різних транспортних системах.

Спеціальні мобільні роботи можуть виконувати функції контролю та збору інформації, спостереження тощо.

Мобільні роботи можуть бути повністю автономними, або працювати разом з оператором в інтерактивному режимі.

Прикладом автономних роботів можуть бути транспортні роботи, що обслуговують склади.

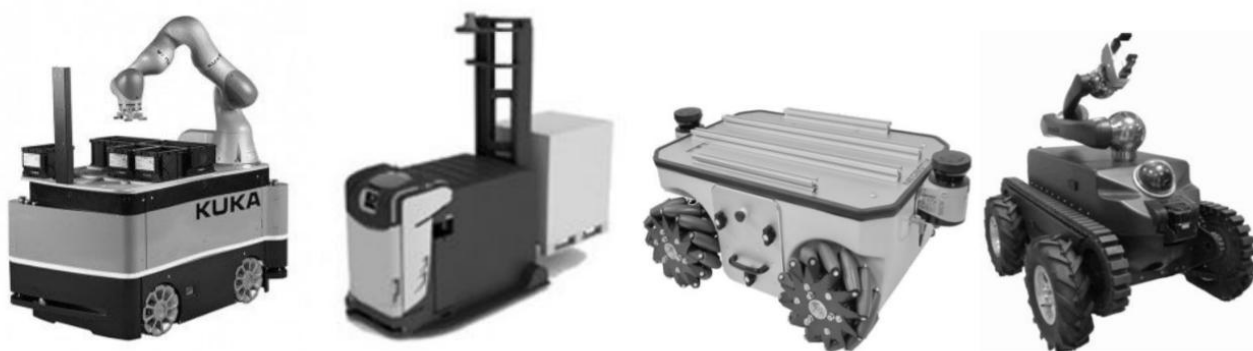


Рис. 1.12. Мобільні роботи

Агрегатно-модульний принцип передбачає створення ПР на базі уніфікованих вузлів, або модулів. Цей метод має такі переваги:

- можливість побудови спеціальних і спеціалізованих роботів для конкретної технологічної операції, що не володіють надмірністю функцій і тому більш дешево в порівнянні з універсальними роботами;
- скорочення часу і трудомісткості проектування спеціальних роботів, тому що вони створюються на базі уніфікованих вузлів, номенклатура яких може поповнюватися;
- підвищення надійності внаслідок того, що до нього входять уніфіковані вузли і відсутності надмірності;
- здешевлення виробництва роботів внаслідок обмеженої номенклатури деталей і вузлів і, отже, підвищення серійності випуску;
- поліпшення умов експлуатації та ремонту роботів, внаслідок зменшення різноманітності конструкцій вузлів і деталей;
- скорочення термінів підготовки обслуговуючого персоналу.

Разом з тим агрегатно-модульний принцип має певні недоліки: відмова в деяких випадках від більш вигідних конструктивних рішень на користь менш вигідних, але відповідних принципом агрегатного побудови; збільшення габаритів

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 15   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

і маси конструкції; збільшення числа стиків, що підвищує трудомісткість складання роботів, знижує жорсткість і точність.

### 1.3 Огляд сучасних моделей шарнірних промислових роботів

На рисунках 1.13-1.16 наведені приклади сучасних моделей шарнірних промислових роботів відомих фірм (YASKAWA, FANUC, KAWASAKI, KUKA).



а)



б)

Рис. 1 .13. Промислові роботи фірми YASKAWA: а – модель GP25; б – модель GP400

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           | 16   |



а)



б)

Рис. 1.14. Промислові роботи фірми FANUC: а – модель LR Mate 200iD; б – модель LR Mate 200iD/7WP (вологостійка модель)



а)



б)

Рис. 1.15. Промислові роботи фірми KAWASAKI: а – модель RS020N; б – модель CX210L

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

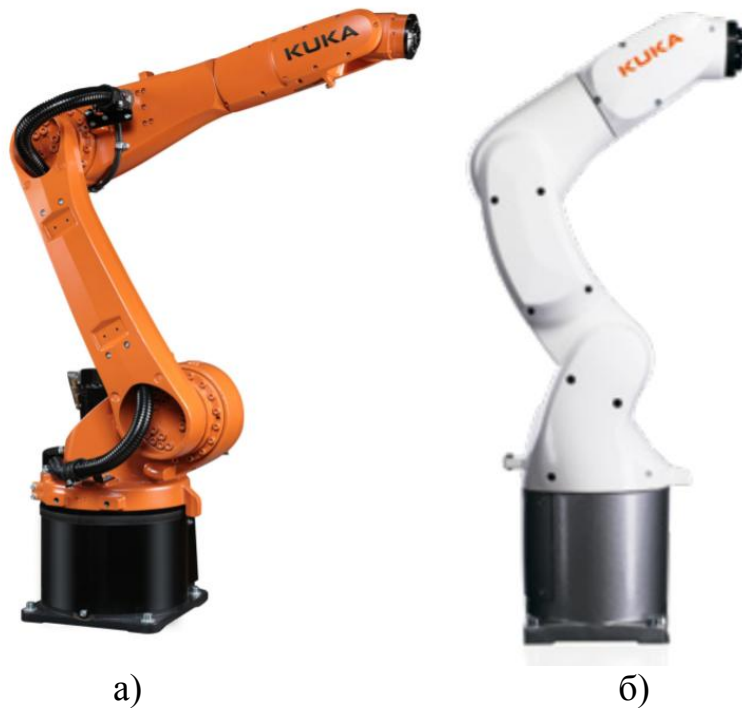


Рис. 1.16. Промислові роботи фірми KUKA: а – модель KR 6 R1840-2; б – модель KR 3 AGILUS R540

### Висновки до розділу 1

В даному розділі дипломного проекту проаналізовані різні види конструкцій спеціального обладнання роботів, проведено аналіз та запропоновано конструкцію, яка задовольняє поставленому завданню, а саме підлоговий промисловий універсальний робот-маніпулятор, який здатний незалежно від людини виконувати досить складні завдання, що пов'язані з переміщенням та транспортуванням різних об'єктів, в тому числі при виконанні завантаження міжцехового транспорту на підприємствах легкої промисловості.

Перевагою промислових роботів є можливість переналадження тільки шляхом зміни виконавчих пристроїв, перепрограмуванням алгоритму виконання закладених функцій та траєкторії переміщення робочих органів. Це дає можливість використовувати промислові роботи для вирішування широкого кола задач у складі виробничих та логістичних систем.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 18   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ РОБОТОТЕХНІЧНОГО ПРИСТРОЮ

### 2.1 Принцип роботи та технічна характеристика робототехнічного пристрою (промислового робота)

Для виконання завантаження міжцехового транспорту по [12] вибираємо промисловий робот з позиційною системою управління, електромеханічними приводами, розташованими на підставі, що працює в кутовій системі координат.

Робот складається з маніпулятора, пристрої числового програмного керування УПМ-772, блоку управління приводами і пневмопанелі, з'єднаних між собою кабелями зв'язку і пневмоприводом.

Маніпулятор є виконавчим механізмом робота. Загальний вигляд маніпулятора представлений на рисунку 2.1.

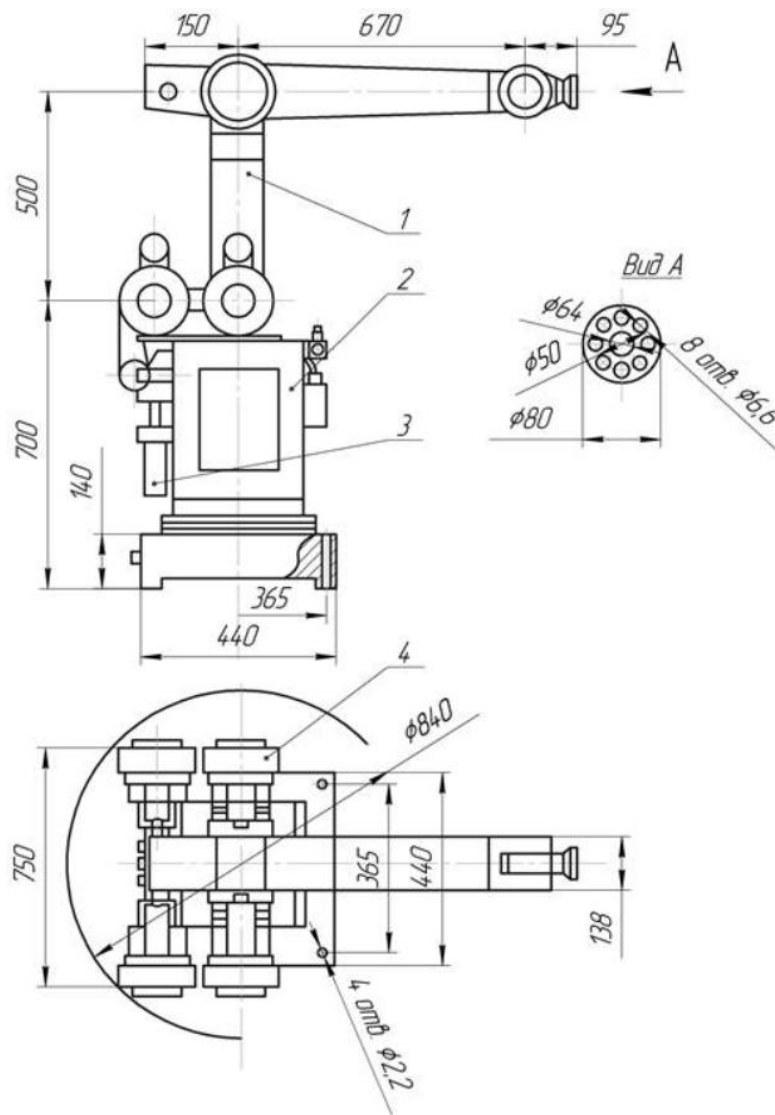


Рис. 2.1. Маніпулятор робототехнічного пристрою: 1 - механічна рука; 2 - механізм повороту; 3 - механізм урівноваження; 4 - приводи електромеханічні

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Маніпулятор має 5 ступенів рухливості, тобто може виконувати п'ять незалежних рухів. Механічна рука робота переміщується в кутовий системі координат. За рахунок обертання вертикального і горизонтального плеча навколо двох горизонтальних осей рука може переміщатися в горизонтальній і вертикальній площинах.

Кисть механічної руки може здійснювати обертання навколо горизонтальної осі (згин кисті) і навколо своєї поздовжньої осі (ротація). Підстава робота може обертатися навколо вертикальної осі.

Технічні характеристики наведені в табл. 2.1 [13].

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики робототехнічного пристрою

| Назва характеристики  | Значення          |
|---|-------------------|
| Вантажопідіймальність, кг, не більш   |                   |
| - номінальна  | 6,3               |
| - включаючи масу захватного пристрою  | 10                |
| Число ступенів рухомості з них:   | 5                 |
| - транспортних (переносних)   | 3                 |
| - орієнтуючих   | 2                 |
| Вид приводу   | електромеханічний |
| Спосіб керування  | контурний         |
| Система керування   | УКМ-772           |
| Тип інтерполяції  | Лінійний          |
| Обсяг пам'яті, точок, не більш  | 1000              |
| Максимальна абсолютна похибка позиціонування, мм  | $\pm 0,25$        |
| Похибка обробки траєкторії, мм, не більше   | 2                 |
| Число одночасно керованих рухів по ступенях рухомості                                       | 5                 |
| Геометричні розміри робочої зони  | див. рис. 2.3     |
| Максимальні переміщення, град   |                   |
| - поворот руки навколо вертикальної осі $q_1$   | 340               |
| - хитання вертикальної ланки (плеча) щодо вертикалі $q_2$                                   | $\pm 45$          |
| - хитання горизонтальної ланки (передпліччя) щодо горизонталі при вертикальному плечі $q_3$ | $+25 \div -45$    |
| - згин руки $q_4$   | $\pm 90$          |
| - обертання (ротація) кисті $q_5$   | $\pm 180$         |
| Мінімальні і максимальні швидкості переміщення ланок, град/с                                |                   |
| - поворот руки  | 0,5...90          |
| - хитання плеча   | 0,5...90          |
| - хитання передпліччя   | 0,5...90          |
| - згинання кисті  | 0,5...90          |
| - обертання кисті   | 1...180           |

| Назва характеристики                                    | Значення   |
|---|------------|
| Час максимального переміщення, с                        |            |
| - поворот руки  | 5          |
| - хитання плеча   | 2,5        |
| - хитання передпліччя                                   | 2,5        |
| - згин кисті  | 3          |
| - обертання кисті                                       | 3          |
| Похибка підтримки заданої контурної швидкості           | $\pm 10\%$ |
| Максимальне прискорення робочого органу, $\text{м/с}^2$ | 1,5        |
| Число каналів зв'язки із зовнішнім устаткуванням:       |            |
| - на введення   | 12         |
| - на виведення  | 48         |
| Електричне живлення:                                    |            |
| 3-фазна мережа змінного струму                          |            |
| - напруга, В  | 380        |
| - частота, Гц   | $50 \pm 1$ |
| - споживана потужність, кВт                             | 4          |
| Тиск стисненого повітря, МПа                            | 0,4...0,6  |
| Витрата стисненого повітря, л/год                       | 100        |
| Маса, кг, не більш                                      | 820        |
| У тому числі:   |            |
| - маніпулятора  | 260        |
| - блоку керування електроприводами                      | 260        |
| - обладнання числового програмного керування            | 250        |

Принцип роботи маніпулятора наступний (рис. 2.2): поворотна платформа 1 обертається відносно нерухомої підставки 0 навколо вертикальної осі, утворюючи обертальну кінематичну пару V класу. Цим обертанням забезпечується I ступінь рухомості ПР - поворот руки маніпулятора (ланки 2, 3, 4, 5) навколо вертикальної осі на кут  $q_1 = 340^\circ$  зі швидкістю  $90 \text{ град/с}$ . Реалізується це обертання механізмом повороту навколо вертикальної осі.

Вертикальна ланка 2 – "плече" руки маніпулятора встановлене шарнірно на поворотній платформі 1 і може повертатися навколо горизонтальної осі відносно вертикалі на кут  $q_2 = \pm 45^\circ$  зі швидкістю  $90 \text{ град/с}$ . Цим забезпечується II ступінь рухомості ПР - "відведення і приведення плеча". Реалізується II ступінь рухомості механізмом хитання вертикальної ланки.

Горизонтальна ланка 3 – "передпліччя" руки маніпулятора - встановлена шарнірно на ланці 2 і може повертатися відносно останньої навколо горизонтальної осі (при вертикальному положенні ланки 2) на кут  $q_3 = +25 \div -45$  зі швидкістю  $90 \text{ град/с}$ . Цим забезпечується III ступінь рухомості ПР - "згинання і

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      |                           | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 21   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ |      |



розгинання ліктя". Реалізується III ступінь рухомості механізмом хитання горизонтальної ланки.

Ланки 4 і 5 – це кисть руки маніпулятора. Ланка 4 встановлена шарнірно на ланці 3 і може повертатися відносно останньої навколо горизонтальної осі на кут  $q_4 = \pm 90^\circ$  зі швидкістю  $90 \text{ град/с}$ . Цим забезпечується IV ступінь рухомості ПР - "згин кисті" маніпулятора. Ланка 5, до якої кріпиться робочий орган робота, встановлена шарнірно на ланці 4 і може повертатися навколо поздовжньої осі останньої на кут  $q_5 = \pm 180^\circ$  зі швидкістю  $180 \text{ град/с}$ . Цим забезпечується V ступінь рухомості ПР - "обертання (ротація) кисті" маніпулятора. Реалізуються IV і V (орієнтуючі) ступені рухомості ПР механізмом орієнтації захвату.

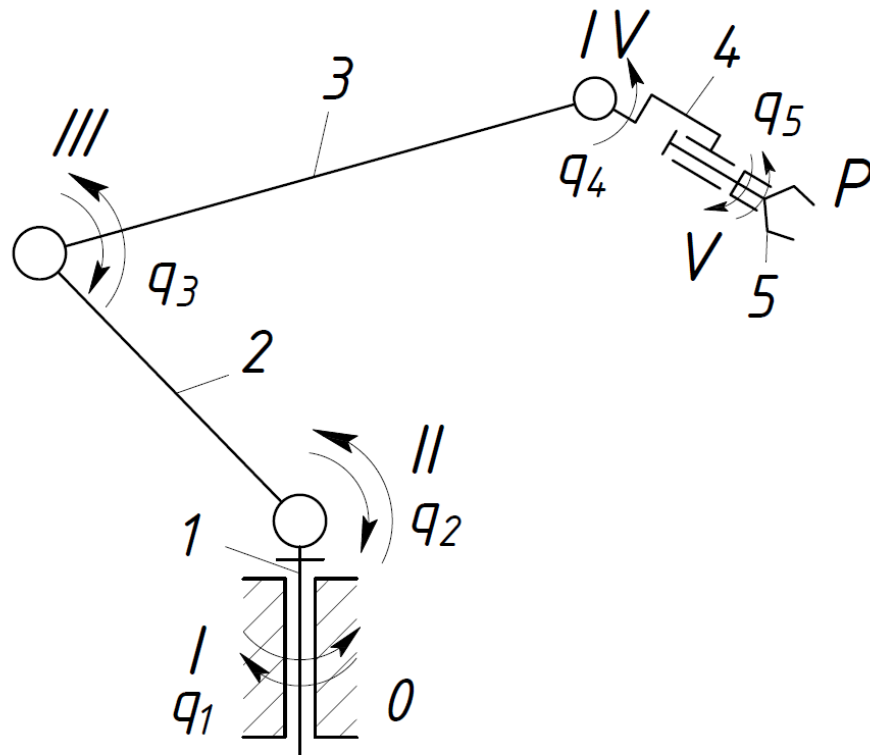


Рис. 2.2. Структурна схема маніпулятора: 0, 1, 2, 3, 4, 5 – ланки; I, II, III, IV, V – ступені рухомості (обертальні кінематичні пари V класу);  $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5$  – узагальнені координати по ступенях рухомості

Усі механізми приводяться в дію за допомогою електричних двигунів постійного струму, які конструктивно виконані як одне ціле з редукторами (мотор-редуктори). Для часткового статичного розвантаження руки маніпулятора від сил ваги використовується механізм врівноважування.

Геометричні розміри робочої зони і діапазони переміщень ланок робота наведені на рис. 2.3.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

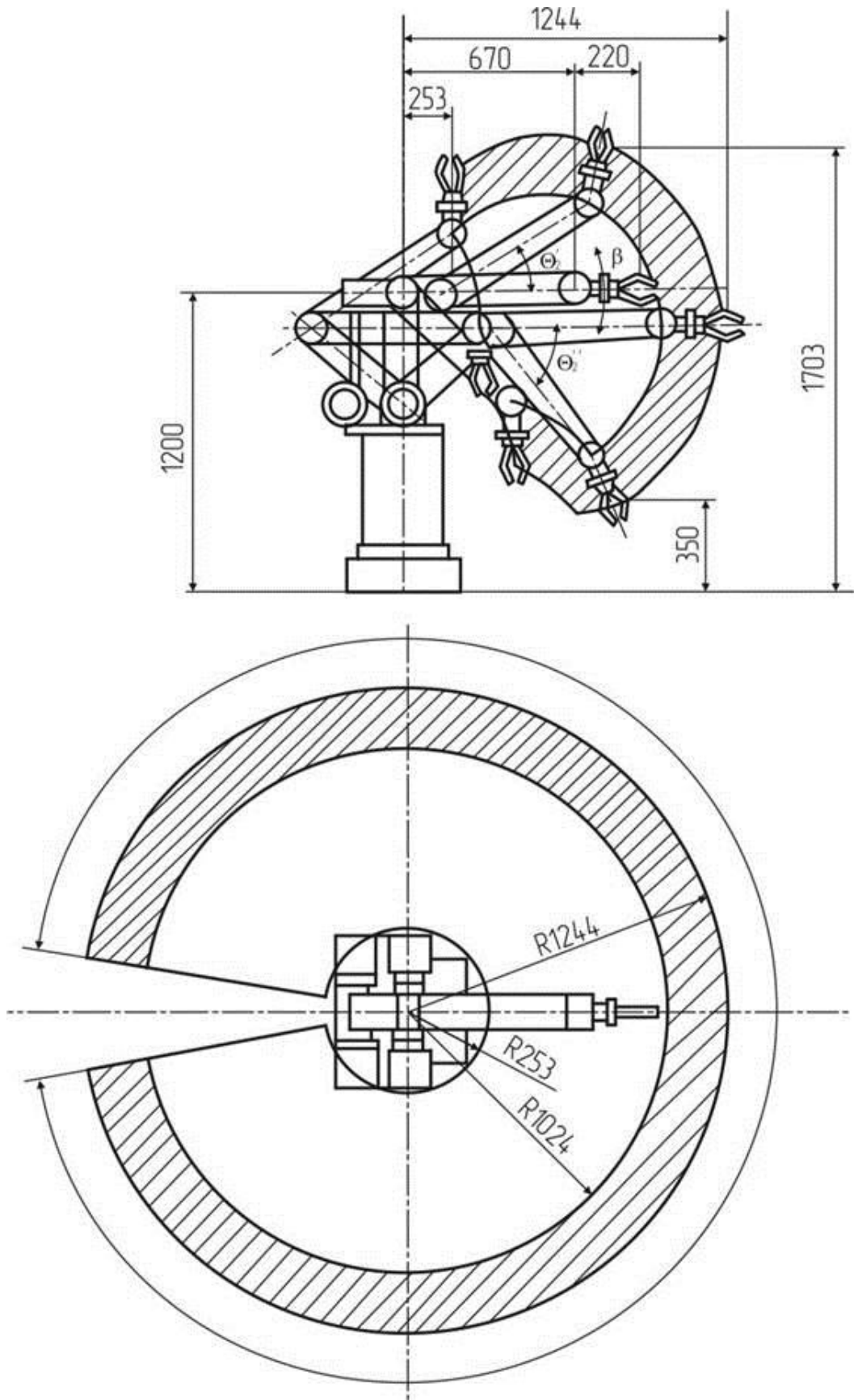


Рис. 2.3. Геометричні розміри робочої зони і діапазони переміщень ланок робота

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ

Арк.

23

## 2.2 Механізм повороту навколо вертикальної осі

Механізм повороту навколо вертикальної осі представлений на рис. 2.4.

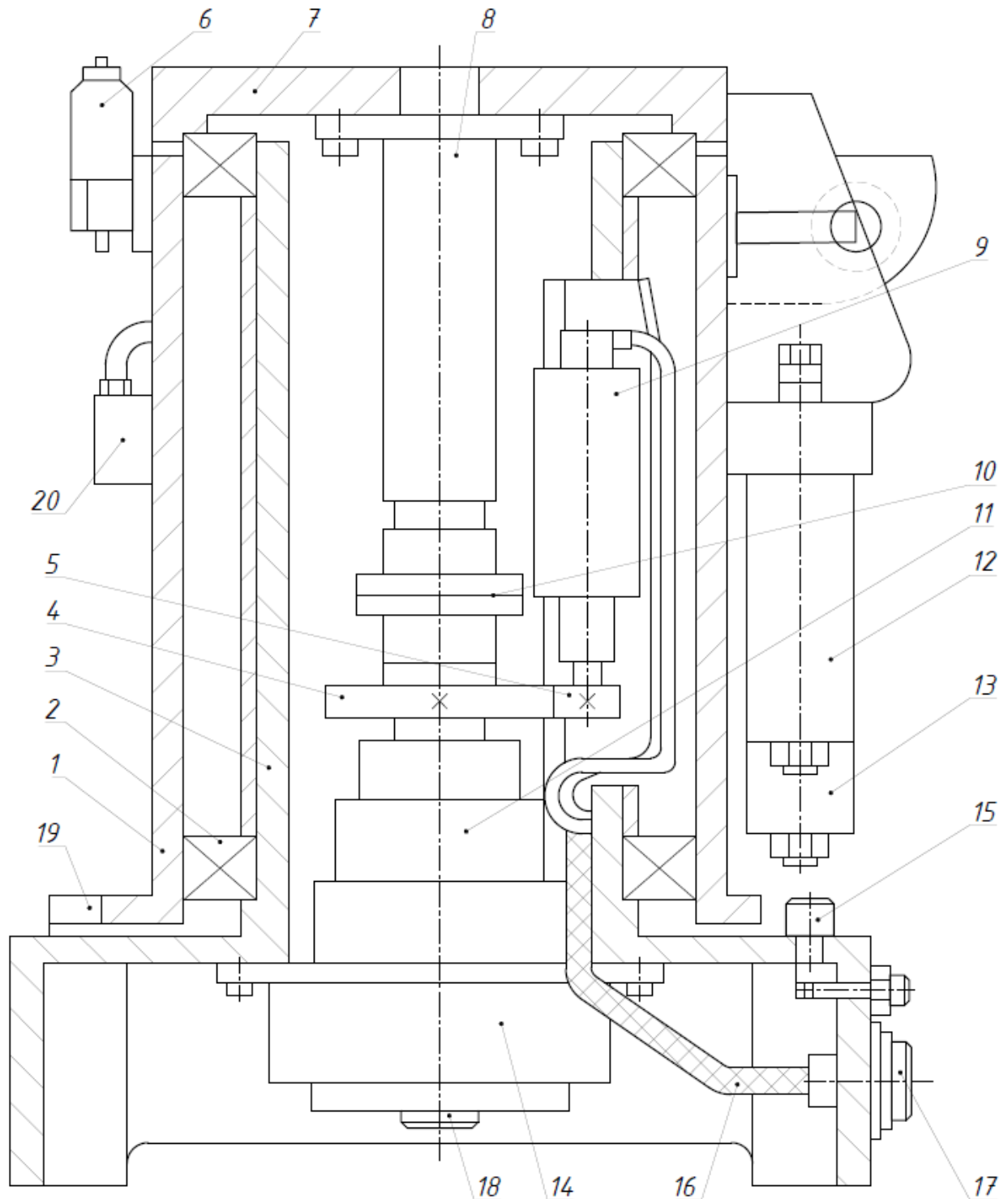


Рис. 2.4. Механізм повороту навколо вертикальної осі

| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |

БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ

Арк.

24

Механізм забезпечує поворот механічної руки ПР навколо вертикальної осі на  $q_1=340^\circ$  зі швидкістю  $90 \text{ град/с}$ . Механізм повороту містить нерухому підставку 3 і поворотну платформу, яка складається зі стакану 1 і плити 7.

На плиті 7 встановлена механічна рука. Платформа обертається на підшипниках 2, встановлених у нерухомій підставі. Електромеханічний привід механізму повороту (мотор-редуктор) встановлено на підставці 3. Він складається з електродвигуна постійного струму 14 типу ПЯ-250Ф ( $N=250 \text{ Вт}$ ,  $n=3000 \text{ об/хв}$ ) і жорстко зв'язаного з ним хвильового редуктора 11 ( $i=102,5$ ; момент на вихідному валу  $M=100 \text{ Нм}$ ). Неспіввісність мотор-редуктора і поворотної платформи компенсується муфтою 10.

Мотор-редуктор через компенсаційну муфту 10 і вал 8 обертає плиту 7 поворотної платформи і встановлену на ній механічну руку маніпулятора. Кут повороту платформи контролюється датчиком положення 9 типу ППК15. Швидкість обертання контролюється датчиком швидкості - тахогенератором 18 типу ТГП - 3.

Тахогенератор 18 встановлений на корпусі мотор-редуктора співвісно валу двигуна і з'єднаний із двигуном муфтою.

Датчик положення 9 встановлено на нерухомій підставці 3 (установка здійснена через вікно в стакані 1, яке закривається кришкою). Обертання на вал датчика 9 з вихідного валу редуктора 11 передається через зубчасту передачу 4-5 з передавальним відношенням  $i=15,6$ . Для усунення зазорів у зачепленні зубчасте колесо 4 виконане розрізним (площина розрізу паралельна торцю колеса), між половинками якого розміщена пружина крутіння. Для створення початкової деформації пружини і вибору бічного зазору в зачепленні при установці датчика положення 9 верхню частину зубчастого колеса 4 розвертають відносно нижньої частини на  $90^\circ$ .

Обертання поворотної платформи обмежене упорами. Нерухомий упор 15 закріплено на нерухомій підставці 3, а рухомий упор - прапорець 19 жорстко зв'язано зі стаканом 1 поворотної платформи.

На підставі встановлена панель 17 з роз'ємами для підключення кабелів. На передній стінці стакану закріплена колодка 20, до якої приєднані джгути зв'язку з датчиками і двигунами приводів ланок механічної руки. Джгути, що з'єднують роз'єми панелі 17 з колодкою, прокладені всередині обертового стакану, довжина витка дозволяє здійснювати поворот платформи на кут  $340^\circ$ . На підставі закріплений штуцер для підключення стислого повітря тиском  $0,4-0,6 \text{ МПа}$  від пневопанелі.

На задній стінці стакану встановлені пружинні механізми 12 і 13, призначені для зрівноважування статичних моментів від ваги ланок механічної руки.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 25   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

### 2.3 Кінематична схема робота

Механізм повороту складається з нерухомої основи - 6 (див. рис. 2.5) та поворотної платформи. На основі встановлений електромеханічний привід з датчиком положення ДП1 типу ППК-15. Вихідний вал приводу за допомогою компенсуючої муфти - 7, з'єднаний з плитою поворотної платформи - 8. Обертання на датчик ДП1 передається від приводу через зубчасту передачу (колеса 9 і 10) з передавальним відношенням  $i=15,6$ .

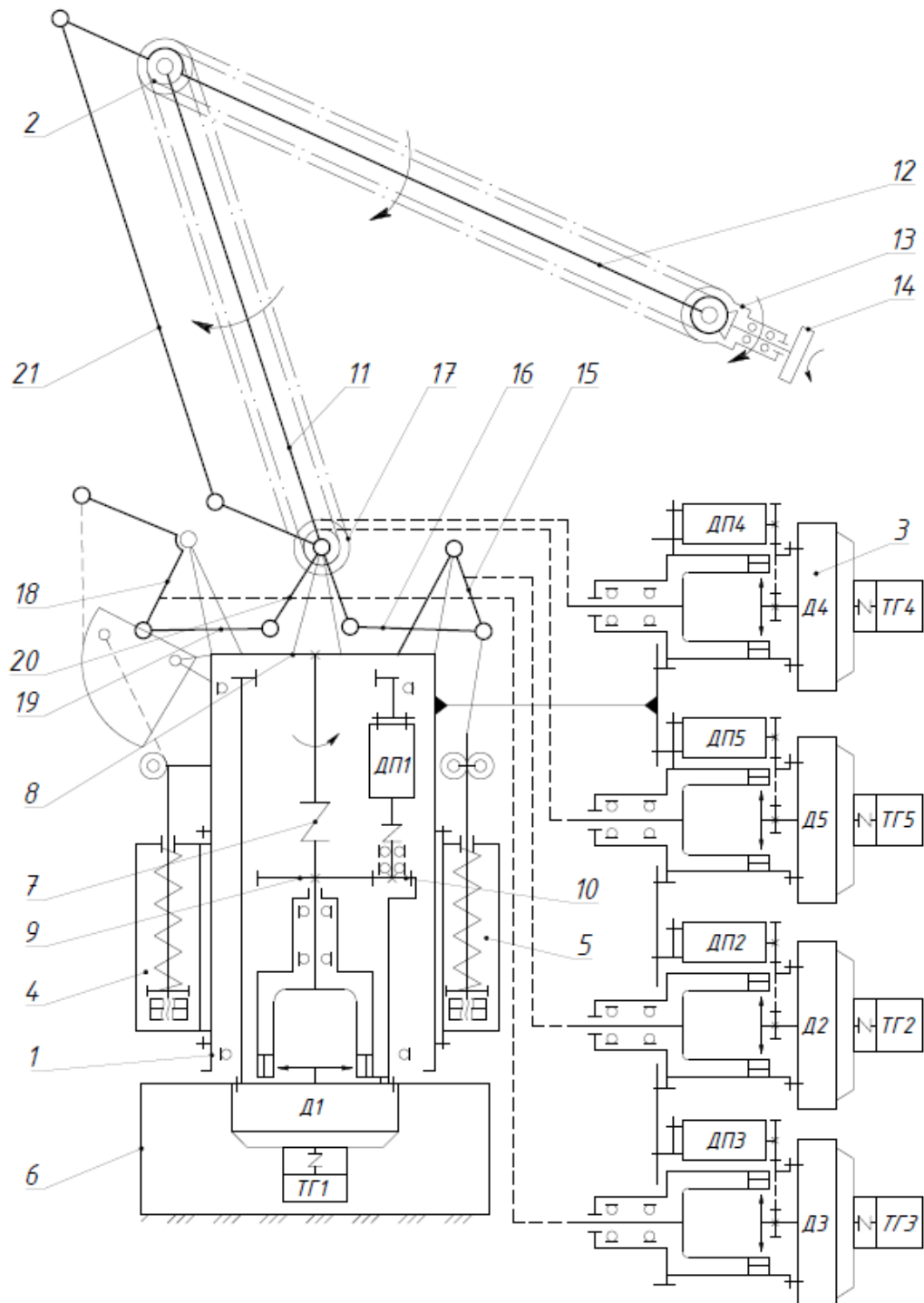


Рис. 2.5. Кінематична схема робота

|      |      |          |        |      |                           |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                           |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           |  |  |  |  | 26   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ |  |  |  |  |      |

На поворотній платформі встановлюється рука 2 і електромеханічні приводи 3. Рука маніпулятора призначена для переміщення виконавчого механізму (захватного пристрою) у вертикальній площині по 4-м ступеням рухливості. Рука містить вертикальну ланку 11 і шарнірно сполучену горизонтальну ланку - 12. До горизонтальної ланки кріпитися механізм орієнтації захоплення (кисть), що складається з механізму згину 13 і механізму обертання 14. Фланець механізму обертання служить для кріплення захватного пристрою або технологічного інструменту.

Кожна ланка руки приводиться в рух від електромеханічного приводу через передавальні механізми. Передача руху до вертикальної ланки 11 здійснюється кривошипно-шатунним механізмом, що складається з кривошипа 15, закріпленого на вихідному валу приводу, шатуна 16, важеля 17.

Передача руху до горизонтальної ланки 12 здійснюється від приводу Д3 через кри вошипно-шатунний механізм, що складається з кривошипа 18, закріпленого на вихідному валу приводу, шатуна 19 і Г-подібного важеля 20. Г-подібний важіль 20 шарнірно встановлений на осі, що збігається з віссю обертання вертикальної ланки і закріпленої на ньому. Одним плечем важіль з'єднаний з шатуном 19, а іншим – з тягою 21, шарнірно пов'язаної з горизонтальною ланкою 12. Обидва кривошипно-шатунних механізму виконані у вигляді шарнірних паралелограмів. Передача руху до механізму орієнтації (згин і обертання) здійснюється за допомогою ланцюгових передач. Обидві ланцюгові передачі виконані ідентично і містять по дві гілки. Обертання кисті проводиться через кінчну передачу.

## 2.4 Електромеханічні приводи робота

Електромеханічні приводи всіх ланок робота вибраного робота уніфіковані і виконані у вигляді мотор-редукторів Д1, Д2, Д3, Д4, Д5 (рис. 2.5). Кожний привод (мотор-редуктор) містить (рис. 2.6) електродвигун 4, хвильовий редуктор 10, датчик положення 8 і датчик кутової швидкості 3. Маса кожного приводу приблизно 15 кг.

Д1 – мотор-редуктор, який є приводом механізму повороту навколо вертикальної осі; Д2, Д3 – відповідно мотор-редуктори, які є приводами механізмів хитання вертикальної і горизонтальної ланок руки маніпулятора; Д4, Д5 – відповідно мотор-редуктори, які є приводами згину і обертання кисті маніпулятора в механізмі орієнтації.

Електродвигун 4 є електродвигуном постійного струму типу ПЯ-250Ф с технічними характеристиками –  $N=250$  Вт,  $n=3000$  об/хв,  $M_{ном}=0,8$  Нм. Збудження двигуна здійснюється від постійних магнітів. Якір двигуна виконаний із друкованою обмоткою диска, яка допускає заміну диска якоря без розбирання двигуна через щілину в корпусі. Крім того, використання диска якоря із друкованою обмоткою дає такі переваги електродвигуна, як малий момент інерції

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      |                           | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 27   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ |      |

ротора і висока швидкодія. Кріпиться електродвигун до корпусу хвильового редуктора 10 і зв'язаний з ним муфтою.

Датчик положення 8 призначений для виміру кута повороту вихідного валу 2 електродвигуна. У якості датчика положення в приводі використаний кодовий перетворювач переміщень ППК-15. Він представляє з себе перетворювач механічних переміщень в 15 - розрядний двійковий код. При цьому для підвищення точності перетворень у ньому об'єднані за допомогою редуктора перетворювачі точного (ТЕ) і грубого (ГО) відліку. Маса датчика - 0,85 кг, габарити 70 × 158.

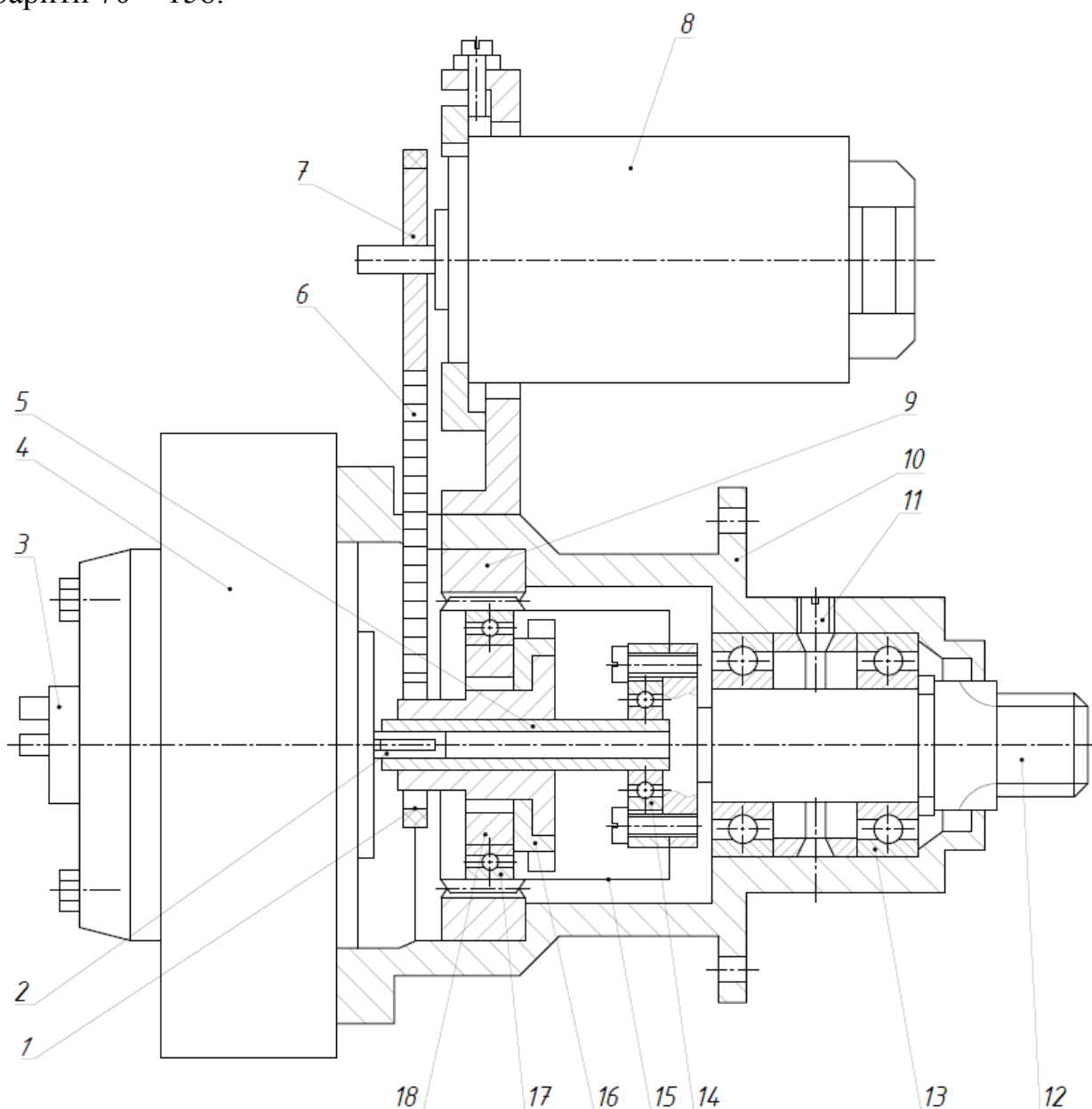


Рис. 2.6. Електромеханічні приводи робота

У всіх приводах, крім приводу повороту навколо вертикальної осі, обертання від валу 2 електродвигуна 4 до валу датчика положення 8 передається

|      |      |          |        |      |  |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|--|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      |  | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |                           | 28   |

за допомогою зубчато-пасової передачі. У механізмі повороту обертання на вал датчика положення передається через зубчасту передачу ( $i=15,6$ ).

Зубчато-пасова передача містить шків 1 ( $z_1=28$ ), встановлений на валу 2 електродвигуна, шків 7, встановлений на валу датчика положення 8 (у мотор-редукторах Д2, Д3  $z_2=45$ , у мотор-редукторах Д4, Д5  $z_3=90$ ), зубчастий пас 6 ( $m=1$ ). Звідси передаточне відношення зубчато-пасової передачі в мотор-редукторах Д2, Д3  $i=1:1,6$ , у мотор-редукторах Д4, Д5  $i=1:3,2$ .

Датчик кутової швидкості 3 призначений для виміру швидкості обертання ротора електродвигуна. У якості датчика кутової швидкості в приводі використовується аналоговий датчик-тахогенератор ТПП-3. Він представляє з себе тахогенератор постійного струму, який перетворює механічний обертовий рух в електричний сигнал. Його основна характеристика (залежність величини напруги від числа оборотів  $I_{тг}=f(n)$ ) лінійна і симетрична відносно нуля, крутизна характеристики  $\Delta U/\Delta n$  висока. Маса тахогенератора ТПП-3 = 0,8 кг. Установлений тахогенератор на кришці двигуна 4 і з'єднаний з його ротором муфтою.

Хвильовий редуктор 10 (передатне відношення  $i=102,5$ ; номінальний момент  $M_{ном}=100$  Нм) виконаний у такий спосіб (рис. 2.6). Вихідний вал 2 двигуна з'єднаний із вхідним (ведучим) валом-втулкою 5 редуктора за допомогою шпонкового з'єднання. Іншим кінцем вхідний вал 5 опирається на підшипник 14, встановлений у вихідному (відомому) валу редуктора 12. На вхідному валу 5 хвильового редуктора з радіальним зазором закріплений генератор хвиль редуктора, виконаний у вигляді кулачка 18 еліптичної форми (кулачковий генератор хвиль). Кулачок 18 з'єднаний з валом 5 за допомогою компенсуючої муфти 16, яка забезпечує самоустановку генератора хвиль у процесі роботи редуктора. На кулачку 18 напресований так званий гнучкий підшипник 17 (ГОСТ 23179–78). Внутрішнє кільце підшипника деформується за еліптичною формою кулачка. Зовнішнє кільце підшипника також деформується за еліптичною формою кульками підшипника, які розміщені в сепараторі. Гнучкий підшипник 17 вставлений в середину гнучкого зубчастого колеса 15 ( $Z_1=205$ ,  $m=0,4$ ) і в результаті гнучке зубчасте колесо випробовує такі ж деформації, як і зовнішнє кільце підшипника 17, тобто ухвалює форму еліпса.

Правий кінець гнучкого колеса 15 за допомогою тонкого денця жорстко з'єднаний з вихідним (відомим) валом 12 редуктора. Вал 12 встановлений у корпусі редуктора на підшипниках 13. Для регулювання осьового натягу підшипників передбачений гвинт для регуляції 11.

У процесі роботи хвильового редуктора обертання вихідного валу 2 електродвигуна 4 через шпонкове з'єднання передається вхідному (ведучому) валу-втулці 5 хвильового редуктора, від якого – кулачковому генератору хвиль 18. Обертовий генератор хвиль жене по периметру гнучкого зубчастого колеса хвилю деформацій. Причому в зонах зачеплення 1 і 2 (по кінцях великої піввісі кулачкового генератора хвиль) утворюються вершини хвиль деформації, у зонах між ними (по кінцях малої піввісі генератора хвиль) – западини хвиль деформації. За один оборот генератора хвиль гнучке колесо випробовує дві хвилі деформації.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 29   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |



## 2.5 Механізм врівноваження статичних моментів робота

Механізм врівноваження призначений для врівноваження статичних моментів від маси ланок механічної руки. На рисунку 2.7 представлена умовно розгорнута в площину кінематична схема врівноваження вертикального і горизонтального (спільно із захватом) ланок руки (рис. 2.7).

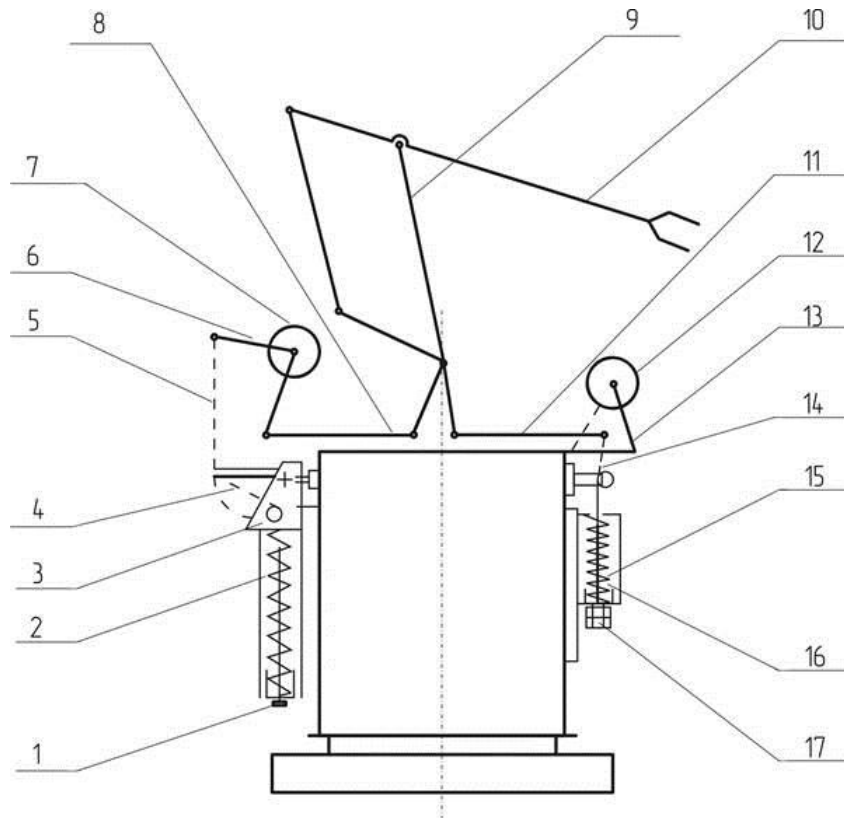


Рис. 2.7. Схема врівноваження механічної руки

Урівноваження горизонтальної ланки 10 проводиться за допомогою пружини 2, встановленої на поворотній платформі. Пружина 2 через передавальний механізм 3 ланцюгами 4 і 5 з'єднана з одним плечем Г-подібного кривошипа 6, встановленого на валу приводу 7 гойдання горизонтальної ланки. Друге плече кривошипа 6 пов'язане з шатуном 8. Зрівноваження статичного моменту, створюваного горизонтальною ланкою (спільно з механізмом орієнтації, захватом і вантажем, що переноситься), забезпечується практично постійною силою, створюваною пружинним механізмом на всьому діапазоні переміщення ланки. Зусилля встановлюється підтисканням пружини 2 за допомогою гайки 1.

Урівноваження вертикальної ланки 9 виробляється за допомогою пружини стиснення 16.

Шток пружини 15 за допомогою ланцюга 14 через перетворювач з'єднаний з пальцем кривошипа 13, встановленого на валу приводу гойдання вертикальної ланки 12. Кривошип 13 шарнірно з'єднаний з шатуном 11.

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 30   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

Пружина 16 встановлюється в корпус з незначним попередніми підтисканням. Робоче зусилля її вибрано з розрахунку урівноваження статичного моменту, створюваного ланками при максимальному відхиленні вертикального ланки від вертикалі. На штоку є різьблення, що дозволяє за допомогою гайок 17 міняти величину попереднього підтискання.

Урівноваження має бути налагоджене таким чином (встановлено тиск повітря і зусилля пружини), щоб в будь-якому положенні ланок маніпулятора не спостерігалось мимовільне їх переміщення.

## Висновки до розділу 2

В даному розділі дипломного проєкту проаналізована конструкція та кінематика промислового робота, який здатний виконувати роботи, що пов'язані із завантаженням міжцехового транспорту об'єктами виробництва на підприємствах легкої промисловості: взуттєвої, швейної тощо.

Визначені технічні характеристики та геометричні розміри робочої зони і діапазони переміщень ланок робота, що дозволяє визначити місце встановлення промислового робота біля конвеєра в цеху підприємств легкої промисловості.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 31   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ

### 3.1 Перевірочні розрахунки шестерні

#### Розрахунок шестерень на згин.

Зубчаті передачі механізму повороту є закритими передачами, тому одним з основних критеріїв їх роботи здатності є контактна міцність поверхневих слоїв зубів та міцність зубів та згин [17]:

$$G_{3z} = \frac{6,4 \cdot T_i}{y \cdot \kappa_v \cdot \psi \cdot z_i \cdot m_i^2} \cdot \frac{\kappa_{3z}}{\kappa_e}, \quad (3.1)$$

Приймаємо  $\kappa_{3z} = 1$ ;  $\kappa_e = 1$ .

Швидкісний коефіцієнт  $\kappa_v$ , визначається за формулою:

$$\kappa_v = \frac{P_n}{P_n + P_D}, \quad (3.2)$$

де  $P_n$  - номінальне навантаження;

$P_D$  - динамічне навантаження.

Номінальне навантаження визначається за формулою:

$$P_n = \frac{200 \cdot T_i}{m \cdot z}. \quad (3.3)$$

Динамічне навантаження визначається за формулою:

$$P_D = 0,25 \cdot V_0 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{A(\Delta - 5)}{i}}, \quad (3.4)$$

де  $V_0$  - колова швидкість шестерні, м/с;

$b$  - ширина шестерні, мм;

$A$  - міжцентрова відстань, мм;

$\Delta$  - величина відхилення основного кроку від номінального, залежить від степені точності зубчатих коліс. По ГОСТ 1643-50 для 7-ї степені точності  $\Delta = 18$  мкм.

Динамічне навантаження залежить перш за все від колової швидкості шестерні, тому розраховуємо швидкість для найбільш швидкохідних коліс:

$$V_0 = \frac{\pi d n}{1000 \cdot 60}, \quad (3.5)$$

$$V_0 = \frac{\pi d n}{1000 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 76 \cdot 250}{1000 \cdot 60} = 0,99 \text{ м/с.}$$

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 32   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Визначаємо динамічне навантаження  $P_D$ :

$$P_D = 0,25 \cdot 0,99 \cdot 40 \cdot \sqrt{\frac{144 \cdot (18-5)}{0,35}} = 727,8 \text{ Н};$$

Визначаємо номінальне навантаження  $P_H$ :

$$P_H = \frac{200 \cdot 187,65}{4 \cdot 19} = 493,8 \text{ Н}.$$

Визначаємо швидкісний коефіцієнт:

$$K_v = \frac{493,8}{493,8 + 727,8} = 0,4.$$

Визначаємо напруження згину:

$$\sigma_{зг} = \frac{6,4 \cdot 187,6}{4,2 \cdot 0,4 \cdot 10 \cdot 19 \cdot 4^2} = 23 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження згину  $[G_{зг}] = 320$  МПа. Таким чином, умови міцності на навантаження згину не перевищують допустимих і матеріал шестерень з огляду на умови міцності згину підібрано вірно.

Розрахунок шестерень на контактну міцність

Контактні напруження для сталевих циліндричних зубчатих коліс визначаємо за формулою [17]:

$$\sigma_{\kappa} = 10500 \frac{i+1}{A \cdot i} \sqrt{\frac{i+1}{b}} \cdot T_{\kappa} \leq [\sigma_{\kappa}], \quad (3.6)$$

де  $i$  – передаточне число зубчастої передачі ( $i \geq 1$ );

$A$  – міжосьова відстань, мм;

$b$  – ширина зубчастого вінця, мм;

$T_{\kappa}$  – крутний момент на валу, Нм,

$[\sigma_{\kappa}]$  – допустимі контактні напруження, МПа: для сталі 40Х (HRC 40...50) кгс/мм<sup>2</sup>:  $[\sigma_{\kappa}] = 1,7HRC + 20 = 1,7 \cdot 50 + 20 = 105 \text{ кгс} / \text{мм}^2 = 1050 \text{ МПа}$ .

Перевірку по контактним напруженням виконуємо для шестерень зубчатих передач, які працюють у найбільш навантажених умовах:  $i=1$ ;  $A=144$ ;  $b=40$  мм;  $T_{\kappa}= 516,8$  Н·м:

$$\sigma_{\kappa(10)} = 10500 \cdot \frac{1+1}{144 \cdot 1} \sqrt{\frac{1+1}{40}} \cdot 516,8 = 741,3 \text{ МПа}.$$

Так як допустиме контактне напруження найбільш навантаженої шестерні є меншим за допустиме контактне напруження  $[\sigma_{\kappa}] = 1050$  МПа, то умова міцності витримана.

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 33   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

### 3.2 Уточнений розрахунок валу

Уточнений розрахунок валів виконуємо як перевірочний для визначення коефіцієнтів запасу міцності у перерізах, що вважаються небезпечними, за формулою [17]:

$$S = \frac{S_\sigma \cdot S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} \geq [S], \quad (3.7)$$

де  $[S]$  - необхідний коефіцієнт запасу; для забезпечення міцності  $[S]=1,3\dots1,5$ , а для забезпечення жорсткості  $[S]=2,5\dots3$ ;

$S_\sigma$  і  $S_\tau$  - коефіцієнти запасу міцності відповідно по нормальним і дотичним напруженням.

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma} \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}, \quad (3.8)$$

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau} \tau_a + \psi_\tau \tau_m}. \quad (3.9)$$

де  $\sigma_{-1}$  і  $\tau_{-1}$  - межі витривалості матеріалу валу при симетричних циклах згинув і кручення;

$\sigma_a$ ,  $\tau_a$  - амплітуда циклів нормальних і дотичних напружень;

$\sigma_m$ ,  $\tau_m$  - середні напруження циклів нормальних і дотичних напружень;

$k_\sigma$ ,  $k_\tau$  - ефективні коефіцієнти концентрації напружень при навантаженнях;

$\varepsilon_\sigma$ ,  $\varepsilon_\tau$  - масштабні коефіцієнти;

$\psi_\sigma$ ,  $\psi_\tau$  - коефіцієнти впливу постійної складової циклу на втомленість валу.

Границя витривалості матеріалу валу при симетричних циклах навантаження для сталі 45:

$$\sigma_{-1} = (0,40\dots0,46) \cdot \sigma_\sigma, \quad (3.10)$$

де  $\sigma_\sigma$  - межа міцності на розтяг, для сталі 45,  $\sigma_\sigma = 610$  МПа.

$$\sigma_{-1} = 0,43 \cdot 610 = 262,3 \text{ МПа.}$$

$$\tau_{-1} = (0,55\dots0,85) \cdot \sigma_{-1}, \quad (3.11)$$

$$\tau_{-1} = 0,8 \cdot 262,3 = 209,8 \text{ МПа.}$$

Нормальні напруження змінюються за симетричним циклом і дорівнюють:

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 34   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

$$\sigma_a = \sigma_{32} = \frac{M_{32}}{W_K}, \quad (3.12)$$

де  $M_{32}$  і  $M_K$  - згинаючий і крутний момент у перерізі, що перевіряється, при згині та крученні.

Визначаємо сумарний згинаючий момент:

$$\Sigma M_A = \sqrt{\Sigma M_{ax}^2 + \Sigma M_{ay}^2} = \sqrt{15,75^2 + 0^2} = 15,75 \text{ Н};$$

$$\Sigma M_D = \sqrt{\Sigma M_{Dx}^2 + \Sigma M_{Dy}^2} = \sqrt{49,21^2 + 23,3^2} = 54,44 \text{ Н}.$$

Значення крутного моменту на валу  $M_{kp} = 103,9$  Н·м.

Моменти опору при згині у перерізах  $A$ ,  $D$ :

$$W_A = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 32^3}{32} = 3216,9 \text{ мм}^3 = 3,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Для перерізу  $D$  враховуємо в розрахунках шпонковий паз:

$$W_D = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{e \cdot t \cdot (d-t)^2}{2d} = \frac{3,14 \cdot 37^3}{32} - \frac{10 \cdot 5 \cdot (37-5)^2}{2 \cdot 37} = 4280,9 \text{ мм}^3 = 4,28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Нормальні напруження в даних перерізах:

$$\sigma_{aA} = \frac{M_A}{W_A} = \frac{15,75}{3,21 \cdot 10^{-6}} = 4,9 \cdot 10^6 \text{ Па} = 4,9 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{aD} = \frac{M_D}{W_D} = \frac{54,44}{4,28 \cdot 10^{-6}} = 12,71 \cdot 10^6 \text{ Па} = 12,71 \text{ МПа}.$$

Моменти опору при крученні:

$$W_A = \frac{\pi d^3}{16} = \frac{3,14 \cdot 32^3}{16} = 6433,98 \text{ мм}^3 = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$W_D = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{e \cdot t \cdot (d-t)^2}{2d} = \frac{3,14 \cdot 37^3}{16} - \frac{10 \cdot 5 \cdot (37-5)^2}{2 \cdot 37} = 9253,8 \text{ мм}^3 = 9,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Дотичні напруження у перерізах:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{\max}}{2} = \frac{T_{kl}}{W_k}, \quad (3.13)$$

$$\tau_{aA} = \frac{103,95}{6,4 \cdot 10^{-6}} = 16,24 \cdot 10^6 \text{ Па} = 16,2 \text{ МПа};$$

$$\tau_{aD} = \frac{103,95}{9,25 \cdot 10^{-6}} = 11,23 \cdot 10^6 \text{ Па} = 11,23 \text{ МПа}.$$

Вибираємо коефіцієнти для перерізів  $A$  і  $D$ :

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           | 35   |

Для А: Сталь 45,  $\sigma_g = 610 \text{ МПа}$ ,  $d = 32 \text{ мм}$ ,  $\kappa_\sigma = 2,15$ ,  $\kappa_\tau = 1,7$  [17, табл. 5.16],  
 $\varepsilon_\sigma = \varepsilon_\tau = 0,9$  [17, табл. 5.16],  $\psi_\sigma = 0,15$  [17, табл. 5.1],  $\psi_\tau = 0,1$  [17, табл. 5.1].

$$S_\sigma = \frac{262,3}{2,15 / 0,9 \cdot 4,9 + 0} = 22,4 ;$$

$$S_\tau = \frac{157,4}{1,7 / 0,9 \cdot 16,2 + 0,1 \cdot 16,2} = 4,88 ;$$

$$S = \frac{22,4 \cdot 4,88}{\sqrt{22,4^2 + 4,88^2}} = 2,55 > [S] .$$

Для D: Сталь 45,  $\sigma_g = 610 \text{ МПа}$ ,  $d = 32 \text{ мм}$ ,  $\kappa_\sigma = 2,15$ ,  $\kappa_\tau = 1,7$  [17, табл. 5.16],  
 $\varepsilon_\sigma = \varepsilon_\tau = 0,95$  [17, табл. 5.16],  $\psi_\sigma = 0,1$  [17, табл. 5.1],  $\psi_\tau = 0,1$  [17, табл. 5.1].

$$S_\sigma = \frac{262,3}{2,15 / 0,95 \cdot 9,25 + 0,1 \cdot 0} = 11,8 ;$$

$$S_\tau = \frac{157,4}{1,7 / 0,55 \cdot 11,23 + 0,1 \cdot 11,23} = 4,38 ;$$

$$S = \frac{11,8 \cdot 4,38}{\sqrt{11,8^2 + 4,38^2}} = 5,6 \geq [S] .$$

Виходячи з отриманих значень необхідних запасів міцності матеріал та діаметр валу підбрані вірно.

Перевіряємо діаметр за формулою:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{np}}{0,1 \cdot [\sigma_{-1}]}} , \quad (3.14)$$

$$M_{np} = \sqrt{M_{зг}^2 + 0,45 \cdot M_{кр}^2} , \quad (3.15)$$

$$M_{np} = \sqrt{54,4^2 + 103,95^2 \cdot 0,45} = 88,44 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{88,44}{0,1 \cdot 262,3}} = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ м} < d_{np} = 32 \text{ мм} .$$

Діаметр валу, виходячи з проведених розрахунків при згинаючих та крутних навантаженнях, прийнятий вірно і є більшим за мінімально допустимий при даних навантаженнях.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

### 3.3 Вибір та перевірка підшипників кочення

Розраховуємо підшипники кочення для валів на довговічність. Для цього потрібно визначити довговічність підшипників в мільйонах обертів:

$$L = \left( \frac{C}{P} \right)^p, \quad (3.16)$$

де  $p$  - степене вий показник, для кулькових підшипників  $p=3$ ;

$C$  – динамічна вантажопід'ємність, Н;

$P$  - еквівалентне навантаження, Н.

Еквівалентне навантаження розраховуємо за формулою:

$$P = XVK_r F_r + YF_a, \quad (3.17)$$

Розраховуємо довговічність підшипників на валу: на валу використовуємо підшипники радіальні 406 ГОСТ 8338-75:  $C=47000$  Н,  $C_0=26700$  Н.

Визначаємо еквівалентні сили, що діють на підшипники:

Осьова сила  $F_a = 0$ .

$$F_r = \sqrt{F_{r1}^2 + F_{r2}^2} = \sqrt{7133^2 + 78.9^2} = 7134 \text{ Н.}$$

Коефіцієнти  $V = K_\delta = K_T = 1$ ;  $x = 1$  [7].

$$P_1 = x \cdot F_r \cdot V \cdot K_\delta \cdot K_T = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 7134 = 7134 \text{ Н.}$$

Розраховуємо довговічність більш навантаженого підшипника:

$$L = \left( \frac{C}{P_1} \right)^p = \left( \frac{47000}{7134} \right)^3 = 285,9 \text{ млн. об.}$$

$n_1=500 \text{ хв}^{-1}$  – максимальна частота обертання на першому валу.

Довговічність в годинах:

$$L_h = \frac{10^6 L}{60 \cdot n} = \frac{10^6 \cdot 285.9}{60 \cdot 500} = 9669 \text{ год.}$$

Довговічність підшипників є задовільною, а тому прийняті підшипники можна вважати підібраними вірно.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 37   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |



### 3.4 Розрахунок шпонкових з'єднань

Основним перевірочним розрахунком шпонкових з'єднань є розрахунок шпонок на зминання, що здійснюється за умовами міцності на зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{2T_{кр}}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)} \leq [\sigma_{зм}], \quad (3.18)$$

де  $T_{кр}$  – крутний момент на валу, Н·м;

$d$  – діаметр валу, мм;

$h$  – висота шпонки, мм;

$t_1$  – глибина паза шестерні, м;

$l_p$  – робоча довжина шпонки, м.

Розраховуємо шпонкове з'єднання для валу: шпонка 10×8×28 ГОСТ 8789-68;  
 $t_1 = 3,3$  мм;  $T_{кр} = 103,95$  Н·м;  $d = 32$  мм.

$$\sigma_{зм} = \frac{2T_{кр}}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 103,95}{0,032 \cdot (0,008 - 0,005) \cdot 0,028} = 49,3 \text{ МПа} \leq [\sigma_{зм}] = 150 \text{ МПа} .$$

З вище приведених розрахунків можна зробити висновок, що отриманий результат сил зминання шпонок на валу є меншими за допустимий, а отже шпонка вибрана правильно і задовольняє умові міцності.

### Висновки до розділу 3

В даному розділі дипломного проекту розраховані основні елементи конструкцій промислового робота. Результати розрахунків показують, що вибрані конструктивні елементи значно менше допустимих, відповідно вибір конструктивних елементів виконаний вірно.

Параметри вибраних конструктивних елементів забезпечать надійну роботу промислового робота в транспортному ланцюгу промислового виробництва.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## Висновки

В даному дипломному проекті розглянутий процес завантаження (перезавантаження) міжцехового транспорту підприємств легкої промисловості з використанням робототехнічного пристрою за бази промислового робота-маніпулятора.

В першому розділі дипломного проекту проаналізовані різні види конструкцій спеціального обладнання роботів, проведено аналіз та запропоновано конструкцію, яка задовольняє поставленому завданню – підлоговий промисловий універсальний робот-маніпулятор, який здатний незалежно від людини виконувати досить складні завдання, що пов'язані з переміщенням та транспортуванням різних об'єктів, в тому числі при виконанні завантаження міжцехового транспорту на підприємствах легкої промисловості.

В другому розділі дипломного проекту визначені технічні характеристики та геометричні розміри робочої зони і діапазони переміщень ланок робота, що дозволяє визначити місце встановлення промислового робота біля конвеєра в цеху підприємств легкої промисловості. Представлена кінематична схема промислового робота. Представлені конструкції механізму повороту робота, електроприводів робота та конструкція механізму захвату. Розроблена 3D-модель робота.

В третьому розділі дипломного проекту проведені перевірочні розрахунки деяких конструктивних елементів даного робота.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 39   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## Список використаних джерел

1. Ковальов Ю.А. Аналіз об'єктів транспортування в логістичних системах взуттєвого виробництва / Ковальов Ю.А., Плешко С.А., Лавренчук В.І. // К.: Легка пром-сть. – 2016. – №2. – С. 29-31.
2. Ковальов Ю. А. Огляд та аналіз сучасних пристроїв для перевантаження об'єктів транспортування / Ковальов Ю.А., Плешко С.А. // К.: Легка пром-сть. – 2017. – №1. – С. 21-29.
3. Ивановский К. Е. Перегрузочные устройства конвейеров штучных грузов / К. Е. Ивановский, Оболенский А. С. – М. : Машиностроение, 1966. – 208 с.
4. Лапкин Ю. П. Перегрузочные устройства :[справочник] /Ю. П.Лапкин, А. Р. Малкович. – Л. : Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1984. – 224 с.
5. Вавилов В. И. Оборудование заготовочных цехов обувных фабрик: [учебник] В. И. Вавилов. – М. : Легкая индустрия, 1978. – 192 с.
6. Козырев Ю. Г. Промышленные роботы: [справочник]. – М.: Машиностроение, 1983. – 376 с.
7. Спыну Г.А. Промышленные роботы. Конструирование и применение: Учеб. пособие. / Спыну Г.А.- К.: 2-е изд., перераб. и доп. Выща шк., 1991. - 311 с.: ил.
8. Ковальов Ю.А. Стан і аналіз логістичних схем вантажопотоків взуттєвих підприємств / Ковальов Ю.А., Плешко С.А., Лавренчук В.І. // К.: Легка пром-сть. – 2016. – №2. – С. 29-31.
9. Жавнер В. Л. Погрузочные манипуляторы / В. Л. Жавнер, Э. И. . Крамской. – Л. : Машиностроение, 1976. – 157 с.
10. Ивановский К. Е. Перегрузочные устройства конвейерных линий. – Л.: Ленинград. Дом научно-технической пропаганды, 1964. – 36 с.
11. Ивановский К. Е. Теоретические основы перемещения штучных грузов. – М. : Машиностроение, 1969. – 166 с.
12. Лысова, О. С. Технические возможности промышленных роботов в легкой промышленности / О. С. Лысова, А. В. Локтионов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. — Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2009. - Ч. 1. — С. 151—152.
13. Козырев Ю. Г. Захватные устройства и инструменты промышленных роботов. – М.: КНОРУС, 2010. – 312 с.
14. Промышленные роботы в машиностроении. Альбом схем и чертежей / Под ред. Ю. М. Соломенцева. — М. : Машиностроение, 1987. — 140 с.
15. Н. В. Василенко. Основы робототехники / Н. В. Василенко, К. Д. Никитин, В. П. Пономарев, А. Ю. Смолин / – Томск: МГП "Раско", 1993. – 467 с.
16. Ануриев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х томах / В.И. Ануриев.: Машиностроение, 2003. – Электронный справочник.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           | 40   |

17. Чернавский, С.А. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб. пособие для учащихся машиностроительных специальностей техникумов [Текст] / С.А. Чернавский и др. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 416 с: ил.
18. Детали и механизмы роботов. Основы расчета, конструирование и технология производства / Под ред. Б.Б.Сомотокина. - Киев: Вища школа, 1990. - 343с.
19. Проць Я.І., Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів./ Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук ґ Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулля, 2011. ґ 344с.
20. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учеб. пособие / Ю.В.Подураев. - 2-е изд., стер. - М.: Машиностроение, 2007. - 256 с.
21. Иванов А.А . Основы робототехники: учеб. пособие /А.А.Иванов; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2011. - 200 с.
22. ГОСТ 9563-60. Основные нормы взаимозаменяемости. Колеса зубчатые. Модули.
23. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчеты на прочность.
24. ГОСТ 23360-78. Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки.
25. Азаров А.С. Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении. - М.-Л.: Машгиз, 1963. – 415 с.
26. Рабинович А. Н. Автоматическое ориентирование и загрузка штучных деталей. - К. : Техника, 1968. - 292 с.
27. Медвидь М.В. Автоматические ориентирующие загрузочные устройства и механизмы. М.: Машгиз, 1963. – 300 с.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | БП РПЗМТ 001.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 41   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## Додатки