

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»  
Завідувач кафедри  
машинобудування,  
мехатроніки і робототехніки  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА  
20 червня 2026 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
на тему:  
**Розробка конструкції дискового бункерного  
завантажувального пристрою для автоматизації  
токарної операції**

Виконав здобувач вищої освіти  
4 курсу групи ПМ-23мб-3  
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг  
технологій, робототехніка і 3D друк»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Володимир БОБРОВСЬКИЙ

Керівник роботи:  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Віталій МАЖАРА

Рецензент:  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Тимофій РУДЕНКО

## **Центральноукраїнський національний технічний університет**

Механіко-технологічний факультет

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма: Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

машинобудування, мехатроніки і  
робототехніки

канд. техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА

### **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти Бобровському Володимирі Васильовичу**

#### **Тема роботи:**

Розробка конструкції дискового бункерного завантажувального пристрою для автоматизації токарної операції

#### **Керівник роботи:**

канд. техн. наук, доцент Віталій МАЖАРА

Затверджено наказом ЦНТУ від 01 квітня 2026 року № 199-02.

#### **Строк подання роботи до захисту:**

20 червня 2026 р.

#### **Мета та завдання кваліфікаційної роботи:**

Мета: розробка конструкції ефективного дискового бункерного завантажувального пристрою, який забезпечить стабільну автоматичну подачу заготовок на токарний верстат, підвищить надійність процесу орієнтування та загальну продуктивність обробки.

Завдання: Виконати порівняльний аналіз способів орієнтування та подачі заготовок у дискових завантажувальних пристроях для виявлення найбільш раціональної схеми механізму. Розробити конструктивну схему та загальне компонування дискового бункерного завантажувального пристрою, узгоджену з робочою зоною токарного верстата. Провести необхідні кінематичні та силові розрахунки основних вузлів пристрою, включаючи розрахунок привода обертання диска та механізму відсікання.

**Календарний план**

| № з/п | Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи        | Строк виконання роботи | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------|------------------------|----------|
| 1     | Опрацювання навчальної літератури по тематиці роботи | 01.05.2026 р.          |          |
| 2     | Виконання загальної частини                          | 10.05.2026 р.          |          |
| 3     | Виконання технологічної частини                      | 20.05.2026 р.          |          |
| 4     | Виконання конструкторської розділу                   | 01.06.2026 р.          |          |
| 5     | Розробка креслеників                                 | 06.06.2026 р.          |          |
| 6     | Перевірка роботи на академічний плагіат              | 13.06.2026 р.          |          |
| 7     | Рецензування роботи                                  | 15.06.2026 р.          |          |
|       |                                                      |                        |          |
|       |                                                      |                        |          |

Дата видачі завдання  
13 квітня 2026 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_

Володимир БОБРОВСЬКИЙ

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Віталій МАЖАРА

## АНОТАЦІЯ

Бобровський В.В. Розробка конструкції дискового бункерного завантажувального пристрою для автоматизації токарної операції : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. В.А. Мажара. Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2026. 54 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Метою роботи є розробка конструкції ефективного дискового бункерного завантажувального пристрою, який забезпечить стабільну автоматичну подачу заготовок на токарний верстат, підвищить надійність процесу орієнтування та загальну продуктивність обробки.

Актуальність роботи зумовлена стратегічним напрямом розвитку вітчизняного машинобудування, зокрема переходом до безлюдних технологій та створення гнучких автоматизованих дільниць. У структурі технологічного циклу токарної обробки на частку допоміжних операцій, зокрема завантаження заготовок, припадає від 30 до 60% загального часу. Використання ручної праці на цьому етапі не лише знижує продуктивність дороговартісного обладнання з ЧПК, а й стає «вузьким місцем», що стримує темпи виробництва.

В роботі було виконано порівняльний аналіз способів орієнтування та подачі заготовок у дискових завантажувальних пристроях для виявлення найбільш раціональної схеми механізму; розроблено конструктивну схему та загальне компонування дискового бункерного завантажувального пристрою, узгоджену з робочою зоною токарного верстата; проведено необхідні кінематичні та силові розрахунки основних вузлів пристрою, включаючи розрахунок привода обертання диска та механізму відсікання.

**гнучке виробництво, завантаження верстатів, бункер, деталь, верстат**

## ANNOTATION

Volodymyr BOBROVSKYI. Development of a design for a disk hopper loading device for automating turning operations. Qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 131 Applied mechanics / Scientific supervisor Vitalii MAZHARA. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2026. 54 p.

Drawings – summary 3 sheets A1 format.

The aim of this work is to develop a design for an efficient disc-type hopper loader that will ensure a stable, automatic feed of workpieces to the lathe, improve the reliability of the positioning process, and increase overall machining productivity.

The relevance of this work stems from the strategic direction of domestic machine-building development, particularly the transition to unmanned technologies and the creation of flexible automated workstations. In the structure of the turning cycle, auxiliary operations—specifically workpiece loading—account for 30 to 60% of the total time. The use of manual labor at this stage not only reduces the productivity of expensive CNC equipment but also becomes a “bottleneck” that slows down production.

This study conducted a comparative analysis of methods for orienting and feeding workpieces in disc-type loading devices to identify the most efficient mechanism design; A structural diagram and general layout of the disc-type hopper loading device, coordinated with the working area of the lathe, were developed; the necessary kinematic and force calculations for the main components of the device were performed, including calculations for the disc rotation drive and the cutting-off mechanism.

**flexible manufacturing, machine utilization, hopper, part, machine tool**

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи на тему:

**Розробка конструкції дискового бункерного завантажувального  
пристрою для автоматизації токарної операції**

**КРБ.ПМ.26.70.23.00.00**

Виконав здобувач вищої освіти  
4 курсу групи ПМ-23мб-3  
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,  
робототехніка і 3D друк»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Володимир БОБРОВСЬКИЙ

Керівник роботи:  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Віталій МАЖАРА

Кропивницький 2026

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП                                                                                                                                                                             | 7  |
| 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА                                                                                                                                                                |    |
| 1.1 Аналіз існуючих конструкцій завантажувальних пристроїв<br>верстатів                                                                                                           | 10 |
| 1.2 Огляд механізмів орієнтації та їх розрахунок                                                                                                                                  | 13 |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА                                                                                                                                                            | 14 |
| 2.1 Характеристика деталі з точки зору особливості<br>автоматизованої її обробки                                                                                                  | 18 |
| 2.2 Розробка технології виготовлення га заданій операції, з<br>визначенням часу та продуктивності обробки                                                                         | 19 |
| 2.3 Аналіз особливостей вибраного верстата для автоматизації<br>(технічні характеристики верстату, придатність його до<br>автоматизації та необхідна для цього його модернізація) | 25 |
| 2.4 Розробка компонувальної схеми автоматизованої операції, її<br>будова та робота                                                                                                | 27 |
| 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА                                                                                                                                                         |    |
| 3.1 Кінематичні розрахунки засобу автоматизації, його<br>швидкодія, та складання кінематичної схеми                                                                               | 30 |
| 3.2 Розрахунок часу роботи засобу автоматизації, та розробка<br>циклограми роботи автоматизованої операції, оцінка її<br>продуктивності і якості вибраної схеми автоматизації     | 31 |
| 3.3 Функціональні розрахунки механізмів засобу автоматизації                                                                                                                      | 33 |
| 3.4 Силкові розрахунки механізмів                                                                                                                                                 | 37 |
| 3.5 Розрахунки на точність засобу автоматизації                                                                                                                                   | 48 |
| ВИСНОВКИ                                                                                                                                                                          | 50 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                                                                                                                                                        | 51 |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Актуальність теми зумовлена стратегічним напрямом розвитку вітчизняного машинобудування, зокрема переходом до безлюдних технологій та створення гнучких автоматизованих дільниць. У структурі технологічного циклу токарної обробки на частку допоміжних операцій, зокрема завантаження заготовок, припадає від 30 до 60% загального часу. Використання ручної праці на цьому етапі не лише знижує продуктивність дороговартісного обладнання з ЧПК, а й стає «вузьким місцем», що стримує темпи виробництва.

Дискові бункерні завантажувальні пристрої є одними з найбільш ефективних засобів автоматизації для масового та серійного виробництва деталей типу тіл обертання (валиків, втулок, дисків). Їх застосування дозволяє:

- забезпечити стабільний темп роботи верстата незалежно від втоми оператора;
- реалізувати концепцію багатOVERSTATного обслуговування;
- інтегрувати токарне обладнання в єдиний автоматизований логістичний ланцюг цеху. Розробка надійної конструкції дискового завантажувального пристрою є необхідною умовою для підвищення конкурентоспроможності механообробних дільниць та зниження собівартості одиниці продукції.

**Проблематика та стан питання.** Аналіз сучасного стану автоматизації показує, що попри відносно широке розповсюдження бункерних завантажувальних пристроїв, існує низка невирішених проблем, які обмежують їх ефективність. Основною технічною суперечністю є баланс між продуктивністю пристрою та надійністю орієнтування заготовок.

Основні проблеми, що існують на сьогодні:

- Низький коефіцієнт захоплення: при високих швидкостях обертання диска заготовки часто не встигають зайняти потрібне положення в гніздах, що призводить до «пропусків» у подачі.

- Пошкодження поверхонь: у процесі перемішування в навалі заготовки взаємодіють одна з одною та зі стінками бункера, що є критичним для деталей з високими вимогами до чистоти поверхні.
- Обмежена універсальність: більшість дискових пристроїв жорстко спроектовані під конкретний типорозмір деталі, а їх переналагодження потребує значних часових витрат.
- Складність орієнтування несиметричних деталей: заготовки з незначною зміною центру мас або ледь помітними конструктивними відмінностями (наприклад, фаска лише з одного боку) часто подаються в зону обробки невірною стороною, що спричиняє брак або поломку різального інструмента.

Сучасний стан питання характеризується активним впровадженням засобів адаптивного керування та пошуком нових геометричних форм захоплювальних органів (гнізд, пазів). Проте створення простої, відносно дешевої та надійної конструкції дискового БЗП для токарних операцій залишається пріоритетним завданням для інженерів-конструкторів.

**Техніко-економічні аспекти.** Впровадження дискового бункерного завантажувального пристрою несе ряд переваг:

- Підвищення продуктивності: скорочення часу допоміжних операцій на 15–25%.
- Економія фонду заробітної плати: можливість багатOVERстатного обслуговування одним оператором.
- Якість: виключення пошкоджень поверхні заготовок, що можливі при ручному завантаженні.
- Швидка окупність: завдяки відносно простій конструкції та високій надійності витрати на виготовлення пристрою компенсуються в стислі терміни.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес автоматичної подачі та орієнтування заготовок типу тіл обертання при виконанні токарних операцій.



**Предметом дослідження** є конструкція та параметри роботи дискового бункерного завантажувального пристрою, зокрема механізми захоплення, транспортування та відсікання заготовок.

**Метою роботи** є розробка конструкції ефективного дискового бункерного завантажувального пристрою, який забезпечить стабільну автоматичну подачу заготовок на токарний верстат, підвищить надійність процесу орієнтування та загальну продуктивність обробки.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі **завдання**:

1. Провести патентно-інформаційний пошук та аналіз існуючих конструкцій бункерних завантажувальних пристроїв для автоматизації токарних операцій.
2. Виконати порівняльний аналіз способів орієнтування та подачі заготовок у дискових завантажувальних пристроях для виявлення найбільш раціональної схеми механізму.
3. Розробити конструктивну схему та загальне компонування дискового бункерного завантажувального пристрою, узгоджену з робочою зоною токарного верстата.
4. Провести необхідні кінематичні та силові розрахунки основних вузлів пристрою, включаючи розрахунок привода обертання диска та механізму відсікання.
5. Визначити оптимальні геометричні параметри захоплювальних органів (гнізд) диска для забезпечення стабільного захоплення та надійного орієнтування заготовок.

Бакалаврську роботу виконуємо відповідно до вимог [6-7].

# 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз існуючих конструкцій завантажувальних пристроїв верстатів

У загальній структурі автоматизації технологічних циклів процес завантаження та вивантаження об'єктів обробки вважається одним із найбільш складних етапів. Це зумовлено високою варіативністю геометрії заготовок, їхніх габаритів та специфікою конкретних технологій. Варто зазначити, що існують конфігурації деталей, конструктивні особливості яких роблять впровадження автоматичного завантаження технічно неможливим.

З погляду автоматизації, технологічними вважаються такі заготовки, чий морфологічні ознаки дозволяють безперешкодно здійснювати їх захоплення, просторову орієнтацію та транспортування до зони обробки або складання.

Автоматичний завантажувально-розвантажувальний пристрій являє собою систему механізмів, призначену для автономного переміщення заготовки з накопичувача в робочу зону верстата, а також евакуації готового виробу (напівфабрикату) після завершення операції.

Попри свою ключову роль у забезпеченні автономності обладнання, завантажувальні пристрої класифікуються як допоміжні механізми. Це пояснюється тим, що вони безпосередньо не впливають на зміну фізико-механічних властивостей чи форми предмета праці. Конструктивно такі пристрої базуються на місткості (бункері або магазині) та наборі функціональних вузлів, серед яких:

- системи орієнтації та ворошителі;
- накопичувальні та приймальні лотки;
- відсікачі, живильники та штовхачі;
- приводи та розвантажувальні модулі.

Архітектура та логіка функціонування завантажувальних пристроїв безпосередньо залежать від характеристик заготовок, методу обробки та

конфігурації робочого простору обладнання. За типом концентрації запасу штучних деталей виділяють три основні категорії:

Магазинні пристрої наведено на рис. 1.1, а. У таких системах деталі розташовуються в один ряд. Кожна заготовка потребує попередньої ручної орієнтації перед укладанням. Транспортування до зони різання виконується живильником або безпосередньо з виходу накопичувача.

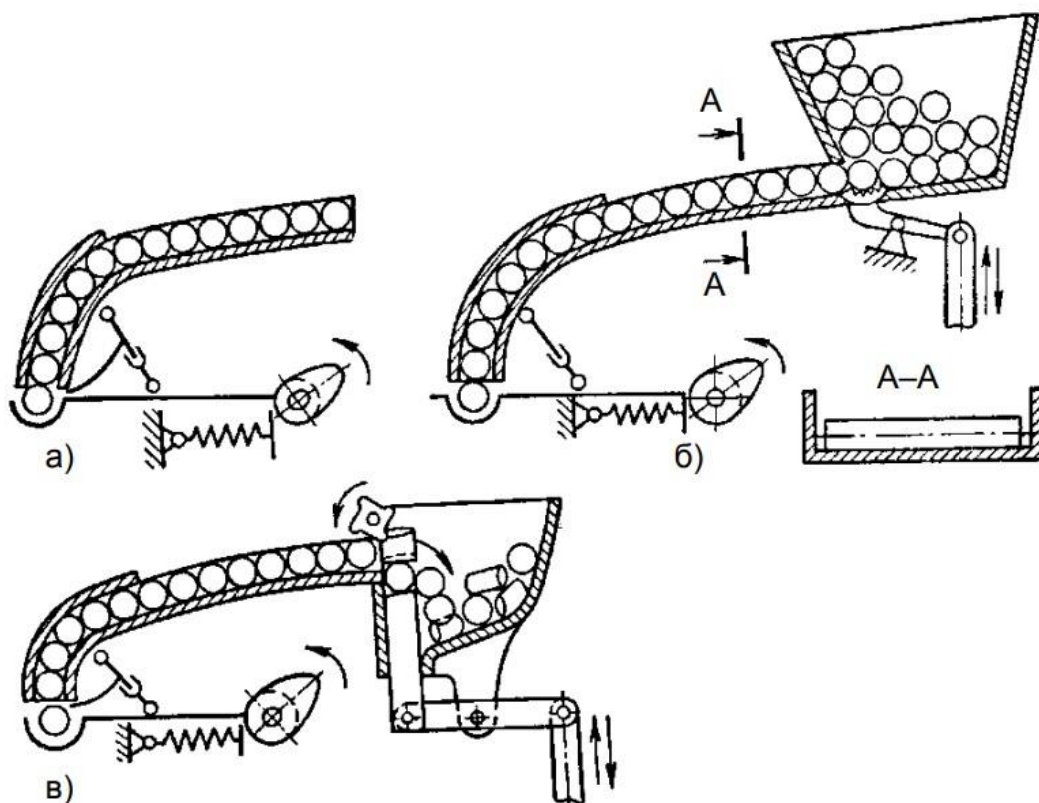


Рисунок 1.1 – Типи завантажувальних пристроїв:

а – магазинний пристрій; б – бункерно-магазинний пристрій;

в – бункерний пристрій

Бункерно-магазинні пристрої наведено на рис. 1.1, б. Відрізняються багаторядним (штабельним) розміщенням заготовок. Орієнтація деталей здійснюється вручну або за допомогою зовнішніх механізмів, що не є частиною самого пристрою. Приймальний лоток проектується з урахуванням габаритів заготовки, а подача в робочу зону реалізується через живильник.

Бункерні пристрої наведено на рис. 1.1, в. Передбачають завантаження деталей "навалом" з подальшою повністю автоматичною орієнтацією за допомогою внутрішніх механізмів пристрою.

Архітектура бункерних завантажувальних систем базується на поєднанні декількох ключових вузлів: накопичувальної місткості (власне бункера), пристрою для орієнтування деталей, захисних механізмів, проміжного накопичувача (магазину), а також відсікачів та засобів подачі (живильників).

Для систем, де застосовуються рухомі захватно-орієнтувальні органи, найчастіше використовують бункери наступних конфігурацій:

- циліндричні;
- конічні;
- ковшеподібні.

За компонуванням внутрішнього простору виділяють дві основні групи пристроїв:

1. Однокамерні бункери, у таких конструкціях процеси зберігання всього об'єму заготовок та їх безпосереднього захоплення (вибірки) відбуваються в єдиному об'ємі. Це спрощує конструкцію, але має певні експлуатаційні обмеження.

2. Двокамерні системи (з розподілом функцій), що складаються з двох взаємопов'язаних відсіків. Перший – передбункер, що призначений для розміщення основного масиву деталей. Другий – вибіркова камера (бункер), що слугує безпосередньо для роботи захватних механізмів. Заготовки переміщуються з накопичувальної секції до робочої поступово, під впливом гравітації. У деяких випадках передбункер проектується як окремий модуль і може встановлюватися вертикально для економії робочого простору.

Незважаючи на значне поширення однокамерних систем, вони характеризуються низкою технічних недосконалостей, які слід враховувати при проектуванні. Зокрема – нерівномірність тиску, коли велика маса заготовок створює значне навантаження на захватні органи, що може призвести до їх передчасного зносу або заклинювання.

Також існує ризик пошкодження, у процесі перемішування великого об'єму деталей можливе травмування їхніх поверхонь. Складність орієнтації при заповненому бункері рух захватних елементів може бути ускладнений через щільність навалу заготовок.

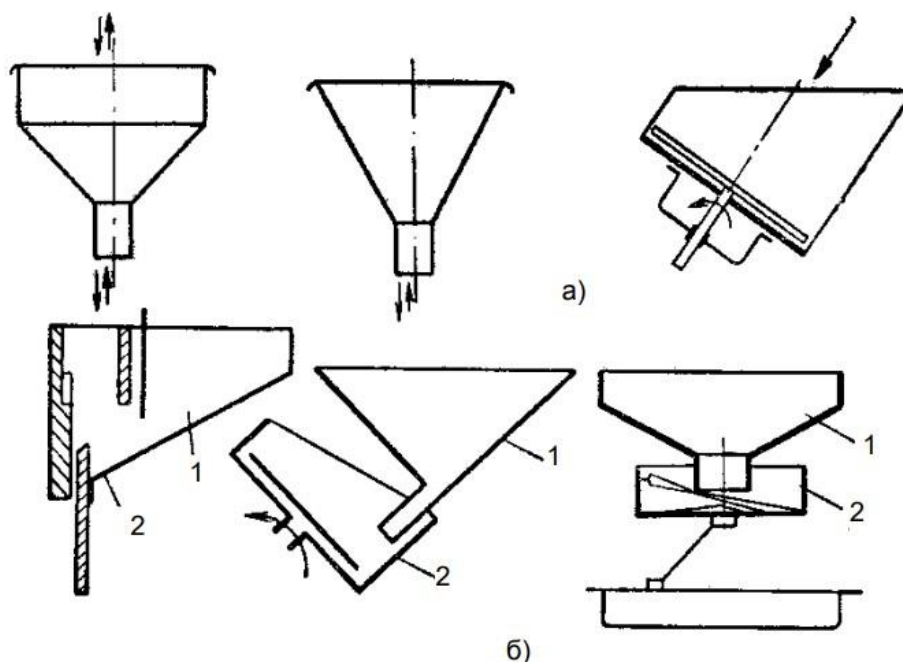


Рисунок 1.2 – Схеми бункерних пристроїв

## 1.2 Огляд механізмів орієнтації та їх розрахунок

Функціонування механізмів орієнтації спрямоване на вилучення заготовок із загальної маси та їх просторове впорядкування. Важливою особливістю є те, що цей процес забезпечує лише геометричну визначеність положення деталі, тоді як часова послідовність виходу залишається нерівномірною. Остаточна синхронізація подачі в часі (ритмічність) реалізується вже на етапі роботи живильника.

Оскільки початковий стан заготовок у бункері є хаотичним, процес їх захоплення та подальшого спрямування в накопичувач має випадковий

характер. З огляду на це, аналіз ефективності орієнтувальних вузлів доцільно проводити з використанням апарату теорії ймовірностей.

Попри неритмічність видачі окремих одиниць, на певних часових інтервалах можна визначити середню продуктивність механізму –  $Q_{\text{ср}}$ , яка є відносно стабільною величиною.

Для безперебійного функціонування верстата необхідна суворо регламентована кількість деталей, що подаються живильником –  $Q_{\text{п}}$ . Через вплив важкокерованих зовнішніх факторів на швидкість орієнтації, при проектуванні систем закладається принцип "роботи з надлишком":

$$Q_{\text{ср}} > Q_{\text{п}} \quad (1.1)$$

Рівень перевищення продуктивності (10%...35%) залежить від конструктивної складності заготовки та умов експлуатації обладнання. Така стратегія запобігає простою верстата у випадках випадкових затримок у бункері.

Надлишкова продуктивність створює ризик переповнення приймальних лотків та накопичувачів. Для запобігання заклинюванню та пошкодженню елементів конструкції передбачаються такі рішення, як використання запобіжних пристроїв. Це автоматичні системи, що призупиняють роботу захватних органів при заповненні накопичувача та відновлюють процес після звільнення місця для нових деталей. Також застосовують скидні механізми, як альтернативне рішення, що передбачає відведення зайвих, уже зорієнтованих заготовок у резервну ємність або назад у загальний бункер без зупинки основного приводу.

Для математичного опису ефективності роботи механізмів орієнтації використовують різні підходи залежно від типу видачі деталей.

Продуктивність систем із поштучною видачею. Для механізмів, що захоплюють та подають заготовки по одній одиниці за цикл, середня продуктивність визначається за формулою:

$$Q_{cp} = \frac{60 \cdot \eta \cdot p}{T_{ц}}, \quad (1.2)$$

де  $T_{ц}$  – тривалість одного повного циклу роботи механізму (с);

$\eta$  – коефіцієнт надійності захоплення (ймовірність того, що за один цикл буде успішно зорієнтована одна деталь);

$p$  – кількість захватних органів, що працюють паралельно.

Продуктивність систем із неперервним потоком (Вібробункери). У таких системах продуктивність залежить від лінійної швидкості руху деталей по лотку:

$$Q_{cp} = \frac{V_d \cdot \eta \cdot 60}{L}, \quad (1.3)$$

де  $v_d$  – середня швидкість переміщення заготовки по орієнтуючому лотку (мм/с);

$L$  – габаритний розмір заготовки в напрямку руху (мм);

$\eta$  – коефіцієнт ефективності орієнтації (враховує частку деталей, що повертаються в бункер через неправильне положення).

Вибір методу захоплення та алгоритму просторового впорядкування деталей безпосередньо залежить від їхніх геометричних параметрів, наявності елементів симетрії, а також фізико-механічних властивостей (жорсткості, схильності до зчеплення або крихкості). Процес орієнтації може бути як одностадійним, так і багатоступеневим.

Відповідно до встановленої класифікації штучних заготовок, їх поділяють на шість основних груп:

1. Сферичні деталі (рис. 1.3, а). Мають нескінченну кількість осей симетрії. Такі об'єкти не потребують спеціальної орієнтації, що максимально спрощує конструкцію бункера.

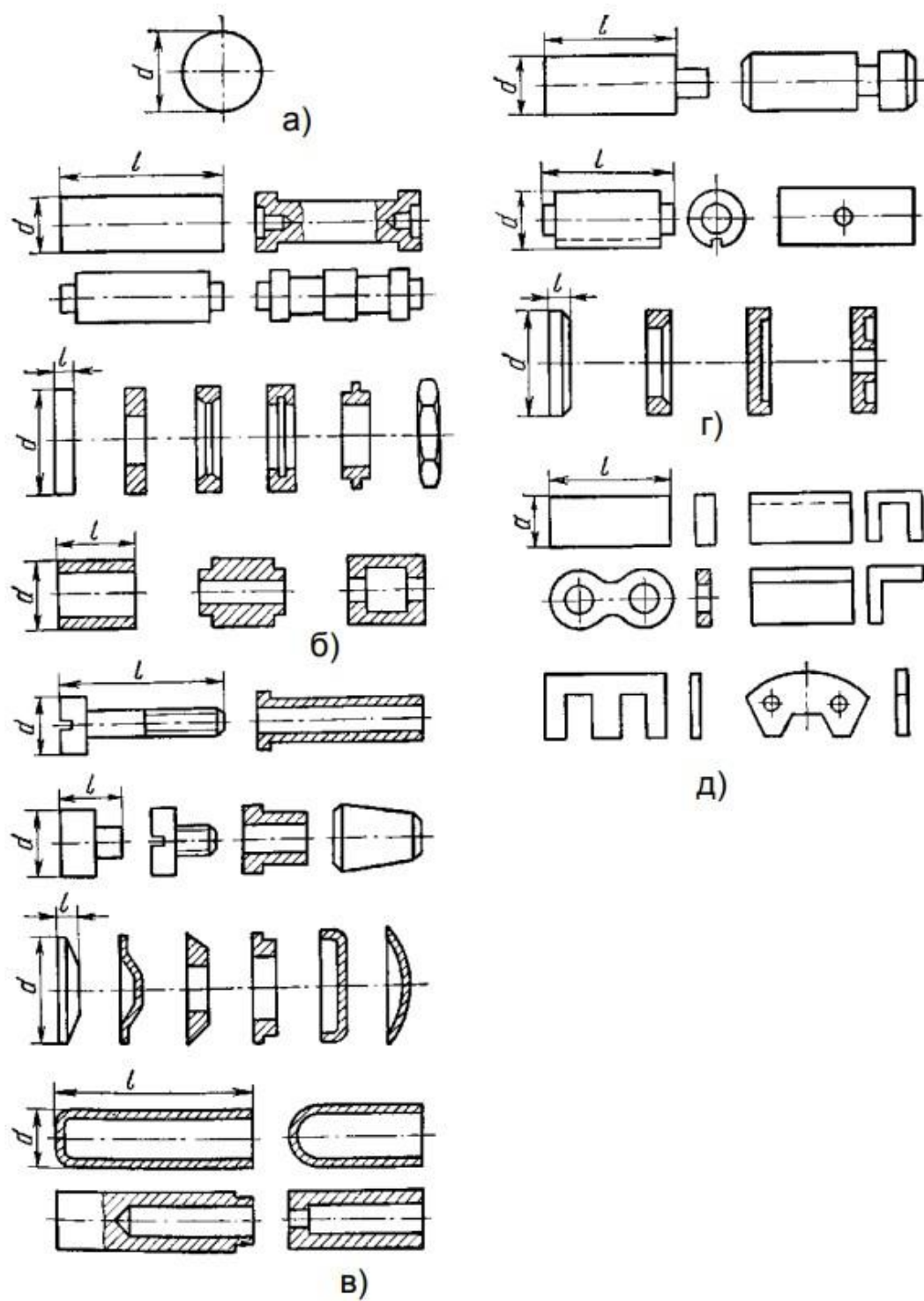


Рисунок 1.3 – Типы заготовок



2. Симетричні тіла обертання (рис. 1.3, б). Деталі з однією віссю симетрії та площиною симетрії, яка перпендикулярна до цієї осі. Орієнтування проводиться виключно вздовж осі обертання.

3. Несиметричні тіла обертання (рис. 1.3, в). Об'єкти, що мають лише вісь обертання без поперечної площини симетрії. Потребують подвійної орієнтації: спочатку за віссю, а потім відносно торців.

4. Тіла обертання з асиметричними елементами (рис. 1.3, г). Деталі, конструкція яких містить шпоночні пази, лиски або отвори. Залежно від складності геометрії, вимагають багаторазового орієнтування в кількох площинах.

5. Призматичні та пластинчасті заготовки (рис. 1.3, д). Якщо деталь симетрична відносно трьох взаємно перпендикулярних площин, процес впорядкування є технічно простим.

6. Заготовки, що не підлягають автоматичному орієнтуванню: До цієї групи відносять об'єкти, фізичний стан яких унеможлиблює роботу стандартних бункерів. Це недостатньо жорсткі або еластичні елементи (гумові прокладки, тонкий дріт) та деталі, схильні до взаємного зчеплення або сплутування (гачки, пружини, конічні порожнисті деталі).

Для виробів шостої групи автоматизація завантаження через бункери є недоцільною. Оптимальним рішенням є їх виготовлення безпосередньо на автоматичних лініях з подальшим транспортуванням між операціями в жорстко зафіксованому (базованому) стані без втрати орієнтації.

## **2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА**

### **2.1 Характеристика деталі з точки зору особливості автоматизованої її обробки**

Основним фактором, який визначає особливості автоматизації даної деталі та впливає на працемісткість її обробки, є технологічність деталі, тобто комплекс властивостей конструкції деталі, які дозволяють застосовувати при її виготовлення найбільш досконалі технологічні процеси та обладнання, а також забезпечувати високу якість при мінімальних витратах праці та часу.

Деталь-маточина шків вентилятора виготовлена з легованої сталі 40Х по ГОСТ 4543-71 і відноситься до технологічного класу „втулка”. З точки зору механічної обробки конструкція маточина дозволяє вільний доступ різального інструменту під час обробки кожної поверхні. Жорсткість маточини допускає отримання високої точності обробки.

Деталь має зручні технологічні бази, які дозволяють надійно збазувати і закріпити деталь при механічній обробці. В конструктивному відношенні деталь має просту геометричну форму, що дуже важливо при обробці її на токарному верстаті з ЧПК. На підставі вищесказаних показників можна зробити висновок, що деталь технологічна і дозволяє вести її обробку високопродуктивними методами.

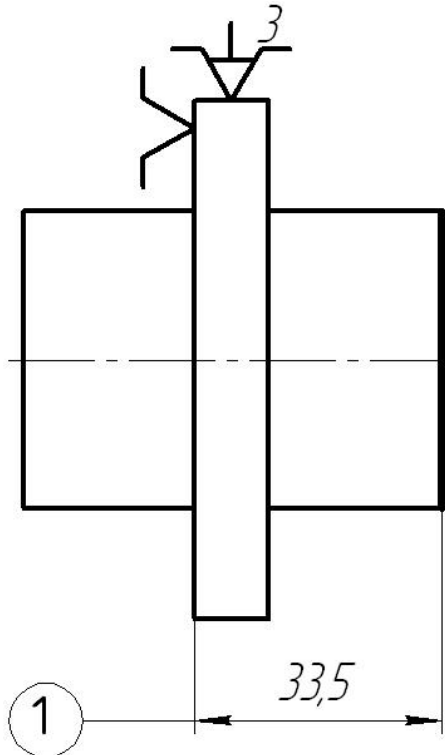
## 2.2 Розробка технології виготовлення га заданій операції, з визначенням часу та продуктивності обробки

Технологічний процес заданої операції

010 Токарна з ЧПК

Токарний з ЧПК мод. 16K20T1.02

Перехід 1. Підрізати торець, витримавши розмір 1.



Глибина різання –  $t = 0.5$  мм;

Подача –  $S_o = 0.14$  мм/об [8];

Швидкість різання –  $v = 41$  м/хв. [8];

Частота обертання визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 41}{3.14 \cdot 42} = 309 \text{ об/хв.}$$

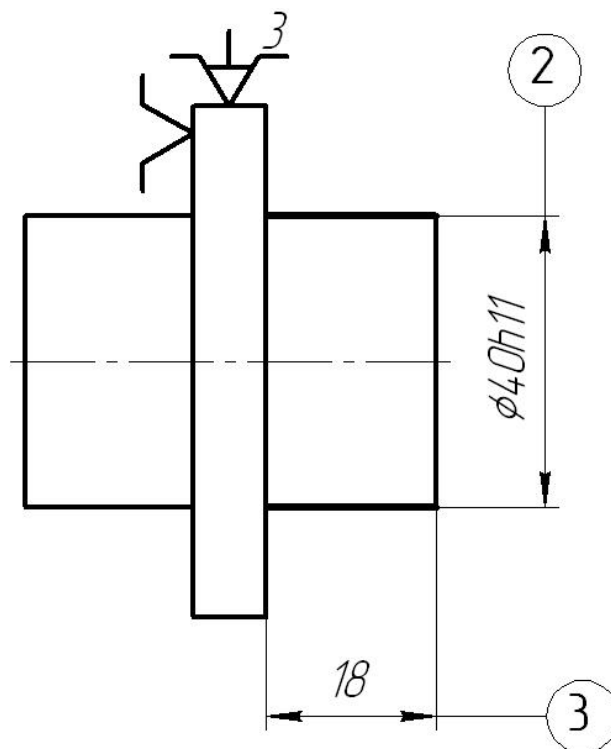
Приймаємо  $n_{\phi} = 310$  об/хв.

Встановлюємо основний час автоматичної роботи верстата по програмі:

$$T_o = \frac{L}{n_\phi \cdot S_o} = \frac{25}{310 \cdot 0.14} = 0.58 \text{ хв.}$$

де  $L = l + (l_1 + l_2)$ ;  $l$  – довжина обробки;  $l_1 + l_2$  – величина врізання та перебігу.

Перехід 2. Точити зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри 2,3.



Глибина різання:

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{42 - 40}{2} = 1 \text{ мм;}$$

Подача –  $S_o = 0.14 \text{ мм/об}$  [8];

Швидкість різання –  $v = 41 \text{ м/хв.}$  [8];

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 41}{3.14 \cdot 42} = 309 \text{ об/хв.}$$

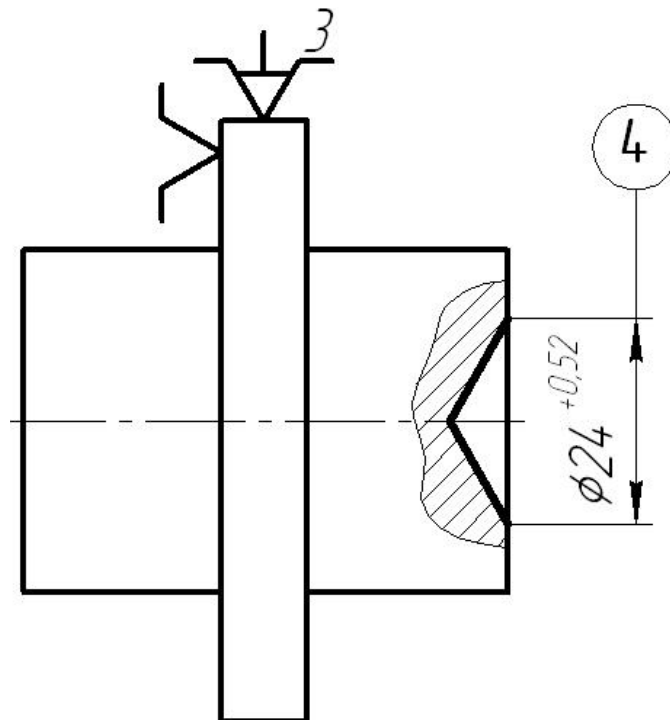
Приймаємо  $n_{\phi} = 310 \text{ об/хв.}$

Основний час автоматичної роботи верстата по програмі:

$$T_o = \frac{L}{n_{\phi} \cdot S_o} = \frac{22}{310 \cdot 0.14} = 0.51 \text{ хв.}$$

$$L = 18 + (2 + 2) = 22 \text{ мм.}$$

Перехід 3. Зацентрувати торець, витримавши розмір 4.



Глибина різання:

$$t = \frac{D}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ мм;}$$

Подача –  $S_o = 0.14$  мм/об [5];

Швидкість різання –  $v = 41$  м/хв. [5];

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 41}{3.14 \cdot 24} = 544 \text{ об/хв.}$$

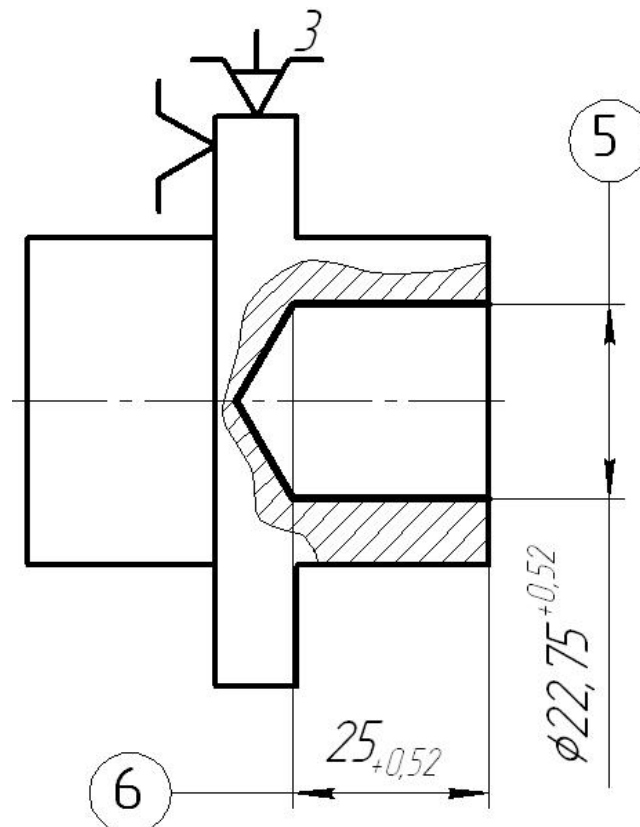
Користуючись довідниковими даними та досвідом обробки таких поверхонь, приймаємо  $n_\phi = 310$  об/хв.

Основний час автоматичної роботи верстата по програмі:

$$T_o = \frac{10}{310 \cdot 0.14} = 0.23 \text{ хв.}$$

$$L = 5 + 5 = 10 \text{ мм.}$$

Перехід 4. Свердлити отвір, витримавши розміри 5,6.



Визначаємо глибину різання:

$$t = \frac{D}{2} = \frac{22.75}{2} = 11.4 \text{ мм};$$

Подача –  $S_o = 0.14$  мм/об [5];

Швидкість різання –  $v = 41$  м/хв. [5];

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 41}{3.14 \cdot 22.75} = 574 \text{ об/хв.}$$

Користуючись довідниковими даними та досвідом обробки таких поверхонь, приймаємо  $n_\phi = 530$  об/хв.

Основний час автоматичної роботи верстата по програмі:

$$T_o = \frac{29}{530 \cdot 0.14} = 0.66 \text{ хв.}$$

$$L = 25 + 4 = 29 \text{ мм.}$$

Тож, можемо встановити сумарний основний час автоматичної роботи верстата по програмі:

$$\sum T_o = 0.58 + 0.51 + 0.23 + 0.66 = 1.98 \text{ хв.}$$

Машинно-допоміжний час становить:

$$\sum T_{\text{мд}} = 0.083 + 0.05 + 0.087 = 0.22 \text{ хв.}$$

Час циклу автоматичної роботи верстата по програмі:

$$T_{\text{ца}} = \sum T_o + \sum T_{\text{мд}} = 1.98 + 0.22 \text{ хв.}$$

Визначаємо норму штучного часу за формулою:

$$T_{\text{ш}} = (T_{\text{ца}} + T_{\text{д}}) \cdot \left( 1 + \frac{\alpha_{\text{мех}} + \alpha_{\text{орг}} + \alpha_{\text{отл}}}{100} \right), \quad (2.1)$$

Допоміжний час складається з елементів вибір яких здійснюється по [5]:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{д.уст}} + T_{\text{д.оп}} + T_{\text{д.вим}}, \quad (2.2)$$

Допоміжний час на встановлення та зняття деталі [8]:

$$T_{\text{д.уст}} = 0.27 \text{ хв.}$$

До структури допоміжного часу, що безпосередньо супроводжує виконання операції ( $T_{\text{д.оп.}}$ ), входять витрати часу на запуск та зупинку верстатного обладнання, здійснення контролю за поверненням різального інструменту у вихідну позицію після завершення циклу, а також маніпуляції з монтажу та демонтажу захисного екрана, призначеного для запобігання розбризкуванню охолоджувальної емульсії [8].

$$T_{\text{д.оп}} = 0.15 + 0.03 = 0.18 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на контрольні вимірювання  $T_{\text{д.вим.}}$  враховує час на два заміри штангенциркулем та один замір калібрпробкою [8].



$$T_{\partial.вум} = (0.11 + 0.13) + 0.05 = 0.29 \text{ хв.}$$

Сумарний допоміжний час становить:

$$T_{\partial} = 0.27 + 0.18 + 0.29 = 0.74 \text{ хв.}$$

Витрати часу, призначені для організаційного й технічного обслуговування робочої зони, а також фіксована тривалість перерв на відпочинок і природні потреби персоналу, встановлюються у відсотковому співвідношенні відносно загальної величини оперативного часу [8].

$$\alpha_{tex} + \alpha_{орг} + \alpha_{отл} = 8\% \quad (2.3)$$

Кінцева норма штучного часу дорівнює:

$$T_{шт} = (22 + 0.74) \cdot (1 + 0.08) = 3.18 \text{ хв.}$$

### **2.3 Аналіз особливостей вибраного верстата для автоматизації (технічні характеристики верстату, придатність його до автоматизації та необхідна для цього його модернізація)**

Токарний верстат 16K20T1.02 призначений для токарної обробки в замкненому напівавтоматичному циклі деталей типу тіл обертання із ступінчатим та криволінійним профілем (валів, осей, маточин, фланців, кришок, шківів, зубчастих коліс та ін.). На ньому виконують зовнішнє та внутрішнє точіння, свердлення, зенкерування, розверстування, цекування,

нарізання зовнішніх різьб різцями та плашками, а також внутрішніх різьб різцями та мітчиками [10-19].

Верстат обладнаний пристроєм ЧПК „ЕлектронікаНЦ-31” з вводом програми обробки заготовки з клавіатури, або касети зовнішньої пам’яті.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика верстату 16K20T1.02

|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над станиною, мм | 500        |
| Найбільший діаметр виробу, що оброблюється над супортом, мм   | 220        |
| Висота різця, що встановлюється в різцетримачі, мм            | 25         |
| Кількість керуємих координат                                  | 2          |
| Найбільша довжина виробу, що встановлюється, мм               | 1000       |
| Найбільша довжина обробки, мм                                 | 905        |
| Кількість ступенів частот обертання шпинделя                  | 22         |
| Межі частот обертання, об/хв                                  | 22.4-2240  |
| Діапазон подач, мм/об                                         |            |
| повздовжніх                                                   | 0.01-2.8   |
| поперечних                                                    | 0.005-1.4  |
| Максимальна швидкість робочої подачі, мм/хв (мм/об)           |            |
| повздовжньої                                                  | 2000(2.8)  |
| поперечної                                                    | 1000(1.4)  |
| Швидкість швидких ходів, не менше, мм/хв                      |            |
| повздовжньої                                                  | 7500       |
| поперечної                                                    | 5000       |
| Межі кроків різьб, що можуть нарізатися, мм                   | 0.01-40.95 |
| Дискретність, мм                                              |            |
| повздовжня (по Z)                                             | 0.01       |
| поперечна (по X)                                              | 0.005      |
| Число позицій поворотного різцетримача                        | 6          |

### Продовження таблиці 2.1

|                                |                |
|--------------------------------|----------------|
| Потужність електродвигуна, кВт | 11             |
| Габаритні розміри верстата, мм | 3960×1700×1700 |
| Маса верстата (без УЧПК), кг   | 3800           |

Застосування токарного верстату з ЧПК моделі 16K20E1.02 для автоматизації процесу завантаження деталі дуже доцільне, тому що автоматизується керування циклом обробки, з'являється можливість багатOVERSTATного обслуговування, зменшується виробничий цикл, збільшується доля машинного часу в основному технологічному часі, підвищується точність обробки. Взагалі, токарні верстати з ЧПК дуже гнучкі при виготовленні деталей і не потребують значної модернізації.

### **2.4 Розробка компоувальної схеми автоматизованої операції, її будова та робота**

В зв'язку з тим, що заготовка має просту геометричну форму, невелику вагу та розміри, доцільно застосувати для завантаження на токарний верстат з ЧПК дисковий бункерний завантажувальний пристрій кишенькового типу.

Дисковий бункерний завантажувальний пристрій з захватними органами типу кишеньок (рис. 2.1), в якій розміщені всі необхідні робочі органи та накопичений певний запас заготовок. Бункер 1 виконаний з листової сталі та закріплений на нерухомому диску 2. Нерухомий диск 2 механізму змонтований на корпусі черв'ячного редуктора 3. Рухомий (захватний) диск 4 закріплено на вісі 5 черв'ячного редуктора. В диску 4 по колу розташовані пазы (кишені) 6, за допомогою яких здійснюється захват заготовок [23-30].

В конструкції передбачено ряд заходів, забезпечуючих сприятливе для захвату положення заготовок в бункері. По-перше, механізм захвату та

орієнтації встановлюється під кутом  $45^\circ$  до горизонту. Крім цього, в дисковому кишеньковому механізмі передбачено диск-ворушитель 7, який сприяє кращому заповненню кишеньок заготовками. Обидва диски (захватний 4 та ворушительний 7) приводяться до руху від одного приводу через черв'ячну передачу.

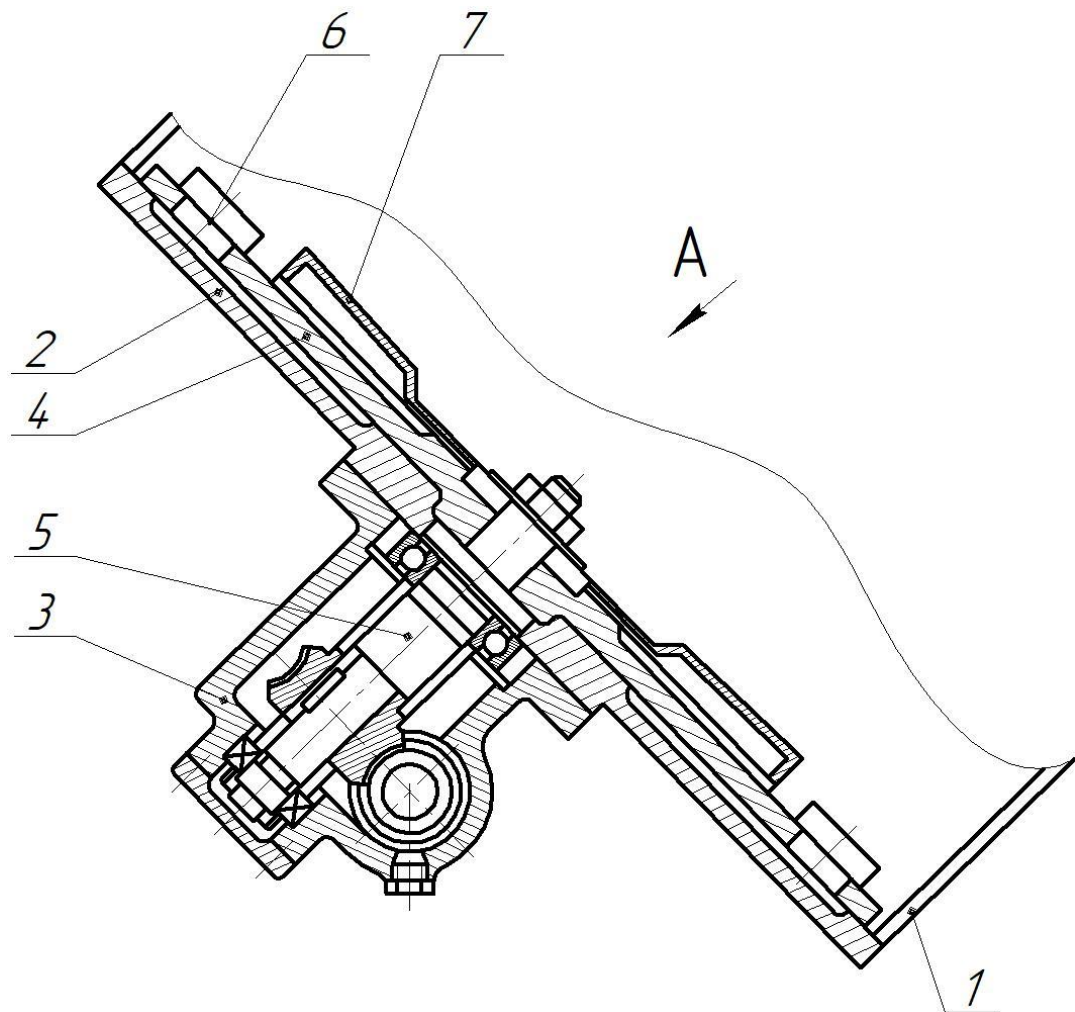


Рисунок 2.1 – Дисковий кишеньковий механізм

*Вид А*

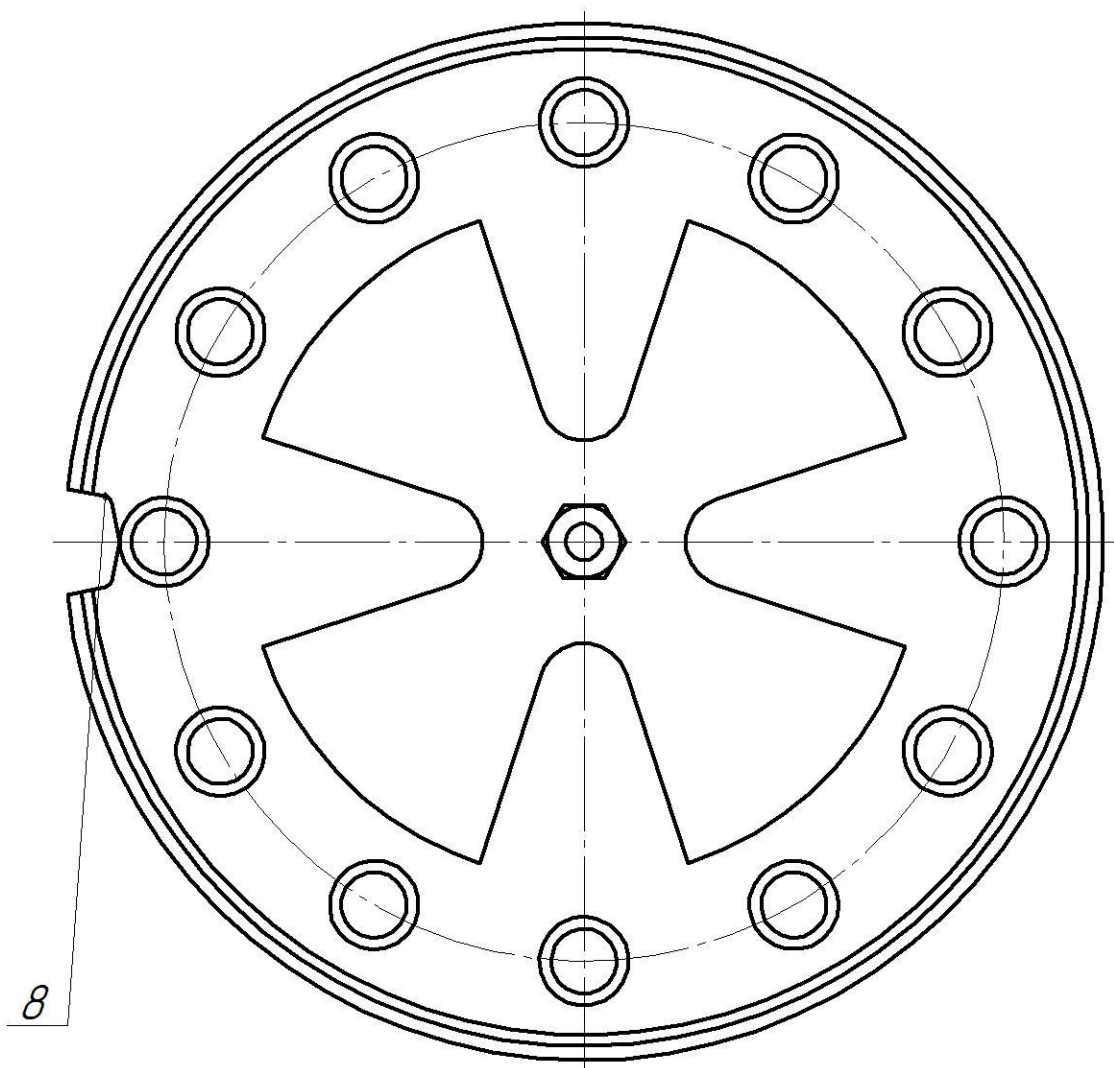


Рисунок 2.2 – Дісковий кишеньковий механізм (Вид А)

Працює механізм наступним чином:

Заготовки завантажуються в бункер 1 на поверхню диску 4.

При обертанні диску 4 та за допомогою ворухителя 7 заготовки заповнюють кишені 6. Заготовки, що потрапили у кишені, видаються в лоток-накопичувач крізь приймальне вікно 8 у нерухомому диску.

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Кінематичні розрахунки засобу автоматизації, його швидкодія, та складання кінематичної схеми

Деталь ковзається до вікна що рухається, під впливом сили ваги по площині, нахиленій до горизонту під кутом  $\alpha_d$ , та має лінійну швидкість при підході до кишені, рівну  $v_o$ . Кишеня рухається з постійною окружною швидкістю  $v_{окр}$  в площині перпендикулярній напрямку швидкості  $v_o$ . Нехай довжина деталі  $h$ . Звісно, що для можливого западання деталі у кишеню необхідно щоб довжина кишені була більше діаметру деталі на деяку відстань  $\Delta b$ . Величина  $\Delta b$  повинна бути такою, щоб при русі кишені на протязі шляху  $\Delta b$  деталі встигли увійти у кишені на приблизну глибину  $\Delta h$ , що забезпечує захват деталі кишенею [20-22].

Визначаємо відстань (зазор)

$$\Delta b \geq v_{окр} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h}{h \cdot (\sin \alpha_o - \int \cos \alpha_o)}} \quad (3.1)$$

$$\Delta b = 10 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{50 \cdot (\sin 45^\circ - 0.1 \cdot \cos 45^\circ)}} = 2.8 \text{ мм}$$

де  $v_{окр} = 10$  м/хв – лінійна швидкість при підході до кишені [5].

Швидкість засобу автоматизації

$$t = \frac{\Delta b}{v_{окр}} = \frac{2.8}{10} = 0.28 \text{ хв.} \quad (3.2)$$

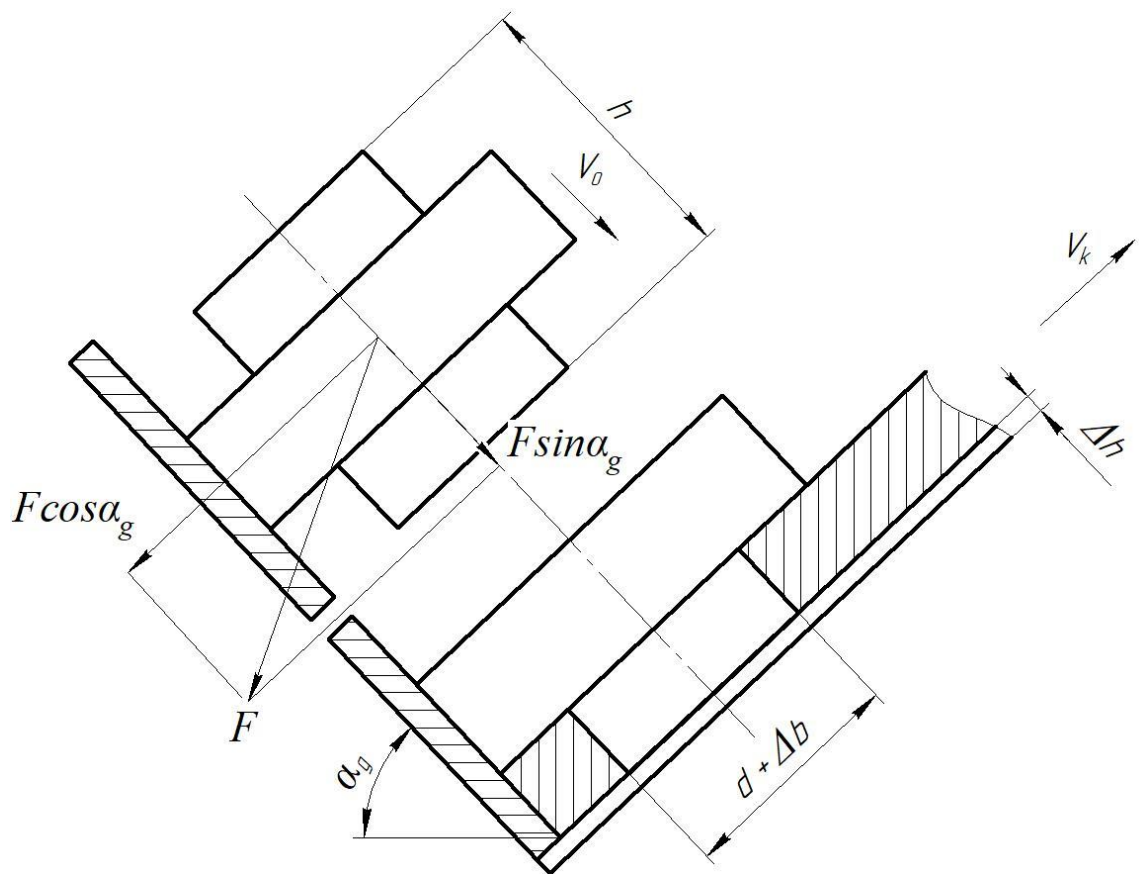


Рисунок 3.1 – Кінематична розрахункова схема

### 3.2 Розрахунок часу роботи засобу автоматизації, та розробка циклограми роботи автоматизованої операції, оцінка її продуктивності і якості вибраної схеми автоматизації

Визначаємо продуктивність засобу автоматизації:

$$Q = Z \cdot n. \quad (3.3)$$

де  $Z$  – кількість кишеньок в диску;

$n$  – частота обертання диска.

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 10}{3.14 \cdot 470} = 7 \text{ об/хв.}$$

Тож

$$Q = 12 \cdot 7 = 84 \text{ шт./хв.}$$

Технологічний цикл одного захвату дискового бункерного завантажувального пристрою дорівнює сумі інтервалів циклу:

$$T_{\text{техн}} = \sum t \quad (3.4)$$

Технологічний цикл одного захватного органу:

$$T_{\text{техн}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad (3.5)$$

де  $t$  – час підготовки до затискання;  $t_2$  – час на затискання;  $t_3$  – час підготовки до видачі деталі;  $t_4$  – час видачі в лоток;  $t_5$  – час холостого ходу.

Згідно рекомендацій [4], маємо:

$$T_{\text{техн}} = 3 + 2 + 1 + 1 + 0.8 = 7.8 \text{ с} = 0.13 \text{ хв.}$$

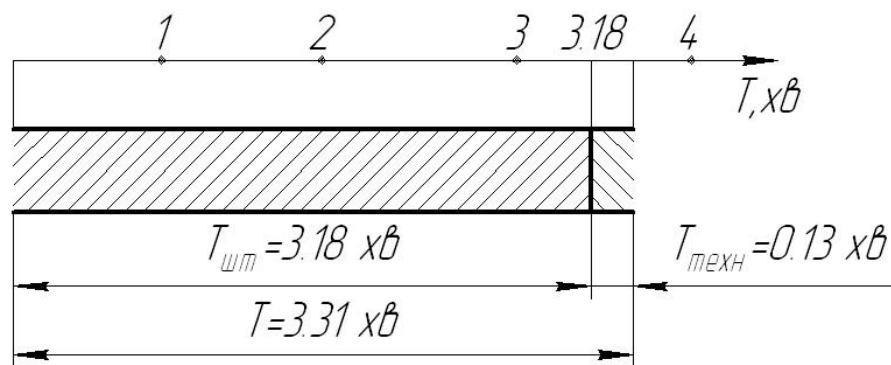


Рисунок 3.2 – Циклограма автоматизованої операції



### 3.3 Функціональні розрахунки механізмів засобу автоматизації

Для переміщення заготовок від дискового бункерного завантажувального пристрою до верстату використовуємо прямий простий лоток згідно рекомендацій [3].

#### Розрахунок лотка

Розрахунок лотка зводиться до розрахунку його геометричних параметрів.

1. Визначаємо ширину прямолінійного лотка (робочого простору) для деталі:

$$B = L_p + \Delta \quad (3.6)$$

де  $L_p$  – довжина заготовки;

$\Delta$  - зазор між заготовкою та бортами лотка.

Спираючись на рекомендації [9] та [4, стор. 90] для циліндричних заготовок з бортом та плоскими торцями:

$$\Delta = \left( \frac{\sqrt{1 + \left( \frac{L_p}{d_p} \right)^2}}{\sqrt{1 + f^2}} - \frac{L_p}{d_p} \right) \cdot d_p. \quad (3.7)$$

де  $L_p$  – розрахункова довжина заготовки, мм;

$f$  – коефіцієнт тертя заготовки об борт ( $f = 0.1 \div 0.2$ );

$d_p$  – розрахункова величина, яка визначається на підставі креслення заготовки по формулам [3, стор. 17, табл. 1].

Відповідно, для нашої деталі:

$$d_p = d - a = 75 - 16.5 = 58.5 \text{ мм.}$$

Відповідно до залежності 3.7, маємо:

$$\Delta = \left( \frac{\sqrt{1 + \left( \frac{50}{58.5} \right)^2}}{\sqrt{1 + 0.15^2}} - \frac{50}{58.5} \right) \cdot 58.5 = 2 \text{ мм.}$$

Відповідно до залежності 3.6, маємо:

$$B = 50 + 2 = 52 \text{ мм.}$$

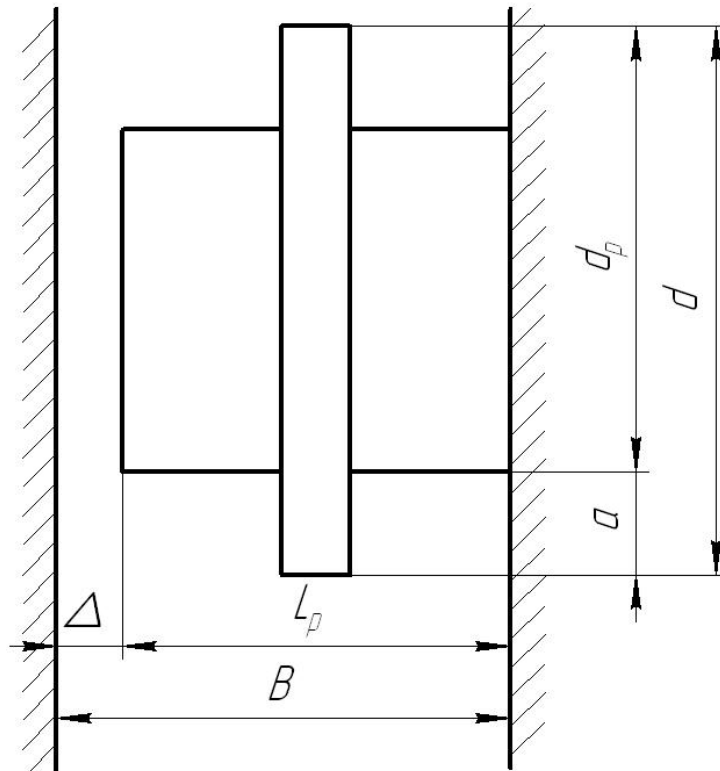


Рисунок 3.3 – Схема для визначення  $d_p$

## Розрахунок бункера

Об'єм бункера (робочої порожнини) визначається тим необхідним запасом заготовок, який повинен вміщуватись для забезпечення безперервної роботи завантажувального пристрою на протязі розрахункового періоду часу:

$$V_{\delta} = \frac{1}{E'} \cdot V_0 \cdot Q \cdot T \quad (3.8)$$

де  $V_0$  – об'єм деталі по зовнішньому контуру,  $\text{м}^3$ ;

$Q$  – продуктивність засобу автоматизації, шт/хв.;

$T$  – час безперервної роботи (без досипання) завантажувального пристрою;

$E'$  – коефіцієнт заповнення об'єму  $E' = 0.73$  [4, стор. 171];

Визначаємо об'єм деталі:

$$V_0 = V_1 + V_2 + V_3 \quad (3.9)$$

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot l}{4} \quad (3.10)$$

Використовуючи залежність 3.10, отримуємо:

$$V_1 = \frac{0.042^2 \cdot 3.14 \cdot 0.020}{4} = 0.000027695 \text{ м}^3$$

$$V_2 = \frac{0.075^2 \cdot 3.14 \cdot 0.010}{4} = 0.000044156 \text{ м}^3$$

$$V_3 = V_1 = 0.000027695 \text{ м}^3$$

Використовуючи залежність 3.9, отримуємо:

$$V_0 = 0.000027695 + 0.000044156 + 0.000027695 = 0.000099546 \text{ м}^3$$

Використовуючи залежність 3.8, маємо:

$$V_\delta = \frac{1}{0.73} \cdot 0.000099546 \cdot 84 \cdot 120 = 0.99 \text{ м}^3$$

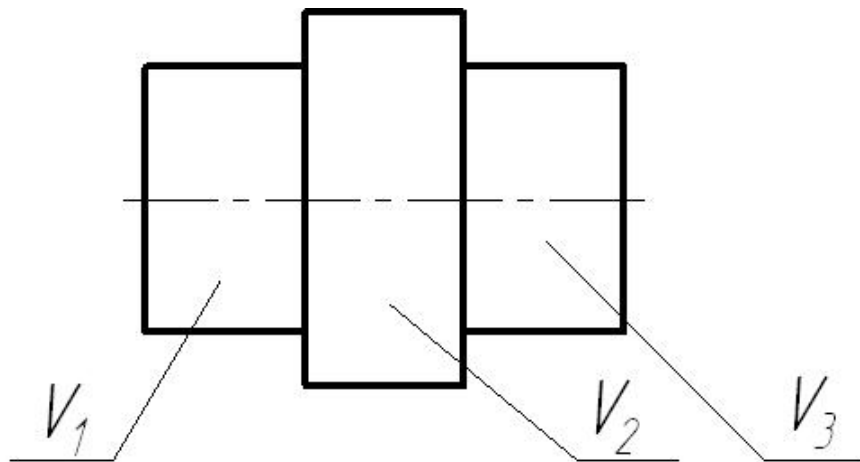


Рисунок 3.4 – Ескіз деталі

### 3.4 Силіві розрахунки механізмів

#### 3.4.1 Розрахунок черв'ячної передачі

Вибираємо матеріал черв'яка і вінця черв'ячного колеса.

Приймаємо для черв'яка сталь 45 з загартуванням до твердості 45...50 HRC<sub>3</sub> і подальшим шліфування витків.

Приймаємо матеріал вінця колеса Бр.Аж 9-4 (відливка в пісок) з механічними властивостями  $\sigma_T = 290$  МПа;  $\sigma_b = 490$  МПа.

Приймаємо число заходів черв'яка  $z_1 = 4$  і ККД передачі  $\eta = 0.85$ .

Орієнтовна швидкість сковзання:

$$V_c = 0.0004 \cdot n \cdot \sqrt[3]{\frac{T}{1000}} \quad (3.11)$$

Маємо:

$$V_c = 0.0004 \cdot 1411 \cdot \sqrt[3]{\frac{230 \cdot 10^3}{1000}} = 3.5 \text{ м/с}$$

$T = 230$  Н·м – обертовий момент на валу черв'ячного колеса.

При даній швидкості по необхідна ступінь точності передачі 8 – а.

Допускаємо контактна напруга:

$$[\sigma_H] = 300 - 25 \cdot V_c = 300 - 25 \cdot 3.5 = 212 \text{ МПа.}$$

Допускаємо контактна напруга при розрахунку на дію максимального навантаження:

$$[\sigma_{HM}] = 2 \cdot \sigma_T = 2 \cdot 200 = 490 \text{ МПа.} \quad (3.12)$$

Допускаєма напруга згину при базовому числі зміни напруги  $N_{FO} = 10^6$  для непереривного навантаження:

$$[\sigma_F] = 102 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт довготривалості:

$$K_{FL} = \sqrt[9]{\frac{N_{FO}}{N_{FE}}} = \sqrt[9]{\frac{10^6}{138.24 \cdot 10^6}} = 0.57 \quad (3.13)$$

Допускаєма напруга на згині:

$$[\sigma_F] = [\sigma_F] \cdot K_{FL} = 102 \cdot 0.5758 \text{ МПа.} \quad (3.14)$$

Допускаєма напруга на згин при розрахунку на дію максимального навантаження:

$$[\sigma_{FM}] = 0.8 \cdot \sigma_T = 0.8 \cdot 290 = 160 \text{ МПа.} \quad (3.15)$$

Число зубів черв'ячного колеса:

$$z_2 = z_1 \cdot n = 4 \cdot 12.5 = 50, \quad (3.16)$$

тобто умова  $28 \leq 50 \leq 80$  виконується.

Коефіцієнт діаметра черв'яка:

$$g = 0.25 \cdot z_2 = 0.25 \cdot 50 = 12.5 \quad (3.17)$$

що відповідає стандартному знесенню  $g$ .

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця:

$$K_{H_\delta} = K_\beta = 1. \quad (3.18)$$

Коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження:

$$K_{H_\beta} = 0.3 + 0.1 \cdot n + 0.02 \cdot V_C = 0.2 + 0.1 \cdot 8 + 0.02 \cdot 3.5 = 1.17$$

Визначаємо міжосьову відстань передачі з умови контактної витривалості:

$$a_\omega = \left( \frac{z_2}{g} + 1 \right) \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{170}{[\sigma_H] \cdot \frac{z_2}{d}} \right)^2 \cdot T \cdot K_{H_\beta} \cdot K_{H_v}} \quad (3.19)$$

Використовуючи залежність 3.19, маємо:

$$a_\omega = \left( \frac{50}{12.5} + 1 \right) \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{170}{212 \cdot \frac{50}{12.5}} \right)^2 \cdot 230 \cdot 10^3 \cdot 1.0 \cdot 1.17} = 110.6 \text{ мм}.$$

Модуль зачеплення:

$$m = \frac{2 \cdot a_\omega}{z_2 + g} = \frac{2 \cdot 110.6}{50 + 12.5} = 3.54 \text{ мм} \quad (3.20)$$

Приймаємо по стандарту  $m = 4 \text{ мм}$ .

При стандартному модулі міжосьова відстань:

$$a_{\omega} = \frac{m \cdot (z_2 + g)}{2} = \frac{4 \cdot (50 + 12.5)}{2} = 125 \text{ мм} \quad (3.21)$$

Ділильний кут підйому черв'яка  $\gamma = 17^{\circ}44'42''$ .

Ділильні діаметри:

черв'яка

$$d_{\omega_1} = g \cdot m = 12.5 \cdot 4 = 50 \text{ мм.}$$

черв'ячного колеса

$$d_{\omega_2} = m \cdot z_2 = 4 \cdot 50 = 200 \text{ мм.}$$

Розрахункова швидкість ковзання:

$$V_C = \frac{\pi \cdot d \cdot \omega_1 \cdot n}{60000 \cdot \cos \gamma} \quad (3.22)$$

$$V_C = \frac{3.14 \cdot 50 \cdot 1411}{60000 \cdot 0.95630} = 3.9 \text{ м/с}$$

що більше раніше прийнятої орієнтованої швидкості  $V_C = 3.5 \text{ м/с}$ , тому необхідно уточнити параметри передачі.

При швидкості  $V_C = 3.5 \text{ м/с}$  допустима контактна напруга:

$$[\sigma_H] = 202 \text{ МПа}$$

Рекомендована ступінь точності передачі при  $V_C = 3.5 \text{ м/с} - 8 - \text{а}$ .



Приведений кут тертя при роботі бронзового колеса в парі зі стальним черв'яком при  $V_C = 3.5$  м/с,  $\varphi' = 1^\circ 19'$ .

ККД передачі:

$$\eta' = (0.95 \dots 0.96) \cdot \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \varphi')} \quad (3.23)$$

$$\eta' = 0.96 \cdot \frac{\operatorname{tg} \cdot 17^\circ 44' 42''}{\operatorname{tg} \cdot 18^\circ 63' 42''} = 0.96 \cdot \frac{0.30573}{0.34432} = 0.85.$$

Фактичний обертовий момент на валу черв'ячного колеса:

$$T' = 9,55 \cdot 10^3 \cdot \frac{P \cdot u \cdot \eta'}{n}, \quad (3.24)$$

де  $P$  – потужність на валу черв'яка, кВт;

$u$  – передаточне число;

$\eta'$  - ККД черв'ячної передачі.

Підставляємо дані в залежність 3.24, маємо:

$$T = 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{3.3 \cdot 12.5 \cdot 0.85}{1411} = 237 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 237 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

#### 3.4.2 Перевірочні розрахунки черв'ячної передачі

Перевіряємо контактне навантаження так як замість розрахункової міжосьової відстані  $a_w = 110.6$  мм прийнято 125 мм (що враховує можливість передачі черв'ячним колесом більшого обертового моменту):

$$\sigma_H = \frac{170}{\frac{z_2}{g}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\frac{z_2}{g} + 1}{a_\omega}\right)^3} \cdot T' \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hv} \quad (3.25)$$

Отримуємо:

$$\sigma_H = \frac{170}{\frac{50}{12.5}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\frac{50}{12.5} + 1}{125}\right)^3} \cdot 237 \cdot 10^3 \cdot 1.0 \cdot 1.17 = 179 \leq [\sigma'_H] = 202 \text{ МПа}$$

Тож, умова виконується.

Перевіряємо контактну міцність зуба колеса під дією максимального навантаження:

$$\sigma_{HM} = \sigma_H \cdot \sqrt{\frac{T_{\max}}{T'}} \quad (3.26)$$

де  $\frac{T_{\max}}{T'} = 1.6$  – задано в вихідних даних розрахунку.

Отримуємо:

$$\sigma_{HM} = 179 \cdot \sqrt{1.6} = 226 \text{ МПа} < [\sigma_{HM}] = 490 \text{ МПа}$$

Тож, умова виконується.

Перевіряємо витривалість зубів черв'ячного колеса на згин. Попередньо знаходимо еквівалентне число зубів колеса:

$$z_{\gamma} = \frac{z_2}{\cos^3 \gamma} \quad (3.27)$$

Отримуємо:

$$z_{\gamma} = \frac{50}{0.95630^3} = 56$$

Коефіцієнт форми зуба колеса  $Y_F = 1.42$ .

Напруга згину:

$$\sigma_F = \frac{2 \cdot T \cdot \cos \gamma}{1.2 \cdot d_2 \cdot d_1 \cdot m} \cdot Y_F \cdot K_{F\delta} \cdot K_{Fv} \quad (3.28)$$

де  $K_{F\beta} = K_{H\beta} = 1.0$  [10];  $K_{Fv} = K_{Hv} = 1.17$ , дивися розрахунок вище.

Тож, отримуємо:

$$\sigma_F = \frac{2 \cdot 237 \cdot 10^3 \cdot 0.95630}{1.2 \cdot 200 \cdot 50 \cdot 4} \cdot 1.42 \cdot 1 \cdot 1.17 = 16$$

$$16 \text{ МПа} < [\sigma_F] = 58 \text{ МПа}$$

Перевіряємо міцність зуба на згин під дією максимального навантаження:

$$\sigma_{FM} = \sigma_F \cdot \frac{T_{\max}}{T'} \quad (3.29)$$

$$\sigma_{FM} = 16 \cdot 1.6 = 25.6 \text{ МПа.}$$

$$25.6 \text{ МПа} < [\sigma_{FM}] = 160 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

Виконуємо повний геометричний розрахунок черв'яка і колеса  
коефіцієнт зміщення черв'яка:

$$x = \frac{a_w}{m} - 0.5 \cdot (z_2 + g) \quad (3.30)$$

$$x = \frac{125}{4} - 0.5 \cdot (50 + 12.5) = 0.$$

Визначаємо ділильний діаметр:

- черв'яка

$$d_1 = g \cdot m = 12.5 \cdot 4 = 50 \text{ мм.}$$

- колеса

$$d_2 = m \cdot z_2 = 4 \cdot 50 = 200 \text{ мм.}$$

Знаходимо початковий діаметр черв'яка:

$$d_{w_1} = (g + 2 \cdot x) \cdot m = (12.5 + 2 \cdot 0) \cdot 4 = 50 \text{ мм}$$

Знаходимо ділильний кут підйому витків черв'яка:

$$\gamma = \arctg \frac{z_1}{g} = \arctg \frac{4}{12.5} = 17^\circ 44' 42''$$

Знаходимо діаметр вершин:

- витків черв'яка

$$d_{a_1} = d_1 + 2 \cdot m = 50 + 2 \cdot 4 = 58 \text{ мм}$$

- зубців колеса

$$d_{a_2} = d_2 + 2 \cdot (1 + x) \cdot m = 200 + 2 \cdot (1 + 0) \cdot 4 = 208 \text{ мм}$$

Знаходимо початковий кут підйому витків черв'яка:

$$\gamma_{\omega} = \arctg \frac{z_{1_m}}{d_{\omega_1}} \quad (3.31)$$

$$\gamma_{\omega} = \arctg \frac{z_1}{g + 2 \cdot x} \quad (3.32)$$

Отримуємо:

$$\gamma_{\omega} = \arctg \frac{4 + 4}{50} = 17^{\circ}44'42''$$

Знаходимо діаметр западин витків черв'яка:

$$d_f = d_1 - 2 \cdot (1 + c) \cdot m . \quad (3.33)$$

де  $c = 0.2$  – коефіцієнт радіального зазору у поверхні впадин черв'яка і колеса

$$d_{f_1} = 50 - 2 \cdot (1 + 0.2) \cdot 4 = 40.4 \text{ мм}$$

Діаметр западин зубів колеса:

$$d_{f_2} = d_2 - 2 \cdot (1 + c) \cdot m + 2 \cdot m. \quad (3.34)$$

$$d_{f_2} = 200 - 2 \cdot (1 + 0.2) \cdot 4 + 2 \cdot 0.4 = 190.4 \text{ мм}$$

Знаходимо діаметр черв'ячного колеса:

$$d_{aM_2} \leq d_{a_2} + \frac{6 \cdot m}{z_1 + 2} \quad (3.35)$$

$$d_{aM_2} = 208 + \frac{6 \cdot 4}{4 + 2} = 212 \text{ мм}$$

Знаходимо довжину нарізаної частини черв'яка:

$$b_1 \geq (12.5 + 0.09 \cdot z_2) \cdot m = (12.5 + 0.09 \cdot 50) \cdot 4 = 68 \text{ мм}$$

Для шліфуємого черв'яка  $b_1$  слід збільшити на 25 мм при  $m < 10$  мм.

Тож, ширина вінця черв'ячного колеса:

$$b_2 \leq 0.67 \cdot d_{a_1} = 0.67 \cdot 58 = 38.9 \text{ мм}$$

приймаємо 40 мм.

Визначаємо умовний кут обсягу черв'яка вінцем колеса  $z_\delta$ :

$$\sin \delta = \frac{b_2}{d_{a_1} - 0.5 \cdot m} \quad (3.36)$$

$$\sin \delta = \frac{38.9}{58 - 0.5 \cdot 4} = 0.71$$

Визначаємо радіуси заокруглення колеса:

$$R_a = 0.5 \cdot d_1 - m \quad (3.37)$$

$$R_a = 0.5 \cdot 50 - 4 = 21 \text{ мм.}$$

Цей радіус виконують на токарній заготовці черв'ячного колеса і проставляють на кресленні.

$$R_f = 0.5 \cdot d_1 + 1.2 \cdot m \quad (3.38)$$

$$R_f = 0.5 \cdot 50 + 1.2 \cdot 4 = 29.8 \text{ мм}$$

Цей радіус, утворюєий фрезою при нарізанні черв'ячного колеса, на кресленні не проставляють. Він необхідний для визначення розмірів вінця черв'ячного колеса.

Отже кінцево приймаємо параметри передачі:

$$z_1 = 4;$$

$$z_2 = 50;$$

$$d_1 = d_{o1} = 50 \text{ мм};$$

$$d_2 = 200 \text{ мм};$$

$$a_o = 125 \text{ мм};$$

$$m = 4 \text{ мм.}$$

### 3.5 Розрахунки на точність засобу автоматизації

Основним розрахунком на точність є визначення розмірів та форми вирізів в диску, тому що без цього неможливо правильно спроектувати форму кишеньок.

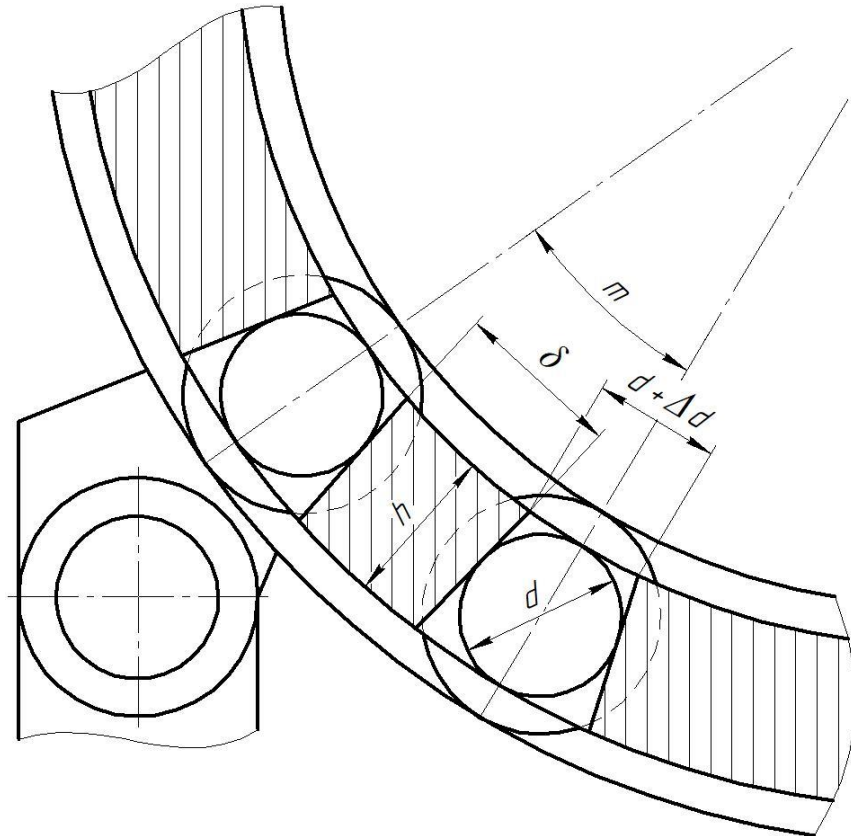


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема дискового кишенькового механізму

Визначаємо величину  $d_0$  (див. рис. 3.5):

$$d_0 = d + \Delta d \quad (3.39)$$

де  $\Delta d$  – зазор, що визначений в п. 3.1;

$d$  – діаметр заготовки, мм.



Тож, маємо:

$$d_0 = 42 + 2.8 = 44.8 \text{ мм.}$$

Визначаємо висоту вирізів:

$$h = (0.7 \dots 0.9) \cdot d \quad (3.40)$$

$$h = (0.7 \dots 0.9) \cdot 42 = 29.4 \dots 37.8 \text{ мм}$$

Товщину перегородки  $\delta$  приймаємо конструктивно, виходячи із рекомендацій [3, стор. 76].

$$\delta = 58 \text{ мм.}$$

Визначаємо відстань між осями вирізів (крок):

$$m = d + \Delta d + \delta \quad (3.41)$$

$$m = 42 + 2.8 + 58 = 102.8 \text{ мм.}$$

## ВИСНОВКИ

Дана кваліфікаційна робота присвячена розробці конструкції дискового бункерного завантажувального пристрою для автоматизації токарної операції, що забезпечить підвищення продуктивності праці, зниження собівартості продукції та покращення умов праці.

В роботі було провести патентно-інформаційний пошук та аналіз існуючих конструкцій бункерних завантажувальних пристроїв для автоматизації токарних операцій.

Виконано порівняльний аналіз способів орієнтування та подачі заготовок у дискових завантажувальних пристроях для виявлення найбільш раціональної схеми механізму.

Розроблено конструктивну схему та загальне компоновання дискового бункерного завантажувального пристрою, узгоджену з робочою зоною токарного верстата.

Проведено функціональні, кінематичні та силові розрахунки основних вузлів пристрою, включаючи розрахунок привода обертання диска та механізму відсікання.

Визначено оптимальні геометричні параметри гнізд диска для забезпечення стабільного захоплення та надійного орієнтування заготовок.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кодра Ю. В., Стоцько З. А., Гаврильченко О. В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. посібник / За ред. З. А. Стоцька. — Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2008. — 356 с.
2. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина I : навчальний посібник / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 100 с.
3. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II : навчальний посібник / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 123 с.
4. Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технологічні комплекси : монографія. Кропивницький : Видавництво ТОВ «КОД», 2019. 384 с.
5. Мажара В. А., Годунко М. О. Основи гнучкого автоматизованого виробництва. – 2018.
6. Щербина, К. К., Шмельов, В. М., Скрипник, О. В., Гречка, А. І., & Кузик, О. В. (2024). Кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти. Кропивницький : ЦНТУ, 2024 – 16 с.
7. Мажара, В. А., Гречка, А. І., Свяцький, В. В., Щербина, К. К., Мірзак, В. Я., Селехова, В. М., ... & Шмельов, В. М. (2024). Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти. Спец. 131 «Прикладна механіка». Кропивницький : ЦНТУ, 2024 – 40 с.
8. Скібінський О. І., Селехова В. М. Технологія обробки типових деталей та складання машин. Самостійні роботи. – 2023. М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. - Кропивницький : ЦНТУ , 2023. - 93 с.
9. Павленко І.І., Мажара В.А. Продуктивність функціонування двозахватних промислових роботів на позиціях допоміжних пристроїв //

Прогресивні технології і системи машинобудування. Міжнародний збірник наукових праць. – Вип. 30 – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – С. 170 – 175.

10. Мажара В. А., Тененика С. А. Використання двозахватних промислових роботів на позиціях допоміжних пристроїв – НАУ «ХАІ», 2025.

11. Павленко І.І., Мажара В.А. Конструктивно-кінематична структура двозахватних пристроїв промислових роботів // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Вип. 19 – Краматорськ – Київ, 2006. – С. 104 – 109.

12. Mazhara, V., Artiukhov, A., Hodunko, M., Shcherbyna, K., & Tenenyka, S. (2025). Structural Design of Robotic Complexes. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. – Вип. 55. – С. 43-49.

13. Павленко, І. І., В. А. Мажара, and В. П. Короп. "Особливості структури роботизованих технологічних комплексів." (2010). Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – Вип. 40, ч. 2. - С. 221-226.

14. Павленко І.І., Мажара В.А. Структура продуктивності верстатних роботизованих комплексів // Збірник наукових праць. – Вип. 17 Краматорськ: ДДМА, 2005. – С. 131 – 137.

15. Валявський, І. А., О. В. Лисенко та І. А. Лисенко. "Технологічне обладнання з паралельною кінематикою." (2023). М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 281 с.

16. Павленко, І. І., В. А. Мажара, and М. О. Сторожук. "Структурні планувально-компонувальні дослідження роботизованих комплексів." (2010). Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – Вип. 23. - С. 96-100.

17. Мажара А. В., Мажара В. А. ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ

РОБОТІВ В УМОВАХ ДРІБНОСЕРІЙНОГО ТИПУ ВИРОБНИЦТВА  
//Процеси механічної обробки, верстати та інструмент: матеріали XIII  
Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю, 11–13  
листопада 2025 року. – Житомир: Житомирська політехніка, 2025.–149 с. –  
2025. – С. 75.

18. Мажара, В. А., Щербина, К. К., Артюхов, А. М., Тененика, С. А., &  
Шестаков, І. С. (2024). Система автоматизованого проєктування  
технологічного оснащення. // Конструювання, виробництво та експлуатація  
сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. –  
Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.

19. Годунко, М. О., Кислун, О. А., Мажара, В. А., Щербина, В. К.,  
Кравченко, Р. А., & Ключкін, В. В. (2023). Розробка методики силового  
розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою. //  
Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. -  
Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7(38).

20. Мажара В. А. Комп'ютерна статистика в технології  
машинобудування. – 2017. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 52 с.

21. Мажара В. А. Контрольно-вимірювальні пристрої. Методичні  
вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної та заочної  
форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за  
спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2010. –  
48 с.

22. Мажара В. А., Артюхов А. М., Тененика С. А. Проектування  
затискних пристроїв та оснащення. Самостійна робота. – 2024 –  
Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 44 с.

23. Мажара В.А. Визначення кутів повороту ведучих ланок адаптивного  
захватного пристрою / Мажара В.А., Годунко М.О, Кислун О.А. // Збірник  
наукових праць КНТУ / Техніка в сільськогосподарському виробництві,  
галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 27 – Кіровоград: КНТУ, 2014.  
– С. 28 – 33.

24. Shcherbyna K. Kinematics of cutting process while honing holes with a hone with variable geometry of sticks / K. Shcherbyna, A. Hrechka, V. Mazhara, T. Diachenko // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2020. – Вип.50. – С.159-164.

25. Апаракін А.Р. Синтез схем навантаження силових елементів кулькогвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу / А.Р. Апаракін, П.М. Єрьомін, В.А. Мажара // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – Вип. 9 (40). - Ч. II. – С. 23-31.

26. Mazhara V.A., Shcherbyna K.K, Maniakin S.P., Filonenko V.V. Efficiency of using turning machining centers // The 4th International scientific and practical conference “Global science: prospects and innovations” (December 1-3, 2023) Cognum Publishing House, Liverpool, United Kingdom. 2023. 216-221 p.

27. Щербина К., Мажара В., Торчілов Д., Заїка А., Масляніков В. Дослідження повздовжньої сталості пружно-гвинтового хону з гвинтовими канавками // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2025. - №2 (349). - С.493-499.

28. Павленко І. І., Мажара В. А., Носуленко В. І., Годунко М. О. Дослідження продуктивності РТК з використанням промислових роботів, встановлених на обладнанні // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2012. – Вип. 25, ч. I. – С. 8–13.

29. Валявський І.А., Крижанівський В.А. Тенденції розвитку верстатів паралельної структури// Вісник Сумського державного університету. – 2003 - №2(48). – С. 18-22.

30. Щербина К.К. Експериментальне дослідження деформації пружногвинтового хона / К.К. Щербина, М.М. Підгаєцький, В.А. Мажара, А.І. Гречка, Т.В. Дяченко // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. пр. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – Вип. 5 (36). – Ч. 2. – С. 31-38.