

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:  
**Автоматизація завантажувально-розвантажувальних  
робіт при механічній обробці деталі кришка**

Виконав здобувач вищої освіти  
4 курсу групи ПМ-22-3  
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг  
технологій, робототехніка і 3D друк»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Володимир ЙОРЖ

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

Рецензент:  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Олег БЕВЗ

## **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 Йоржу Володимиру Володимировичу**

#### **Тема роботи:**

Автоматизація завантажувально-розвантажувальних робіт при механічній обробці деталі кришка

#### **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 системи автоматизації завантажувально-розвантажувальних робіт для свердлильної операції механічної обробки деталі кришка, що забезпечить підвищення продуктивності праці, зниження собівартості продукції та покращення умов праці.

Завдання: провести аналіз існуючих методів та засобів автоматизації завантажувально-розвантажувальних робіт у виробничих процесах; розробити компоновальну схему автоматизованої операції механічної обробки; розрахувати основні параметри накопичувального пристрою; провести розрахунок механізмів засобів автоматизації на точність.

**Календарний план**

| № з/п | Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи        | Строк виконання роботи | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------|------------------------|----------|
| 1     | Опрацювання навчальної літератури по тематиці роботи | 10.05.2026 р.          |          |
| 2     | Виконання загальної частини                          | 16.05.2026 р.          |          |
| 3     | Виконання технологічної частини                      | 27.05.2026 р.          |          |
| 4     | Виконання конструкторської розділу                   | 06.06.2026 р.          |          |
| 5     | Розробка креслеників                                 | 11.06.2026 р.          |          |
| 6     | Перевірка роботи на академічний плагіат              | 12.06.2026 р.          |          |
| 7     | Рецензування роботи                                  | 15.06.2026 р.          |          |
|       |                                                      |                        |          |
|       |                                                      |                        |          |

Дата видачі завдання  
13 квітня 2026 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_

Володимир ЙОРЖ

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Віталій МАЖАРА

## АНОТАЦІЯ

Йорж В.В. Автоматизація завантажувально-розвантажувальних робіт при механічній обробці деталі кришка : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. В.А. Мажара. Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2026. 42 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Метою роботи є розробка системи автоматизації завантажувально-розвантажувальних робіт для свердлильної операції механічної обробки деталі кришка, що забезпечить підвищення продуктивності праці, зниження собівартості продукції та покращення умов праці.

Актуальність роботи. Сучасне машинобудування характеризується стрімким переходом до цифрового виробництва та повною інтеграцією інтелектуальних систем у технологічні процеси. Як свідчить аналіз часових витрат у серійному виробництві, безпосередній процес обробки деталі займає лише 15–20% від загального часу перебування заготовки в цеху. Решта часу витрачається на транспортування, складування та на операції встановлення, закріплення та зняття деталей. Тож автоматизація цих допоміжних операцій є критично важливою ланкою оскільки, автоматизація завантажувальних робіт є базовою умовою створення безперервних виробничих потоків та гнучких виробничих систем.

В роботі було проведено аналіз існуючих методів та засобів автоматизації завантажувально-розвантажувальних робіт у виробничих процесах; розроблено компонувальну схему автоматизованої операції механічної обробки; розраховано основні параметри накопичувального пристрою; проведено розрахунок механізмів засобів автоматизації на точність.

**гнучке виробництво, завантажувальний пристрій, верстат, продуктивність праці, деталь**

## ANNOTATION

Volodymyr YORZH. Automation of loading and unloading operations during mechanical processing of the cover part. Qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 131 Applied mechanics / Scientific supervisor Vitalii MAZHARA. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2026. 42 p.

Drawings – summary 3 sheets A1 format.

Objective of the work is to develop an automation system for loading and unloading operations during the drilling stage of machining a "cover" part, aimed at increasing labor productivity, reducing production costs, and improving working conditions.

Relevance of the work. Modern mechanical engineering is characterized by a rapid transition to digital manufacturing and the full integration of intelligent systems into technological processes. As time-expenditure analysis in batch production indicates, the direct machining process accounts for only 15–20% of the total time a workpiece spends on the shop floor. The remaining time is consumed by transportation, storage, and operations related to the setup, clamping, and removal of parts. Therefore, the automation of these auxiliary operations is a critical link, as the automation of loading processes is a fundamental prerequisite for creating continuous production flows and flexible manufacturing systems.

In this work, an analysis of existing methods and means for automating loading and unloading operations in production processes was conducted; a layout scheme for the automated machining operation was developed; the primary parameters of the storage device were calculated; and a precision analysis of the automation mechanisms was performed.

**flexible manufacturing, loading device, machine tool, labor productivity, part**

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

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи на тему:

**Автоматизація завантажувально-розвантажувальних робіт при  
механічній обробці деталі кришка**

**КРБ.ПМ.26.37.13.00.00**

Виконав здобувач вищої освіти  
4 курсу групи ПМ-22-3  
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг  
технологій, робототехніка і 3D друк»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Володимир ЙОРЖ

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

Кропивницький 2026

## ЗМІСТ

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП                                                                       | 7  |
| 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА                                                          |    |
| 1.1 Напрямки автоматизації виробничих процесів                              | 10 |
| 1.2 Критерії рівня механізації та автоматизації виробництва                 | 12 |
| 1.3 Класифікація деталей в плані автоматизації їх виготовлення              | 14 |
| 1.4 Класифікація засобів механізації і автоматизації виробництва            | 15 |
| 1.5 Структура будови засобів автоматизації                                  | 17 |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА                                                      |    |
| 2.1 Характеристика деталі в плані автоматизованої обробки                   | 19 |
| 2.2 Розробка змісту вертикально свердлильної операції<br>механічної обробки | 21 |
| 2.3 Аналіз особливостей вибраного верстата для автоматизації                | 22 |
| 2.4 Розробка компоновальної схеми автоматизованої операції                  | 24 |
| 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА                                                   |    |
| 3.1 Розрахунок накопичувального пристрою                                    | 26 |
| 3.2 Кінематичні розрахунки засобу автоматизації                             | 27 |
| 3.3 Розробка циклограми роботи верстатного комплексу                        | 28 |
| 3.4 Розрахунок механізмів засобу автоматизації на точність                  | 30 |
| 3.5 Розрахунок різьбових з'єднань пневмоциліндру                            | 33 |
| ВИСНОВКИ                                                                    | 38 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                                                  | 39 |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасний етап розвитку машинобудування характеризується стрімким переходом до цифрового виробництва та повною інтеграцією інтелектуальних систем у технологічні процеси. В умовах глобальної конкуренції ключовими факторами успіху підприємства стають не лише точність механічної обробки, а й загальна ефективність виробничого циклу. Як свідчить аналіз часових витрат у серійному та масовому виробництві, безпосередній процес різання або деформування металу займає лише 15–20% від загального часу перебування заготовки в цеху. Решта часу витрачається на транспортування, складування та, що найважливіше, на операції встановлення, закріплення та зняття деталей – так звані завантажувально-розвантажувальні роботи (ЗРР).

Автоматизація цих допоміжних операцій є критично важливою ланкою. Без впровадження автоматизованих систем завантаження навіть найсучасніший верстат з ЧПК (числовим програмним керуванням) працюватиме з низьким коефіцієнтом використання обладнання через «людський фактор», втому оператора та неминучі простой. Таким чином, автоматизація ЗРР є базовою умовою створення безперервних виробничих потоків та гнучких виробничих систем (ГВС).

**Проблематика та стан питання.** Історично завантаження верстатів виконувалося вручну. Проте із підвищенням швидкостей різання та скороченням основного технологічного часу, частка допоміжного часу почала домінувати. Це створило «вузьке місце» у виробництві. Сучасна інженерія пропонує широкий спектр рішень: від найпростіших гравітаційних накопичувачів до складних багатоосьових промислових роботів-маніпуляторів, оснащених системами технічного зору.

Основна проблема полягає в тому, що універсальні рішення часто є занадто дорогими для малих підприємств, а вузькоспеціалізовані автомати втрачають актуальність при зміні номенклатури деталей. Тому розробка та

впровадження адаптивних систем автоматизації ЗРР, які здатні швидко переналагоджуватися, є пріоритетним завданням для інженера-конструктора.

**Технологічні тренди.** Впровадження концепції Industry 4.0 кардинально змінює підхід до автоматизації ЗРР. Сьогодні мова йде не просто про механічну руку, що переносить деталь, а про кіберфізичну систему. Сучасні завантажувальні пристрої інтегруються в загальну мережу підприємства, дозволяючи:

1. Дистанційний моніторинг: відстеження стану захоплювальних пристроїв у реальному часі.
2. Адаптивність: використання сенсорів для розпізнавання орієнтації деталі на конвеєрі.
3. Колаборативність: застосування коботів (collaborative robots), які можуть працювати безпечно поруч із людиною без спеціальних огорож.

Використання промислових роботів для обслуговування верстатних модулів дозволяє реалізувати концепцію «безлюдного виробництва», де участь людини мінімізується або зводиться до наглядових функцій у денну зміну, тоді як автоматика працює цілодобово.

**Техніко-економічні аспекти.** Ефективність автоматизації ЗРР при механічній обробці оцінюється за декількома критеріями:

- Підвищення продуктивності: скорочення циклу обробки однієї деталі на 30–50%.
- Покращення якості: виключення пошкоджень поверхні деталей, що часто трапляються при ручному маніпулюванні важкими заготовками.
- Економічна доцільність: незважаючи на високі капітальні витрати на етапі впровадження, термін окупності автоматизованих систем у багатозмінному режимі зазвичай не перевищує 1.5–2 роки.
- Соціальний аспект: вивільнення персоналу від важкої, монотонної та небезпечної праці, що особливо актуально при роботі в зонах із високим рівнем шуму, масляного туману або при обробці габаритних заготовок.



**Об’єкт дослідження** – процес механічної обробки деталей на металорізальних верстатах та супутні допоміжні операції з переміщення заготовок і готових виробів.

**Предмет дослідження** – засоби та методи автоматизації завантажувально-розвантажувальних робіт, включаючи промислові маніпулятори, накопичувальні пристрої, системи керування та їх інтеграцію в технологічний процес.

**Мета роботи** – розробка системи автоматизації завантажувально-розвантажувальних робіт для свердлильної операції механічної обробки деталі кришка, що забезпечить підвищення продуктивності праці, зниження собівартості продукції та покращення умов праці.

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

1. Провести аналіз існуючих методів та засобів автоматизації завантажувально-розвантажувальних робіт у виробничих процесах.
2. Розробити компонувальну схему автоматизованої операції.
3. Розрахувати основні параметри накопичувального пристрою.
4. Провести розрахунок механізмів засобів автоматизації на точність.

Роботу виконуємо відповідно до вимог, що наведені в методичних рекомендаціях [8] та [9].

# **1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА**

## **1.1 Напрямки автоматизації виробничих процесів**

Автоматизація виробничих процесів є пріоритетним напрямком, який забезпечує головну якісну еволюцію виробничої діяльності людини.

В цьому напрямку виділяють механізацію і автоматизацію виробництва.

Під механізацією розуміють такий напрямок розвитку виробництва, який характеризується використанням різних машин та механізмів, які дозволяють замінити мускульну працю людини.

Механізація як і автоматизація можуть бути частковою (малою), або повною (комплексною).

Часткова механізація – це механізація частини рухів (головних та допоміжних), які необхідні для виконання виробничих процесів, а іншу частину рухів виконує людина.

Повна або комплексна механізація – це механізація всіх основних та допоміжних рухів, які необхідні для виконання виробничих процесів.

Автоматизація – це напрямок розвитку виробництва який характеризується вивільненням людини не тільки від мускульно - виконуваних рухів для виконання тих чи інших виробничих рухів, але і від оперативного керування механізмами які виконують ці рухи.

Часткова автоматизація – автоматизація частини операцій виробничих процесів при ручному або механізованому виконанні інших операцій.

Повна автоматизація – характеризується автоматичним виконанням всіх функцій для здійснення виробничого процесу без участі людини. За людиною залишаються функції налагодження обладнання, контроль за їх роботою.

Автоматизація – це форма виробництва яка вирішується на якісно нових підходах до розробки технології, конструкцій виробів та технологічного обладнання, організації виробництва.

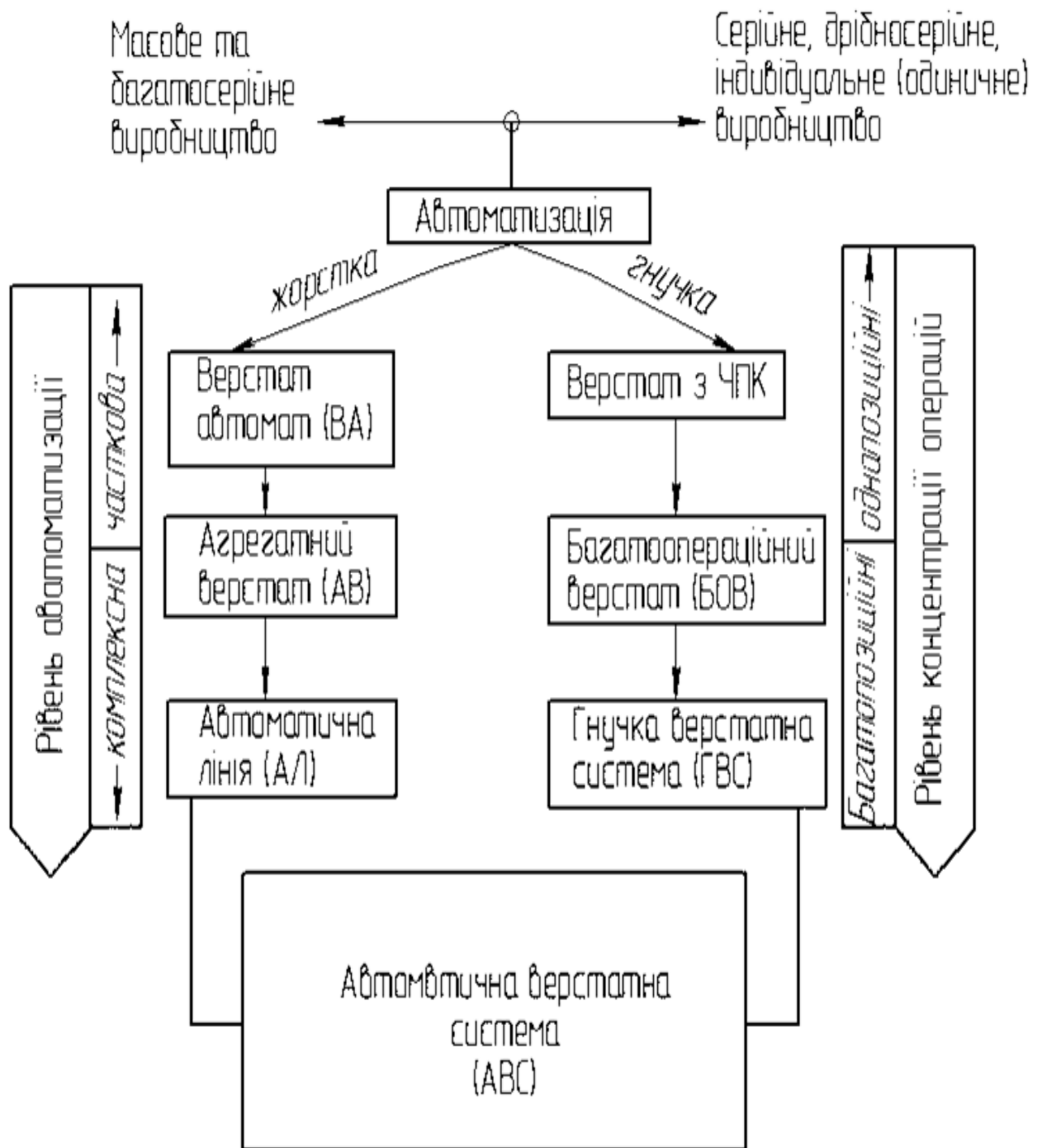


Рисунок 1.1 – Структура автоматизованого виробництва

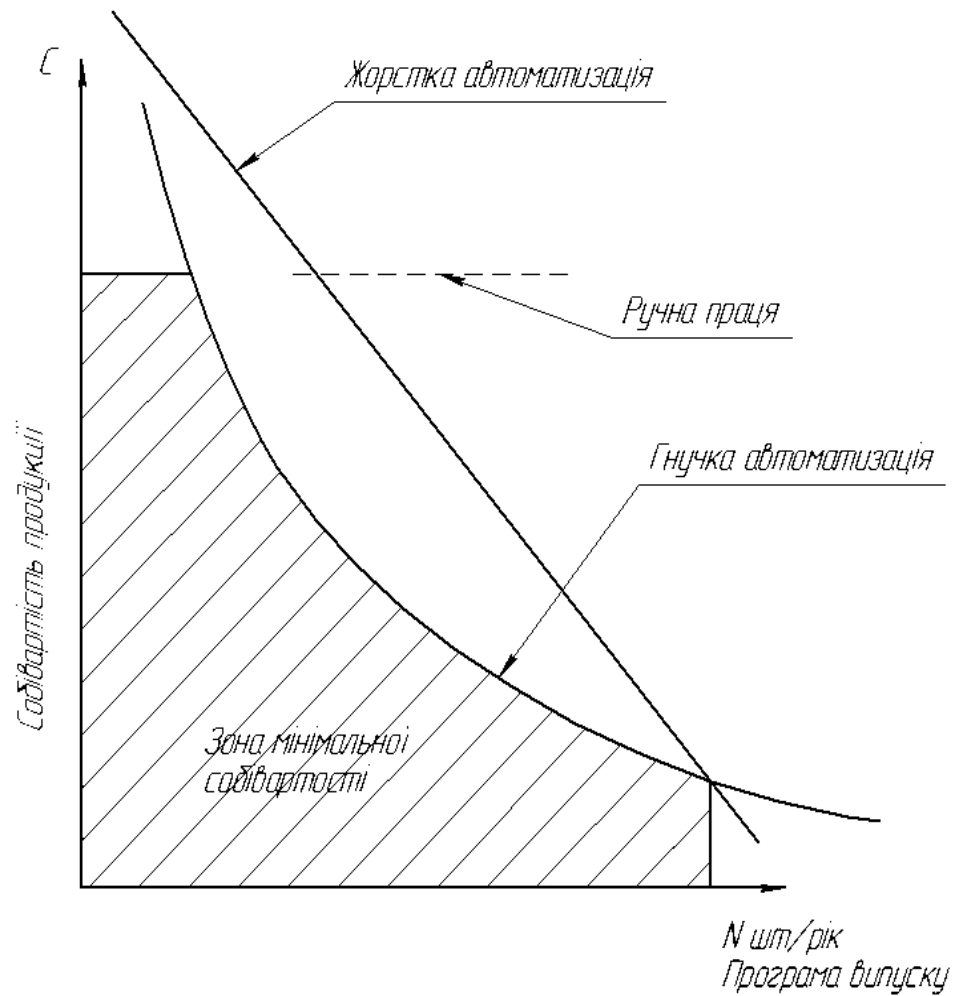


Рисунок 1.2 – Показники собівартості від рівня автоматизації

## 1.2 Критерії рівня механізації та автоматизації виробництва

В процесі механізації та автоматизації повинні вирішуватись такі основні задачі, як підвищення продуктивності праці; зниження собівартості продукції; підвищення якості вироблюваної продукції; зменшення витрат ручної праці; покращення умов праці; підвищення ритмічності виробництва; підвищення змінності виробництва та завантаженості устаткування [1-7].

Для оцінки рівня механізації та автоматизації виробництва використовують наступні критерії:

Ступінь охоплення робочих місць механізованою працею, визначається залежністю:

$$C_M = \frac{P_M}{P} \cdot 100\% = \frac{P_M}{P_M + P_P + P_{MPi}} \cdot 100\%; \quad (1.1)$$

де  $P_M$  – кількість робочих виконуючих роботу механізованим способом;

$P_P$  – кількість робочих виконуючих роботу вручну;

$P_{MPi}$  – кількість робочих виконуючих роботу за допомогою ручного механізованого інструменту;

$P$  – загальна кількість робітників на дільниці.

Рівень механізованої праці в загальних праце-витратах, визначається залежністю:

$$P_{МП} = \frac{T_M}{T_M + T_P + T_{MPi}} \cdot 100\%; \quad (1.2)$$

де  $T_M$  – час механізованого виконання операцій;

$T_P$  – час ручної праці;

$T_{MPi}$  – час праці з використанням ручного механізованого інструменту.

Критерії економічного рівня механізації чи автоматизації виробництва, визначається залежністю:

$$\alpha_M = \frac{t_p - t_{q.m.}}{t_p - t_{n.m.}} \cdot 100\% = \frac{\Delta t_{q.m.}}{\Delta t_{n.m.}} \cdot 100\%; \quad (1.3)$$

де  $t_p$  – економічна працємісткість виробу при виготовленні його механізованим методом в людина/годинах;

$t_{ч.м}$  – те ж при умовах частково механізованого виробництва;

$t_{п.м}$  – те ж при умовах повного механізованого виробництва;

$\Delta t_{ч.м}$  – економія робочого часу при частково механізованому виробництві;

$\Delta t_{п.м}$  – економія робочого часу при повному механізованому виробництві.

Подібний критерій використовується і для оцінки рівня автоматизації виробництва:

$$\alpha_M = \frac{t_{ПМ} - t_{ч.а.}}{t_{ПМ} - t_{н.а.}} \cdot 100\%; \quad (1.4)$$

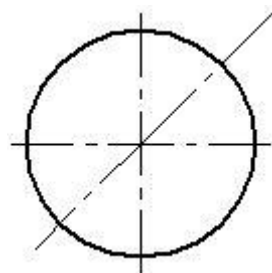
### 1.3 Класифікація деталей в плані автоматизації їх виготовлення

В плані автоматизації дуже важливим є врахування ряду факторів які оцінюють особливості оброблюваних деталей:

- форма та розміри деталей;
- фізико - механічні властивості;
- стан поверхонь.

Одним із визначальних є форма деталі, що може оцінюватись кількістю осей симетрії. По цьому признаку деталі ділять:

- деталі (типу кулі) з безліччю осей симетрії (їх непотрібно орієнтувати);



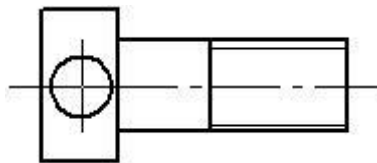
- деталі з однією віссю симетрії:



- деталі з двома осями симетрії:



- деталі з трьома осями симетрії:



## 1.4 Класифікація засобів механізації і автоматизації виробництва

Засоби механізації і автоматизації виробництва мають широкий діапазон призначення та особливостей конструктивного виконання. Для упорядкованого розгляду цих питань дуже важливим є необхідність їх класифікації. Таку класифікацію доцільно розглядати по слідуючим критеріям:

1. По функціональному призначенню:
  - а) для виконання технологічних операцій:
    - механічна обробка;

- складання;
- зварювання;
- фарбування;
- контрольні операції та ін.

б) для виконання допоміжних переходів:

- завантажувально-розвантажувальні;
- транспортування деталей.

2. По особливостям автономності приводу:

- самостійні приводи;
- запозичені від обслуговуваного обладнання.

3. По типу привода:

- пневматичний;
- гідравлічний;
- електромеханічний;
- вібраційний та ін.

4. По особливостям накопичувальних пристроїв:

- магазинні;
- бункерні;
- бункерно-магазинні.

5. По наявним проміжним передачам:

- зубчасті;
- гвинтові;
- кулачкові;
- важільні.

6. По захватним пристроям:

- підтримуючі;
- затискні;
- притяжні.



## 1.5 Структура будови засобів автоматизації

Засоби автоматизації мають дуже велику різноманітність виконання.

В більшості випадків вони включають:

- накопичувач заготовок і оброблених деталей
- механізми завантаження і розвантаження

Структура будови автоматизованої операції наведена на рисунку 1.3.

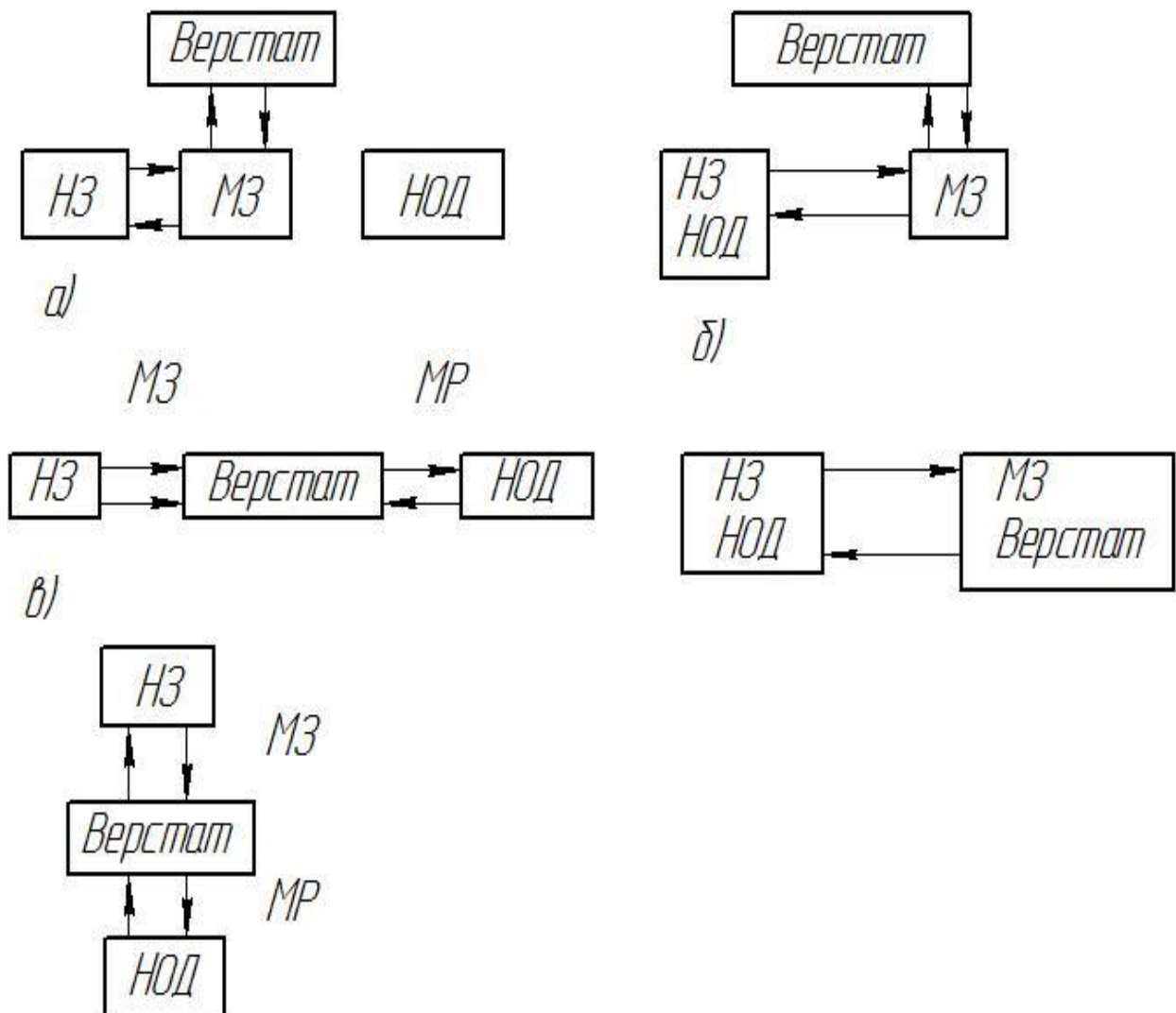


Рисунок 1.3 – Структура будови автоматизованої операції: НЗ – накопичувач заготовок; НОД – накопичувач оброблених деталей; МЗ – механізм завантаження; МР – механізм розвантаження

Кожний із складових елементів автоматизації може мати також велику кількість різновидів виконання.

Тоді більш детально структуру будови [10-12] засобів автоматизації з урахуванням використання різних функціональних механізмів.

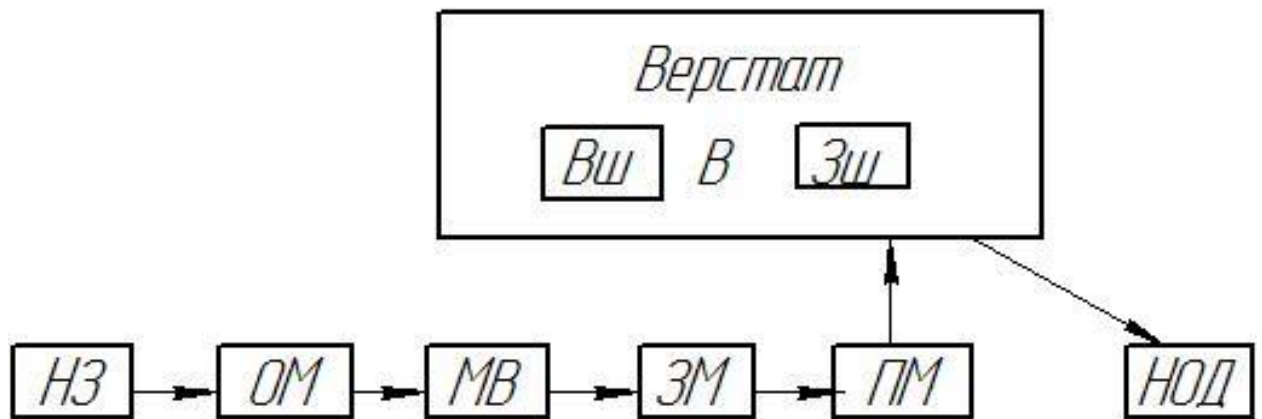


Рисунок 1.4 – Детальна структура будови засобів автоматизації:

НЗ – накопичувач заготовок; ОМ – орієнтуючий механізм; МВ – механізм відсікання; ЗМ – захватний механізм; ПМ – подаючий (живильний) механізм;

Зш – заштовхувач; Вш – виштовхувач; НОД – накопичувач оброблених деталей; МЗ – магазин заготовок

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика деталі в плані автоматизованої обробки

Задана деталь кришка, ескіз якої наведено на рисунку 2.1 виготовляється зі сталі 45 за ДСТУ 1050-88. Дані про хімічний склад та механічні властивості матеріалу занесені до таблиць 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад матеріалу деталі кришка

| Марка матеріалу         | Вміст елементів % |           |           |      |      |      |
|-------------------------|-------------------|-----------|-----------|------|------|------|
|                         | C                 | Si        | Mn        | Cr   | Ni   | Cu   |
| Сталь 45<br>ДСТУ1050-88 | 0.50              | 0.17-0.37 | 0.50-0.80 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |

Таблиця 2.2 – Механічні властивості матеріалу деталі

| Марка матеріалу         | $\sigma_T$ , (Н/мм <sup>2</sup> ) | $\sigma_B$ , (Н/мм <sup>2</sup> ) | Твердість НВ |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
|                         | Не менше                          |                                   | Не більше    |
| Сталь 45<br>ДСТУ1050-88 | 350                               | 600                               | 170-179      |

Обробленню свердлінням підлягають 2 отвори  $\varnothing 11,2^{+0,035}$  які оброблюються одночасно двухшпиндельною головкою. Шорсткість оброблюваної поверхні Ra 2,5.

Дана деталь зручна та цілком придатна для автоматизованого її транспортування та орієнтування на столі верстата за допомогою лещат, які також слугують для базування деталі. Оскільки деталь прямокутної форми, то зручніше обрати накопичувач у формі паралелограма вкладаючи деталь одна на одну. З накопичувача у затискний пристрій верстата деталь буде передаватися спеціально розробленим механізмом завантаження.

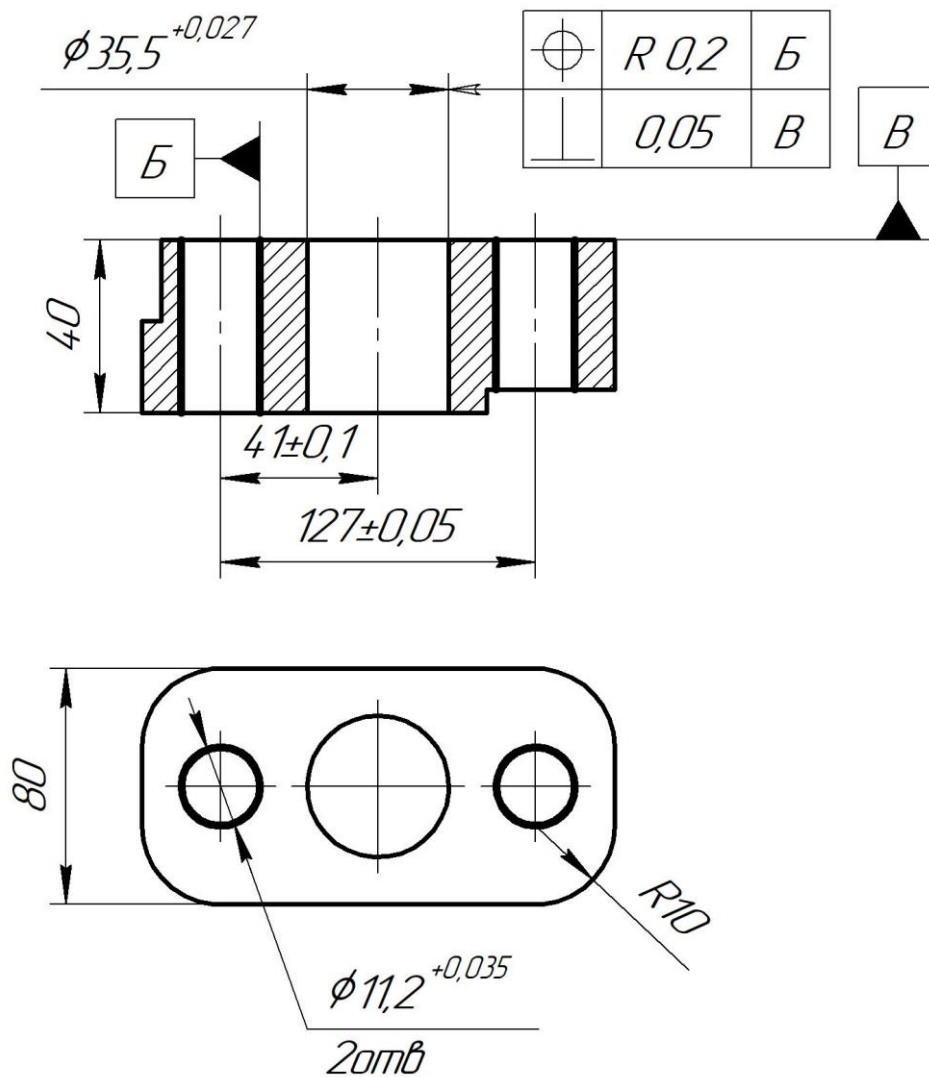


Рисунок 2.1 – Ескіз оброблюваної деталі на свердлильній операції

Для реалізації обробки двох отворів, в якості затискного пристрою можна використати самоцентруючі лещата. Такий затискний пристрій забезпечить базування деталі по площині, що дозволить витримати умову щодо перпендикулярності цих отворів до опорної площини, а самоцентруючі призматичні губки лещат, забезпечать центрування деталі.

## 2.2 Розробка змісту вертикально свердлильної операції механічної обробки

Задана технологічна операція: свердління одночасно 2 отворів  $\varnothing 11,2^{+0,035}$

Технічний маршрут механічної обробки.

001 Транспортна

Транспортувати деталі на механічну дільницю.

002 Завантажувальна

Завантажити деталі в накопичувач.

005 Свердлильна

Вертикально – свердлильний верстат моделі 2Н135.

1. Встановити та закріпити деталь.
2. Свердлити одночасно 2 отвори  $\varnothing 11,2^{+0,035}$ .
3. Зняти оброблену деталь.

Розробка маршруту обробки деталі кришка наведена в таблиці 2.3.

Розрахунок часу обробки деталі:

$$T_o = \frac{l + l_1 + l_{доц}}{n \cdot S} \cdot i; \quad (2.1)$$

де  $l$  – товщина деталі;

$l_1$  – довжина перебігу та врізання;

$l_{доц} = 0$ ;

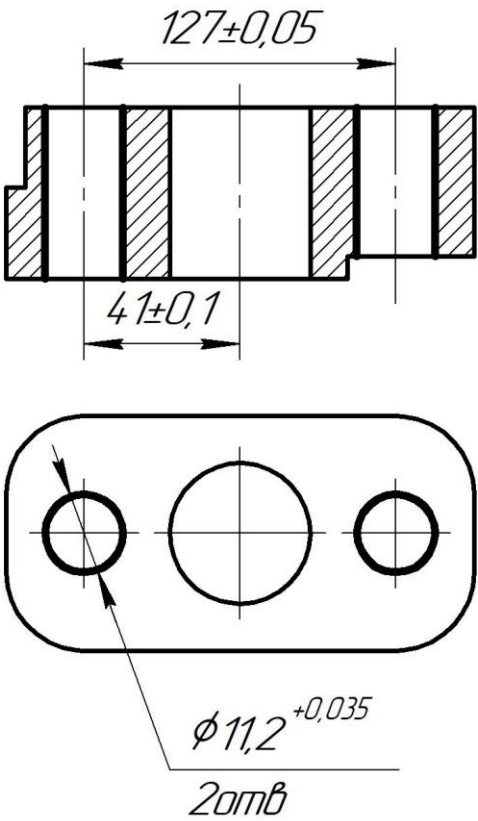
$n$  – частота обертання шпинделя ( $355 \text{ хв}^{-1}$ );

$S$  – хвилинна подача ( $0.2 \text{ мм/об}$ );

$i$  – кількість переходів.

$$T_o = \frac{40 + 4}{355 \cdot 0,2} = 0,6 \text{ хв.}$$

Таблиця 2.3 – Обробка деталі кришка на свердлильній операції

| Номер та найменування операції | Модель верстату                | Операційний ескіз                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Зміст операції                                                                                                                                                             |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 005 Вертикально-свердлильна    | Вертикально-свердлильний 2Н135 |  <p>Technical drawing of a part for drilling. The top view shows a rectangular part with rounded corners, overall width <math>127 \pm 0,05</math> and height <math>41 \pm 0,1</math>. It has three circular features: two small holes on the left and right, and a larger central hole. The small holes have a diameter <math>\phi 11,2^{+0,035}</math>. The bottom view shows the same part with hatching indicating the drilling area. The text "2отв" is written below the small holes.</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити і закріпити деталь.</li> <li>2. Свердлити одночасно два отвори згідно з ескізом.</li> <li>3. Зняти деталь.</li> </ol> |

### 2.3 Аналіз особливостей вибраного верстата для автоматизації

Для даної операції вибираємо вертикально-свердлильний верстат моделі 2Н135. Вертикально-свердлильні верстати використовують переважно для обробки отворів в деталях порівняно невеликого розміру. Для суміщення осей оброблюваного отвору та інструмента на цих верстатах передбачено переміщення заготовки відносно інструменту [5].

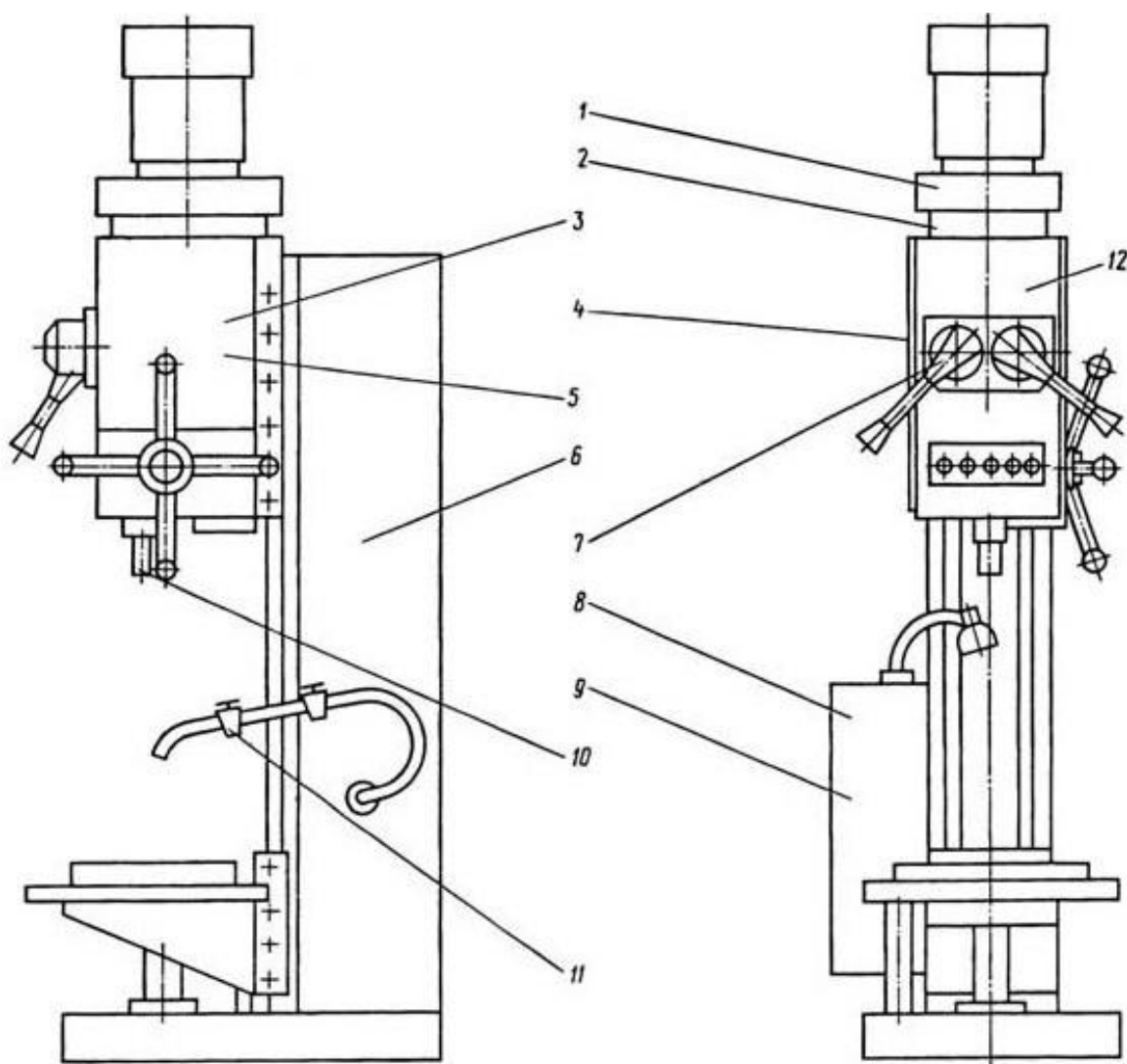


Рисунок 2.2 – Вертикально-свердильний верстат:

1 – привод свердильного верстату; 2 – коробка швидкостей; 3 – насос плунжерний масляний; 4 – насос плунжерний масляний; 5 – коробка подач;  
 6 – колонна; 7 – рукоятки керування швидкостями та подачею;  
 8 – електрошафа; 9 – електрообладнання; 10 – шпиндель; 11 – система охолодження; 12 – свердильна головка

На станині вертикально – свердильного верстата (рис. 2.2) розташовані основні частини верстата. Станина має вертикальні направляючі, по котрим переміщується стіл і свердильна головка 12, несуча шпиндель 10 та двигун.

Керування коробками швидкостей та подач здійснюється рукоятками 7, ручна подача – штурвалом. Глибину обробки контролюють по лімбу. В ніші розташоване електрообладнання та противага. В деяких верстатах

електрообладнання виносять в окрему шафу. Фундаментальна плита служить опорою верстата. Стіл верстата переміщують по направляючим за допомогою гвинтового механізму маховичком. Охолоджена рідина подається електронасосом по шлангу 11.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики верстату

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| Найбільший діаметр свердління, мм                     | 35        |
| Найбільше осьове переміщення шпинделя, мм             | 250       |
| Відстань від кінця шпинделя до стола, мм              | 30-750    |
| Частота обертів шпинделя, $\text{хв}^{-1}$            | 31,5-1400 |
| Число частот обертів шпинделя                         | 12        |
| Подача, мм/об                                         | 0,1-1,2   |
| Потужність електродвигуна головного руху, кВт         | 4,5       |
| Частота обертів валу електродвигуна, $\text{хв}^{-1}$ | 1450      |

Агрегатна компоновка верстата зручна та дозволяє автоматизувати дану операцію, відстань від підлоги до столу верстата 700 мм, довжина стола 500 мм, ширина стола 450 мм. Відстані від столу до засобу автоматизації 50 мм.

## 2.4 Розробка конструкторської схеми автоматизованої операції

По проведеній попередній розробці ескізного проекту засобу автоматизації у комплексі з металообробним верстатом та проведеному аналізу можна зробити висновки про те, що засіб автоматизації для даного верстату підібрано правильно так, як він займає зручне положення біля верстату, не займає багато місця та набагато спрощує операцію по обробці заданої деталі безперервно на 30 хвилин роботи верстата [13-15].



Засіб автоматизації складається з магазина-накопичувача в якому у дві стопки складені заготовки деталі, та механізму завантаження, який подає ці заготовки безпосередньо на стіл верстата затискне пристосування для подальшої обробки свердлінням. Накопичувач та механізм завантаження розташовані з боку верстата на відстані 50мм. на спеціальному ступінчастому столі на рівні затискного пристрою верстата.

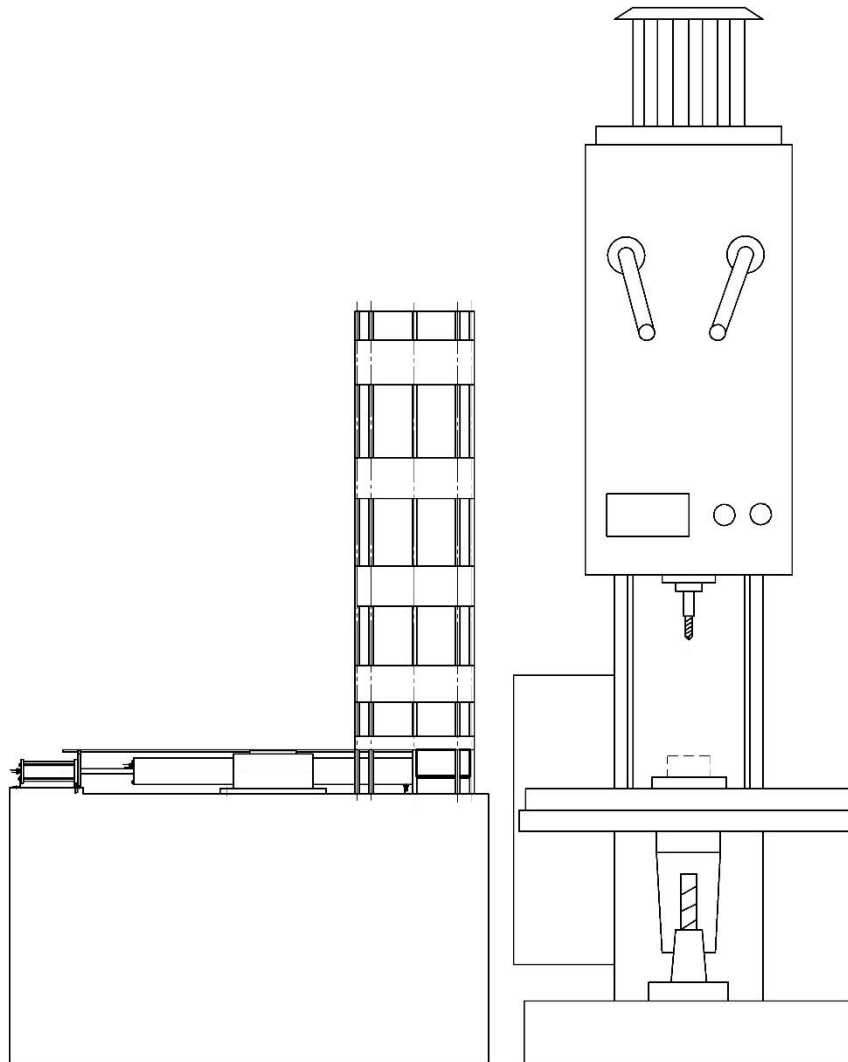


Рисунок 2.4 – Компонувальна схема автоматизованої операції

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розрахунок накопичувального пристрою

Накопичувальні пристрої бувають магазинні, бункерно-магазинні і бункерні. В залежності від конфігурації оброблюваних деталей вибирається відповідний накопичувальний пристрій. Розміри накопичувального пристрою залежать від розмірів заготовок та їх кількості в накопичувачі. Об'єм накопичувача визначається необхідним запасом заготовок для забезпечення безперервної роботи завантажувального пристрою на протязі розрахункового періоду часу [16-18].

Об'єм накопичувача заготовок визначаються за допомогою формули:

$$V_n = \frac{g}{g} \cdot \frac{T}{t_{оп}}, \quad (3.1)$$

де  $V_n$  – об'єм накопичувача;

$g$  - об'єм заготовки;

$T$  – період часу безперервної роботи завантажувального пристрою без його дозавантаження;

$t_{оп}$  – час обробки заготовки на верстаті;

$g$  – коефіцієнт об'ємного заповнення накопичувача заготовками ( 0,9 ).

Оскільки деталь має форму паралелограма то її об'єм:

$$g = a \cdot b \cdot c, \quad (3.2)$$

$$g = 80 \cdot 40 \cdot 157 = 502400 \text{ мм}^3 = 502,4 \text{ м}^3$$

Тоді, відповідно до (3.1) маємо:

$$V_n = \frac{502,4}{0,9} \cdot \frac{30}{0,6} = 27910 \text{ м}^3$$

Згідно визначеного об'єму встановлюємо розміри накопичувача, він буде мати форму паралелограма зі сторонами:  $a=170$ ;  $b=180$ ;  $c=1000$ .

### 3.2 Кінематичні розрахунки засобу автоматизації

В розробленій конструкції рухомим механізмом є тільки механізм завантаження (подачі) деталі з накопичувача в затискне пристосування верстата. Конструкція цього механізму показано на рисунку 3.1.

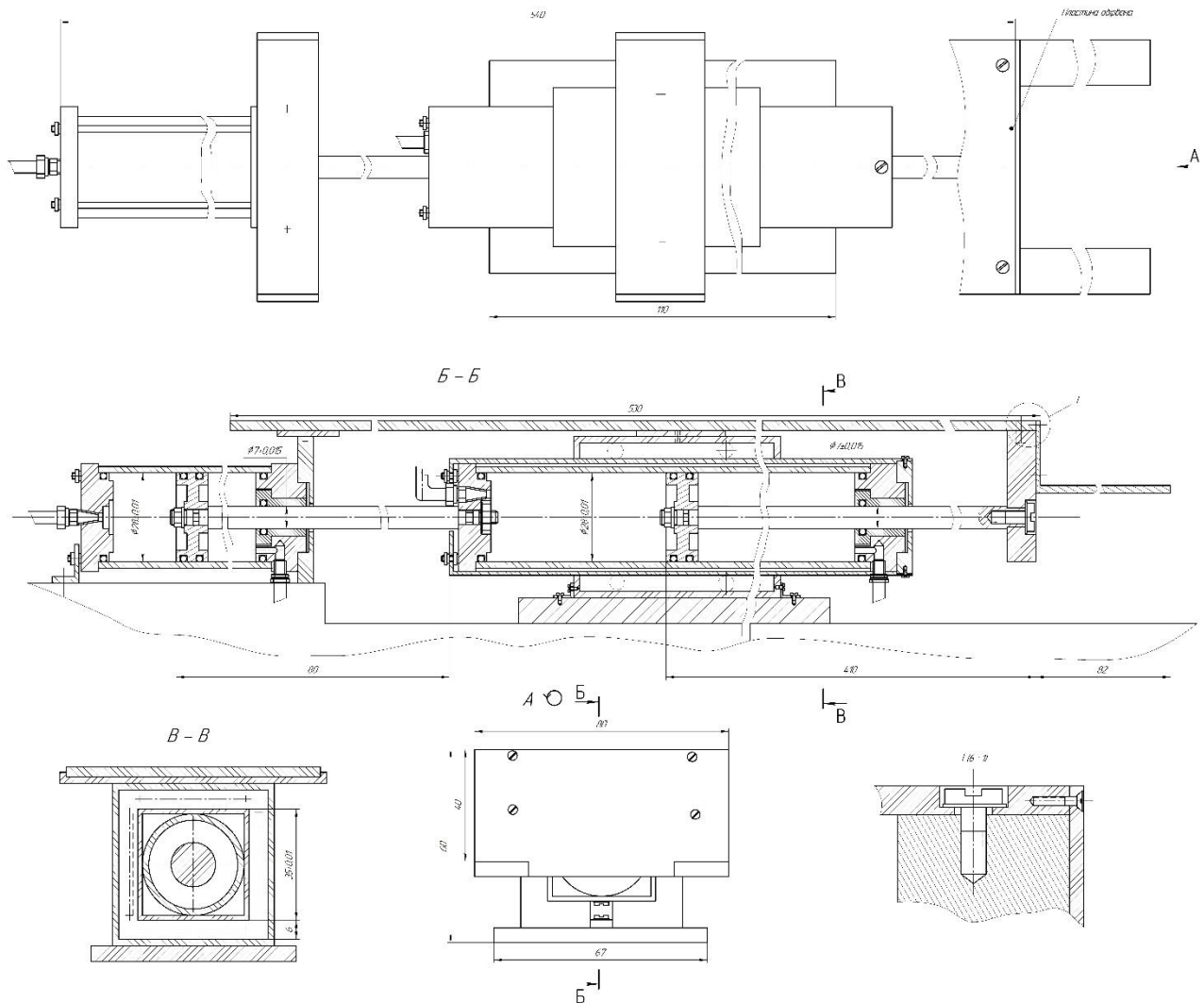


Рисунок 3.1 – Конструкція механізму завантаження

Із рисунку 3.1 слідує, що при завантаженні передбачається переміщення заготовки із магазину на позицію верстату.

Величина цього переміщення:

$$l = 410 \text{ мм.}$$

Швидкість руху складає:

$$V = 0,4 \text{ м/с.}$$

Звідки час роботи пристосування:

$$t_p = \frac{0,41}{0,4} \approx 1 \text{ с}$$

Такий же час необхідний і для зворотного руху:

$$t_{зв} = 1 \text{ с.}$$

### **3.3 Розробка циклограми роботи верстатного комплексу**

Визначивши час виконання операції та час спрацювання механізмів завантажувального пристрою складаємо циклограму роботи верстатного комплексу. При цьому необхідно забезпечити максимально можливу його продуктивність для чого необхідно, по можливості, щоб час спрацювання механізмів комплексу перекривався роботою верстата, а величина часу спрацювання механізмів була мінімальною. Циклограма будується у

прийнятому масштабі часу, визначаючи час циклу роботи комплексу дана циклограма показана на рисунку 3.2.

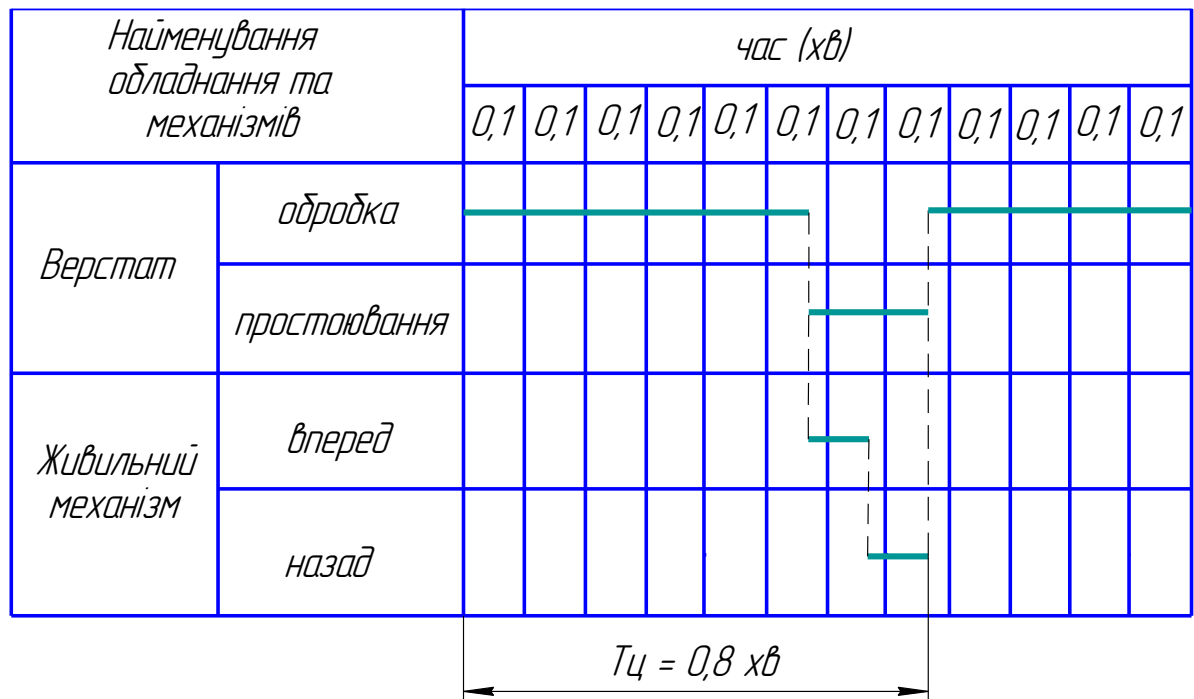


Рисунок 3.2 – Циклограма роботи комплексу

Із наведеної циклограми видно, що спрацювання механізму відбувається послідовно без перекриття роботою верстата, оскільки час спрацювання механізму порівняно не великий.

Час циклу роботи комплексу становить 0,8 хв.

### 3.4 Розрахунок механізмів засобу автоматизації на точність

Розрахуємо діаметр пневмоциліндра. Оскільки пневмоциліндр двохсторонньої дії, то його діаметр визначається за формулою [19]:

$$D = 1,13\sqrt{P_3 / p}, \quad (3.3)$$

де  $P_3$  – сила закріплення заготовки, Н;

$p$  – залишковий тиск стиснутого повітря, МПа.

Тож, скориставшись формулою (3.3), маємо:

$$D = 1,13\sqrt{160 / 0,2} = 28 \text{ мм}.$$

Розрахуємо шток пневмоциліндра на міцність та жорсткість.

Оскільки ми маємо вільний кінець штоку, то для розрахунку приймемо шток за консольну балку.

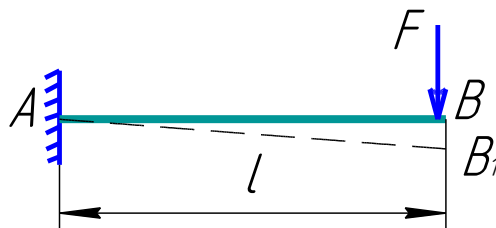


Рисунок 3.3 – Схема до розрахунку штоку пневмоциліндра

Визначимо прогин балки (рис. 3.3) та розрахуємо її на міцність, якщо:

$$[w] = l/500,$$

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа},$$

Інші параметри:

$$F = 4,9 \text{ кН},$$

$$l = 410 \text{ мм} = 0,4 \text{ м},$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Умова жорсткості балки при зминанні має вигляд:

$$w_{max} \leq [w]. \quad (3.4)$$

Максимальний прогин балки має бути в точці В і за принципом незалежності дії сил:

$$w_B = w_F, \quad (3.5)$$

де  $w_F$  - прогин балки в точці В від дії сили  $F$ , який визначається за формулою:

$$w_F = Fl^3/(3EJ_y), \quad (3.6)$$

Тоді умова жорсткості має вигляд:

$$w_B = Fl^3/(3EJ_y) \leq l/500, \quad (3.7)$$

$$J_y = \frac{F \cdot l^3 / (l/500)}{3E}, \quad (3.8)$$

Відповідно до (3.8), маємо:

$$J_y = \frac{0.3 / 0.0008}{6 \cdot 10^5} = 62 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Відповідно до (3.7), маємо:

$$w_B = 4.9 \cdot 0.41^3 / (3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 62 \cdot 10^{-5}) = 0.00078 \text{ м}.$$

Умова жорсткості виконується, оскільки  $w_{\max} \leq [w]$ .

Тепер перевіримо балку на міцність.

Максимальне напруження визначається залежністю:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}, \quad (3.9)$$

де  $W_y$  – момент опору;

Згинальний момент:

$$M_{\max} = -Fl = -4.9 \cdot 0.41 = -2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Відповідно:

$$\sigma_{\max} = \frac{2 \cdot 10^3}{952 \cdot 10^{-6}} = 2.1 \cdot 10^6 \text{ МПа}.$$

Отже, умова міцності виконується, оскільки максимальні напруження не перевищують допустимих значень.



### 3.5 Розрахунок різьбових з'єднань пневмоциліндру

Розрахуємо шпильки, які з'єднують кришки з циліндричним сосудом для стиснутого повітря (мал..6), при наступних даних: тиск стиснутого повітря в циліндрі  $p = 0,4$  МПа, діаметр кришок  $D = 40$  мм, товщина кришок  $h = 15$  мм, число шпильок  $z = 4$ , матеріал циліндру і кришок – сталеве литво.

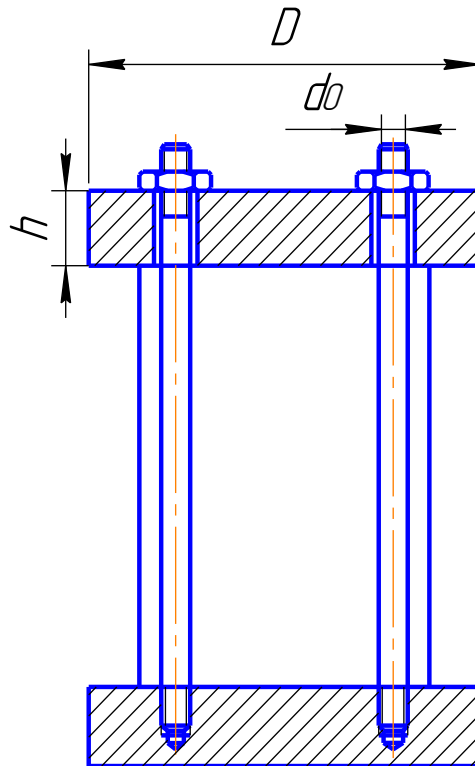


Рисунок 3.4 – Схема з'єднання пневмоциліндру

Приймемо шпильки нормальної точності, виготовлені зі сталі Ст3. Очевидно, що шпильки в даному з'єднанні повинні бути поставлені з попереднім натягом. Можлива наступна затяжка шпильок при робочому режимі. Шпильки з'єднання навантажені однаково [20-29].

Зовнішня сила  $F_z$ , діюча на шпилькове з'єднання, являє собою силу внутрішнього тиску стиснутого повітря на кришки циліндру та визначається за формулою:

$$F_3 = (\pi D^2 / 4) p, \quad (3.10)$$

Отже

$$F_3 = (3.14 \cdot 0.04^2 / 4) \cdot 0.4 \cdot 10^6 = 502.4 H.$$

Зовнішня сила, яка діє на одну шпильку визначається залежністю:

$$F = \frac{F_3}{z}. \quad (3.11)$$

$$F = 502.4 / 4 = 125.6 H.$$

Далі визначимо осьову силу  $F_a$ , яка розтягує шпильку і діє на неї після попереднього натягу та прикладення зовнішньої сили  $F$ .

Коефіцієнт зовнішнього навантаження  $\chi = 0.9$ , коефіцієнт затяжки шпильки  $k = 3$ .

Отримуємо:

$$F_a = [k(1 - \chi) + \chi] F. \quad (3.12)$$

$$F_a = [3 \cdot (1 - 0.9) + 0.9] \cdot 125.6 = 150.7 H.$$

Прийmemo за ГОСТ 380 – 71 для сталі Ст3 межу текучості  $\sigma_T = 220$  МПа.

З довідника вибираємо допускаємий коефіцієнт запасу міцності для шпильок  $[s] = 3$ , визначимо для них допустиму напругу на розтяг:

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{[s]} \quad (3.13)$$

$$[\sigma_p] = 220 / 3 = 73,3 \text{ МПа}$$

Внутрішній діаметр різьби шпильки по формулі:

$$d_1 = 1,3 \sqrt{\frac{Fa}{[\sigma_p]}}. \quad (3.14)$$

$$d_1 = 1,3 \sqrt{\frac{150,7}{73,3 \cdot 10^6}} = 0,003 \text{ м} = 3 \text{ мм}.$$

За СТ СЕВ 181-75 для шпильок приймаємо різь М8 (з великим кроком), внутрішній діаметр якої  $d_1=4\text{мм}$ .

Прийнятим розмірам різі шпильок та габаритами деталей які скріплюються відповідає шпилька М8х100 (ГОСТ 22042-76), та гайка М8 (ГОСТ 5915-70). Коефіцієнт запасу  $[s]=3$  вибраний вірно, так як по довіднику такий коефіцієнт запасу рекомендується для шпильок М6...М16.

По ГОСТ 5915-70 зовнішній діаметр опорної поверхні гайки  $a=16\text{мм}$ .

Прийmemo модулі пружності матеріалу шпильки (сталь Ст3):

$$E=2 \times 10^5 \text{ МПа},$$

Модулі пружності матеріалу кришок (сталеве лиття):

$$E_1 = E = 2 \times 10^5 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт піддатливості шпильки визначимо по формулі:

$$\lambda_{\sigma} = l / AE, \quad (3.15)$$

$$\lambda_{\sigma} = 0,064 / [(3,14 \cdot 0,008^2 / 4) \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^5] = 3,1 \cdot 10^{-8} \text{ м / Н}.$$

Діаметр отвору для шпильки прийmemo  $d_0=7\text{мм}$ .

Коефіцієнт піддатливості деталей, які скріплюються шпилькою:

$$\lambda_d = 2h_1 / (A_1 E_1) + h_2 / (A_2 E_2) = 2h_1 / \left\{ \left( \pi / 4 \right) \left[ (a + 0,5h_1)^2 - d_0^2 \right] E_1 \right\} + h_2 / \left\{ \left( \pi / 4 \right) \left[ (a + 0,5h_2)^2 - d_0^2 \right] E_2 \right\}, \quad (3.16)$$

$$\lambda_d = 2 \cdot 0,015 / \left\{ \left( 3,14 / 4 \right) \left[ (0,016 + 0,5 \cdot 0,015)^2 - 0,008^2 \right] \cdot 2 \cdot 10^5 \right\} + 0,015 / \left\{ \left( 3,14 / 4 \right) \left[ (0,016 + 0,5 \cdot 0,015)^2 - 0,007^2 \right] \cdot 2 \cdot 10^5 \right\} = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ м / Н}.$$

Коефіцієнт зовнішнього навантаження:

$$\chi = \frac{\lambda_d}{(\lambda_d + \lambda_o)}, \quad (3.17)$$

$$\chi = 6,8 \cdot 10^{-4} / (6,8 \cdot 10^{-4} + 3,1 \cdot 10^{-8}) = 0,9.$$

що співпадає з прийнятим раніше значенням.

Розрахуємо різьбове з'єднання на зріз та зминання скориставшись формулами:

розрахунок на зріз:

$$\tau_z = \frac{F}{(\pi \cdot d_0^2 / 4)} \leq [\tau_z], \quad (3.18)$$

розрахунок на зминання

$$\sigma_{zm} = \frac{F}{(d_0 \cdot h)} \leq [\sigma_{zm}], \quad (3.19)$$

де  $\tau_z$  – розрахункова напружка на зріз різьби;

$\sigma_{зм}$  – розрахункова напруга на зминання між витками різі;  
 $d_0$  – діаметр стержня шпильки в небезпечному перерізі;  
 $F$  – зовнішня сила яка діє на шпилькове з'єднання;  
 $h$  – довжина найбільш зминаємої частини стержня шпильки;  
 $[\tau_3]$  – допустима напруга на зріз різі;  
 $[\sigma_{зм}]$  – допустима напруга на зминання.

$$[\tau_3] = (0,2 \dots 0,3) \sigma_T = 0,2 \cdot 220 = 44 \text{ МПа}.$$

$$[\sigma_{зм}] = 0,8 \cdot \sigma_T = 0,8 \cdot 220 = 176 \text{ МПа}.$$

де  $\sigma_T = 220$  – межа текучості для сталі Ст3;

$$d_0 = \sqrt{4 \cdot \frac{F}{\pi \cdot [\tau_3]}}. \quad (3.20)$$

$$d_0 = \sqrt{4 \cdot 502,4 / 3,14 \cdot 44} = 4 \text{ мм}.$$

Отже,

$$\tau_3 = 502,4 / (3,14 \cdot 4^2 / 4) = 40 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{зм} = 502,4 / (4 \cdot 5) = 25 \text{ МПа}.$$

Умова міцності задовольняється оскільки  $\tau_3 < [\tau_3]$ , а  $\sigma_{зм} < [\sigma_{зм}]$ .

## ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота першого (бакалаврського) рівня на тему: “Автоматизація завантажувально-розвантажувальних робіт при механічній обробці деталі "Кришка"” присвячена розробці системи автоматизації завантажувально-розвантажувальних робіт для свердлильної операції механічної обробки деталі кришка, що забезпечить підвищення продуктивності праці, зниження собівартості продукції та покращення умов праці.

В роботі виконано аналіз існуючих методів та засобів автоматизації завантажувально-розвантажувальних робіт у виробничих процесах та розроблено компонувальну схему автоматизованої операції.

Було розраховано основні параметри накопичувального пристрою і проведено розрахунок механізмів засобів автоматизації на точність.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина I : навчальний посібник / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 100 с.
2. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II : навчальний посібник / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 123 с.
3. 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.
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. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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.

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

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., & Tenenka, 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., 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.

15. 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.

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



17. 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.

18. 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.

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

20. 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.

21. 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).

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

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

29. 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.