

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

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
на тему:

**Розробка завантажувального пристрою верстату на  
токарну операцію з ЧПУ для механічної обробки  
деталі вал**

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

Керівник роботи:  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Максим ГОДУНКО

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

Кропивницький 2026

# **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 Клеветі Дмитру Валерійовичу**

### **Тема роботи:**

Розробка завантажувального пристрою верстату на токарну операцію з ЧПУ для механічної обробки деталі вал

### **Керівник роботи:**

канд. техн. наук, доцент Максим ГОДУНКО

Затверджено наказом ЦНТУ від 1 квітня 2026 року № 201-02.

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

1 червня 2026 р.

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

Мета: розробка завантажувального пристрою верстату на токарну операцію з ЧПУ для механічної обробки деталі вал і її автоматизованої подачі в робочу зону верстату.

Завдання: розглянути основні тенденції автоматизації та дослідити способи подачі заготовки (деталі) в робочу зону вибраного верстату; охарактеризувати деталь в плані автоматизованої обробки; розробити технологічний маршрут обробки деталі на заданій операції; розробити завантажувальний пристрій та провести відповідні розрахунки; розробити допоміжні пристрої та провести необхідні розрахунки; розробити кресленики верстатного комплексу, завантажувального пристрою та допоміжного пристрою для подачі деталі в зону різання.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи | Строк виконання роботи | Примітка |
|-------|-----------------------------------------------|------------------------|----------|
| 1     | Виконання Розділу 1                           | 11.05.2026 р.          |          |
| 2     | Виконання Розділу 2                           | 14.05.2026 р.          |          |
| 3     | Виконання Розділу 3                           | 18.05.2026 р.          |          |
| 7     | Розробка креслеників                          | 27.05.2026 р.          |          |
| 8     | Перевірка роботи на академічний плагіат       | 28.05.2026 р.          |          |
| 9     | Рецензування роботи                           | 01.06.2026 р.          |          |
|       |                                               |                        |          |

Дата видачі завдання  
13 квітня 2026 р.

Здобувач вищої  
освіти

\_\_\_\_\_

Дмитро КЛЕВЕТА

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

Максим ГОДУНКО

## АНОТАЦІЯ

Клевета Д.В. Розробка завантажувального пристрою верстату на токарну операцію з ЧПУ для механічної обробки деталі вал : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. М.О. Годунко. Центральнотукаїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2026. 58 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Кваліфікаційна робота присвячена актуальній проблемі підвищення ефективності механічної обробки деталей машин шляхом автоматизації допоміжних операцій завантаження та розвантаження металорізального обладнання. Актуальність роботи обумовлена необхідністю скорочення непродуктивних витрат часу, зменшення частки ручної праці та підвищення продуктивності верстатних комплексів в умовах сучасного серійного виробництва. Автоматизація процесів подачі заготовок дозволяє забезпечити стабільність виробничого процесу, підвищити якість обробки та ефективність використання обладнання.

У роботі виконано аналіз конструктивних і технологічних особливостей деталі типу «Вал» зі сталі 45, проведено оцінку її придатності до автоматизованої обробки та обґрунтовано вибір операції для автоматизації. На основі аналізу технологічного процесу визначено найбільш доцільну для автоматизації операцію чистового точіння. Проведено розрахунок маси деталі, аналіз точності та шорсткості поверхонь, визначено показники продуктивності та рівень автоматизації технологічних операцій.

У конструкторській частині виконано розрахунок накопичувального пристрою, кінематичні та силові розрахунки основних елементів завантажувального механізму. Запропонована конструкція забезпечує автоматичне накопичення, орієнтування, поштучну видачу та транспортування заготовок у робочу зону верстата.

Практична цінність роботи полягає у розробці працездатного засобу автоматизації, який може бути використаний при модернізації токарних верстатів з ЧПК для обробки валів подібної конструкції. Впровадження запропонованого рішення дозволяє зменшити допоміжний час виконання операції, підвищити продуктивність праці, знизити навантаження на оператора та створити передумови для подальшої автоматизації виробничих процесів у машинобудуванні.

**Ключові слова:** автоматизація виробництва, завантажувальний пристрій, токарний верстат з ЧПК, магазинний накопичувач, деталь типу вал, механічна обробка, продуктивність, технологічний процес, завантажувально-розвантажувальний пристрій, серійне виробництво.

## ABSTRACT

Kleveta D.V. Development of a Loading Device for a CNC Turning Operation for Machining a Shaft-Type Part: Bachelor's Qualification Thesis: Specialty 131 Applied Mechanics / Scientific Supervisor M.O. Hodunko. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi: CUNTU, 2026. 45 p.

Drawings – 3 sheets of A1 format.

The qualification thesis is devoted to the relevant issue of improving the efficiency of machining processes through the automation of auxiliary operations related to loading and unloading metal-cutting equipment. The relevance of the study is determined by the need to reduce non-productive time losses, decrease the share of manual labor, and increase the productivity of machine-tool systems under modern batch production conditions. Automation of workpiece feeding processes ensures production stability, improves machining quality, and increases equipment utilization efficiency.

The thesis presents an analysis of the design and technological features of a shaft-type part made of Steel 45. Its suitability for automated machining has been evaluated, and the most appropriate operation for automation has been selected and justified. Based on the analysis of the technological process, the finish turning operation was identified as the most suitable for automation. The mass of the part was calculated, the dimensional accuracy and surface roughness requirements were analyzed, and productivity indicators together with the level of automation of the technological operations were determined.

The engineering section includes the design calculation of the storage device, as well as kinematic and force calculations of the main elements of the loading mechanism. The proposed design provides automatic accumulation, orientation, single-piece feeding, and transportation of workpieces into the machine working zone.

The practical value of the thesis lies in the development of a functional automation device that can be used for the modernization of CNC lathes intended for machining shaft-type parts of similar design. Implementation of the proposed solution makes it possible to reduce auxiliary operation time, increase labor productivity, decrease operator workload, and create prerequisites for further automation of manufacturing processes in mechanical engineering.

Keywords: production automation, loading device, CNC lathe, magazine storage unit, shaft-type part, machining, productivity, technological process, loading and unloading device, batch production.

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

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи на тему:

**Розробка завантажувального пристрою верстату на токарну  
операцію з ЧПУ для механічної обробки деталі вал**

**КРБ.ПМ.26.07.03.00.00**

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

Керівник роботи:  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Максим ГОДУНКО

Кропивницький 2026

## **ЗМІСТ**

|                                                                                                          |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Вступ</b>                                                                                             | <b>8</b>  |
| <b>Розділ 1. Загальна частина</b>                                                                        |           |
| 1.1 Характеристика завантажуваної деталі в плані автоматизованої обробки. Вибір автоматизованої операції | 10        |
| 1.2 Розробка технології обробки деталі на заданій операції                                               | 19        |
| 1.3 Аналіз особливостей вибраного верстата для автоматизації                                             | 21        |
| 1.4 Розробка компоновальної схеми автоматизованої операції, її будова та робота                          | 23        |
| <b>Розділ 2. Конструкторська частина</b>                                                                 |           |
| 2.1 Конструктивні розрахунки завантажувального пристрою                                                  | 37        |
| 2.2 Вибір сервопривода штовхача заготовки                                                                | 42        |
| 2.3 Розробка циклограми роботи верстатного комплексу                                                     | 45        |
| <b>Розділ 3. Організаційно-економічна частина</b>                                                        | <b>35</b> |
| 3.1 Розрахунок техніко-економічних показників ЗПВ                                                        | 53        |
| 3.2 Розрахунок річного економічного ефекту                                                               | 53        |
| 3.3 Термін окупності та оцінка економічної доцільності                                                   | 53        |
| <b>Висновки</b>                                                                                          | <b>55</b> |
| <b>Список використаних джерел</b>                                                                        | <b>57</b> |

## ВСТУП

Сучасний розвиток машинобудівного виробництва характеризується постійним зростанням вимог до продуктивності, точності та економічності технологічних процесів. Одним із найбільш ефективних напрямків підвищення продуктивності праці є комплексна автоматизація виробничих процесів, яка передбачає не лише автоматизацію основних операцій механічної обробки, а й механізацію та автоматизацію допоміжних операцій, зокрема завантаження, орієнтування, транспортування та розвантаження заготовок.

У сучасному виробництві значна частина допоміжного часу витрачається на ручне виконання операцій подачі та зняття деталей з металорізальних верстатів. Це призводить до зниження ефективності використання обладнання, збільшення тривалості виробничого циклу та підвищення впливу людського фактора на якість виготовлення продукції. Особливо актуальною дана проблема є для серійного виробництва, де багаторазове повторення однакових операцій створює передумови для впровадження спеціалізованих засобів автоматизації.

Одним із перспективних напрямків підвищення ефективності роботи металорізального обладнання є застосування автоматичних завантажувально-розвантажувальних пристроїв. Використання таких пристроїв дозволяє забезпечити безперервну подачу заготовок у робочу зону верстата, скоротити непродуктивні витрати часу, підвищити коефіцієнт використання обладнання та покращити умови праці обслуговуючого персоналу.

У даній кваліфікаційній роботі розглядається питання автоматизації токарної обробки деталі типу «Вал» шляхом розробки завантажувально-розвантажувального пристрою для верстата з числовим програмним керуванням. Виконано аналіз конструктивних і технологічних особливостей деталі, визначено доцільність автоматизації обраної операції, проведено

розробку компонувальної схеми автоматизованої операції та виконано необхідні конструкторські розрахунки.

Метою роботи є розробка ефективного засобу автоматизації завантаження заготовок, який забезпечить підвищення продуктивності технологічного процесу, зменшення частки ручної праці та покращення техніко-економічних показників роботи верстатного обладнання.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі завдання:

- аналіз конструктивних особливостей деталі та умов її обробки;
- вибір операції, найбільш доцільної для автоматизації;
- розробка технологічної схеми автоматизованої обробки;
- вибір та обґрунтування типу завантажувального пристрою;
- виконання кінематичних і силових розрахунків елементів засобу автоматизації;
- оцінка ефективності запропонованого технічного рішення.

Практичне значення роботи полягає у створенні конструкції завантажувального пристрою, який може бути використаний для модернізації токарних верстатів з ЧПК та підвищення ефективності обробки деталей типу «Вал» в умовах серійного виробництва.

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1. Характеристика завантажуваної деталі в плані автоматизованої обробки. Вибір автоматизованої операції

Аналіз вихідних даних є одним із найважливіших етапів проєктування засобів автоматизації, оскільки саме конструктивні та технологічні особливості деталі визначають вибір схеми автоматизації, типу накопичувального пристрою, способу орієнтування заготовок, конструкції механізмів подачі та захоплення, а також необхідність застосування додаткових пристроїв контролю положення заготовки.

Вихідними даними для виконання курсового проєкту є креслення деталі типу «Вал» (рис. 1.1), технологічний маршрут її виготовлення та вимоги до точності обробки окремих поверхонь. Деталь виготовляється зі сталі 45 згідно з ГОСТ 1050–74 та використовується як елемент передачі крутного моменту в механізмах машин і устаткування. Про функціональне призначення деталі свідчить наявність шпонкових пазів, посадочних шийок та різьбових ділянок, призначених для встановлення шестерень, муфт або інших елементів приводу.

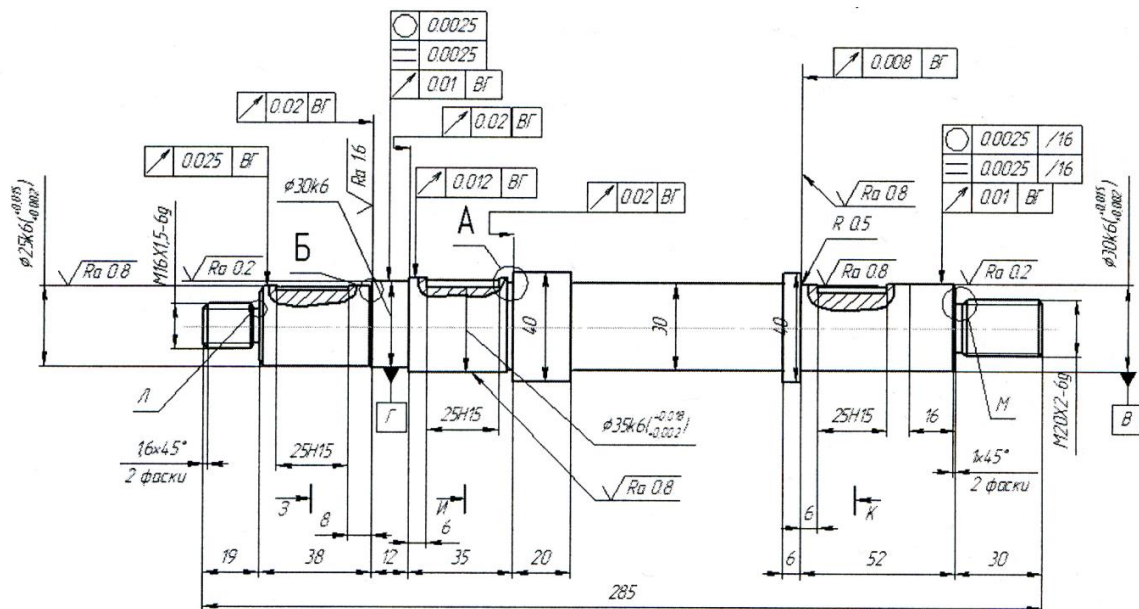


Рис. 1.1. Креслення деталі «Вал»

Дана деталь є вал з матеріалу сталь 45 ГОСТ 1050 – 74 він зручний для обробки у верстатному комплексі. Деталь може забезпечити три ступені

орієнтації при виконанні завантаження її на металорізальний верстат.

Твердість HRC 42...46, Невказані граничні відхилення розмірів  $\pm \frac{1}{2} IT13$ .

Вал призначений для насадження на нього шестерень, про що свідчать шпонкові пази, розташовані з обох боків деталі.

Інформація про матеріал оброблюваної деталі наведена в табл. 1.1 та її механічні властивості в табл. 1.2.

Таблиця 1.1 Хімічний склад матеріалу деталі

| Марка матеріалу | Склад елементів, % |        |        |        |       |           |
|-----------------|--------------------|--------|--------|--------|-------|-----------|
|                 | C                  | Si     | Mn     | Cr     | Ni    | інш.      |
| Сталь 45        | 0,22 –             | 0,90 – | 0,80 – | 0,80 – | 0,4 – | Ti 0,03 – |
|                 | 0,48               | 1,20   | 1,10   | 1,10   | 0,7   | 0,09      |

Таблиця 1.2. Механічні властивості матеріалу деталі

| Марка матеріалу | $\sigma_T (H / мм^2)$ | $\sigma_{\sigma} (H / мм^2)$ | Твердість HB |
|-----------------|-----------------------|------------------------------|--------------|
| Сталь 45        | 36                    | 61                           | 42...46      |

Для аналізу точності оброблюваної деталі наведемо ескіз креслення деталі (рис.1.2) з позначенням основних поверхонь. Всю наявну інформацію про точність деталі заносимо до табл. 3.

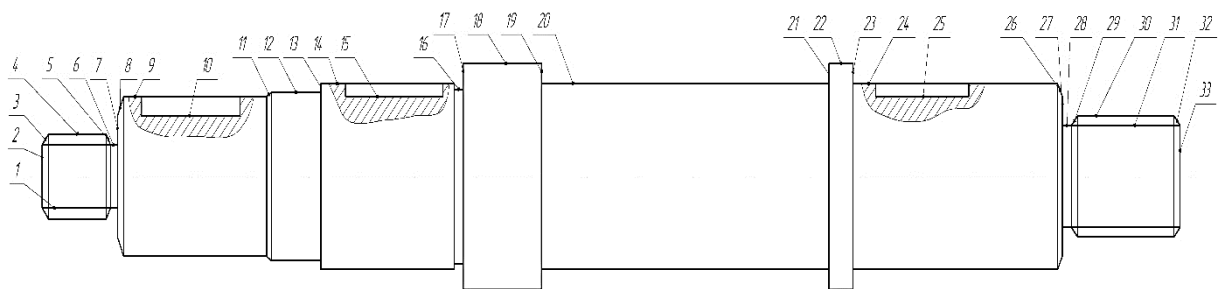
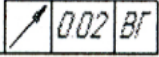
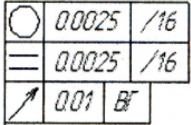
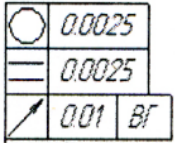


Рис.1.2 Ескіз деталі з позначенням поверхонь

Таблиця 3 Інформація про точність поверхонь деталі

| № поверхні      | Найменування поверхні | Розмір з відхиленням               | Квалітет точності | Точність форми та розміщення поверхні                                                 | Шорсткість поверхні (Ra, мкм) |
|-----------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1               | 2                     | 3                                  | 4                 | 5                                                                                     | 6                             |
| 2-33            | торець                | 285                                | —                 |    | 6.3                           |
| 3,8,11,27,29,32 | фаска                 | 1.5                                | —                 | —                                                                                     | 6.3                           |
| 14 – 24         | шийка                 | $\varnothing 35_{-0.002}^{-0.018}$ | к6                |    | 0.8                           |
| 10,15,25        | шпоночний паз         | 25                                 | H15               | —                                                                                     | 3.2                           |
| 18              | фланець               | 40                                 | —                 | —                                                                                     | 6.3                           |
| 1               | різьба                | M16×1,5                            | —                 | —                                                                                     | 6.3                           |
| 31              | різьба                | M20×2                              | —                 | —                                                                                     | 6.3                           |
| 16              | канавка               | $\varnothing 29.5_{-0.25}$         | —                 | —                                                                                     | 6.3                           |
| 12              | шийка                 | Ø30                                | к6                |  | 0.2                           |

Визначимо масу деталі для подальших розрахунків:

$$m = V \cdot \rho,$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 + V_9$$

$$V_{1-9} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l$$

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 16^2}{4} \cdot 19 = 3818 \text{ мм}^3$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 25^2}{4} \cdot 38 = 18643 \text{ мм}^3$$

$$V_3 = \frac{3,14 \cdot 30^2}{4} \cdot 12 = 8478 \text{ мм}^3$$

$$V_4 = \frac{3,14 \cdot 35^2}{4} \cdot 35 = 33656 \text{ мм}^3$$

$$V_5 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 20 = 25120 \text{ мм}^3$$

$$V_6 = \frac{3,14 \cdot 30^2}{4} \cdot 73 = 51574 \text{ мм}^3$$

$$V_7 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 6 = 7536 \text{ мм}^3$$

$$V_8 = \frac{3,14 \cdot 30^2}{4} \cdot 52 = 36378 \text{ мм}^3$$

$$V_9 = \frac{3,14 \cdot 20^2}{4} \cdot 30 = 9420 \text{ мм}^3$$

$$V = 3818 + 18643 + 8478 + 33656 + 25120 + 51574 + 7536 + 36378 + 9420 = 194623 \text{ мм}^3 = 0,195 \cdot 10^{-3}$$

$$m = 0,195 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3 \cdot 7,85 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^3} = 1,53 [\text{кг}]$$

**Виконаємо оцінку придатності деталі для автоматизованої обробки.** Для цього визначимо рівень автоматизації операцій та визначимо яку з операцій механічної обробки найбільш доцільно буде автоматизувати введенням в неї завантажувального пристрою (табл.1.4).

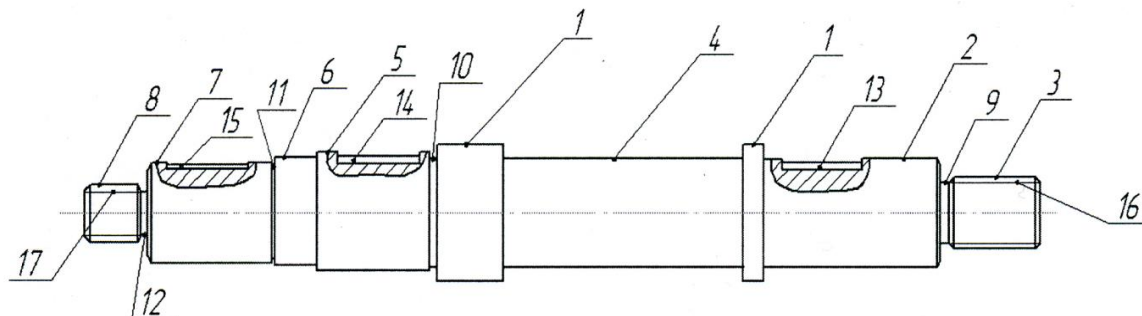


Рис.1.3. Ескіз деталі з нумерацією поверхонь

Табл.1.4 Перелік виконуваних операцій механічної обробки деталі «Вал»

| Номер операції | Найменування операції | Зміст операції      | Верстат, устаткування |
|----------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 1              | 2                     | 3                   | 4                     |
| 005            | Заготівельна          | Отримання заготовки |                       |

|     |                       |                                   |                                                                      |
|-----|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 010 | Фрезерно-центрувальна | Фрезерувати і центрувати торці    | Фрезерно-центрувальний                                               |
| 015 | Токарна               | Чорнове точіння поверхонь 2,3     | Токарний верстат з ЧПУ револьверною головкою, трикулачковий патроном |
| 020 | Токарна               | Чорнове точіння поверхонь 5,6,7,8 | Токарний верстат з ЧПУ револьверною головкою, трикулачковий патроном |
| 025 | Фрезерна              | Фрезерувати пази 13,14,15         | Фрезерний з ЧПУ, лещата                                              |
| 030 | Токарна               | Чистове точіння поверхонь 2,3     | Токарний верстат з ЧПУ револьверною головкою, трикулачковий патроном |
| 035 | Токарна               | Чистове точіння поверхонь 5,6,7,8 | Токарний верстат з ЧПУ револьверною головкою, трикулачковий патроном |

В даний час при високому рівні механізації основних виробничих процесів (80%) в більшості галузей все ще недостатньо механізовані допоміжні процеси (25-40%), багато робіт виконуються вручну. Найбільша кількість допоміжних робочих використовується на транспортуванні і переміщенні вантажів, на завантажувально-розвантажувальних роботах. Якщо ж врахувати, що продуктивність праці одного такого працівника майже в 20 рази нижче, ніж у зайнятого на комплексно-механізованих ділянках, то стає очевидною гострота проблеми подальшої механізації допоміжних робіт. Крім того, необхідно враховувати ту обставину, що механізація допоміжних робіт в промисловості обходиться в три рази дешевше, ніж основних. Операцію, яку слід автоматизувати, вибираємо виходячи з критерію рівня автоматизації, рівного відношенню основного часу обробки поверхні до штучного часу:

$$\alpha_T = \frac{T_0}{T_{шт}}$$

де  $T_0$  – основний час на обробку,  $T_{шт}$  – штучний час.

$$T_{шт} = T_0 + T_d + T_{тех.обс} + T_{орг.обс} + T_{отд},$$

де  $T_d$  - допоміжний час, що складається з часу на установку і зняття деталі, часу, пов'язаного з переходом, часу на вимірювання, зміну інструменту і зміну режимів різання;  $T_{орг.обс}$  - час на отримання інструменту і пристосувань;  $T_{тех.обс}$  - час обслуговування робочого місця;  $T_{отд}$  - час перерв на відпочинок і природні потреби.

Складемо звідну таблицю 5 часу для операцій і розрахуємо коефіцієнт.

Розрахуємо основний час по всіх переходах для операції 025:

$$T_0 = \frac{L \cdot i}{s_0 \cdot n}$$

де  $i$  - число робочих ходів;

$L$  - розрахункова довжина обробки у напрямі подачі з урахуванням врізання;

$s_0$  - подача;

$n$  - частота обертання

**Операція 025:** Чистове точіння поверхонь 2,3

1 .Глибина різання:  $t = 0,2$  мм

2.Подача:  $S = 0,2$  мм/об

3. Швидкість різання:

$$5v = \frac{C_v}{T^{m_t} \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v = \frac{420}{30^{0,2} \cdot 0,2^{0,15} \cdot 0,2^{0,2}} \cdot 0,8 = \frac{420 \cdot 0,8}{1,9 \cdot 0,78 \cdot 0,72} = 360 \text{ м/хв}$$

$T = 30$  мин

$C_v = 420$

$x = 0,15$

$y = 0,2$

$m = 0,2$

Визначимо частоту обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 360}{3,14 \cdot 40} = 2500 \text{ об/хв}$$

Основний час:

$$T_0 = \frac{L \cdot i}{s_0 \cdot n}$$

$$T_{01} = \frac{52 \cdot 1}{0,2 \cdot 2500} = 0,1 \text{ мин} = 6 \text{ сек}$$

$$T_{02} = \frac{30}{0,2 \cdot 2500} = 0,06 \text{ мин} = 3,6 \text{ сек}$$

$$T_0 = 6 + 3,6 = 9,6 \text{ сек} = 0,16 \text{ мин}$$

Допоміжний час:

$$T_B = t_{\text{УСТ}} + t_{\text{ПЕРЕХ}} + t_{\text{КОНТР}},$$

де:  $t_{\text{уст}}$  - час, пов'язаний з установкою, кріпленням, вивірянням, розкріплюванням і зняттям деталі, с;  $t_{\text{перех}}$  – час для виконання переходу, с;  $t_{\text{контр}}$  – час на контроль, с.

Час, пов'язаний з установкою і зняттям деталі визначуваний для установки в лещата з губками призматичної форми, що центруються, привід пневматичний до 20 кг:

$$t_{\text{УСТ}} = 0,256 \text{ хв} = 15 \text{ с}$$

Час для виконання переходу:

$$t_{\text{ПЕРЕХ}} = 2 \cdot 0,01 = 0,02 \text{ мин} = 1,2 \text{ с}$$

Час на контроль визначаємо для штангенциркуля з установкою на розмір в процесі вимірювання, точність вимірювання до 0,02 мм, розміру до 50 мм:

$$t_{\text{КОНТР}} = 0,226 \text{ хв} = 13,56 \text{ с}$$

По формулі отримуємо допоміжний час:

$$T_{\text{дон}} = 15 + 1,2 + 13,6 = 30 \text{ с}$$

По формулі визначаємо оперативний час:

$$T_{\text{он}} = T_0 + T_{\text{д}} = 9,6 + 30 = 39,6 \text{ с}$$

По формулі визначаємо час на технічне обслуговування:

$$T_{\text{тех.обс}} = 4\% \cdot T_{\text{он}} = 4\% \cdot 39,6 = 1,58 \text{ с}$$

По формулі визначаємо час на організаційне обслуговування:

$$T_{\text{орг.обс}} = 4\% \cdot T_{\text{он}} = 4\% \cdot 39,6 = 1,58 \text{ с}$$

По формулі визначаємо час на відпочинок і особисті потреби:

$$T_{\text{отд}} = 2\% \cdot T_{\text{он}} = 2\% \cdot 39,6 = 0,79 \text{ с}$$

По формулі знаходимо штучний час:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{он}} + T_{\text{орг.обс}} + T_{\text{тех.обс}} + T_{\text{отд}} = 39,6 + 1,58 + 1,58 + 0,79 = 43,55$$

$$с = 0,725 \text{ мин}$$

Таблиця 1.5 Нормування операції

| Операція | Найменування операції | T <sub>0</sub> , хв | T <sub>шт</sub> , хв | α <sub>T</sub> |
|----------|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------|
| 010      | Фрезерно-центрувальна | 0,2                 | 0,83                 | 0,31           |
| 015      | Токарна (чорнова)     | 0,465               | 1,06                 | 0,438          |
| 020      | Токарна (чорнова)     | 0,535               | 1,13                 | 0,473          |
| 025      | Токарна (чистова)     | 0,16                | 0,725                | 0,22           |
| 030      | Токарна (чистова)     | 0,208               | 0,778                | 0,26           |
| 035      | Фрезерна              | 0,45                | 1,04                 | 0,432          |

Необхідно автоматизувати операцію 025, оскільки

$$\alpha_T = \frac{T_0}{T_{\text{шт}}} = \frac{0,16}{0,725} = 0,22$$

Продуктивність по основному часу:

$$Q_0 = \frac{1}{T_0}$$

$$Q_0 = \frac{1}{0,16} = 6,25 \frac{1}{с}$$

Штучна продуктивність:

$$Q_0 = \frac{1}{T_{шт}}$$

$$Q_0 = \frac{1}{0,725} = 1,379 \text{ с}^{-1}$$

Аналізуючи показник автоматизації  $\alpha_T = 0,22$ , можна сказати, що операція 025 відноситься до середньої категорії автоматизації. Можна провести підвищення штучної продуктивності і наближення її до продуктивності по основному часу. Здійснення автоматизації даної операції, є доцільним. В рамках даної роботи проводиться підбір механізмів і пристроїв, для забезпечення накопичення заготовок, орієнтування, поштучної видачі, транспортування в зону обробки і видалення.

З погляду автоматизації особливе значення має можливість орієнтування деталі під час подачі до робочої зони верстата. Аналіз креслення показує, що вал має виражену осьову симетрію та відносно просту геометричну форму. Це забезпечує можливість його транспортування та накопичення у магазинних або призматичних накопичувачах без значного ризику заклинювання. Крім того, співвідношення довжини до найбільшого діаметра становить приблизно:

$$L/D = 285/40 = 7,1.$$

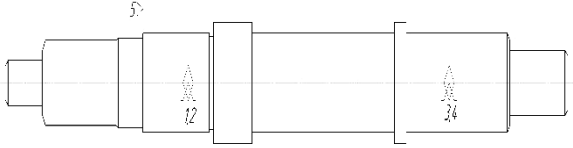
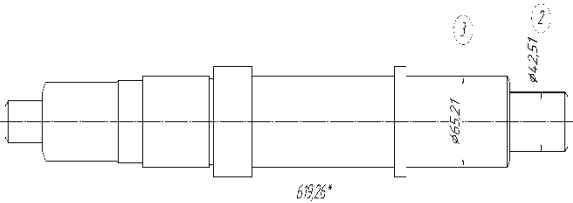
Отримане значення свідчить, що деталь належить до групи валів середніх розмірів. Такі заготовки можуть ефективно накопичуватись у похилих магазинах та подаватись у робочу зону за допомогою механізмів поштучної видачі.

Важливою характеристикою для проєктування завантажувального пристрою є маса деталі. На підставі геометричних розрахунків визначено, що маса вала становить приблизно 1,53 кг. Така маса не потребує використання потужних приводів або складних вантажопідйомних механізмів. Для транспортування та встановлення заготовки можуть бути використані компактні пневматичні або електромеханічні виконавчі механізми, що позитивно впливає на вартість і надійність засобу автоматизації.

## 1.2. Розробка технології обробки деталі на заданій операції.

Зміст розробленої технологічної операції подаємо у табл. 1.6.

Таблиця 1.6 Зміст технологічної операції

| Назва операції | Назва та модель верстата | Операційний ескіз                                                                                     | Зміст операції                                               |
|----------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1              | 2                        | 3                                                                                                     | 4                                                            |
| 025<br>Токарна | Токарний з ЧПК           | Схема базування<br> | 01 Встановити та закріпити деталь                            |
|                |                          | Перехід 1<br>      | 02 точити поверхні після довго витримуючи розміри<br>(2) (3) |

Розрахунок часу переміщення заготовки.

Час робочого ходу:  $t_{p.x.} = \frac{l_{p.x.}}{n \cdot s};$

Час, що витрачається на холості ходи:  $t_{x.x.} = \frac{l_{x.x.}}{V_{x.x.}}$

$V_{x.x.} = 6 \text{ м/хв.}$

Операція 025 – чистове точіння:

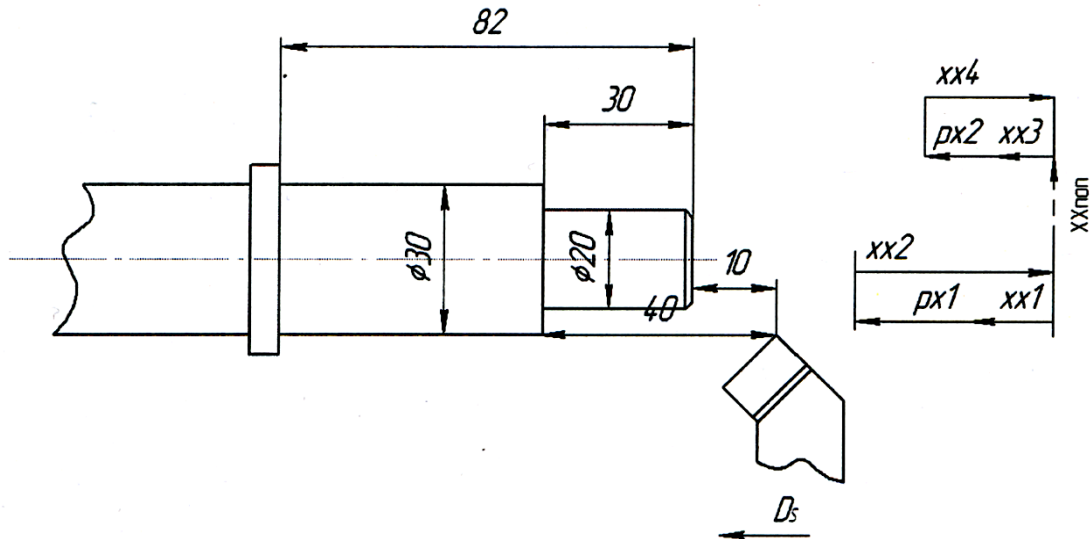


Рис.1.4. Ескіз механічної обробки деталі

1. Час холостого ходу №1 при повздовжній подачі:

$$t_{xx1} = 0,04 / 6 = 0,0066 \text{ хв} = 0,4 \text{ с}$$

2. Час робочого ходу:

$$t_{px1} = l / n \cdot S = 52 / 2500 \cdot 0,2 = 0,104 \text{ хв} = 6 \text{ с}$$

3. Час холостого ходу №2 при повздовжній подачі:

$$t_{xx2} = 0,092 / 6 = 0,015 \text{ хв} = 0,9 \text{ с}$$

4. Час холостого ходу при поперечній подачі:

$$t_{поп} = 0,005 / 6 = 0,0008 \text{ мин} = 0,048 \text{ с}$$

5. Час холостого ходу №3 при повздовжній подачі:

$$t_{xx3} = 0,01 / 6 = 0,0016 \text{ хв} = 0,096 \text{ с}$$

6. Час робочого ходу:

$$t_{px2} = l / n \cdot S = 30 / 2500 \cdot 0,2 = 0,06 \text{ хв} = 3,6 \text{ с}$$

7. Час холостого ходу №4 при подовжній подачі:

$$t_{xx4} = 0,04 / 6 = 0,0066 \text{ хв} = 0,4 \text{ с}$$

8. Час циклу:

$$T_{ц} = t_{xx1} + t_{px1} + t_{xx2} + t_{поп} + t_{xx3} + t_{px2} + t_{xx4} = 0,4 + 6 + 0,9 + 0,048 + 0,096 + 3,6 + 0,4 = 11,444 \text{ с} = 0,19 \text{ хв}$$

Тоді циклова продуктивність:

$$Q_{ц} = 1 / T_{ц} = 1 / 0,19 = 5 \text{ шт/мин}$$

Недоліком отриманих результатів є те, що для роботи обладнання без перезавантаження накопичуючого пристрою протягом 2-х годин, потрібно буде близько 300 деталей. Але враховуючи те, що операції 015, 020 та 030 можливо виконувати на тому ж верстаті, що й 025-ту операцію, при умові що буде вибрано верстат з ЧПК, то кількість потрібних деталей зменшиться як мінімум втричі.

### **1.3. Аналіз особливостей вибраного верстата для автоматизації**

Для автоматизації токарної обробки вибираємо сучасний токарний обробний центр з ЧПК HAAS ST-20, що випускається американською компанією Haas Automation і широко представлений на сучасному ринку металообробного обладнання, у тому числі в Україні.

Верстат призначений для токарної обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь тіл обертання, підрізання торців, проточування канавок, нарізання різьб (у тому числі з постійним кроком), а також для свердління та розточування за допомогою інструментів з приводного інструментального блоку. ST-20 застосовується переважно в умовах дрібно- та середньосерійного виробництва, а завдяки високій жорсткості станини та сучасній системі ЧПК Haas NextGen Control дозволяє забезпечувати високу точність та продуктивність обробки.

Базова конфігурація верстата (без додаткових опцій автоматизації) виконує операції в напівавтоматичному циклі: безпосередньо процес різання, зміна інструменту в револьверній головці та переміщення робочих органів виконуються автоматично за керуючою програмою, проте встановлення заготовки в патрон та зняття обробленої деталі здійснюється оператором вручну. Саме тому для підвищення продуктивності та переходу до безлюдної (або малолюдної) роботи верстата необхідне застосування завантажувально-розвантажувального пристрою (ЗПВ), що інтегрується у робочий цикл верстата через систему ЧПК.

Слід зазначити, що компанія Haas Automation пропонує для серії ST-20 фірмову опцію автоматизації — Automatic Parts Loader (APL), призначену для автоматичного завантаження/розвантаження заготовок типу тіл обертання. Однак вартість фірмового рішення є досить високою, а його конструкція орієнтована на типові деталі обмеженого діапазону розмірів, що не завжди відповідає номенклатурі деталей конкретного виробництва. Тому в межах даної роботи доцільно розробити власну конструкцію ЗПВ, адаптовану до конкретної деталі та виробничих умов, з можливістю інтеграції у систему керування верстата за допомогою додаткових М-команд та сигналів автоматичних дверей (Auto Door), якими верстат оснащений у стандартній конфігурації.

### **Технічна характеристика верстата HAAS ST-20:**

|                                                               |              |
|---------------------------------------------------------------|--------------|
| Найбільший діаметр оброблюваної заготовки:.....               |              |
| - над станиною (max swing), мм .....                          | 533          |
| - над суппортом (max turning diameter), мм.....               | 330          |
| Найбільша довжина оброблюваної заготовки, мм .....            | 572          |
| Частота обертання шпинделя, об/хв.....                        | 40–4000      |
| Потужність привода головного руху, кВт (к.с.) .....           | 15 (20)      |
| Число інструментальних позицій револьверної головки, шт. .... | 12           |
| Швидкість швидких переміщень суппорта, м/хв: .....            |              |
| - вздовж осі Z.....                                           | 24           |
| - по осі X.....                                               | 12           |
| Швидкість робочої подачі, мм/об.....                          | 0,001–500    |
| Дискретність переміщення (роздільна здатність), мм: .....     |              |
| - по осі Z.....                                               | 0,001        |
| - по осі X.....                                               | 0,001        |
| Число керованих координат.....                                | 2            |
| - вздовж осі шпинделя .....                                   | координата Z |
| - перпендикулярно осі шпинделя .....                          | координата X |
| Діаметр отвору шпинделя, мм .....                             | 89           |

Тип патрона..... гідравлічний, А2-6  
Система ЧПК .....Haas NextGen Control  
Габаритні розміри верстата (Д×Ш×В), мм .....3630×2290×2210  
Маса верстата, кг ..... ≈4300

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

В даному пункті за вказівкою керівника кваліфікаційної роботи виконаємо аналіз існуючих конструкцій завантажувальних пристроїв, рекомендованих літературними джерелами, а також сучасних рішень автоматизації провідних виробників верстатів з ЧПК, і обґрунтуємо доцільність використання обраної конструкції як основи для подальшого конструювання, модернізації та розрахунків з урахуванням особливостей верстата HAAS ST-20, обраного у п. 1.3.

Вибір типу завантажувального пристрою проведемо виходячи з рекомендації [3, с.9]: при  $T_0$  менше 30 секунд слід вибрати бункерний завантажувальний пристрій. Проте конструкція і габаритні розміри заготовки не дозволяють зробити подібний вибір, оскільки велика вірогідність заклинювання заготовок в бункері. Тому слід вибрати магазинний завантажувальний пристрій (магазин).

Магазинні завантажувальні пристрої простіші за конструкцією та мають меншу вартість порівняно з бункерними і роторними.

Вибираємо магазинний завантажувальний пристрій.

Магазинним завантажувальним пристроєм називають комплекс функціональних механізмів, що здійснюють автоматичну подачу штучних заготовок з накопичувача в позицію обробки, при цьому орієнтування і завантаження заготовок в магазин проводиться вручну. У сучасних автоматизованих комплексах функції контролю наявності заготовок та узгодження циклу подачі з роботою верстата додатково можуть виконувати

датчики та контролери, проте принцип ручного завантаження магазину залишається типовим для дрібно- та середньосерійного виробництва.

Існує багато різних видів завантажувальних пристроїв. Розглянемо і проаналізуємо приклади класичних конструкцій магазинних завантажувальних пристроїв, рекомендованих літературними джерелами, а також сучасний варіант компоновальної схеми, що враховує актуальні тенденції автоматизації верстатів з ЧПК.

### **Завантажувально-розвантажувальний пристрій № 1.**

В деяких випадках для видалення оброблених деталей завантажувальні пристрої мають механізм вивантаження (рис. 1.5). На кронштейні механізму розміщений гідроциліндр 2 з призмою 1. Переміщення гідроциліндра 2 з призмою відносно нерухомого поршня зі штоком 3 забезпечується нагнітанням масла в порожнину циліндра. Після того, як на висунуту до лінії центрів верстата призму 1 падає оброблена деталь, відбувається відведення циліндра 2, а отже і призми з обробленою деталлю, у початкове положення. Механізм проштовхування переміщує оброблену деталь, а за допомогою механізму скидання деталей транспортується в тару.

Переваги:

- малі габаритні розміри;
- простота обслуговування;
- можливість установки на робочому місці.

Є розвантажувальний пристрій; оброблена заготовка видаляється з робочої зони за допомогою гідроприводу, який працює плавніше, ніж пневмопривод, при цьому розміри гідроциліндра менші, ніж пневмоциліндра.

Недоліки:

- невеликий за об'ємом магазин.

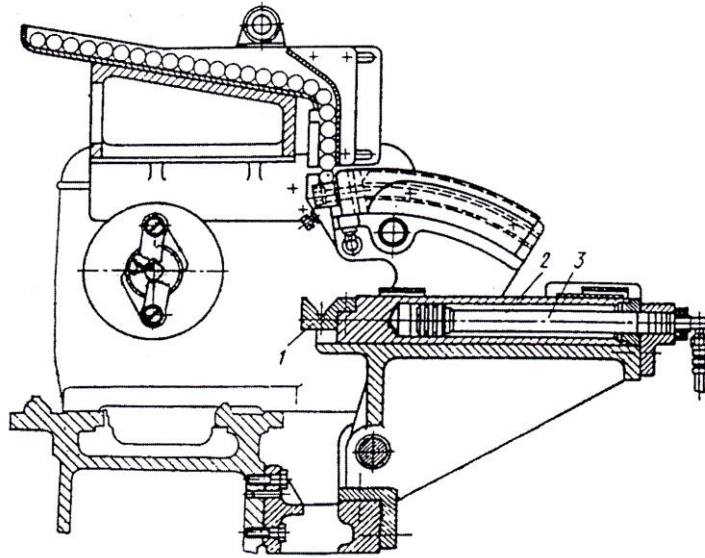


Рис. 1.5. Схема завантажувального пристрою № 1

### **Завантажувально-розвантажувальний пристрій № 2.**

Завантажувальний пристрій, представлений на рис. 1.6, призначений для подачі валів середніх розмірів на токарні верстати. Заготовки вручну укладають у магазин (лоток) 3, звідки вони самопливом надходять у V-подібний лоток 1. У приймачі є паз, по якому під дією штока пневмоциліндра переміщується повзун 2, що заштовхує заготовку в захоплення живильника. У кінці ходу штока упор повзуна 2 натискає на шляховий вимикач, унаслідок чого через командоапарат подається команда на подачу повітря в іншу порожнину циліндра, і шток, а отже і повзун 2, повертаються у початкове положення, де чекають команди на подачу наступної заготовки. Захоплення живильника (рис. 1.6, б) налаштовується регулюючим механізмом залежно від діаметра заготовок, що подаються.

Для переміщення захоплювача у вертикальній площині до робочої зони верстата стиснене повітря з мережі надходить у порожнину А циліндра 16, унаслідок чого поршень 18 зі штоком 4 опускається. Після того, як обробка закінчена, обертання шпинделя припиняється, оброблена деталь звільняється від затиску і падає на лоток, що відводить деталь у тару.

Захват живильника забезпечений механізмом для регулювання налаштування живильника (рис. 1.6, в). Регулювання здійснюється маховичком 19, обертання якого через конічні зубчасті колеса 20 і 21

передає рух гвинту 25 з правою і лівою різьбою. Гвинт 25 примушує каретки 22 і 26 зближуватися або розходитися залежно від напрямку обертання маховичка; на каретках закріплені губки 23 і 24 захоплення, нижня V-подібна губка визначає положення заготовки, а верхня, підпружинена, призначена для затиску заготовки.

#### Переваги:

- після закінчення обробки деталь звільняється від затиску і падає на відповідний лоток у тару;
- нижнє розташування магазину;
- можливість установки на робочому місці;
- легкість переналадки;
- надійність у роботі.

#### Недоліки:

- громіздка конструкція;
- малий об'єм магазину (лотка);
- складна конструкція ускладнює ремонтпридатність;
- пневмопривід, якому властива ривкоподібна, а не плавна робота штока.

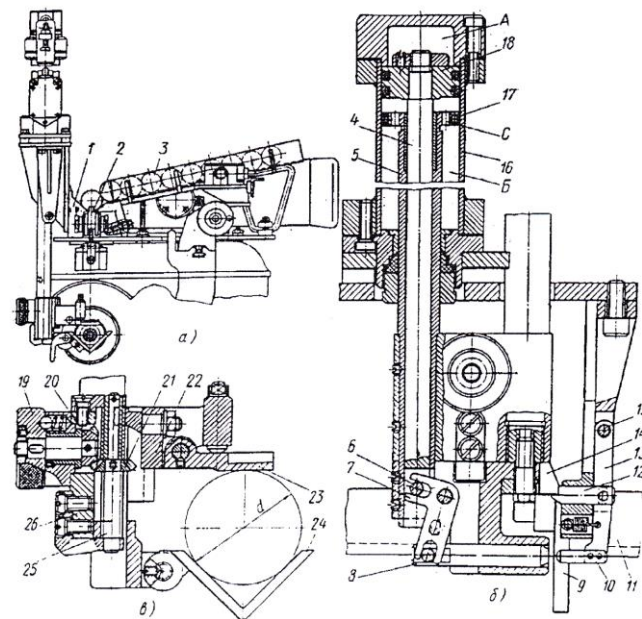


Рис. 1.6. Схема завантажувального пристрою № 2: а - загальний вигляд; б - живильник; в - пристрій для регулювання

### **Завантажувально-розвантажувальний пристрій № 3.**

Для завантаження заготовок і вивантаження деталей типу валів довжиною 200-500 мм і діаметром 25-100 мм на токарних верстатах використовують завантажувальний пристрій, показаний на рис. 1.7.

Завантажувальний пристрій має траверсу 1, каретку 2 з двома утримувачами захоплень 3 (механічних рук) і магазин-транспортёр 4. Траверса змонтована над верстатом; одна її стійка 5 розташована на коробці передач, а інша 6 - на корпусі магазину 4. У магазині розміщуються дві-три оброблені деталі та сім-вісім заготовок упереміш. Каретка 2 переміщується вздовж траверси від гідродвигуна, а утримувачі з кліщовими захоплювачами (механічні руки) - від циліндрів. Завантажувальний пристрій керується від командоапарата, барабан якого включає в роботу відповідні золотники, унаслідок чого робочі органи переміщуються; початкові та кінцеві положення кожного переміщення фіксуються електричними контактами.

Коли обробка закінчується і верстат автоматично зупиняється, утримувач з відкритим захватом для розвантаження опускається і захоплює оброблену деталь; пиноль задньої бабки відходить від деталі, одночасно на магазині-транспортері планки з призматичними вирізами піднімають усі заготовки і деталі, що знаходяться на транспортері. Утримувач із захватом для розвантаження витягує оброблену деталь з патрона і піднімає її, а утримувач із захватом для завантаження опускає заготовку на лінію центрів, після чого пиноль задньої бабки переміщується вперед і заготовка закріплюється між центрами верстата. Одна з оброблених деталей падає у відповідний лоток, верстат включається, каретка й утримувачі повертаються у початкове положення.

Переваги:

- легкість переналадки;
- можливість використання стандартних маніпуляторів;
- легкість організації орієнтованого прийому заготовок;

- можливість завантаження деталей значної маси завдяки застосуванню гідроприводу.

Недоліки:

- складність системи керування;
- збільшення протяжності обладнання по довжині;
- складність обслуговування гідроприводу;
- вплив на жорсткість верстата.

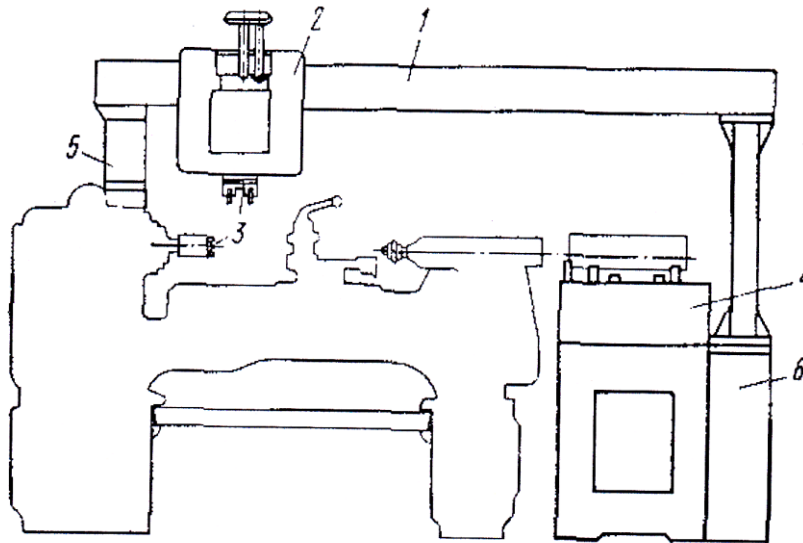


Рис. 1.7. Схема завантажувального пристрою № 3

#### **Завантажувально-розвантажувальний пристрій № 4.**

Особливість завантажувального пристрою, показаного на рис. 1.8, полягає в тому, що заготовки подаються ланцюговим транспортером з ланками 1, які утворюють призматичні поглиблення. Ланцюг транспортера приводиться в рух чотирикулачковими валиками 2. Заготовка, що потрапила в магазин 3, скочується до відсікача 4 механізму поштучної видачі. Живильник 5 при коливальному русі з робочої зони верстата відводить важіль і відсікач механізму поштучної видачі; заготовка з магазину опускається на призматичні рамки 6, змонтовані в захопленні живильника. При русі живильника 5 у напрямку центрів верстата відсікач 4 перекриває отвір магазину 3, унеможливаючи випадання чергової заготовки.

Переваги:

- наявність механічного приводу, надійнішого в роботі;
- передбачено відведення заготовки з робочої зони.

Недоліки:

- специфічний спосіб подачі заготовки - ланцюгова подача, що ускладнює обслуговування;
- складність із установкою на робочому місці;
- складність переналадки та ремонту.

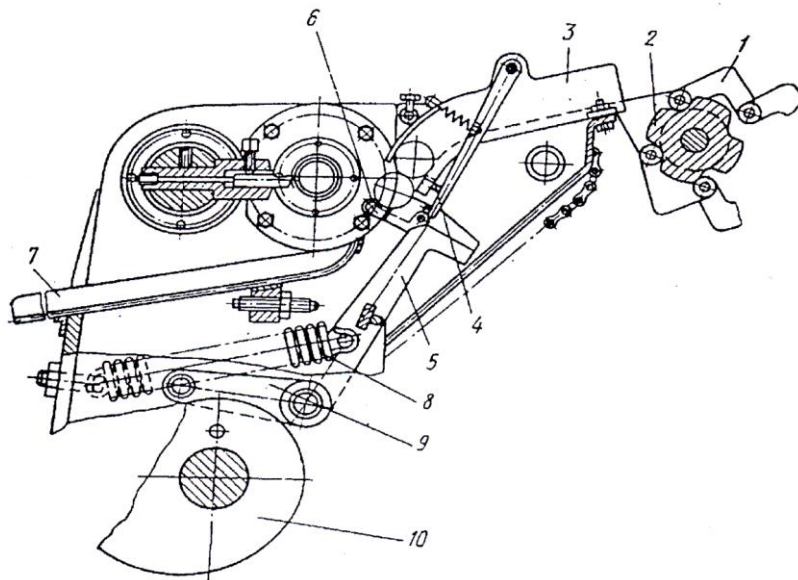


Рис. 1.8. Схема завантажувального пристрою № 4

### **Завантажувальний пристрій № 5.**

Магазин 1 даного завантажувального пристрою (рис. 1.9) прикріплений до станини верстата; шток 2 пневмоциліндра надає захвату 3 з планкою 4 зворотно-поступальний рух; механізм розвантаження має лоток 5, з рейкою якого зчеплений зубчастий сектор 7, самоцентрований на валу 6. Лоток укріплений на кронштейнах, установлених на валу 6. Вал 6 повертається рейкою від копіра, змонтованого на задній стійці суппорта. Коли обробка заготовки закінчена, лоток 5 піднятий; при відведенні суппорта рейка переміщається копіром униз, вал 6 повертається, а разом з ним - кронштейн і лоток.

Переваги:

- нестандартний механізм підведення-відведення заготовки.

## Недоліки:

- ненадійність;
- ускладнений ремонт.

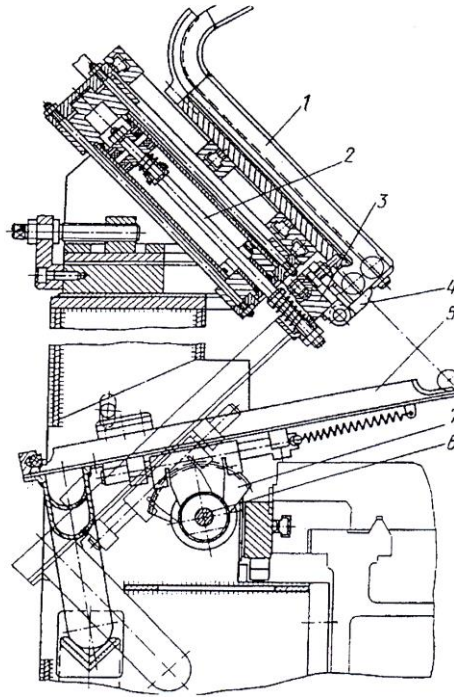


Рис. 1.9. Схема завантажувального пристрою № 5

## Завантажувальний пристрій № 6.

Завантажувальний пристрій, представлений на рис. 1.10, призначений для завантаження валів на токарний верстат. Магазин 1 призначений для завантаження заготовок-валиків діаметром від 25 до 70 мм і довжиною від 140 до 370 мм, що забезпечується простим регулюванням, у тому числі перестановкою направляючої 3. Магазин 1, виконаний у вигляді коробчастого зігнутого лотка із запобіжним щитком, змонтований на кронштейні 2, прикрученому до корпусу шпиндельної бабки верстата. Заготовки з магазину потрапляють у виріз сектора 6, де утримуються важелем захоплювача 4, положення якого регулюється упорами 5, 7 і 8, тягою 10 та пружиною 9. Сектор 6 насаджений на шліцьовий вал 11, підтримуваний підшипниками кронштейна 12. Коли шліцьовий вал повертається на необхідний кут, сектор разом із заготовкою переміщується в робочу зону верстата і встановлює заготовку між центрами верстата.

Переваги:

- можливість установки на робочому місці;
- простота обслуговування і ремонту;
- легкість переналагодження для подачі заготовок іншого діаметра або довжини;
- може застосовуватись і при невеликих партіях деталей.

Недоліки:

- використовується для валів діаметром не більше 60-70 мм;
- відсутність розвантажувального пристрою.

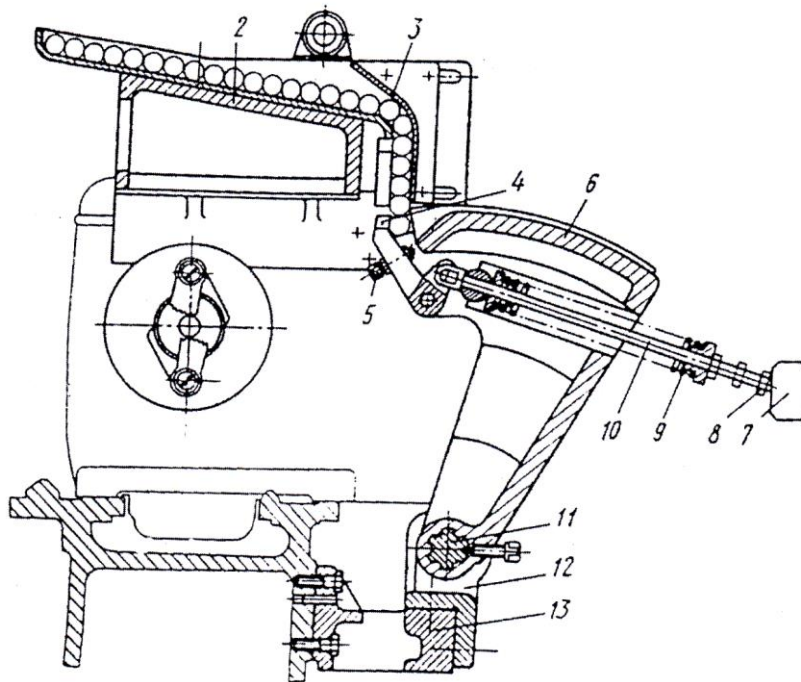


Рис. 1.10. Схема завантажувального пристрою № 6

### **Сучасні тенденції автоматизації завантажувально-розвантажувальних операцій на верстатах з ЧПК**

Сучасні токарні обробні центри з ЧПК, у тому числі обраний у п. 1.3 верстат HAAS ST-20, від виробника комплектуються елементами, що суттєво полегшують подальшу автоматизацію завантаження: автоматичними дверима (Auto Door), які відкриваються та закриваються за командою M-коду керуючої програми; програмованою задньою бабкою; уловлювачем деталей (Parts Catcher); а також системою ЧПК Haas NextGen

Control з можливістю обміну дискретними сигналами із зовнішніми пристроями.

Компанія Haas Automation для серії ST пропонує також фірмовий модуль Automatic Parts Loader (APL) - завантажувальний пристрій гравітаційно-магазинного типу із сервоприводом, що встановлюється поряд із верстатом і подає заготовки в патрон через відкриті автоматичні двері, синхронізуючись з керуючою програмою через M-коди. Це підтверджує, що напрямок розвитку, обраний у даній роботі (магазинний пристрій із програмною синхронізацією із ЧПК), відповідає сучасній практиці провідних виробників обладнання.

Окрім фірмових рішень, для обслуговування верстатів з ЧПК дедалі частіше застосовують промислові роботи-маніпулятори та колаборативні роботи (наприклад, FANUC LR Mate, KUKA KR, Doosan, Universal Robots серії UR), які можуть обслуговувати кілька верстатів одночасно та оснащуються системами технічного зору для розпізнавання й орієнтування заготовок. Проте висока вартість таких комплексів, а також необхідність додаткового огороження робочої зони, роблять їх економічно недоцільними для дрібносерійного виробництва, яке розглядається в даному проекті.

Для деталей типу “вал” поширені також пруткові завантажувальні пристрої (барфідери), однак вони застосовуються для обробки з прутка з відрізанням готової деталі безпосередньо на верстаті, що не відповідає прийнятому в проекті технологічному процесу обробки штучних заготовок-валів.

Загальною тенденцією є заміна пневматичних приводів штовхачів і захоплювачів на серводвигуни (або крокові двигуни) з програмним керуванням, що дає змогу плавно регулювати швидкість і величину переміщення, контролювати положення за допомогою енкодера, а також інтегрувати датчики наявності заготовки (індуктивні, оптичні, фотоелектричні) для діагностики циклу та запобігання холостим

спрацюванням. Із урахуванням цього доцільно розглянути сучасний варіант компоновальної схеми ЗПВ (пристрій № 7), що поєднує перевірену схему магазину з елементами сучасної автоматизації.

### **Завантажувально-розвантажувальний пристрій № 7 (сучасний варіант).**

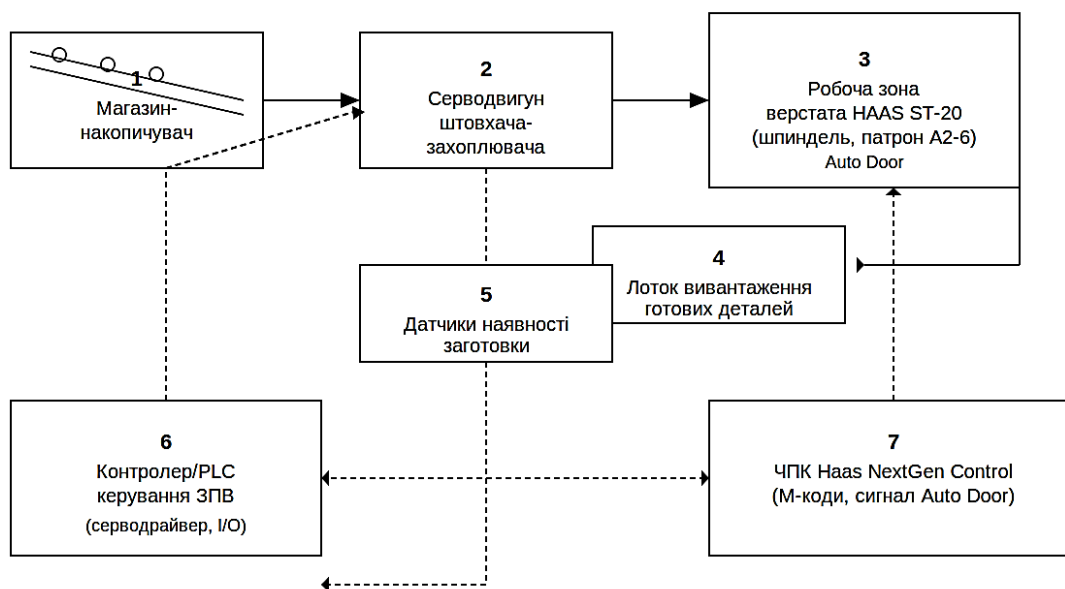
Узагальнена компоновальна схема сучасного ЗПВ показана на рис. 1.11. Заготовки вручну укладаються в нахилений магазин-накопичувач 1, звідки під дією власної ваги переміщуються до вузла подачі. Захоплювач-штовхач 2 приводиться в рух серводвигуном із програмованим ходом і швидкістю, що забезпечує точне дозоване переміщення заготовки в робочу зону верстата 3 через відкриті автоматичні двері (Auto Door). Після завершення обробки оброблена деталь скидається в лоток вивантаження 4. Датчики наявності заготовки 5 (індуктивні або оптичні) контролюють заповнення магазину і положення заготовки в захопленні, передаючи сигнали на контролер/PLC 6. Контролер обмінюється дискретними сигналами (або повідомленнями за промисловим протоколом) із системою ЧПК верстата 7 (Haas NextGen Control), формуючи узгоджений цикл: відкриття дверей - подача заготовки - закриття дверей - обробка - відкриття дверей - вивантаження деталі - повторення циклу.

#### **Переваги:**

- висока точність позиціонування завдяки серводвигуну з енкодером;
- програмна переналадка циклу без механічних змін конструкції;
- діагностика наявності заготовки та автоматична зупинка при порожньому магазині;
- сумісність із сучасними системами ЧПК через стандартизовані M-коди та сигнал Auto Door;
- компактність та можливість установки безпосередньо біля верстата.

#### **Недоліки:**

- вища вартість порівняно з пневмо- та гідроприводом (серводвигун, драйвер, контролер);
- необхідність додаткового програмування логіки взаємодії з ЧПК (PLC або макроси верстата);
- потреба у кваліфікованому налагодженні та обслуговуванні електронних компонентів.



**Умовні позначення:**

1 - магазин; 2 - вузол подачі (серводвигун); 3 - робоча зона верстата; 4 - лоток вивантаження;  
5 - датчики; 6 - контролер/PLC; 7 - система ЧПК верстата

Рис. 1.11. Узагальнена компоновальна схема сучасного завантажувально-розвантажувального пристрою № 7

Результати аналізу за заданими критеріями зведемо в табл. 1.7.

Таблиця 1.7. Аналіз початкових даних

| Вид критерію                             | 1             | 2       | 3             | 4      | 5       | 6      | 7     |
|------------------------------------------|---------------|---------|---------------|--------|---------|--------|-------|
| 1. Кількість завантажуваних деталей, шт. | 30-40         | 25-30   | 30-35         | 30-40  | 10-15   | 30-40  | 15-20 |
| 2. Вид привода                           | механ./гідро. | пневмо. | механ./гідро. | механ. | пневмо. | механ. | серво |
| 3. Простота обслуговування               | +             | +       | -             | -      | -       | +      | +/-   |
| 4. Число захоплюючих органів             | 1             | 1       | 1             | 1      | 1       | 1      | 1     |

| Вид критерію                              | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       |
|-------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 5. Габаритні розміри, мм                  | 600×800 | 900×900 | 600×800 | 400×600 | 900×500 | 500×500 | 500×600 |
| 6. Можливість установки на робочому місці | +       | -       | -       | -       | +       | +       | +       |
| 7. Надійність в роботі                    | +       | +       | +       | +       | -       | +       | +       |
| 8. Можливість переналадки                 | +       | +       | +       | +       | +       | +       | +       |
| 9. Ремонтоздатність                       | +       | -       | +       | -       | -       | +       | +/-     |
| 10. Технологічність виготовлення          | +       | +       | -       | +       | +       | +       | +/-     |
| 11. Наявність розвантажувального пристрою | +       | +       | +       | -       | +/-     | -       | +       |
| 12. Безпечність в експлуатації            | +/-     | +       | +/-     | +       | +       | +       | +       |
| 13. Швидкодія                             | +       | +       | +       | -       | -       | -       | +       |
| 14. Можливість прийому готових деталей    | +       | +       | +       | +       | +       | -       | +       |
| 15. Інтеграція з ЧПК (М-коди / Auto Door) | -       | -       | -       | -       | -       | -       | +       |

Проаналізувавши переваги та недоліки розглянутих конструкцій (табл. 1.7), можна зробити такі висновки.

Серед класичних конструкцій (пристрої № 1-6) найбільш збалансованим за техніко-економічними показниками залишається пристрій № 1: він поєднує просту конструкцію, надійність, наявність розвантажувального механізму на основі гідроциліндра та можливість установки безпосередньо на робочому місці. Основним його недоліком є обмежений об'єм магазину, що не відповідає необхідній кількості заготовок (30-40 шт.) для безперервної роботи протягом зміни.

Водночас аналіз сучасних тенденцій автоматизації (пристрій № 7) показує, що інтеграція ЗПВ із системою ЧПК Haas NextGen Control через стандартизовані сигнали Auto Door та М-коди дозволяє суттєво підвищити гнучкість, точність позиціонування та діагностичні можливості пристрою без істотного ускладнення його кінематичної схеми, що підтверджується й

наявністю аналогічного фірмового рішення (Haas APL) у виробника обраного верстата.

Тому за основу для подальшого конструювання та розрахунків приймаємо компоувальну схему пристрою № 1 (магазин з механізмом вивантаження на основі гідроциліндра), модернізовану з урахуванням сучасних рішень:

- збільшено об'єм (довжину) магазину-накопичувача до необхідних 30-40 заготовок;

- механізм прошовхування заготовки в робочу зону доповнено серводвигуном для точного дозованого переміщення замість суто гідравлічного приводу;

- передбачено встановлення датчиків наявності заготовки в магазині та положення захоплювача;

- цикл роботи ЗПВ синхронізовано з керуючою програмою верстата HAAS ST-20 через M-коди та сигнал автоматичних дверей (Auto Door), що забезпечує безпечну та узгоджену роботу пристрою і верстата без додаткового огороження робочої зони.

## РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 2.1. Конструктивні розрахунки завантажувального пристрою

При конструктивних розрахунках уточнюються параметри, попередньо визначені під час вибору компоновальної схеми завантажувального пристрою (п. 1.4), а також визначаються додаткові параметри, що впливають на продуктивність і загальну працездатність завантажувально-розвантажувального пристрою (ЗПВ).

Виконаємо розрахунки для обраної конструкції - пристрою № 1 (магазин з механізмом вивантаження на основі гідроциліндра), модернізованого згідно з п. 1.4, для заготовки-вала діаметром  $d_{дет} = 40$  мм і довжиною  $l_{дет} = 285$  мм, що обробляється на верстаті HAAS ST-20.

#### 1. Розрахунок ширини лотка з умови незаклинювання заготовки

Ширина лотка  $B$  має бути такою, щоб заготовка під час руху по нахиленому лотку не могла заклинити (розвернутися поперек), тобто діагональ перерізу лотка повинна перевищувати довжину заготовки з урахуванням кута тертя:

$$B = \sqrt{(d_{дет}^2 + l_{дет}^2 \cdot (1 + \mu^2))}$$

де

$d_{дет} = 40$  мм - найбільший діаметр заготовки;

$l_{дет} = 285$  мм - довжина заготовки;

$\mu = 0,02$  - коефіцієнт тертя заготовки по лотку.

Підставляючи числові значення, отримуємо:

$$B = \sqrt{(40^2 + 285^2 \cdot (1 + 0,02^2))} = \sqrt{(1600 + 81257,5)} = \sqrt{82857,5} \approx 288 \text{ мм}$$

Отримане значення  $B = 288$  мм відповідає внутрішньому розміру лотка (рис. 2.1) і забезпечує вільне переміщення заготовки без її заклинювання чи перекоосу під час перекочування.

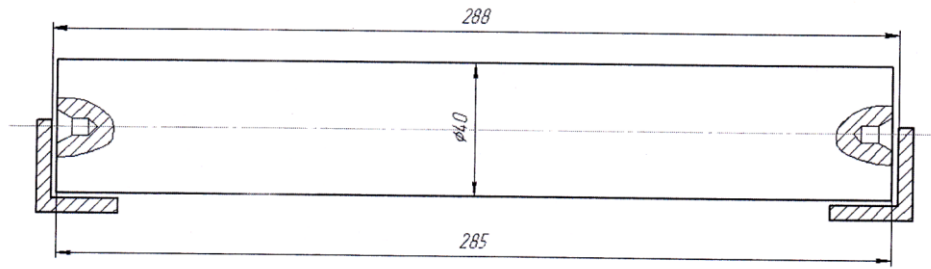


Рис. 2.1. Схема лотка

## 2. Розрахунок довжини магазина

Для магазинних пристроїв довжину магазина  $L_m$  визначають за формулою  $L_m = n \cdot a$ , де  $n$  - кількість заготовок, що розміщуються в магазині,  $a$  - крок розміщення заготовок (діаметр заготовки з технологічним зазором для вільного перекочування). Отримане значення необхідно порівняти з рекомендованим діапазоном [3]:

$$L_m \in (500 \dots 2000) \text{ мм}$$

Для нашого випадку приймаємо  $n = 40$  шт. (максимальна ємність магазину, прийнята за результатами аналізу у табл. 7 п. 1.4) та крок  $a = d_{\text{дет}} + \Delta = 40 + 3 = 43$  мм, де  $\Delta = 3$  мм - технологічний зазор між заготовками. Тоді:

$$L_m = n \cdot a = 40 \cdot 43 = 1720 \text{ мм} < 2000 \text{ мм}$$

Умова виконується: довжина магазину знаходиться в межах рекомендованого діапазону, що підтверджує правильність вибору компоновальної схеми та достатність прийнятої ємності магазину (30-40 заготовок, див. табл. 7).

## 3. Визначення жорсткості пружини механізму захоплення

Жорсткість пружини, що використовується в механізмі захоплення, визначимо на основі розрахункової схеми (рис. 11). Пружина утримує важіль захоплення в положенні, яке фіксує чергову заготовку в магазині під дією ваги вищерозміщених заготовок.

Сила тяжіння заготовок, що діє на захоплення:

$$G = m_{\text{заг}} \cdot n \cdot g = 1,53 \cdot 5 \cdot 9,8 = 75 \text{ Н}$$

Сила, що діє на захоплення з боку заготовки (з урахуванням кута нахилу  $46^\circ$ ):

$$F = G \cdot \cos 46^\circ = 75 \cdot 0,69 = 52 \text{ Н}$$

Силу, що діє на захоплення з боку пружини  $F_{np}$ , визначимо з умови рівноваги моментів захоплення відносно осі повороту ( $M_1 = M_2$ ):

$$F \cdot \cos 14^\circ \cdot L_1 = F_{np} \cdot \cos 4^\circ \cdot L_2$$

звідки:

$$F_{np} = (F \cdot \cos 14^\circ \cdot L_1) / (\cos 4^\circ \cdot L_2) = (52 \cdot 0,97 \cdot 155) / (0,998 \cdot 80) \approx 94 \text{ Н}$$

Жорсткість пружини  $k$  пов'язана з силою  $F_{np}$  і переміщенням  $x$  залежністю  $F_{np} = k \cdot x$ . Переміщення  $x$  знайдемо з геометричного співвідношення плечей важеля  $a \cdot L_1 = x \cdot L_2$ , де  $a = 3 \text{ мм}$  - лінійне переміщення точки контакту захоплення із заготовкою (кут повороту захоплення невеликий,  $\approx 2^\circ$ , тому залежність можна вважати лінійною):

$$x = a \cdot L_2 / L_1 = 3 \cdot 80 / 155 \approx 1,5 \text{ мм}$$

Тоді жорсткість пружини дорівнює:

$$k = F_{np} / x = 94 / 1,5 \approx 63 \text{ Н/мм}$$

Слід підібрати пружину з жорсткістю, не більшою за знайдену, але достатньою для надійного утримання заготовки при повороті сектора. Вибираємо пружину за ГОСТ 13766-86 з матеріалу Кл. 1 ГОСТ 9389-75 (дріт пружинний вуглецевий, який залишається діючим стандартом і застосовується у виробництві пружин в Україні).

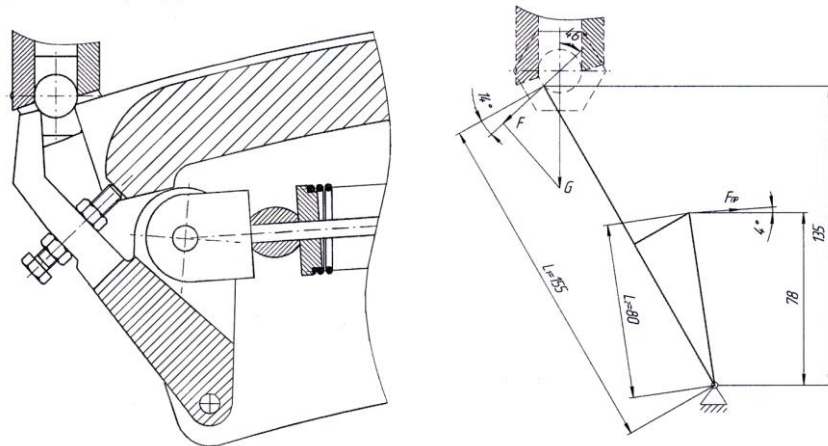


Рис. 2.2. Розрахункова схема механізму захоплення

#### 4. Розрахунок гідроциліндра механізму вивантаження

Розрахунок гідроциліндра виконаємо на основі рівняння статичної рівноваги силового виконавчого органу (рис. 2.3). Мета розрахунку - визначення діаметра поршня.

Умова статичної рівноваги системи (рис. 12):

$$P \cdot F - P_{np} \cdot F' = R + R_n + R_{ш} + R_{п}$$

де  $P$  - тиск у робочій порожнині циліндра;  $P_{np}$  - тиск у зливній порожнині, обумовлений втратами в зливних магістралях та опором керуючих елементів;  $F, F'$  - ефективні площі двох сторін поршня;  $R$  - корисне навантаження;  $R_{п}, R_{ш}, R_n$  - сили тертя в поршні, штоку та напрямних відповідно;  $G$  - сила ваги робочого органу.

У нашому випадку корисне навантаження  $R$  - це навантаження від тертя гідроциліндра по напрямних:

$$R = G \cdot f = 150 \cdot 0,1 = 15 \text{ Н}$$

де  $f = 0,1$  - коефіцієнт тертя;  $G = 150 \text{ Н}$  - сила ваги, що діє на гідроциліндр.

Оскільки рівняння є статично невизначеним (для визначення сил опору потрібно знати параметри циліндра), попередній розрахунок ведемо за орієнтовною розрахунковою схемою опору залежно від типу навантаження:

$$R_{розр} = (1,25 \dots 1,5) \cdot R, \text{ приймаємо } R_{розр} = 1,5 \cdot R = 1,5 \cdot 15 = 22,5 \text{ Н}$$

Задаємо тиск на вході  $p = 0,25 \text{ МПа}$ . Тоді початкове рівняння набуває вигляду  $P \cdot F = R_{розр}$ , а діаметр поршня визначається за формулою  $D = \sqrt{(4F/\pi)}$ . Підставляючи  $F = R_{розр}/p$ , отримуємо:

$$D = \sqrt{(4 \cdot R_{розр} / (p \cdot \pi))} = \sqrt{(4 \cdot 22,5 / (0,25 \cdot 10^6 \cdot \pi))} \approx 10,7 \text{ мм}$$

За конструктивними міркуваннями (необхідність забезпечення достатньої жорсткості штока, стандартного ряду посадкових розмірів та запасу за зусиллям для динамічних навантажень при захопленні деталі) вибираємо гідроциліндр з більшим діаметром поршня - за ГОСТ 12447-80:  $D = 90 \text{ мм}$ ,  $F = 6362 \text{ мм}^2$ .

Гідроциліндр обираємо за ОСТ Г21-1-73 з одностороннім штоком на  $p_{ном} = 0,25$  МПа. Ущільнення поршня по діаметру  $D$  забезпечується чавунними поршневыми кільцями (СЧ20, ГОСТ 1412-85), а ущільнення штока діаметром  $d = 40$  мм - шевронними манжетами. Таким чином, остаточно вибираємо гідроциліндр  $D = 90$  мм, виконання 1-90 200.

Слід зазначити, що зазначені стандарти (ГОСТ 12447-80, ОСТ Г21-1-73) історично застосовуються у вітчизняному машинобудуванні і досі використовуються як довідкові при підборі типорозмірів гідроциліндрів; під час реального виготовлення допускається застосування сучасних аналогів гідроциліндрів (наприклад, виробництва Parker, Bosch Rexroth, HANSA-FLEX, Avenger тощо) з аналогічними приєднувальними розмірами  $D = 90$  мм та робочим тиском, що відповідає чи перевищує  $p_{ном} = 0,25$  МПа, що відкриває можливість уніфікації з сучасною гідроапаратурою без зміни розрахункових параметрів.

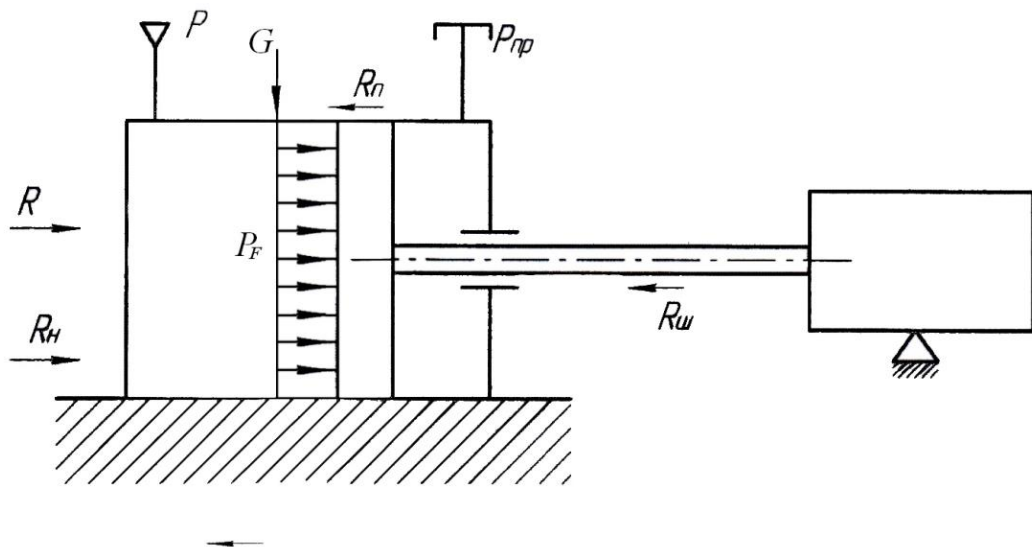


Рис. 2.3. Розрахункова схема гідропривода поступальної ходи

## 5. Розрахунок маси лотка

Масу заповненого лотка визначаємо за формулою:

$$M = M_{заг} \cdot n$$

де  $M_{заг} = 1,53$  кг - маса однієї заготовки;  $n = 59$  шт. - кількість заготовок, що уміщуються в лотку (з урахуванням повної довжини

магазину-транспортера, включно з ділянкою накопичення оброблених деталей).

$$M = 1,53 \cdot 59 = 90,27 \text{ кг}$$

Отримане значення маси необхідно врахувати під час розрахунку міцності та жорсткості опорної рами і направляючих лотка, а також при виборі приводу переміщення магазину-транспортера.

## **6. Розрахунок часу роботи верстата без дозавантаження**

Час роботи верстата без додаткового завантаження магазину визначаємо за формулою:

$$t = T \cdot n$$

де  $T = 25,444 \text{ с}$  - час одного робочого циклу;  $n = 59 \text{ шт.}$  - кількість заготовок, що уміщуються в лотку.

$$t = 25,444 \cdot 59 = 1501,2 \text{ с} \approx 25,02 \text{ хв}$$

Отже, оператор повинен поповнювати магазин приблизно кожні 25 хвилин. За умови восьмигодинної робочої зміни (480 хв) це відповідає приблизно  $480 / 25,02 \approx 19$  циклам дозавантаження. Для зменшення навантаження на оператора та запобігання простоям верстата при спрацюванні запасу заготовок доцільно використати датчик наявності заготовки в магазині (поз. 5 на рис. 9, п. 1.4), сигнал якого через контролер/PLC виводиться на пульт ЧПК Haas NextGen Control у вигляді попереджувального повідомлення про необхідність дозавантаження магазину.

## **7. Вибір сервопривода штовхача заготовки (актуалізація відповідно до п. 1.4)**

Згідно з висновками п. 1.4, механізм проштовхування заготовки в робочу зону верстата доцільно виконати на базі серводвигуна з кульковинтовою передачею замість пневмо- чи гідропривода, що підвищує точність позиціонування та дозволяє синхронізувати цикл ЗПВ із системою ЧПК Haas NextGen Control через М-коди та сигнал Auto Door. Виконаємо орієнтовний розрахунок параметрів такого привода.

Сила тертя, яку необхідно подолати при перештовхуванні однієї заготовки по направляючих:

$$F_{mp} = m_{zag} \cdot g \cdot f = 1,53 \cdot 9,8 \cdot 0,1 \approx 1,5 \text{ Н}$$

де  $f = 0,1$  - коефіцієнт тертя ковзання заготовки по направляючих лотка.

З урахуванням динамічного коефіцієнта  $k_d = 3$  (запас на прискорення штовхача та можливі заклинювання) розрахункове зусилля становить:

$$F_{розр} = k_d \cdot F_{mp} = 3 \cdot 1,5 \approx 4,5 \text{ Н}$$

Хід штовхача  $S$  приймаємо більшим за довжину заготовки з технологічним запасом для повного виштовхування заготовки на лінію центрів верстата:

$$S = l_{det} + 15 = 285 + 15 = 300 \text{ мм}$$

Приймаючи крок кульковинтової передачі  $p_v = 5$  мм та коефіцієнт корисної дії передачі  $\eta = 0,85$ , необхідний момент на валу серводвигуна становить:

$$T = (F_{розр} \cdot p_v) / (2\pi \cdot \eta) = (4,5 \cdot 0,005) / (2\pi \cdot 0,85) \approx 0,0042 \text{ Н·м}$$

Приймаючи орієнтовний час робочого ходу штовхача  $t_x \approx 1,5$  с (частина загального часу циклу  $T = 25,444$  с), отримуємо швидкість і частоту обертання вала привода:

$$v = S / t_x = 0,3 / 1,5 = 0,2 \text{ м/с}; \quad n = (v / p_v) \cdot 60 = (0,2 / 0,005) \cdot 60 = 2400 \text{ об/хв}$$

Орієнтовна потужність привода:

$$P = F_{розр} \cdot v = 4,5 \cdot 0,2 \approx 0,9 \text{ Вт}$$

Отримані розрахункові значення ( $T \approx 0,0042$  Н·м;  $n \approx 2400$  об/хв;  $P < 1$  Вт) є невеликими, що типово для механізмів подачі штучних заготовок невеликої маси. На практиці привод вибирається не за потужністю, а за конструктивними характеристиками каталожного лінійного модуля із кульковинтовою передачею: ходом не менше  $S = 300$  мм, номінальним зусиллям штовхача 50-100 Н (запас 10-20 разів відносно  $F_{розр}$  для забезпечення динамічної жорсткості та довговічності) та робочою

швидкістю до 0,2-0,3 м/с. Такі модулі серійно випускаються провідними виробниками приводної техніки (наприклад, лінійні модулі з серводвигунами потужністю 50-100 Вт та абсолютним енкодером для контролю положення).

Керування серводвигуном здійснюється від контролера/PLC (поз. 6 на рис. 1.9, п. 1.4), який обмінюється дискретними сигналами із системою ЧПК верстата HAAS ST-20: відкриття автоматичних дверей (Auto Door) за М-кодом ініціює цикл подачі заготовки штовхачем, а сигнал “захоплення в крайньому положенні”, отриманий від датчика, дозволяє верстату продовжити цикл обробки. Такий підхід узгоджується із сучасною практикою автоматизації верстатів з ЧПК (зокрема фірмовим модулем Haas Automatic Parts Loader) і забезпечує модернізацію пристрою № 1 без істотного ускладнення його базової конструкції.

### **Висновки**

У результаті виконаних конструктивних розрахунків визначено основні параметри завантажувально-розвантажувального пристрою: ширину лотка  $B = 288$  мм; довжину магазину  $L_m = 1720$  мм (в межах допустимого діапазону 500...2000 мм); жорсткість пружини механізму захоплення  $k \approx 63$  Н/мм; діаметр гідроциліндра механізму вивантаження  $D = 90$  мм (ГОСТ 12447-80); масу заповненого лотка  $M = 90,27$  кг; час роботи верстата без дозавантаження  $t \approx 25$  хв.

Додатково, відповідно до рекомендацій п. 1.4 щодо модернізації приводу подачі, виконано орієнтовний розрахунок сервопривода штовхача заготовки (хід 300 мм, зусилля 4,5 Н, швидкість 0,2 м/с), параметри якого можуть бути забезпечені стандартним каталожним лінійним модулем з кульковинтовою передачею. Це підтверджує технічну реалізованість обраного у п. 1.4 напрямку модернізації та узгодженість компоновальної схеми пристрою № 1 з вимогами інтеграції до системи ЧПК Haas NextGen Control верстата HAAS ST-20.

### **2.3. Розробка циклограми роботи верстатного комплексу**

У загальному випадку за час циклу роботи автоматизованого комплексу здійснюється низка дій: переміщення попередньо орієнтованої (вручну укладеної) заготовки живильником у робочу зону; закріплення заготовки затискним механізмом (патроном); холості (прискорені) переміщення робочих органів верстата; обробка заготовки; видалення обробленої деталі з робочої зони.

У курсовому проекті необхідно визначити найбільш раціональну послідовність та тривалість дії окремих механізмів. Для цього розробляється циклограма - графічне зображення робочого циклу в часі, яке наочно показує взаємне узгодження рухів верстата та завантажувально-розвантажувального пристрою (ЗПВ).

При складанні циклограми необхідно ретельно проаналізувати роботу всіх механізмів ЗПВ і верстата, щоб правильно вибрати послідовність їхніх рухів. При цьому слід прагнути до зменшення часу циклу, що досягається скороченням довжини ходів робочих органів, а також поєднанням (паралельним виконанням) рухів, які не впливають один на одного.

#### **Визначення тривалості окремих рухів**

##### **Переміщення сектора**

Сектор магазину (поз. 12, див. п. 1.4, пристрій № 6) повертається на кут, що відповідає кроку видачі однієї заготовки. Задаємося умовною кутовою швидкістю обертання вала привода сектора:

$$\omega = 3 \text{ об/хв} = 0,314 \text{ рад/с}$$

Кут повороту сектора:

$$\varphi = 35^\circ = 0,611 \text{ рад}$$

Тоді час переміщення сектора:

$$t_1 = \varphi / \omega = 0,611 / 0,314 \approx 1,9 \text{ с}$$

##### **Час переміщення пиноли задньої бабки**

Задаємося робочою подачею пиноли задньої бабки та величиною її переміщення (підведення до заготовки):

$$s = 600 \text{ мм/хв}; \quad L = 30 \text{ мм}$$

Тоді час переміщення пиноли задньої бабки:

$$t_2 = L / s = 30 / 600 = 0,05 \text{ хв} \approx 3,0 \text{ с}$$

Підведення та відведення пиноли виконуються власною віссю верстата НААС ST-20 (програмована гідравлічна задня бабка, п. 1.3) за командою керуючої програми, тому додаткових елементів ЗПВ для цього руху не потрібно.

#### **Час затиску-розтиску патрона**

$$t_3 = 0,5 \text{ с}$$

Затиск і розтиск заготовки виконується гідравлічним патроном А2-6 верстата НААС ST-20 за командою М-коду керуючої програми. Значення  $t_3 = 0,5 \text{ с}$  прийнято за паспортними даними швидкодії гідравлічного приводу патрона.

#### **Час обробки**

$$T_u = 11,44 \text{ с}$$

Час обробки  $T_u$  визначається сумарним машинним часом за технологічним маршрутом точіння заготовки (режими різання визначаються в технологічному розділі проекту) і є найбільшою складовою циклу - близько 45 % від загального часу циклу  $T = 25,444 \text{ с}$ .

#### **Час переміщення призми (гідроциліндра вивантаження)**

Розрахунок виконаємо для гідроциліндра механізму вивантаження пристрою № 1, обраного і розрахованого в п. 2.1: діаметр поршня  $D = 90 \text{ мм}$  (ГОСТ 12447-80), ефективна площа поршня  $F = 6362 \text{ мм}^2$ . Максимальна витрата прийнятої гідростанції становить  $Q_{рх \text{ max}} = 7,63 \text{ л/хв}$ .

Хід призми  $L_{\text{призми}}$  приймаємо мінімально необхідним для виведення обробленої деталі з лінії центрів верстата на лоток вивантаження (п. 1.4, пристрій № 1):

$$L_{\text{призми}} \approx 60 \text{ мм}$$

Тоді робочий об'єм гідроциліндра, який необхідно заповнити маслом за один хід:

$$V = F \cdot L_{\text{призми}} = 6362 \cdot 60 \approx 381\,700 \text{ мм}^3 \approx 0,382 \text{ л}$$

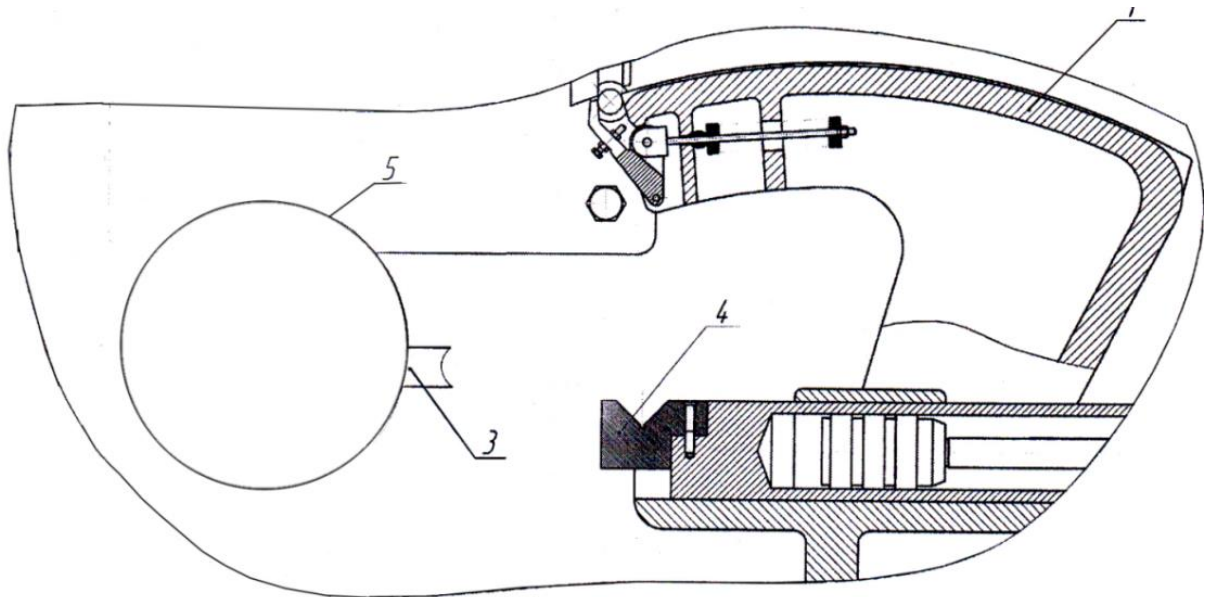
Час переміщення призми:

$$t_5 = V / Q_{\text{рх max}} = 0,382 / 7,63 \approx 0,050 \text{ хв} \approx 3,0 \text{ с}$$

Отримане значення  $t_5 \approx 3,0 \text{ с}$  узгоджується з тривалістю відповідного руху на циклограмі (рис. 14) і підтверджує коректність вибору гідроциліндра  $D = 90 \text{ мм}$  у п. 2.1 для забезпечення необхідної швидкодії механізму вивантаження.

### Схема робочих органів верстатного комплексу

Загальна схема розташування робочих органів завантажувального пристрою та верстата наведена на рис. 2.4.



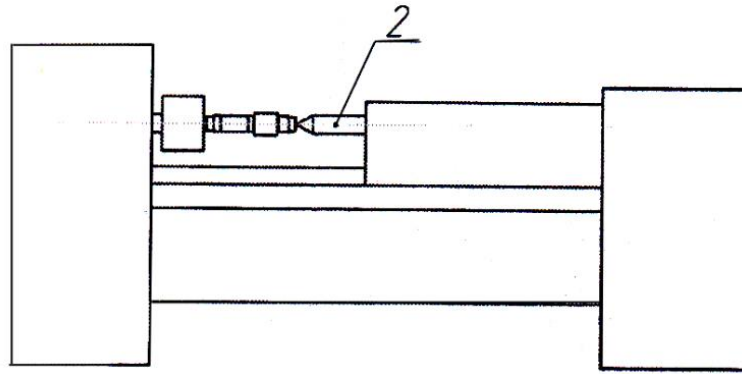


Рис. 2.4. Схема робочих органів верстатного комплексу: а - вигляд на завантажувальний пристрій спереду (1 - лоток магазину, 4 - призма гідроциліндра вивантаження, 5 - сектор магазину); б - загальне розташування заготовки на лінії центрів верстата між шпинделем і пинолею задньої бабки (поз. 2)

### Циклограма роботи верстатного комплексу

Циклограма роботи верстатного комплексу наведена на рис. 2.5. Вісь часу циклограми розбита на 27 рівних інтервалів; загальний час циклу  $T = 25,444$  с, отже тривалість одного інтервалу становить приблизно  $25,444 / 27 \approx 0,94$  с, що дозволяє зіставити отримані вище розрахункові часи (1,9 с; 3,0 с; 0,5 с; 11,44 с; 3,0 с) із кількістю інтервалів на графіку.

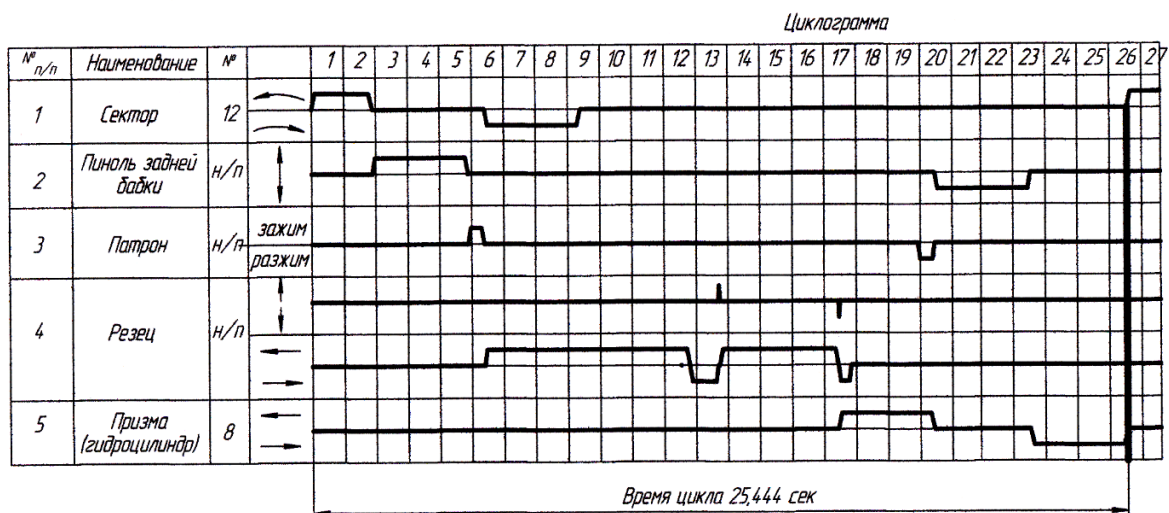


Рис. 2.5. Циклограма роботи верстатного комплексу

Аналіз циклограми дозволяє виділити такі етапи робочого циклу:

- інтервали 1-2: поворот сектора магазину подає чергову заготовку в позицію захоплення ( $t_1 \approx 1,9$  с);

- інтервали 2-5: одночасно з підготовкою захоплення відбувається підведення пиноли задньої бабки ( $t_2 \approx 3,0$  с) - рухи поєднано в часі для скорочення циклу;
- інтервал 6: затиск заготовки патроном ( $t_3 \approx 0,5$  с), після чого сектор повертається у вихідне положення (інтервали 6-9), готуючись прийняти наступну заготовку з магазину;
- інтервали 6-23: виконується обробка заготовки різцем за керуючою програмою ( $T_i = 11,44$  с з урахуванням допоміжних (холостих) переміщень різця між операціями);
- інтервали 17-19: завчасне підведення призми гідроциліндра вивантаження ( $t_5 \approx 3,0$  с) у позицію прийому деталі, що виконується паралельно із завершенням обробки;
- інтервали 19-20: розтиск патрона ( $t_3 \approx 0,5$  с) після завершення обробки;
- інтервали 20-23: відведення пиноли задньої бабки ( $t_2 \approx 3,0$  с);
- інтервали 23-26: відведення призми разом з обробленою деталлю до лотка вивантаження ( $t_5 \approx 3,0$  с);
- інтервали 26-27: повернення сектора у вихідне положення - цикл готовий до повторення.

Таким чином, загальний час циклу  $T = 25,444$  с складається не з простої суми тривалостей усіх рухів (яка б становила  $t_1 + t_2(\times 2) + t_3(\times 2) + T_i + t_5(\times 2) \approx 1,9 + 6,0 + 1,0 + 11,44 + 6,0 = 26,3$  с), а з їх частково суміщеного виконання: підведення пиноли та повернення сектора виконуються одночасно з початком обробки, а підведення призми вивантаження - одночасно із завершенням обробки. Саме така структура циклограми реалізує сформульований на початку розділу принцип скорочення часу циклу за рахунок поєднання рухів і дозволяє наблизити  $T$  до значення  $T_i$  з мінімально необхідними додатковими витратами часу ( $\approx 14$  с) на допоміжні переміщення.

## Реалізація циклограми засобами системи ЧПК HAAS NextGen Control

Наведена циклограма є технічним завданням для синхронізації роботи модернізованого ЗПВ (п. 1.4, п. 2.1) із керуючою програмою верстата HAAS ST-20. Відповідність елементів циклограми сигналам керування системи ЧПК наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Відповідність елементів циклограми сигналам керування ЧПК

| № | Механізм / рух                             | Тривалість                          | Інтервали циклограми*                  | Сигнал керування (HAAS NextGen Control)          | Призначення руху                                        |
|---|--------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1 | Поворотний сектор магазину (поз. 12)       | $\approx 1,9$ с ( $\approx 2$ інт.) | 1-2 (подача), 6-9 (повернення)         | Дискретний вихід контролера ЗПВ (рис. 9, п. 1.4) | Подає чергову заготовку з магазину в позицію захоплення |
| 2 | Пиноль задньої бабки                       | 3 с ( $\approx 3$ інт.)             | 2-5 (підведення), 20-23 (відведення)   | Власна вісь верстата (програмована задня бабка)  | Підведення/відведення центру задньої бабки              |
| 3 | Патрон (затиск/розтиск)                    | 0,5 с ( $\approx 1$ інт.)           | 6 (затиск), 19-20 (розтиск)            | М-код керування гідравлічним патроном A2-6       | Закріплення/звільнення заготовки в шпинделі             |
| 4 | Різець (робочі та холості ходи)            | $T_i = 11,44$ с                     | 6-23                                   | Керуюча програма обробки (G-коди)                | Точіння поверхонь деталі за технологічним маршрутом     |
| 5 | Призма гідроциліндра вивантаження (поз. 8) | $\approx 3,0$ с ( $\approx 3$ інт.) | 17-19 (підведення), 23-26 (відведення) | М-код контролера ЗПВ + сигнал Auto Door          | Приймає й видаляє оброблену деталь з робочої зони       |

\* Інтервал  $\approx 0,94$  с ( $T = 25,444$  с, 27 інтервалів циклограми, рис. 14).

Практична реалізація циклограми на верстаті HAAS ST-20 виконується за допомогою керуючої програми, що складається з основної програми обробки деталі та підпрограми (О-номер) циклу взаємодії з ЗПВ. Послідовність дій програмується так:

- на початку циклу М-код відкриває автоматичні двері (Auto Door) та видає сигнал контролеру ЗПВ на поворот сектора магазину;
- після підтвердження від датчика наявності заготовки в захопленні (поз. 5, рис. 9, п. 1.4) виконується підведення пиноли задньої бабки (G-код власної осі верстата) та затиск патрона (М-код гідравлічного патрона A2-6);

- М-код закриває автоматичні двері, після чого виконується основна програма обробки (G-коди,  $T_i = 11,44$  с);
- за сигналом контролера (наближення до завершення обробки) М-код заздалегідь подає команду на підведення призми гідроциліндра вивантаження;
- після завершення обробки виконуються М-коди розтиску патрона та відведення пиноли задньої бабки, після чого призма з деталлю відводиться до лотка вивантаження;
- цикл завершується поверненням сектора у вихідне положення та переходом на повторний виклик підпрограми для наступної заготовки.

Такий підхід відповідає сучасній практиці автоматизації верстатів з ЧПК (п. 1.4): використання користувацьких М-кодів та дискретних сигналів Auto Door для керування периферійним обладнанням є стандартизованим рішенням, що застосовується як у фірмових модулях автоматизації (наприклад, Haas Automatic Parts Loader), так і при розробці власних ЗПВ, що підтверджує практичну реалізованість запропонованої циклограми на обраному верстаті HAAS ST-20.

**Висновки.** Визначено тривалості основних рухів робочого циклу: поворот сектора магазину  $t_1 \approx 1,9$  с; переміщення пиноли задньої бабки  $t_2 \approx 3,0$  с; затиск/розтиск патрона  $t_3 = 0,5$  с; час обробки  $T_i = 11,44$  с; переміщення призми гідроциліндра вивантаження  $t_5 \approx 3,0$  с (при ході призми 60 мм та параметрах гідроциліндра  $D = 90$  мм,  $F = 6362$  мм<sup>2</sup>, обраного в п. 2.1). Розроблена циклограма (рис. 14) забезпечує загальний час циклу  $T = 25,444$  с за рахунок раціонального поєднання допоміжних рухів ЗПВ з основним часом обробки  $T_i$ , а запропонована схема реалізації через М-коди та сигнал Auto Door системи HAAS NextGen Control підтверджує технічну реалізованість синхронізації модернізованого ЗПВ (п. 1.4, п. 2.1) з обраним верстатом.

## **РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА**

### **3.1. Розрахунок техніко-економічних показників ЗПВ**

#### **3.1.1. Вихідні дані для економічного розрахунку**

Техніко-економічний розрахунок ефективності ЗПВ базується на порівнянні капітальних витрат на розроблення, виготовлення та впровадження модернізованого завантажувально-розвантажувального пристрою (п. 1.4, п. 2.1, п. 2.3) з річним економічним ефектом від підвищення продуктивності операції 025 та скорочення тривалості виробничого циклу обробки деталі «Вал» на верстаті HAAS ST-20.

Як вихідні дані для розрахунку використовуються показники, отримані в розділах 1 і 2 даної роботи:

- штучний час обробки до автоматизації (з ручним завантаженням/розвантаженням)  $T_{шт} = 43,55 \text{ с} = 0,725 \text{ хв}$  (п. 1.1, табл. 5);
- час автоматизованого циклу після впровадження ЗПВ  $T = 25,444 \text{ с}$  (п. 2.3, рис. 14);
- річна програма випуску деталей «Вал» за операцією 025  $N = 5000$  шт/рік (прийнято орієнтовно для серійного виробництва);
- середня годинна тарифна ставка оператора верстата з нарахуваннями  $C_{год} = 180 \text{ грн/год}$  (рівень цін 2026 р.);
- умовний маржинальний прибуток від реалізації однієї додатково виготовленої деталі  $Пд = 25 \text{ грн/шт.}$

#### **3.1.2. Розрахунок капітальних витрат на модернізацію ЗПВ**

Капітальні витрати на створення модернізованого ЗПВ ( $K_{зпв}$ ) включають вартість основних комплектуючих, визначених у п. 1.4 та п. 2.1, а також витрати на виготовлення, монтаж і налагодження:

- гідроциліндр  $D = 90 \text{ мм}$  (ГОСТ 12447-80 або сучасний аналог, п. 2.1)
  - 8 000 грн;
- лінійний сервомодуль з кульковинтовою передачею та контролером (п. 2.1) - 25 000 грн;

- виготовлення магазину-лотка, сектора та елементів кріплення (п. 1.4, рис. 10) - 15 000 грн;
- датчики наявності заготовки та PLC-контролер ЗПВ (рис. 9, п. 1.4) - 12 000 грн;
- пружина (ГОСТ 13766-86) та дрібні комплектуючі - 1 000 грн;
- монтаж, пусконаладжувальні роботи та програмування взаємодії з HAAS NextGen Control (М-коди, Auto Door, п. 2.3) - 15 000 грн.

$$K_{зпв} = 8000 + 25000 + 15000 + 12000 + 1000 + 15000 \approx 76\,000 \text{ грн}$$

### 3.2. Розрахунок річного економічного ефекту

Економічний ефект від впровадження ЗПВ формується двома складовими: економією робочого часу оператора та додатковим випуском продукції за рахунок скорочення часу циклу обробки.

Економія робочого часу оператора за рік:

$$\Delta T = (T_{шт} - T) \cdot N = (43,55 - 25,444) \cdot 5000 \approx 90\,530 \text{ с} \approx 25,15 \text{ год/рік}$$

$$E1 = \Delta T \cdot C_{год} = 25,15 \cdot 180 \approx 4\,527 \text{ грн/рік}$$

Скорочення часу циклу дозволяє за той самий фонд робочого часу верстата виготовити більшу кількість деталей:

$$N_{дод} = N \cdot T_{шт} / T - N = 5000 \cdot 43,55 / 25,444 - 5000 \approx 3\,556 \text{ шт/рік}$$

$$E2 = N_{дод} \cdot Пд = 3556 \cdot 25 \approx 88\,900 \text{ грн/рік}$$

Загальний річний економічний ефект:

$$E_{рік} = E1 + E2 = 4527 + 88900 \approx 93\,400 \text{ грн/рік}$$

### 3.3. Термін окупності та оцінка економічної доцільності

$$T_{ок} = K_{зпв} / E_{рік} = 76000 / 93400 \approx 0,81 \text{ року} \approx 9,7 \text{ місяця}$$

$$E_{еф} = 1 / T_{ок} \approx 1,23$$

Отримане значення терміну окупності (близько 10 місяців) є меншим за прийнятий для технічних інновацій нормативний термін (1-3 роки), а коефіцієнт економічної ефективності  $E_{еф} \approx 1,23$  перевищує нормативний показник (0,15...0,33), що свідчить про економічну доцільність впровадження розробленого ЗПВ. Наведені вартісні показники є орієнтовними (рівень цін 2026 р.) і підлягають уточненню при розробці

робочої конструкторської документації та комплектації виробами конкретних постачальників.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній бакалаврській роботі вирішена актуальна інженерна задача автоматизації завантаження та розвантаження заготовок типу «Вал» на токарній операції з ЧПК шляхом розроблення завантажувально-розвантажувального пристрою (ЗПВ) магазинного типу для верстата HAAS ST-20.

У загальній частині роботи (розділ 1) виконано аналіз деталі «Вал» (сталь 45, ГОСТ 1050-74, маса  $m = 1,53$  кг) та визначено показник рівня автоматизації операції  $025 \alpha_t = 0,22$ , що обґрунтовує доцільність її автоматизації. Для реалізації обробки обрано сучасний токарний обробний центр з ЧПК HAAS ST-20, оснащений системою Haas NextGen Control, автоматичними дверима (Auto Door) та програмованою задньою бабкою, що створює необхідні передумови для інтеграції ЗПВ. На основі порівняльного аналізу шести класичних конструкцій завантажувальних пристроїв та сучасного варіанта (пристрій № 7) за 15 критеріями (табл. 7) обрано та модернізовано пристрій № 1 - магазин з механізмом вивантаження на основі гідроциліндра, доповнений серводвигуном штовхача заготовки для синхронізації з ЧПК через M-коди та сигнал Auto Door.

У конструкторській частині роботи (розділ 2) виконано комплекс конструктивних розрахунків ЗПВ: визначено ширину лотка  $B = 288$  мм з умови незаклинювання заготовки; довжину магазину  $L_m = 1720$  мм (у межах допустимого діапазону 500...2000 мм); жорсткість пружини механізму захоплення  $k \approx 63$  Н/мм; діаметр гідроциліндра механізму вивантаження  $D = 90$  мм (ГОСТ 12447-80,  $F = 6362$  мм<sup>2</sup>); масу заповненого лотка  $M = 90,27$  кг; параметри сервопривода штовхача заготовки (хід 300 мм, зусилля 4,5 Н, швидкість 0,2 м/с). Розроблено циклограму роботи верстатного комплексу із загальним часом циклу  $T = 25,444$  с та запропоновано схему її реалізації засобами системи ЧПК HAAS NextGen Control через M-коди та сигнал Auto Door, що відповідає сучасній практиці автоматизації (зокрема, модулю Haas Automatic Parts Loader).

В організаційно-економічній частині роботи (розділ 3) виконано техніко-економічний розрахунок, який показав, що капітальні витрати на створення модернізованого ЗПВ становлять  $K_{зпв} \approx 76\ 000$  грн, річний економічний ефект -  $E_{рік} \approx 93\ 400$  грн, термін окупності -  $T_{ок} \approx 0,8$  року (близько 10 місяців), що підтверджує економічну доцільність запропонованого технічного рішення.

Отже, мета кваліфікаційної роботи - розроблення ефективного засобу автоматизації завантаження заготовок типу «Вал», що забезпечує підвищення продуктивності операції 025 (з 1,38 до 2,36 шт/хв, тобто приблизно у 1,7 раза), зменшення частки ручної праці та задовільні економічні показники, - досягнута повністю. Усі завдання, поставлені у вступі до роботи, виконано.

Перспективними напрямками подальшого вдосконалення розробленої конструкції є: розроблення повного комплексу робочих креслень ЗПВ та програмного забезпечення для контролера; виготовлення та випробування дослідного зразка пристрою на верстаті HAAS ST-20; уточнення техніко-економічних показників за результатами дослідної експлуатації; адаптація конструкції магазину для роботи з деталями іншого типорозміру в межах визначеного діапазону (п. 1.4).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проць Я. І., Савків В. Б., Шкодзінський О. К., Ляшук О. Л. Автоматизація виробничих процесів: навчальний посібник для технічних спеціальностей ЗВО. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 344 с.
2. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: навчальний посібник. – Тернопіль: ТДТУ ім. І. Пулюя, 2008. – 232 с.
3. Костюк В. І., Спину Г. О., Ямпольський Л. С., Ткач М. М. Робототехніка: підручник. – К.: Вища школа, 1994. – 447 с.
4. Артюх О. М., Дударенко О. В., Кузьмін В. В., Сосик А. Ю., Щербина А. В. Основи мехатроніки: навчальний посібник. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 372 с.
5. Муляр Ю. І., Репінський С. В. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина І: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 99 с.
6. Буренніков Ю. А., Лозінський Д. О. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 105 с.
7. Мельник В. А. Методи та засоби автоматизації виробництва. – Харків: НТУ «ХП», 2010. – 314 с.
8. Муляр Ю. І., Репінський С. В. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 123 с.
9. Fantoni G., Capiferri S., Tilli J. Method for supporting the design of automatic assembly systems. – Procedia CIRP, 2014. Vol. 21. P. 137–142.
10. Bonetti M., Brenna A. Automation in CNC machining: a systematic review. – Int. J. Advanced Manufacturing Technology, 2021. Vol. 113. P. 2901–2918.
11. Bohringer K.F. et al. Parts feeding on motion plates using dynamic micromanipulation. – IEEE Trans. Robotics, 2003. Vol. 19(1). P. 37–45.

12. Chen X., Wang Y. Optimization of bowl feeder parameters using machine learning. – *Int. J. Advanced Manuf. Technology*, 2020. Vol. 108. P. 2351–2361.
13. Crisman J.D., Kanojia C., Zeid I. Graspar: a flexible, easily programmable robotic gripper. – *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 1996. Vol. 3(2). P. 32–37.
14. Dai J.S., Jones J.R. A linear algebraic procedure in obtaining reciprocal screw systems. – *Journal of Robotic Systems*, 2002. Vol. 19(2). P. 65–76.
15. de Waal H., Heerink A., Lim I. Flexible bowl feeders for small batch production. – *Proc. IEEE/RSJ IROS*, 2019. P. 3112–3117.
16. Haddadin S. et al. Collaborative robots for industrial loading tasks. – *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2023. Vol. 81. P. 102491.
17. Huang D., Xie C., Luo Q. Prediction of bowl feeder performance using hybrid neural networks. – *Computers & Industrial Engineering*, 2022. Vol. 168. P. 108052.
18. ISO 286-1:2010. Geometrical product specifications (GPS) – ISO code system for tolerances on linear sizes. Part 1.
19. Roser C., Nakano M. A practical bottleneck detection method. – *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*. P. 1080–1085.
20. Ruiz B., Correa M., González M. Design principles for flexible CNC loading systems: a case study. – *Procedia Engineering*, 2015. Vol. 132. P. 1032–1039.
21. Schöpp L. et al. Flexible automated loading of CNC machining centres. – *International Journal of Automation Technology*, 2020. Vol. 14(1). P. 81–89.
22. Wurm A. et al. Flexible gripper concepts for small batch production. – *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2022. Vol. 76. P. 102329.

23. Haddadin S., Albu-Schäffer A., De Luca A. Soft-robotics vision for intrinsically safe manipulation. – IEEE Robotics & Automation Magazine, 2023. Vol. 30(1). P. 31–42.
24. ДСТУ EN ISO 10218-1:2014. Роботи та роботизовані пристрої. Промислові роботи. Частина 1: Вимоги щодо безпеки для конструювання та виготовлення.
25. Chen X., Wang Y. Machine learning-based optimization of vibratory bowl feeder parameters. – J. Intelligent Manufacturing, 2020. Vol. 31. P. 1527–1542.
26. IFR World Robotics 2023 – Industrial Robots. – Frankfurt: IFR Statistical Dept., 2023. – 143 p.
27. GOODWAY GLS 1500 CNC Turning Center: Operation and Maintenance Manual. – Goodway Machine Corp., 2018. – 320 p.
28. Fanuc 0i-TF CNC User's Manual. – Fanuc Corporation, 2019. – 640 p.