

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

05 червня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Проектування завантажувального пристрою верстату на операцію механічної обробки деталі вал-шестерня»

Виконав здобувач вищої освіти

3ск курсу групи ПМ-22мб-3

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Олександр ПЕТРЕНКО

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент

_____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Рецензент:

канд. техн. наук, доцент

_____ Руслан ОСІН

Кропивницький 2025

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

10 квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Петренку Олександрю Вячеславовичу

Тема роботи:

Проектування завантажувального пристрою верстату на операцію механічної обробки деталі вал-шестерня

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Затверджено наказом ЦНТУ від 20 січня 2025 року № 237-02.

Строк подання роботи до захисту:

20 червня 2025 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: проектування завантажувального пристрою верстату на шліцефрезерну операцію механічної обробки деталі вал-шестерня.

Завдання: обґрунтувати актуальність теми, провести аналіз технологічності деталі, розробити технологію обробки деталі на шліцефрезерній операції, розробити компонувальну схему автоматизованої операції, виконати розрахунок накопичувача заготовок та захватного пристрою, вибрати пневмоциліндри.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	21.02.2025 р.	
2	Виконання загальної частини	20.03.2025 р.	
3	Виконання конструкторської частини	01.05.2025 р.	
4	Розробка креслеників	21.05.2025 р.	
5	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	02.06.2025 р.	
6	Перевірка роботи на академічний плагіат	10.06.2025 р.	
7	Рецензування роботи	12.06.2025 р.	
8	Захист кваліфікаційної роботи	20.06.2025 р.	

Дата видачі завдання
3 лютого 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____

Олександр ПЕТРЕНКО

Керівник роботи _____

Олександр СКІБІНСЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Петренко, О. В. Проектування завантажувального пристрою верстату на операцію механічної обробки деталі вал-шестерня : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. О. І. Скібінський ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 31 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Метою роботи є проектування завантажувального пристрою верстату на шліцефрезерну операцію механічної обробки деталі вал-шестерня.

Актуальність роботи полягає в підвищенні продуктивності шляхом автоматизації виробництва за рахунок застосування автоматизованих завантажувальних пристроїв.

В роботі виконано обґрунтування актуальності теми, виконано аналіз технологічності деталі, розроблено технологію обробки деталі на шліцефрезерній операції, розроблено компоновальну схему автоматизованої операції, розраховано накопичувач заготовок та захватний пристрій, розраховано та вибрано пневмоциліндри; спроектовано завантажувальний пристрій верстата, механізм завантаження та магазинний накопичувач деталей.

накопичувач заготовок, вал-шестерня, захватний пристрій, пневмоциліндр

ANNOTATION

Petrenko, O. V. Design of a machine tool loading device for the machining operation of a shaft-gear part: Qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 131 Applied mechanics / Scientific supervisor O. I. Skibinskyi; Central Ukrainian National Technical University – Kropyvnytskyi, 2025. 31 p.

Drawings – summary 3 sheets A1 format.

The purpose of the work is to design a loading device of a machine tool for the slot milling operation of mechanical processing of a shaft-gear part.

The relevance of the work lies in increasing productivity by automating production through the use of automated loading devices.

The work provides a justification for the relevance of the topic, an analysis of the manufacturability of the part is performed, a technology for processing the part in the slot milling operation is developed, a layout diagram of the automated operation is developed, a workpiece accumulator and a gripping device are calculated, pneumatic cylinders are calculated and selected; the machine tool loading device, loading mechanism and magazine accumulator of parts are designed.

accumulator of workpieces, shaft-gear, gripping device, pneumatic cylinder

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

«Проектування завантажувального пристрою верстату на операцію механічної обробки деталі вал-шестерня»

КРБ.ПМ.25.23.71.00.00

Виконав здобувач вищої освіти
3ск курсу групи ПМ-22мб-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Олександр ПЕТРЕНКО

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Кропивницький 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	8
1.1 Характеристика завантажуваної деталі в плані автоматизованої обробки	8
1.2 Розробка технології обробки деталі на заданій операції	11
1.3 Аналіз особливостей вибраного верстата для автоматизації	17
1.4 Розробка компонувальної схеми автоматизованої операції, її будова та робота	19
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	20
2.1 Розрахунок об'єму накопичувача заготовок (магазину)	20
2.2 Розрахунок кулачкового механізму та вибір пневмоциліндру	21
2.3 Розрахунок захватного пристрою	24
2.3.1 Розрахунок пневмоциліндру механізму вертикального переміщення	26
ВИСНОВКИ	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	29

ВСТУП

Сучасна машинобудівна галузь активно розвивається завдяки впровадженню автоматизованих завантажувальних пристроїв, які забезпечують ефективне постачання заготовок на верстати та автоматичні виробничі лінії. Вони відіграють важливу роль у підвищенні продуктивності обробки деталей.

Автоматичні завантажувальні пристрої призначені для подачі заготовок і деталей на верстати, автомати та роботизовані технологічні комплекси. Вони гарантують безперервне та точне постачання матеріалів, що зменшує потребу у втручанні оператора та знижує ризик помилок. Конструктивно такі пристрої можуть містити бункери або магазини-накопичувачі для зберігання деталей, а також автоматизовані механізми для їх завантаження та розвантаження.

У сучасних автоматичних лініях кожен верстат оснащується індивідуальним завантажувальним пристроєм, що забезпечує як синхронну, так і несинхронну роботу обладнання. У синхронних лініях передача деталей здійснюється безпосередньо між верстатами, тоді як у несинхронних застосовуються накопичувальні бункери для тимчасового зберігання деталей між етапами обробки.

Застосування автоматизованих завантажувальних пристроїв у поєднанні з верстатами та роботизованими комплексами сприяє створенню гнучких виробничих систем. Це дозволяє підвищити продуктивність, точність і адаптивність виробництва до змін у номенклатурі продукції.

Таким чином, сучасні тенденції у використанні завантажувальних пристроїв у машинобудуванні спрямовані на інтеграцію автоматизованих систем подачі матеріалів із високотехнологічним обладнанням, що сприяє підвищенню ефективності та конкурентоспроможності виробництва.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика завантажуваної деталі в плані автоматизованої обробки

Вал-шестерня – це деталь, яка за своїми конструктивним ознаками поєднує елементи таких деталей, як вал та шестерня і відноситься до класу стрижнів. Вал-шестерні можуть мати різну форму, типорозміри, типи зубців, а також різні додаткові типи поверхонь, що забезпечують виконання різних функцій.

Деталь вал-шестерня призначена для передачі обертання між валами, яке здійснюється за допомогою основної робочої частини даної деталі, а саме, зубців зубчастого колеса. Саме зубці вал-шестерні забезпечують зчеплення з іншою деталлю (вал-шестернею або шестернею) і створюють обертовий рух, який є головною функцією шестеренного зачеплення.

Областю застосування деталі вал-шестерня є: автомобілебудування, сільськогосподарська промисловість, насоси, мотори та ін. Наприклад, в насосі, енергія, що передається ведучій вал-шестерні (рисунок 1.1, позиція 1) через зубчасте зачеплення забезпечує обертання веденої вал-шестерні (рис. 1.1, позиція 2). За рахунок зменшення об'єму простору міжзубових камер, в яких знаходиться гідравлічна рідина, відбувається збільшення тиску в гідросистемі. За рахунок утвореного тиску, відбувається переміщення рідини системою та забезпечується необхідна для роботи гідравлічного устаткування потужність.

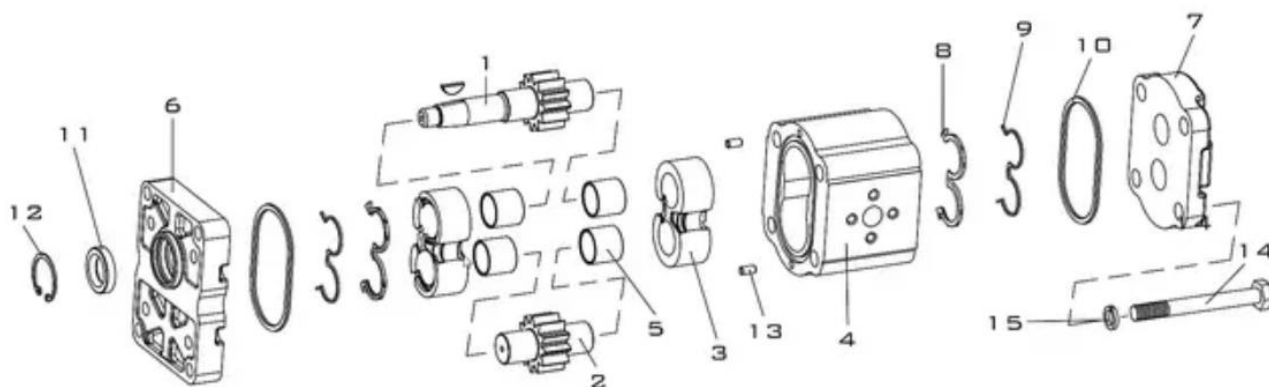


Рисунок 1.1 – Насос гідравлічний

Основними елементами конструкції вал-шестерні є форма валу та зубців.

За формою вал може бути:

- гладким – мати однаковий діаметр по всій довжині;
- ступінчастим – мати різні діаметри та довжини цапф;
- порожнистим – мати отвір по всій довжині валу або його частині.

За типом зубців вал-шестерні бувають:

- прямозубі – забезпечують високу швидкість передачі;
- косозубі – забезпечують зниження вібрації та шуму за рахунок більш плавної роботи передачі;
- конічні – розташовані на конічній поверхні валу;
- гіпоїдні – забезпечують роботу двох валів-шестерень розташованих взаємно перпендикулярно;
- шевронні – забезпечують високу точність передачі обертів.

Вона виготовлена із матеріалу Сталь 18 ХГТ. Хімічний склад та механічні властивості матеріалу наведено в таблицях 1.1 та 1.2 відповідно.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад матеріалу деталі

Марка матеріалу	Вміст елементів, %							
	C	Si	Mn	Ni	S	Cr	Ti	Cu
Сталь 18 ХГТ	0,17-0,23	0,17-0,37	0,8-1,1	до 0,3	до 0,035	1-1,3	0,03-0,09	до 0,3

Таблиця 1.2 – Механічні властивості матеріалу деталі

Марка матеріалу	σ_t , МПа	σ_b , МПа	Твердість, НВ
Сталь 18 ХГТ	730	980	217

З метою виконання аналізу точності поверхонь деталі вал-шестерня, необхідно на ескізі деталі, що представлений на рисунку 1.2 позначити поверхні, які підлягають обробці. Параметри точності заносимо в таблицю 1.3.

За результатами виконання аналізу точності деталі можна зробити висновки:

- розміри задані в достатній кількості;
- не всі відхилення розмірів відповідають квалітетам;
- розміри проставлені комбінованим методом.

В якості затискного пристрою під час обробки деталі використовуються центри (один із яких плаваючий) і хомутик.

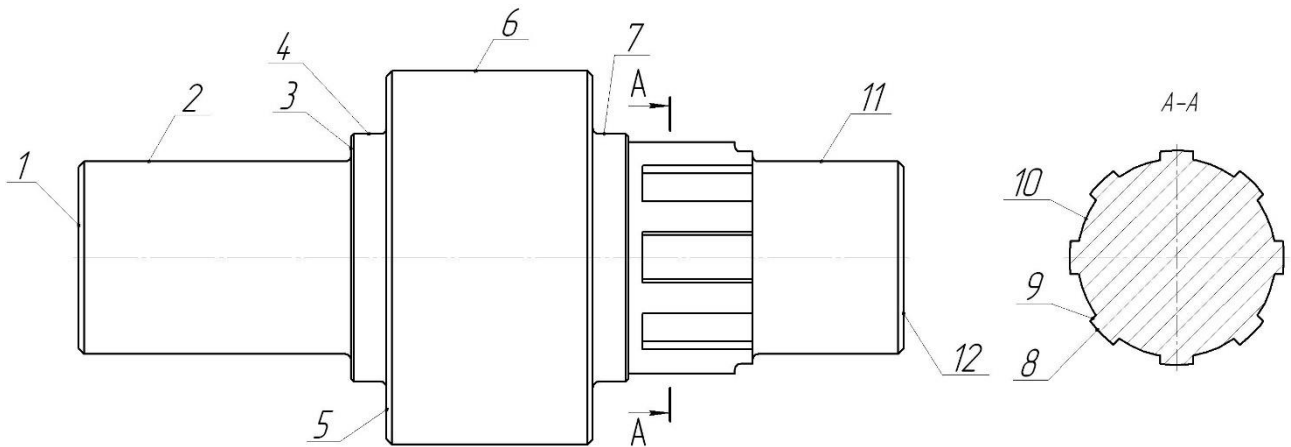


Рисунок 1.2 – Ескіз деталі

Таблиця 1.3 – Параметри точності деталі

№ поверхні	Найменування поверхні	Розмір з відхиленням	Квалітет точності	Шорсткість поверхні
1, 12	Торцева	$300 \pm 1,0$	Js14	3,2
2, 11	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 70^{+0,021}_{+0,002}$	k6	1,0
3	Торцева	13	-	2,0
4, 7	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 90$	-	1,6
5	Торцева	75	-	0,16
6	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 135,58_{-0,1}$	h9	3,2
8	Зовнішня шліцева	$\varnothing 78_{-0,019}$	h6	1,25
9	Бічна поверхня шліців	$12^{+0,05}_{-0,16}$	d11	3,2
10	Западини шліців	$\varnothing 72^{+1,0}_{-2,5}$	-	1,25

Дана деталь є придатною для автоматизованого транспортування та орієнтування у просторі за рахунок не дуже великих розмірів та не складної конструкції.

1.2 Розробка технології обробки деталі на заданій операції

Оскільки, проєктування завантажувального пристрою верстату виконуємо на шліцефрезерну операцію механічної обробки деталі вал-шестерня, необхідно розробити зміст даної операції.

Шліці на деталях - це спеціальні пази або вирізи на поверхні деталі, що використовуються для забезпечення з'єднання з іншими деталями, а також для передачі обертового моменту або інших механічних навантажень.

До основних функцій шліцевих з'єднань належать:

- передача обертового моменту, оскільки, шліці часто використовуються для з'єднання валів і шестерень, коліс або муфт, де потрібно передати обертальний момент між деталями без ковзання;
- міцність з'єднання так, як забезпечують міцне фіксування деталей, але при цьому дозволяють знімати або замінювати їх за необхідності;
- покращення механічних властивостей за рахунок більш рівномірного розподілу навантаження у порівнянні зі шпонковим з'єднанням, що підвищує стійкість з'єднання до зносу;
- запобігання неправильному встановленню. Оскільки шліці мають визначену форму, вони забезпечують правильне розташування деталей одна відносно одної.

Розробляємо зміст технологічної шліцефрезерної операції і зводимо її до таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Зміст технологічної операції

Назва операції	Назва та модель верстата	Операційний ескіз	Зміст операції
Шліцефрезерна	Фрезерний напівавтомат мод. 5350		<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати послідовно шліці, витримуючи розміри 1, 2, 3 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Перевірити розміри.

Деталь вал-шестерня встановлюється в центри (один із яких плаваючий) шліцефрезерного напівавтомата, а для запобігання її провороту в центрах закріплюється хомутиком. Фрезерування шліців виконується дисковою фрезою, що встановлено на оправці (рисунок 1.3).

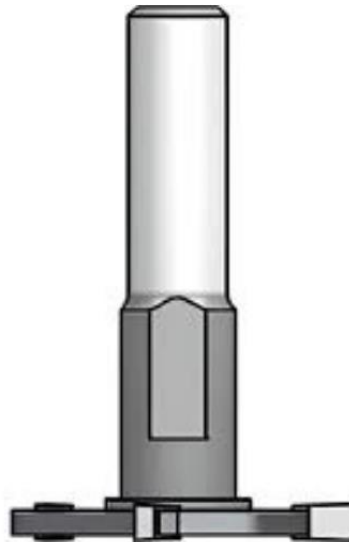


Рисунок 1.3 – Дискова фреза на оправці

Головним рухом є обертання фрези, а рухом подачі – переміщення вздовж осі деталі.

Після першого проходу відбувається провертання деталі на певний кут за допомогою ділильної головки для подальшого нарізання шліців. Після чого, така послідовність дій із провертанням деталі та фрезеруванням дисковою фрезою повторюється. В результаті даної металообробної операції фрезеровано 8 шліців (рисунок 1.2, позиція 8).

Основний час при фрезеруванні дисковою фрезою шліців, розраховуємо за формулою [1, с. 65]:

$$t_o = \frac{l_o + l_{ep}}{s_{mnp}} \cdot i \quad (1.1)$$

де l_o - довжина шліців, мм;

$l_{вр}$ - величина врізання:

$$l_{вр} = \sqrt{h \cdot D_{\phi} - h} + (0,5 \dots 2), \quad (1.2)$$

де D_{ϕ} - діаметр фрези, мм;

h - глибина шліців;

$S_{мп}$ - повздовжня хвилинна подача;

i - кількість шліців.

Повздовжня хвилинна подача:

$$S_{мп} = s_z \cdot z \cdot n, \quad (1.3)$$

де s_z - подача на зуб [1, с. 37]. $s_z = 0,08$;

z - кількість зубців [1, с. 39]. $z = 20$;

n - частота обертання фрези:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (1.4)$$

де V - швидкість різання;

D - діаметр фрези [1, с. 48]. $D = 100$ мм

Швидкість різання визначається за формулою [1, с. 42]:

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v \quad (1.5)$$

де $C_V = 68,5$, $q = 0,25$, $x = 0,3$, $y = 0,2$, $u = 0,1$, $p = 0,1$, $m = 0,2$ [1, с. 43];

T - час стійкості інструменту [1, с. 48]. $T = 120$ хв.;

K_v - коефіцієнт, який враховує фактичні умови різання [1, с. 8]:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{IV} \cdot K_{\dot{E}V}, \quad (1.6)$$

де K_{MV} - коефіцієнт, який враховує якість оброблюємого матеріалу [1, с. 9].

$$K_{MV} = K_{\Gamma} \cdot \left(\frac{750}{\sigma_{\epsilon}} \right)^{nv} \quad (1.7)$$

де $K_{\Gamma} = 0,7$, $nv = 1$ [1, с. 10]

$$K_{MV} = 0,7 \cdot \left(\frac{750}{980} \right)^1 = 0,77$$

K_{IV} - коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки. [1, с. 12]. $K_{IV} = 1$

$K_{\dot{E}V}$ - коефіцієнт, який враховує матеріал інструменту. [1, с. 12]. $K_{\dot{E}V} = 1$

$$K_v = 0,77 \cdot 1 \cdot 1 = 0,77$$

Величина врізання:

$$l_{\epsilon p} = \sqrt{3 \cdot 100 - 3} + 0,5 = 18 \text{ мм}$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{68,5 \cdot 100^{0,25}}{120^{0,2} \cdot 3^{0,3} \cdot 0,08^{0,2} \cdot 16^{0,1} \cdot 20^{0,1}} \cdot 0,77 = 31,77 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання фрези:

$$n = \frac{1000 \cdot 31,77}{3,14 \cdot 100} = 101,18 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_\partial = 100$ об/хв.

Дійсна швидкість різання:

$$V_\partial = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\partial}{1000} \quad (1.8)$$

$$V_\partial = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 1000}{1000} = 31,4 \text{ м/хв.}$$

Повздовжня хвилинна подача:

$$s_{мп} = 0,08 \cdot 20 \cdot 100 = 160 \text{ мм/хв.}$$

Основний час:

$$t_o = \frac{40+18}{160} \cdot 8 = 2,9 \text{ хв.}$$

Головна складова сили різання – колова сила [1, с. 48]:

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP} \quad (1.9)$$

де $C_p = 68,2$, $x = 0,86$, $y = 0,72$, $u = 1$, $q = 0,86$, $w = 0$ [1, с. 49];

K_{MP} - коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу, [1, с. 14]:

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_\epsilon}{750} \right)^n \quad (1.10)$$

$$K_{MP} = \left(\frac{980}{750}\right)^{0,3} = 1,08$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,08^{0,72} \cdot 16^1 \cdot 20}{100^{0,86} \cdot 100^0} \cdot 1,08 = 1874,59 \text{ Н}$$

Крутний момент [1, с. 48]:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} \quad (1.11)$$

$$M_{кр} = \frac{1874,59 \cdot 100}{2 \cdot 100} = 937,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність різання [1, с. 50]:

$$N_p = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (1.12)$$

$$N_p = \frac{1874,59 \cdot 31,4}{1020 \cdot 60} = 0,96 \text{ кВт}$$

1.3 Аналіз особливостей вибраного верстата для автоматизації

В якості технологічного обладнання для виконання заданої операції було вибрано шліцефрезерний напівавтомат моделі 5350.

Верстат призначений для фрезерування на валах прямих прямобічних і евольвентних шліців, а також зубців шестерень на вал-шестернях.

Спрощене креслення загального виду верстату показано на рисунку 1.4.

Технічна характеристика верстату

Висота центрів, мм	250
Найбільший діаметр фрезерування, мм	150

Найбільший діаметр виробу, встановлює мого над станиною, мм	500
Відстань між центрами, мм	750
Найбільша довжина фрезерування, мм	675
Найбільший діаметр фрези, мм	140
Число швидкостей фрези	6
Межі частоти обертання фрези, об/хв.	80-250
Число подач	11
Потужність електродвигуна, кВт	11,6
Габаритні розміри верстата, мм:	
- довжина	1400
- ширина	2580
- висота	1600
Вага, кг	3650

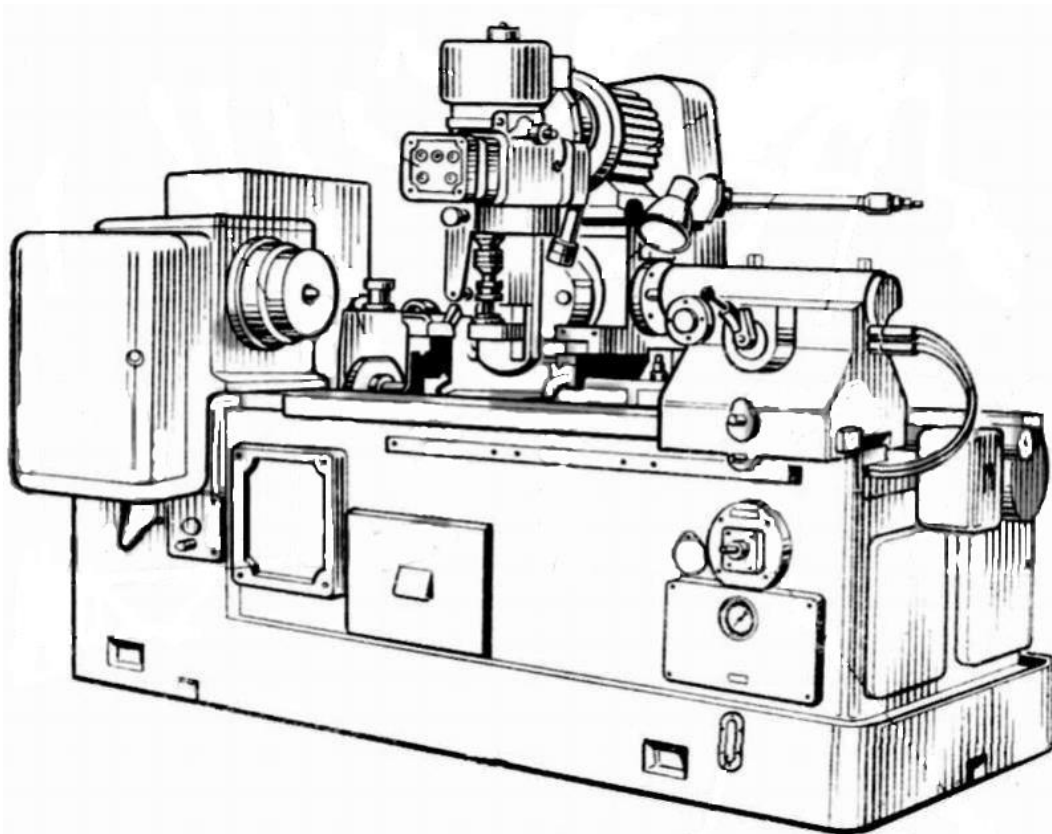


Рисунок 1.4 – Загальний вид шліцефрезерного напівавтомату моделі 5350

1.4 Розробка компоувальної схеми автоматизованої операції, її будова та робота

Робота засобу автоматизації у сукупності з металорізальним верстатом відбувається наступним чином.

Засіб автоматизації складається з магазинного накопичувача, допоміжного столу та механізму захвату.

Перед початком роботи засіб автоматизації і верстат знаходяться у початковому положенні. Деталі завантажуються в магазин та по одній скочуються в кулачковий механізм. За допомогою пневмоциліндру кулачок з деталлю обертається і деталь перекочується на допоміжний стіл. Тим самим, кулачок виконує ще і функцію відсікаючого механізму.

Після перенесення деталі в позицію захвату вона затискається механізмом захвату і переноситься на верстат для затиску в центрах. Після закріплення починається фрезерування шліців на деталі.

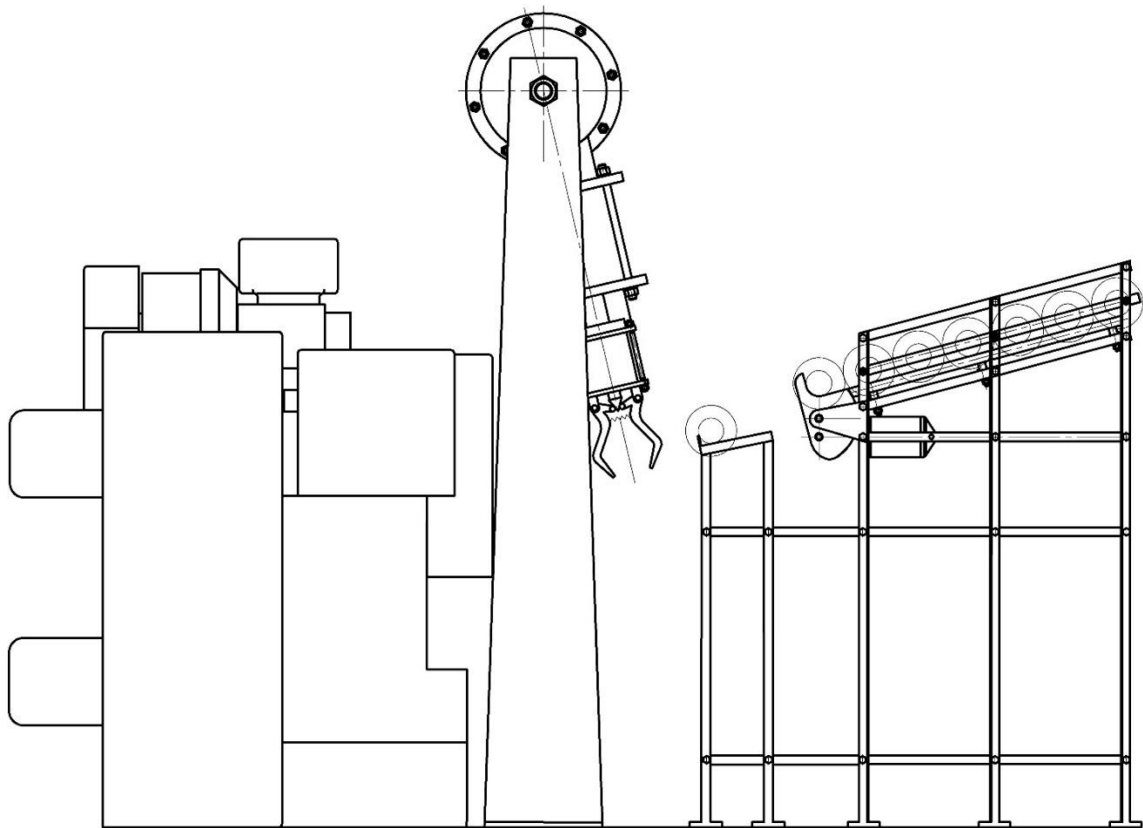


Рисунок 1.5 – Компоувальне креслення завантажувального пристрою верстата

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок об'єму накопичувача заготовок (магазину)

Магазини застосовуються для завантаження заготовок, орієнтація яких ускладнена внаслідок складності їх форм, розмірів і маси або, коли за характером виробництва доцільно виготовляти складні завантажувальні пристрої. Заготовки до магазину завантажуються вручну або укладальним механізмом в ємність магазину і одночасно орієнтуються. Всі інші операції здійснюються автоматично.

Довжина магазину, визначається тим необхідним запасом заготовок, який повинен вміщуватися для забезпечення неперервної роботи завантажувального пристрою в період часу, та може бути розрахований за формулою:

$$L = D \cdot N \quad (2.1)$$

де D - найбільший діаметр деталі, мм;

N - кількість деталей, яка повинна розміщуватись в магазині:

$$N = \frac{T}{t_o} \quad (2.2)$$

де T - період часу безперервної роботи (без дозавантаження) завантажувального пристрою, хв.

$$N = \frac{20}{2,9} = 7 \text{ шт.}$$

$$L = 135,58 \cdot 7 = 950 \text{ мм}$$

Ширина магазинного лотка визначається прохідністю заготовки тобто її здатністю просуватися по похилій площині не заклинюючи і не втрачаючи орієнтації.

Ширина магазину:

$$B = L + \Delta, \quad (2.3)$$

де L - довжина деталі;

Δ - зазор, який запобігає заклинюванню деталей:

$$\Delta = \frac{\sqrt{D^2 + L^2}}{\sqrt{1 + f^2}} - L \quad (2.4)$$

де f - коефіцієнт тертя.

$$\Delta = \frac{\sqrt{300^2 + 136^2}}{\sqrt{1 + 0,15^2}} - 300 = 2 \text{ мм}$$

Ширина магазинного лотка:

$$B = 300 + 2 = 302 \text{ мм}$$

2.2 Розрахунок кулачкового механізму та вибір пневмоциліндру

Кулачковий механізм отримує деталь з магазину і в результаті обертання передає її на допоміжний стіл.

Знайдемо момент інерції кулачкового механізму [2]:

$$I = M \cdot 0,707 \cdot r, \quad (2.5)$$

де M - маса кулачка, кг;

$$M = V \cdot \rho, \quad (2.6)$$

де V - об'єм кулачка;

ρ - густина матеріалу. $\rho = 0,00782 \text{ г} \cdot \text{мм}^3$

Площа кулачка рівна площі кола показаного на рисунку 2.1. Отже, об'єм кулачка буде рівний циліндру, основою якого є це коло.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h, \quad (2.7)$$

де r - радіус кола. $r = 91 \text{ мм}$;

h - висота кулачка. $h = 10 \text{ мм}$

$$V = 3,14 \cdot 91^2 \cdot 10 = 261569 \text{ мм}^3$$

$$M = 261569 \cdot 0,00782 = 2045,46 \text{ г} = 2,0455 \text{ кг}$$

r - радіус кулачка, м. $r = 0,102 \text{ м}$

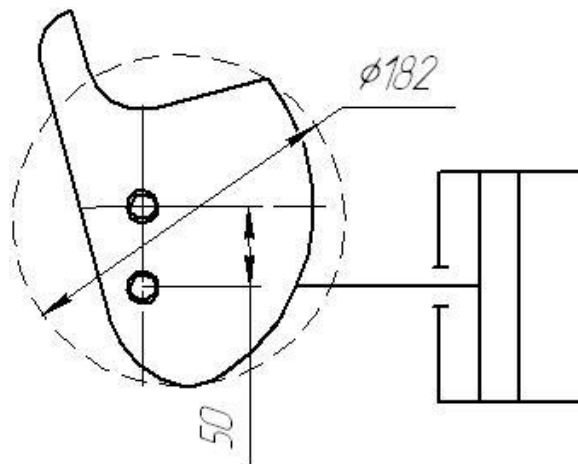


Рисунок 2.1 – Схема взаємного розташування кулачка і циліндру

$$I = M \cdot 0,707 \cdot r = 2,0455 \cdot 0,707 \cdot 0,102 = 0,1475 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Крутний момент:

$$M_{кр} = F \cdot l, \quad (2.8)$$

де F - сила, яка діє на кулачок, Н;

l - плече прикладання сили, м

$$F = (M_{\partial} + M_k) \cdot g, \quad (2.9)$$

де M_{∂} , M_k - маса деталі і кулачка відповідно

$$F = (15,4 + 2,0455) \cdot 9,8 = 170,96 \text{ Н}$$

$$M_{кр} = 170,96 \cdot 0,05 = 8,548 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Кулачковий механізм обертається за допомогою пневмоциліндра.
Розраховуємо діаметр пневматичного циліндра:

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta} + d^2} \quad (2.10)$$

де p - тиск стиснутого повітря (3-5 кгс/см²);

η - ККД приводу (0,8-0,9);

d - діаметр штока ($0,3 \cdot D_{ц}$)

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,548}{3,14 \cdot 3 \cdot 0,8} + 0,3^2} = 2,1 \text{ см} = 21 \text{ мм}$$

Округлюємо отримане значення діаметра циліндра до ближчого більшого зі стандартного ряду:

$$D_{ц} = 25 \text{ мм}$$

2.3 Розрахунок захватного пристрою

Для розрахунку сили затиску складаємо розрахункову схему (рисунок 2.2), на якій позначаємо всі сили захватного пристрою та його основні параметри. На схемі до деталі, яку утримує захват прикладаємо всі діючі на неї сили (силу ваги деталі, силу інерції, сили тертя між деталлю і затискними елементами, сили затиску деталі).

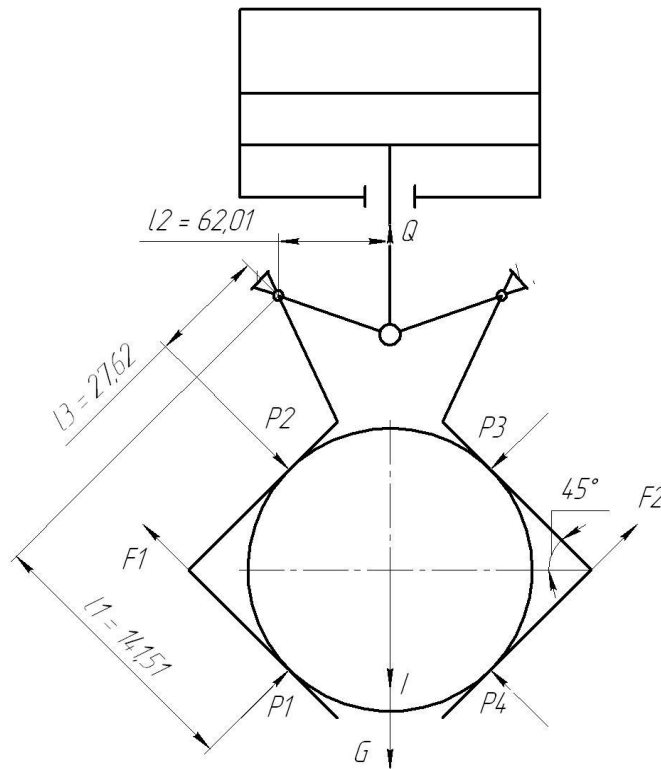


Рисунок 2.2 – Схема прикладання сил до захватного пристрою

Складаємо рівняння рівноваги деталі під дією на неї всіх сил:

$$\begin{aligned} \Sigma X &= P_1 \cdot \sin \alpha + P_2 \cdot \sin \alpha - P_3 \cdot \sin \alpha - P_4 \cdot \sin \alpha = 0; \\ \Sigma Y &= -G - I + P_1 \cdot \cos \alpha + P_4 \cdot \cos \alpha + F_1 \cdot \sin \alpha + F_2 \cdot \sin \alpha = 0; \\ F &= f \cdot P; \end{aligned} \quad (2.11)$$

де f - коефіцієнт тертя. Для сталі $f = 0,15$.

$$P_1 \cdot \cos \alpha + P_4 \cdot \cos \alpha + f \cdot P_1 \cdot \sin \alpha + f \cdot P_4 \cdot \sin \alpha = G + I;$$

$$P_1 = P_4 = P;$$

$$P \cdot (2 \cdot \cos \alpha + 2 \cdot f \cdot \sin \alpha) = G + I;$$

Приймаємо силу інерції рівну силі ваги деталі $I = G$.

$$P = \frac{2 \cdot G}{2 \cdot (\cos \alpha + f \cdot \sin \alpha)}$$

Сила затиску розраховується за формулою:

$$P_1 \cdot l_1 + P_4 \cdot l_1 = Q \cdot l_2 \quad (2.12)$$

Зусилля на штоці приводу розраховується за формулою:

$$Q = \frac{P_1 \cdot l_1 + P_4 \cdot l_1}{l_2} \quad (2.13)$$

Розраховуємо сили затиску:

$$P = \frac{2 \cdot 9,8}{2 \cdot (\cos 45 + 0,15 \cdot \sin 45)} = 12,053 \text{ кг}$$

Зусилля на штоці приводу:

$$Q = \frac{12,053 \cdot 141,51 + 12,053 \cdot 141,51}{62,01} = 55,01 \text{ кг}$$

Розраховуємо діаметр пневматичного циліндра:

$$Q = \rho \cdot S = \rho \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \quad (2.14)$$

$$D_u = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \rho \cdot \eta} + d^2} \quad (2.15)$$

де ρ - тиск стиснутого повітря (3-5 кгс/см²);

η - ККД приводу (0,8-0,9);

$$D_u = \sqrt{\frac{4 \cdot 55,01}{3,14 \cdot 3 \cdot 0,8} + 0,3^2} = 5,4 \text{ см}$$

Округлюємо отримане значення діаметра циліндра до ближчого більшого зі стандартного ряду:

$$D_u = 63 \text{ мм}$$

2.3.1 Розрахунок пневмоциліндру механізму вертикального переміщення

Розраховуємий пневматичний циліндр призначений для переміщення захвату вздовж руки захватного пристрою.

Діаметр циліндру:

$$D_u = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot \rho \cdot \eta} + d^2} \quad (2.16)$$

Сила P :

$$P = m \cdot a, \quad (2.17)$$

де m - маса:

$$m = m_{\partial} + m_3 + m_{\text{ш}} + m_n,$$

де m_{∂} - маса деталі.

Приймаємо, $m_3 + m_{\text{ш}} + m_n = m_{\partial}$

$$m_3 + m_{\text{ш}} + m_n = 15,4 \text{ кг};$$

a - прискорення:

$$a = 1 \cdot g :$$

$$m = 15,4 + 15,4 = 30,8 \text{ кг}$$

$$P = 30,8 \cdot 9,8 = 301,84 \text{ кг}$$

Діаметр циліндру:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 301,84}{3,14 \cdot 4 \cdot 0,8} + 0,4^2} = 10,96 \text{ см}$$

Округлюємо отримане значення діаметра циліндра до ближчого більшого зі стандартного ряду:

$$D_{\text{ц}} = 125 \text{ мм}$$

ВИСНОВКИ

Для деталі вал-шестерня виконано аналіз точності та технологічності. Визначено матеріал деталі та його хімічний склад та механічні властивості.

Розроблено зміст на шліцефрезерну операцію механічної обробки деталі вал-шестерня. На дану операцію розраховано режими різання та норми часу.

Розроблено компоувальну схему автоматизації шліцефрезерної операції. Засіб автоматизації складається з магазинного накопичувача, допоміжного столу та механізму захвату. Деталі завантажуються в магазин та по одній скочуються в кулачковий механізм. За допомогою пневмоциліндру кулачок з деталлю обертається і деталь перекочується на допоміжний стіл. Тим самим, кулачок виконує ще і функцію відсікаючого механізму.

Після перенесення деталі в позицію захвату вона затискається механізмом захвату і переноситься на верстат для затиску в центрах. Після закріплення починається фрезерування шліців на деталі.

Виконано розрахунок накопичувача заготовок магазинного типу та захватного пристрою, вибрано пневмоциліндри.

Застосування автоматизованого завантажувального пристрою забезпечує підвищення продуктивності шляхом автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буц Б.Д. Розрахунок режимів різання / Б. Д. Буц, В. Є. Приходько, Ю. В. Ткачов // Навчальний посібник. Д.: РВВ ДНУ, 2005. 76 с.
2. Кіницький Я.Т. Практикум з теорії механізмів і машин: навчальний посібник. Львів: ПТВФ «Афіша», 2002. 454 с.
3. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальності 131 Прикладна механіка / В. А. Мажара, А. І. Гречка, В. В. Свяцький та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 40 с.
4. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : метод. рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спец. 131 «Прикладна механіка» / [уклад. : К. Щербина, В. Шмельов, О. Скрипник, А. Гречка, О. Кузик] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки, каф. матеріалознавства і ливарного виробництва. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 16 с.
5. Павленко І. І. Промислові роботи та РТК : монографія/ Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2016. 492 с.
6. Павленко І. І., Годунко М. О. Захватні пристрої роботів: монографія. Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД». 2020. 386 с.
7. Муляр, Ю. І., Репінський С. В. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина I : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2019. 99 с.
8. Павленко, І. І., Мажара В. А. Роботизовані технологічні комплекси : монографія. Кропивницький : КОД, 2019. 382 с.
9. Кошель С. О., Ковальов Ю. А., Манойленко О. П. Проектування промислових роботів та маніпуляторів: Навчальний посібник. К.: Центр навчальної літератури, 2019. 256 с.

10. Морзе Н. В., Варченко-Троценко Л. О., Гладун М. А. Основи робототехніки: навчальний посібник. Кам'янець-Подільський : П.П. Буйницький О.А., 2016. 184 с.
11. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. 232с.
12. Булгаков А., Воробйов В. Промислові роботи. Кінематика, динаміка, контроль та управління. К.: Прес, 2011. 486 с.
13. Годунко М.О. Основи 3D моделювання і робототехніки: Навч. посіб. для проведення практичних занять / М.О. Годунко, А.І. Гречка. К. : 7БЦ, 2024. 42 с.
14. Підгаєцький М.М., Скібінський О.І. Технологія випробувань та сертифікація продукції: навч. посіб. Кіровоград: КНТУ, 2014. 144 с.
15. Годунко М.О. Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою / М.О. Годунко, О.А. Кислун, В.А. Мажара, В.К. Щербина, Р.А. Кравченко, В.В. Ключкін // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. Вип. 7 (38). С. 27-33.
16. Годунко М.О. Дослідження можливості підвищення точності захватного пристрою робота за рахунок компенсуючої ланки затискного важеля. Годунко М.О., Мажара В.А., Кислун О.С., Щербина В.К., Писанка С.В. // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки : зб. Наук пр. Хмельницький : ХНУ, 2024. Вип. №3. С. 52-56.
17. Павленко, М.О. Годунко Розрахунок не зрівноважено утримуваних деталей захватними пристроями роботів/ Центральноукраїнський науковий вісник: Технічні науки, вип.1 (32) 2019. ЦНТУ, Кропивницький. С. 202-210.
18. Павленко І.І., Годунко М.О. Визначення розрахункових сил затиску в захватних пристроях промислових роботів/ Міжнародний науково-технічний журнал Mechanics and Advanced Technologies, КПІ. Том 85, №1 (2019). С. 85-92.

19. Filimonikhin, G., Pirogov, V., Hodunko, M., Kisilov, R., & Mazhara, V. (2021). The dynamics of a resonance single-mass vibratory machine with a vibration exciter of targeted action that operates on the Sommerfeld effect. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (111)), 51–58.

20. Павленко І.І. Продуктивність двоверстатних роботизованих комплексів/ І.І. Павленко, В.М. Кропівний, М.О. Годунко, М.О. Сторожук// Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. – Кіровоград: КНТУ, 2017. – Вип.47. - Ч.І. - С.179-186.

21. Павленко І.І. Дослідження кутових переміщень платформи МПС із ріжучим інструментом/ Павленко І.І., Годунко М.О., Кислун О.С., Костюк Є.С.// Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2020. Вип. 3(34). С.117-129.