

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

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

Технологічна підготовка виготовлення деталі

«Поршень»

Виконав здобувач вищої освіти

4 курсу групи ПМ-23мб-3

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг

технологій, робототехніка і 3D-друк»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Євгеній КОЗЛЕНКО

Керівник роботи: канд. техн. наук, доцент

_____ Олександр ЛИСЕНКО

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
«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
За першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Козленку Євгенію Вячеславовичу

Тема роботи:

Технологічна підготовка виготовлення деталі «Поршень».

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Олександр Лисенко

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

Строк подання роботи до захисту:

12 червня 2026 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: розробка технологічного процесу механічної обробки деталі «Поршень», вибір оптимального ріжучого інструменту, визначення режимів різання та норм часу

Завдання:

- проаналізувати технологічність деталі «Поршень PS100.40.004» та розробити маршрут її механічної обробки;
- вибрати ріжучий інструмент та розрахувати режими різання для виконання операцій обробки;
- виконати нормування основних технологічних операцій;
- розробити комплект технологічної документації;
- виконати необхідні кресленики.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання літератури за тематикою роботи	квітень 2026	
2	Виконання загальної частини	квітень 2026	
3	Виконання технологічної частини	квітень 2026	
4	Виконання конструкторської частини	травень 2026	
5	Розробка креслеників	травень 2026	
6	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	травень 2026	
7	Перевірка роботи на академічний плагіат	червень 2026	
8	Рецензування роботи	червень 2026	
9	Захист кваліфікаційної роботи	червень 2026	

Дата видачі завдання: «02» квітня 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____

Євгеній КОЗЛЕНКО

Керівник роботи _____

Олександр ЛИСЕНКО

АНОТАЦІЯ

Козленко, Є.В. Технологічна підготовка виготовлення деталі «Поршень». : спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. О. В. Лисенко; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2026.– 60 с.

Креслеників – разом 4,5 аркуші формату А1.

Метою роботи є розробка технологічного процесу механічної обробки деталі «Поршень PS100.40.004» на верстаті з ЧПУ DOOSAN LYNX 220, вибір оптимального ріжучого інструменту, визначення режимів різання та норм часу, а також виконання перевірного розрахунку вузла повздовжньої подачі по осі Z із обґрунтуванням його працездатності.

Актуальність роботи полягає у забезпеченні високої точності та продуктивності механічної обробки деталей на сучасних верстатах з ЧПУ, а також у підвищенні ефективності використання технологічного обладнання шляхом оптимізації режимів різання та перевірки працездатності основних вузлів верстата.

Практична цінність полягає у створенні технологічного процесу виготовлення деталі «Поршень PS100.40.004» на верстаті DOOSAN LYNX 220. Заміна інструменту та оптимізація режимів різання забезпечують виконання вимог до якості поршня при його обробці. Розроблений комплект технологічних карт і керуючих програм для системи ЧПУ Fanuc Series 0i-MD, разом із розрахунком вузла осі Z, безпосередньо підвищують надійність та ефективність виробництва.

Ключові слова: поршень, механічна обробка, технологічний процес, режими різання, ріжучий інструмент.

ANNOTATION

Kozlenko, E.V. Technological preparation for the manufacture of the "Piston" part: Specialty 131 Applied Mechanics/Scientific Adviser O.V. Lysenko; Central Ukrainian National Technical University - Kropyvnytskyi: CNTU, 2026.– 60 p.

Drawings – 4.5 A1-size sheets in total.

The purpose of the work is to develop a technological process for machining the part "Piston PS100.40.004" on a DOOSAN LYNX 220 CNC machine, select the optimal cutting tool, determine cutting modes and time standards, and perform a verification calculation of the longitudinal feed unit along the Z axis with justification of its operability.

The relevance of the work consists of ensuring high precision and productivity in the machining of parts on modern CNC machines, as well as improving the efficiency of process equipment by optimizing cutting parameters and verifying the operational readiness of the machine's main components.

Practical value. consists in creating a technological process for manufacturing the part "Piston PS100.40.004" on the DOOSAN LYNX 220 machine. Tool replacement and optimization of cutting modes ensure that the requirements for the quality of the piston are met during its processing. The developed set of technological maps and control programs for the Fanuc Series 0i-MD CNC system, together with the calculation of the Z-axis assembly, directly increase the reliability and efficiency of production.

Keywords: piston, machining, manufacturing process, cutting conditions, cutting tool.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра “Машинобудування, мехатроніки і робототехніки”

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

Технологічна підготовка виготовлення деталі «Поршень»

КРБ.ПМ.26.75.23.00.00

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

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

Кропивницький 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Призначення, конструктивні особливості верстату з ЧПУ, його характеристика, опис робочого простору.....	9
1.2 Призначення та технічні характеристики ПЧПУ.	15
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	17
2.1 Аналіз креслення деталі та її службове призначення.....	17
2.2 Спосіб отримання заготовки.....	18
2.3 Маршрут обробки деталі	20
2.4 Вибір нового проектного ріжучого інструменту.....	21
2.5 Опис базового ріжучого інструменту	22
2.6 Вибір нового проектного ріжучого інструменту.....	26
2.7 Розрахунок режимів різання	26
2.8. Нормування операції.....	36
2.9 Розробка операції яка виконується на верстаті з ЧПУ	42
2.9.1 Розробка маршрутних карт.....	42
2.9.2 Розробка операційних карт (на операцію, яка виконується на верстаті з ЧПУ).....	43
2.9.3 Розробка ескізних карт (на операцію, яка виконується на верстаті з ЧПУ)	43
2.9.4 Розробка карт кодування інформації.....	43
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	44
3.1 Опис конструкції та принципу роботи вузла верстату, який розглядається.....	44
3.2 Перевірочний розрахунок вузла верстату ЧПУ.....	45
3.3 Регулювання вузла, який розглядається	50
ВИСНОВКИ	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54
ДОДАТКИ	56

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний розвиток машинобудівної галузі в Україні нерозривно пов'язаний із широким впровадженням верстатів із числовим програмним управлінням. Обладнання з ЧПУ забезпечує суттєво вищу точність, відтворюваність та продуктивність механічної обробки порівняно з універсальними верстатами, що є критично важливим в умовах серійного виробництва. Одним із представників такого обладнання є токарний верстат з ЧПУ DOOSAN LYNX 220, який широко застосовується на підприємствах для точної обробки деталей типу тіл обертання.

Центральним об'єктом технологічної обробки в межах кваліфікаційної роботи є деталь «Поршень PS100.40.004» — відповідальний елемент гідроциліндра, що працює в умовах знакозмінних навантажень та підвищеного тиску робочої рідини. Якість виготовлення цієї деталі безпосередньо визначає надійність і ресурс усього вузла. Вимоги до точності розмірів, шорсткості поверхонь та допусків розташування поверхонь поршня є жорсткими, що зумовлює необхідність ретельного вибору технологічного маршруту та режимів різання.

Одним із ключових вузлів верстату DOOSAN LYNX 220, що безпосередньо впливає на точність позиціонування інструменту та якість обробки, є вузол повздовжньої подачі по осі Z. Від технічного стану цього вузла залежить стабільність лінійних розмірів деталей, що обробляються, а також загальна геометрична точність верстата. В умовах тривалої експлуатації елементи вузла зазнають зносу, що потребує своєчасного технічного обслуговування та коректного налагодження. Внаслідок цього перевірочний розрахунок вузла повздовжньої подачі є невід'ємною частиною дипломного проєкту.

Мета роботи — розробка технологічного процесу механічної обробки деталі «Поршень PS100.40.004» на верстаті з ЧПУ DOOSAN LYNX 220, вибір оптимального ріжучого інструменту, визначення режимів різання та норм

часу, а також виконання перевірного розрахунку вузла повздовжньої подачі по осі Z із обґрунтуванням його працездатності.

Об'єкт дослідження – технологічний процес механічної обробки деталі «Поршень PS100.40.004» на токарному верстаті з ЧПУ DOOSAN LYNX 220.

Предмет дослідження – конструктивні особливості верстату DOOSAN LYNX 220, технічні характеристики системи ЧПУ Fanuc Series 0i-MD, параметри ріжучого інструменту, режими різання та розрахункові характеристики вузла повздовжньої подачі по осі Z.

Практична цінність – полягає у створенні технологічного процесу виготовлення деталі «Поршень PS100.40.004» на верстаті DOOSAN LYNX 220. Заміна інструменту та оптимізація режимів різання забезпечують виконання вимог до якості поршня при його обробці. Розроблений комплект технологічних карт і керуючих програм для системи ЧПУ Fanuc Series 0i-MD, разом із розрахунком вузла осі Z, безпосередньо підвищують надійність та ефективність виробництва.

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Призначення, конструктивні особливості верстату з ЧПУ, його характеристика, опис робочого простору.

Верстати серії LYNX 220 – це компактні токарні центри. Ця серія була розроблена для виробництва невеликих деталей з неперевершеною точністю та швидкістю обробки.

Токарний верстат з ЧПУ LYNX 220 вироблений фірмою Doosan з системою управління Fanuc I Series (0i-MD), оснащений 12-позиційною інструментальною револьверною головкою, шпинделем та транспортером для відведення стружки з робочої зони. Даний верстат призначений для обробки тїл обертання по всьому спектру операцій від чорнових до чистових при обробці зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь, свердління, зенкерування, розгортання осьових отворів, точіння конусів, нарізки зовнішньої та внутрішньої різьби.

Поліпшено оброблення деталей невеликого розміру – з прутка (подавач прутка – опція).

Загальний вигляд верстату зображений на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Doosan LYNX 220b

З метою підвищення жорсткості та забезпечення високої швидкості подачі в конструкції машини передбачено використання кулькової напрямної, яку зображено на рисунку 1.2. Кожна вісь приводиться в дію за допомогою цифрового серводвигуна. Ці двигуни, що характеризуються значним крутним моментом, безпосередньо з'єднані з механізмом передачі гвинт-гайка, що дозволяє мінімізувати шум, забезпечити плавність руху та досягти практично повної відсутності люфту.



Рисунок 1.2 – Кулькова напрямна

Вісь С позиціонується з високою точністю, забезпечуючи крок 0,001 градуса. Завдяки наскрізній синхронізації шпинделя з осями X і Z стає можливим виконання контурної, складної та призматичної обробки.

Передня бабка та головний шпиндель виробляються в умовах із суворим контролем температури навколишнього середовища, після чого вони проходять процес збирання та ретельної перевірки. Шпиндель картриджного типу оснащений потрібним радіально-упорним кульковим підшипником у передній частині та рядним циліндричним роликовим підшипником у задній, як показано на рисунку 1.3. Таке поєднання підшипників забезпечує високу ефективність у мінімізації термічних зміщень переднього носу шпинделя, одночасно сприяючи покращенню швидкості й точності його обертання.



Рисунок 1.3 – Передня бабка верстату

Револьверна головка обладнана масивною вигнутою муфтою, що має діаметр 210 мм і забезпечує гідравлічний затиск із силою в 39 кН (рисунок 1.4). Завдяки високій міцності конструкція головки гарантує підвищену жорсткість та тривалий експлуатаційний ресурс інструменту. Поворотний рух револьверної головки здійснюється за допомогою серводвигуна з великим крутним моментом, що забезпечує точну двонаправлену індексацію без зупинок. Перемикання між станціями відбувається з мінімальним часом індексації – 0,11 секунди.

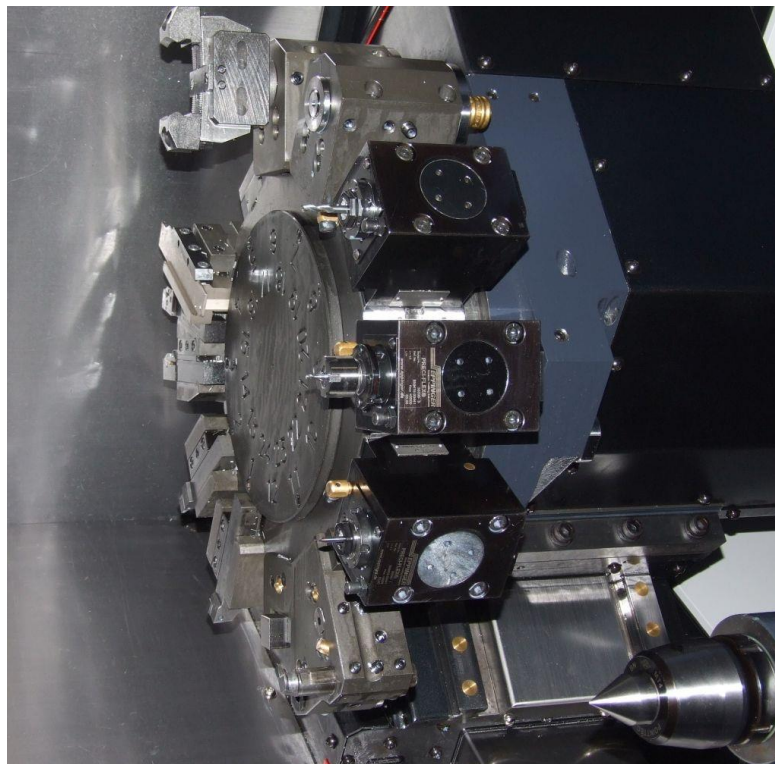


Рисунок 1.4 – Револьверна головка

Широко розташовані напрямні та міцна конструкція корпусу задньої бабки, як показано на рисунку 1.5, забезпечують необхідну жорсткість. Позиціювання корпусу задньої бабки виконується за допомогою тягової планки, яка з'єднується з кареткою. Переміщення тягової балки та ручне гідравлічне затискання корпусу здійснюються вручну.

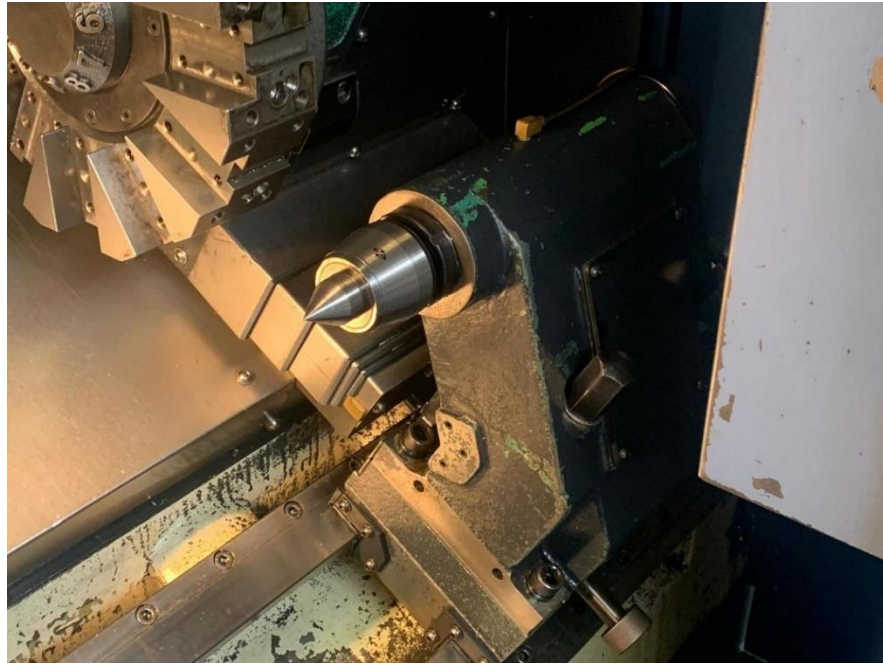


Рисунок 1.5 – Задня бабка

Верстати моделі DOOSAN LYNX 220 LMSA/LMSC оснащені контршпінделем (рисунок 1.6)

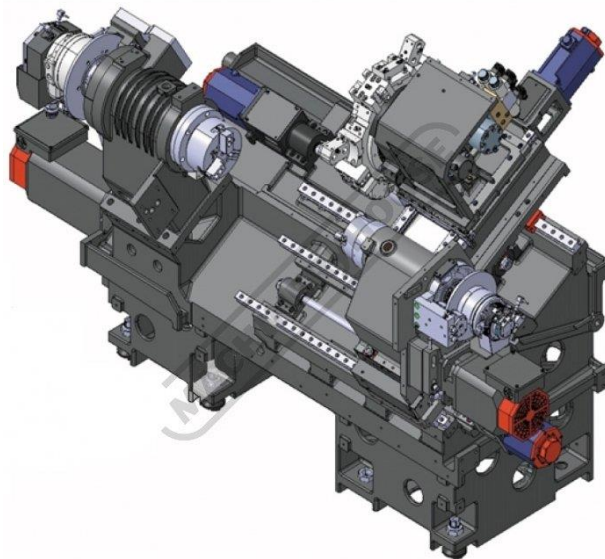


Рисунок 1.6 – DOOSAN LYNX 220LMSC оснащений контршпінделем

Технічна характеристика верстату Doosan LYNX 220b наведена у таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика верстата

Діапазон обробки	Максимальний діаметр обробки над станиною	мм	510
	Максимальний діаметр обробки над супортом	мм	290
	Рекомендований діаметр обробки	мм	210
	Максимальний діаметр обробки	мм	320
	Максимальна довжина обробки	мм	305
	Діаметр обробляєсих прутків	мм	51
Каретка	Довжина ходу вісь X	мм	175
	вісь Z	мм	330
Головний шпіндель	Частота обертання шпинделя	об/хв	5000
	Передній кінець шпинделя	ASA	AS#6
	Діаметр підшипника шпинделя	мм	100
	Наскрізний отвір в шпинделі	мм	61
Револьверна головка	Кількість гнізд для інструменту		12
	Переріз різців для обробки зовнішнього діаметру	мм	25x25
	Діаметр борштанги	мм	40
	Час індексації (на 1 позицію)		0,15
Швидкість подачі	Швидка подача вісь X	м/хв	30
	вісь Z	м/хв	36
	Максимальна робоча подача вісь X	м/хв	500
	вісь Z	м/хв	500
Двигуни	Двигун головного шпинделя	кВт	15/11
	Серводвигун вісь X	кВт	1,8
	вісь Z	кВт	1,8
	Насос MOP	кВт	0,4
Джерело живлення	Енергоспоживання (розрахункова потужність)	кВА	25,6

1.2 Призначення та технічні характеристики ПЧПУ.

Пристрій ЧПУ призначений для забезпечення роботи зовнішніх пристроїв введення та виведення, редагування управляючих програм через пульт управління, пошуку необхідного кадру для виконання програми, розрахунку робочих циклів, а також для передачі управляючих сигналів до технологічного оснащення.

Система керування Fanuc Series (0i-MD) ідеально підходить для обслуговування складних машин із багатьма осями, багатозадачної обробки та високошвидкісної, високоточної машинної обробки. Сучасне апаратне забезпечення та інноваційне програмне забезпечення гарантують максимальну продуктивність, високу точність і якість поверхні.

Ця система є чудовим базовим рішенням для реалізації різноманітних контрольних програм. Вона готова до використання, оснащена передовим обладнанням та включає повний пакет стандартного програмного забезпечення. Для ще більшої продуктивності в специфічних випадках її можна легко адаптувати за допомогою додаткових функцій. Завдяки унікальному поєднанню ціни, якості, продуктивності та надійності дана система пропонує функціонал, який зазвичай притаманний лише системам високого рівня продуктивності.

Основні характеристики:

- до 96 осей, 24 шпиндельних осей і 15 траєкторій
- 5-осьова обробка
- об'єднана шліфувально-токарна або токарно-фрезерувальна машинна обробка
- розширені інтегрованої функції профілактичного технічного обслуговування
- інтегрована функція подвійної перевірки захисту FANUC
- програмування прямо в цеху через MANUAL GUIDE і
- контроль зіткнень за допомогою 3D Interference Check

- функції динамічної компенсації для високої точності
- високошвидкісний Smooth Tool Center Point 5-осьова компенсація
- керування навчанням/високошвидкісна циклічна машинна обробка
- вбудоване високошвидкісне РМС
- високошвидкісне різання
- Інтуїтивне та дуже зручне керування з iHMI

Панель управління системи Fanuc I Series (0i-MD) зображено на рисунку 1.8



Рисунок 1.8 – Панель управління системи Fanuc I Series (0i-MD)

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз креслення деталі та її службове призначення

Аналіз технологічності деталі наведено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1. – Аналіз точності деталі

Назва поверхні	Розміри, поля допуску, квалітет, відхилення	Допуск на розмір, мм	Допуск на розташування, мм	Допуск на форми	Шорсткість
Отвір	$\varnothing 33,5^{+0,062}$	0,062			Ra 1,25
Циліндрична поверхня	$\varnothing 96^{-0,054}$	0,054		0,05	Ra1,6
Отвір	$25,5^{+0,5}$	0,5			Ra3,2
Отвір	$4^{+0,5}$	0,5			Ra3,2
Отвір	$5^{+0,5}$	0,5			Ra3,2
Торець	$43 \pm 0,2$	0,4	0,05		Ra3,2
Канавка	$22,5^{+0,2}$	0,2			Ra1,6
Канавка	$3,6^{+0,2}$	0,2			Ra1,6
Радіальна поверхня	R0,2-0,1	0,1			Ra3,2
Різьбова поверхня	M6-7H				Ra3,2

Поршень виконує роль основного робочого елемента гідроциліндра. Під дією робочого середовища, яке надходить у його порожнину, поршень здійснює зворотно-поступальний рух. Швидкість цього руху визначається інтенсивністю подачі рідини. Таким чином, забезпечується головна функція гідроциліндра – перетворення енергії та її передача.

Зусилля, яке створює гідроциліндр, залежить від тиску в системі та площі поршня – воно прямо пропорційне цим параметрам. Отже, зі збільшенням діаметра поршня зростає і потужність гідравлічного циліндра при тому самому рівні тиску. Гідроциліндр та його складові зображені на рисунку 2.1.

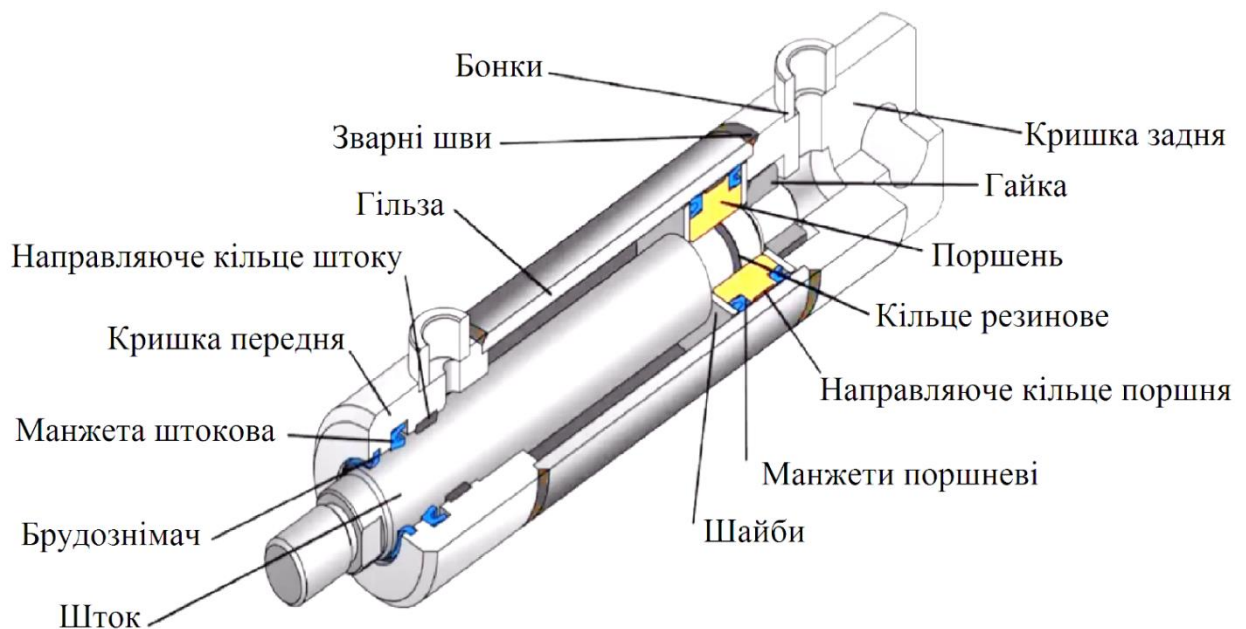


Рисунок 2.1 – Будова гідроциліндру

2.2 Спосіб отримання заготовки

Деталь виготовляється з сталевого гарячекатаного прокату круглого перерізу круг $\frac{B2-110 \text{ ДСТУ 4738:2007}}{45 \text{ ДСТУ 7809:2015}}$.

До заготовки висувають наступні технічні вимоги:

- твердість 229НВ;
- *Розмір для довідок;

- овальність прутка не повинна перевищувати 0.8 мм;
- кривизна прутка не повинна перевищувати 3мм;
- на поверхні не допускаються розкатні бульбашки, тріщини, забруднення якщо їх глибина перевищує 1,1 мм.

Густина цієї марки сталь 45 становить 7826 кг/м³. Критичні точки (точки Чернова), за яких відбувається зміна структури металу та фазового стану: $A_{c1} = 730^{\circ}\text{C}$, $A_{c3} = 755^{\circ}\text{C}$, $A_{r1} = 690^{\circ}\text{C}$, $A_{r3} = 780^{\circ}\text{C}$. Межа плинності сталі 45 при підвищенні температури випробувань від 200 до 1200С падає від 340 Мпа до 15 МПа. Згідно ГОСТ 1050 твердість гарячекатаної металопродукції без термічної обробки зі сталі 45 становить 220 НВ. Ударна в'язкість – 14-15 Дж/см².

Хімічний склад заготовки круг 45 $\frac{\text{B2-110 ДСТУ 4738:2007}}{45 \text{ ДСТУ 7809:2015}}$. деталі поршень PS100.40.004 наведено в таблиці 2.2.

Сталь марки 45 використовується для виробництва гарячекатаного та холоднокатаного плоского і сортового прокату, а також кованих деталей, які надалі стають основою металоконструкцій і машинобудівних виробів різноманітних форм і розмірів. Ця конструкційна сталь широко застосовується у виготовленні шпинделів, кулачків, шестерень, кріплень і валів для найрізноманітніших потреб. З неї створюють відповідальні елементи, такі як консолі, осі, штоки, балки, плунжери та інші деталі, які після термічної обробки повинні мати підвищені показники міцності.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад заготовки круг $\frac{\text{B2-110 ДСТУ 4738:2007}}{45 \text{ ДСТУ 7809:2015}}$

C	Si	Mn	Ni
0.42-0.5	0.1a7-0.37	0.5-0.8	max 0.3
S	P	Cr	Cu
max0.04	max 0.35	max 0.25	max 0.3

Заготовка отримується за допомогою методу прокатування, яке є одним із основних способів обробки металів тиском. Цей процес передбачає

деформацію вихідної заготовки шляхом її обтиску валками, що обертаються в прокатному стані, з метою зменшення поперечного перерізу матеріалу та надання йому необхідної форми. Залежно від напрямку прикладеної сили прокатування поділяється на три основні види: поздовжнє, поперечне та поперечно-гвинтове (косе) прокатування.

Існує кілька типів прокатування залежно від форми і призначення готового продукту, серед яких виділяють сортове, листове та трубне прокатування. Для здійснення сортового прокатування на робочих поверхнях валків створюються спеціальні кільцеві канавки, які іноді називають рівчаками. При взаємодії верхнього і нижнього валка ці канавки утворюють калібри, що відповідають заданим формам та розмірам напівфабрикатів, забезпечуючи високу точність геометричних характеристик продукції.

2.3 Маршрут обробки деталі

Маршрутна технологія механічної обробки деталі наведено в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Маршрутна технологія механічної обробки деталі

№ п/п	№ операції	Назва операції	Короткий зміст операції	Обладнання
1	2	3	4	5
2	165	Відрізна	Нарізати пруток на штучні заготовки	МЕВА-260АР Стрічково-відрізний
3	170	Укладання	Скласти штучні заготовки в касети	-
4	220	Токарна з ЧПУ	Комплексна обробка правої сторони деталі	Лунх 220В Токарний з ЧПУ
5	230	Токарна з ЧПУ	Комплексна обробка лівої сторони і центрального отвору	Лунх 220В Токарний з ЧПУ

Продовження таблиці 2.3.

6	235	Комплексна ЧПУ	Виконати комплексну обробку гужоного отвору	VF-3DHE Оброблюючий центр
7	240	Комплексна ЧПУ	Виконати обробку отворів під спец ключ	VF-3DHE Оброблюючий центр
8	250	Слюсарна	Притупити гострі кромки	

2.4 Вибір нового проектного ріжучого інструменту

На основі вже розроблених розділів, у яких детально охарактеризовано призначення обладнання та інструменту, можна зробити висновок про те, що обробка деталі поршень PS100.40.004 виконується на сучасному верстаті моделі DOOSAN LYNX 220 із використанням передового різального інструменту від провідної компанії «TaeguTec». Цей інструмент поєднує у собі найсучасніші технічні рішення, зокрема вдосконалення геометрії ріжучої частини, інноваційні покриття для пластин і державок, а також використання прогресивних матеріалів для ріжучих поверхонь.

З огляду на це, можна стверджувати, що заміна базового різального інструменту є недоцільною, оскільки вона не дозволить досягти очікуваного економічного ефекту. Натомість доцільним є коригування режимів різання на основі виконаних розрахунків, спрямоване на підвищення навантаження на верстат, а також оптимізація управляючої програми обробки деталі. Це дозволить забезпечити ефективніше використання наявного обладнання та інструментів.

2.5 Опис базового ріжучого інструменту

Для переходу 2 (підрізати торець) в якості ріжучого інструмента використовуються:

- Різець токарний підрізний
- Державка TWLN/R2525 M06 рисунок 2.2.
- Пластина WNMG 080404 EM рисунок 2.3.

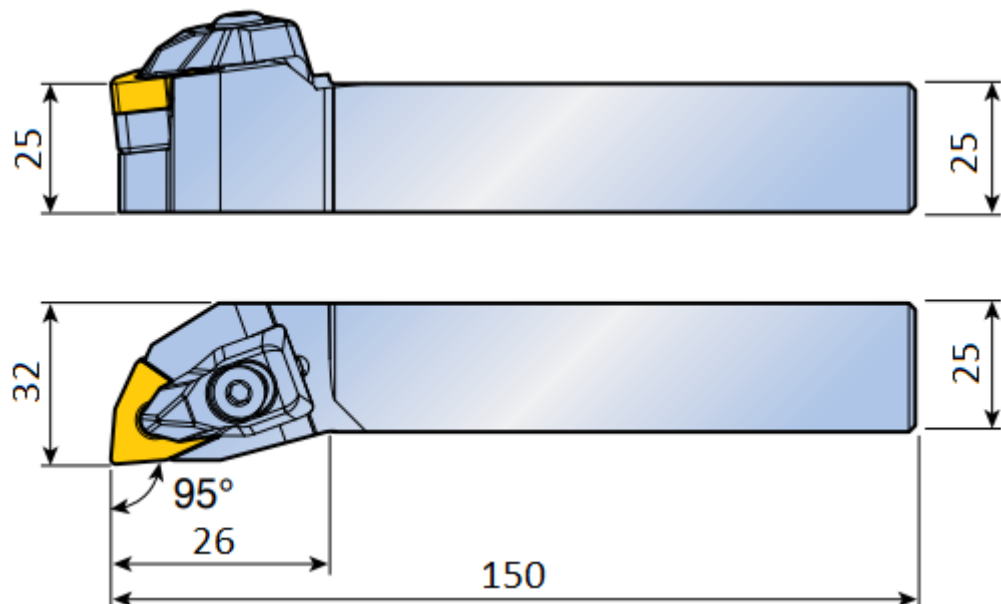


Рисунок 2.2 – TWLN/R2525 M06

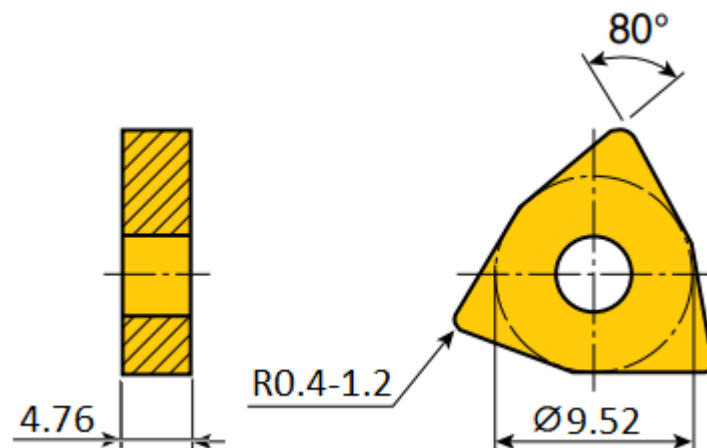


Рисунок 2.3 – WNMG 080404 EM

Для переходу 3 (свердлити отвір) в якості ріжучого інструмента використовуються:

-Свердло TOP2300-32T2-09-T2 рисунок 2.4.

-Пластина SOMT050204DP рисунок 2.5.

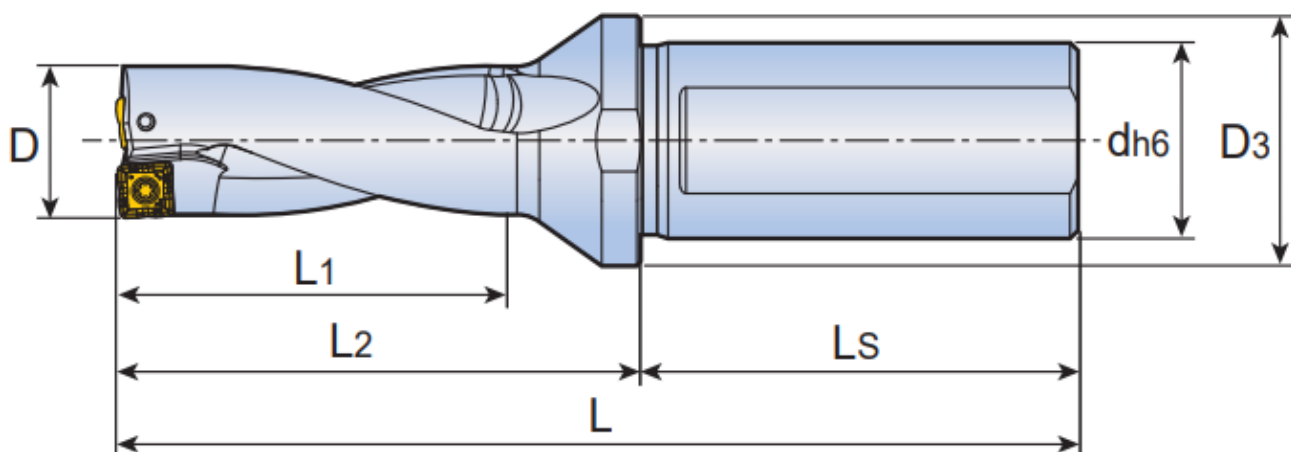


Рисунок 2.4 – TOP2300-32T2-09-T2

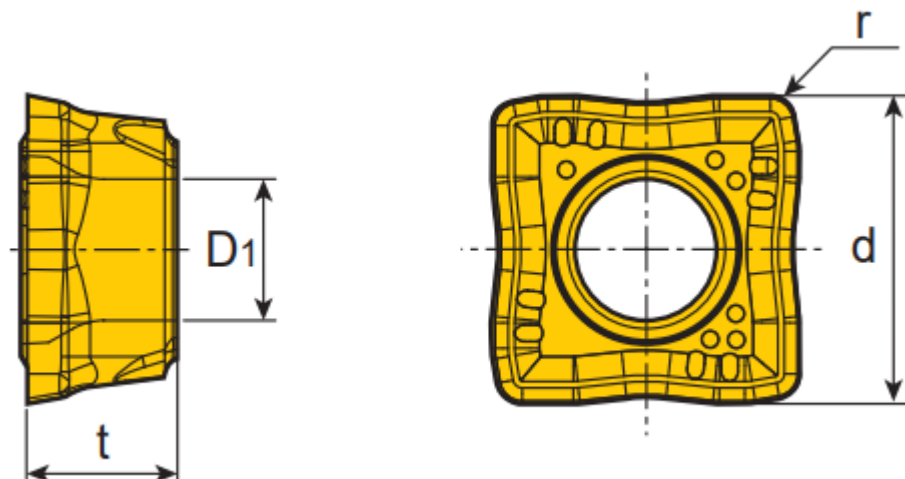


Рисунок 2.5 – SOMT050204DP

Для переходу 4 (розточити отвір) в якості ріжучого інструмента використовуються:

-Різець розточний

-Державка S20Q HTFNR/L 1304 рисунок 2.6

-Пластина TNGG160404R рисунок 2.7

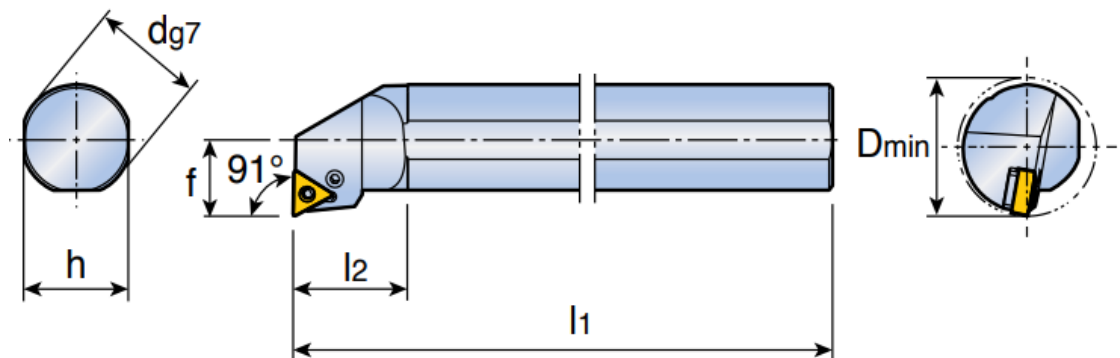


Рисунок 2.6 – S20Q HTFNR/L 1304

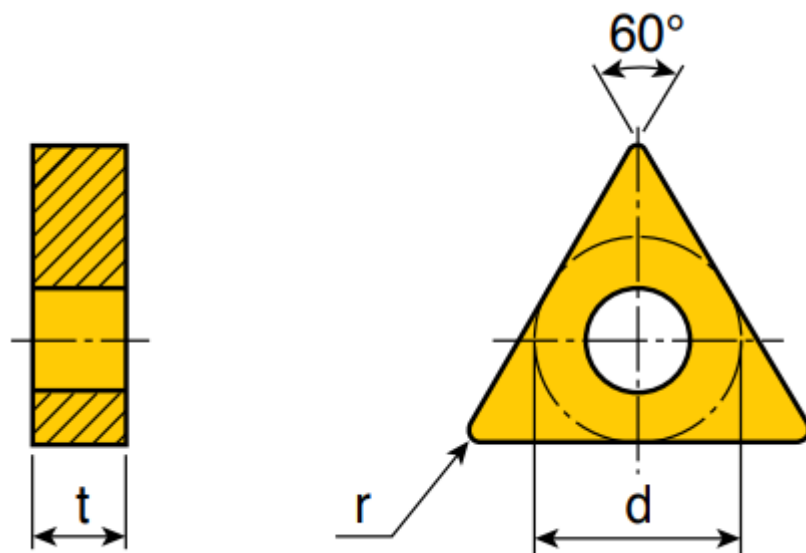


Рисунок 2.7 – TNGG160404R

Для переходу 5 (нарізати різьбу) в якості ріжучого інструмента використовуються:

- Різбовий різець
- Державка 0020P16 рисунок 2.8
- Пластина 16IR/L 2.00 ISO рисунок 2.9

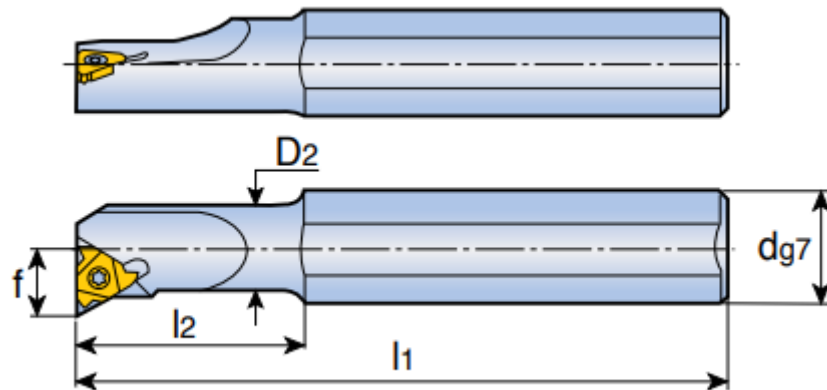


Рисунок 2.8 – 0020P16

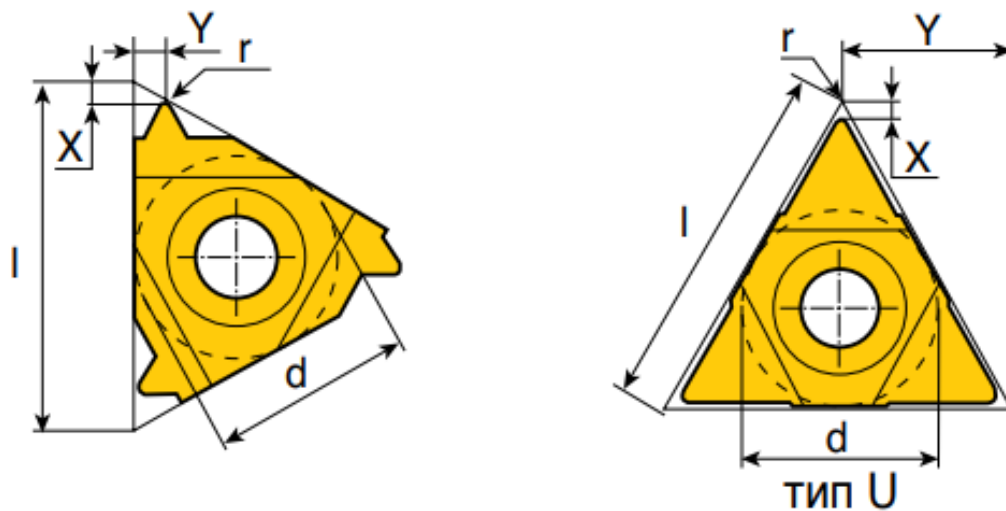


Рисунок 2.9 – 16IR/L 2.00 ISO

2.6 Вибір нового проектного ріжучого інструменту.

На основі вже розроблених розділів, у яких було проведено опис та визначено призначення обладнання й інструменту, можна зробити висновок, що деталь поршень PS100.40.004 обробляється на сучасному верстаті моделі DOOSAN LYNX 220 із використанням прогресивного ріжучого інструменту провідної компанії «TaeguTec». Цей інструмент вирізняється передовими розробками в таких аспектах, як геометрія ріжучої частини, покриття пластин і державок, а також матеріал робочих елементів.

У зв'язку з цим вважаємо, що заміна базового ріжучого інструменту не призведе до очікуваного економічного ефекту. Натомість доцільніше провести розрахунки та внести зміни до режимів різання, щоб підвищити завантаження верстата й оптимізувати керуючу програму для обробки деталі.

2.7 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів виконуємо на основі технологічного процесу механічної обробки деталі поршень поршень PS100.40.004, а саме операцію 220 токарна з ЧПУ.

На машинобудівних підприємствах як масового, так і серійного виробництва широко застосовують всі види токарних, свердлувальних та різьбонарізних операцій.

Визначаємо глибину різання за формулою (2.1):

$$t = \frac{D-d}{2} \quad (2.1);$$

Де: D – діаметр до обробки; d – діаметр після обробки.

Швидкість різання при зовнішньому повздовжньому і поперечному точінні та розточуванні розраховують за імперичною формулою 2.2:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (2.2);$$

При відрізанні, та фасонному точінні швидкість різання визначається за формулою 2.3:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2.3)$$

де, T – стійкість інструмента;

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання;

m, x, y – показники ступені.

При свердлінні та нарізанні різьби швидкість різання визначається за формулою 2.4:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v \quad (2.4);$$

Після знаходження швидкості різання проводиться розрахунок частоти обертання шпинделя за формулою 2.5:

$$n = \frac{1000v}{\pi \cdot D}, \quad (2.5);$$

де, D – діаметр до обробки.

Знайдена частота обертання шпинделя корегується за паспортними даними верстата та знаходиться дійсна швидкість різання за формулою 2.6:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (2.6);$$

При безступінчастому регулюванні частоти обертання шпинделя округлюємо до найменшого десяткового числа.

Далі проводимо розрахунок сил різання. Силу різання прийнято розкласти на складові сили, направлені по осям координат верстата. При зовнішньому повздовжньому та поперечному точінні, відрізанні та прорізанні пазів, ця складова розраховується за формулою 2.7:

$$P_{z, y, x} = 10 C_p t^x \cdot S^y \cdot V^n K_p, \quad (2.7):$$

де, t – глибина різання, мм. (при відрізанні та прорізанні пазів t – довжина леза різця);

S – подача, мм/хв;

V – швидкість різання, м/хв;

K_r – поправочний коефіцієнт на силу різання.

Поправочний коефіцієнт K_r представляє собою добуток ряду коефіцієнтів і визначається за формулою 2.8:

$$K_r = K_{mp} \cdot K_\phi \cdot K_\gamma \cdot K_\lambda \cdot K_r, \quad (2.8);$$

де, $K_{mp}, K_\phi, K_\gamma, K_\lambda, K_r$ - коефіцієнти, що залежать відповідно від матеріалу деталі та геометричних параметрів різця

Крутний момент та осьову силу розраховують за формулами:

для свердлування 2.9;2.10:

$$M_{кр} = 10 C_m D^q S^y K_p; \quad (2.9);$$

$$P_o = 10 C_p D^q S^y K_p \quad (2.10);$$

при розсвердлюванні 2.11; 2.12:

$$M_{кр} = 10 C_m D^q t^x S^y K_p; \quad (2.11);$$

$$P_o = 10 C_p t^x S^y K_p \quad (2.12);$$

Крутний момент при нарізанні різьби мітчиком визначається за формулою 2.13:

$$M_{кр} = 10 C_m D^q P^y K_p; \quad (2.13);$$

Потужність різання при точінні і розточуванні визначається за формулою 2.14:

$$N = \frac{P \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (2.14);$$

При свердлінні визначається за формулою 2.15:

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750}, \quad (2.15)$$

Для нарізання різьби мітчиком визначається за формулою 2.16:

$$N = \frac{Mn}{975}. \quad (2.16)$$

Знаходження довжини різання виконуємо за формулою 2.17:

$$L_{px} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4.$$

При одночасній роботі декількох інструментів ефективну потужність визначають як сумарну потужність окремих інструментів.

$$T_o = \frac{l+l_1+l_2}{nS} \times i, \quad (2.18)$$

де l – довжина поверхні, що обробляється;

l_1 – величина врізання і перебігу різця;

l_2 – довжина на зняття пробної стружки;

n – частота обертання шпинделя ;

S – обертова подача ;

i – кількість проходів.

Розрахунок режимів різання:

1. Перехід 2 підрізати торець.

Визначаємо глибину різання для підрізки торця:

$$t = L - l = 43 - 41 = 2 \text{ мм};$$

Підрізку торця проводимо у два проходи: $t_1=1,5$ мм; $t_2=0,5$ мм.

S_o – обертова подача. Згідно рекомендацій виробника на інструмент 0,1-0,45 мм/об. Приймаємо 0,1 мм/об.

V (Згідно рекомендацій виробника на інструмент) = 150-230 м/хв;
Приймаємо $V=150$ м/хв.

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою (2.5):

$$n = \frac{1000 \times 150}{3,14 \times 110} = 434.28 \text{ об/хв},$$

Приймаємо частоту обертання $n=400$ (об/хв).

Визначаємо сили різання за формулою (2.7):

$$P_x = 10 \times 339 \times 1,5^1 \times 0,2^{0,5} \times 150^{-0,4} \times 0,97 = 297,263 \text{ Н}.$$

Визначаємо потужність різання за формулою (2.14):

$$N = \frac{297,263 \times 150}{1020 \times 60} = 0,729 \sim 0,7 \text{ кВт.}$$

Порівнюємо з потужністю електродвигуна $0,7 < 15$ кВт.

Визначаємо L_{px} за формулою (2.17):

$$L_{px} = 55 + 5 + 1 = 61 \text{ мм.}$$

Визначаємо основний машинний час за формулою (2.18):

$$T_o = \frac{61}{400 \times 0,1} \cdot x_2 = 3,05 \text{ (хв.)}$$

2. Перехід 3 свердлити отвір.

Визначаємо глибину різання :

$$t = \frac{D}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ мм;}$$

S – Обертова подача. Згідно рекомендацій виробника на інструмент $0,12 - 0,25$ мм/об. Приймаємо по даним заводу $0,12$ мм/об.

V (згідно рекомендацій виробника на інструмент) = $140-230$ м/хв;
Приймаємо $V = 140$ м/хв.

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою (2.5):

$$n = \frac{1000 \times 140}{3,14 \times 30} = 1486,2 \text{ об/хв,}$$

Приймаємо частоту обертання $n = 1500$ (об/хв).

Визначаємо крутний момент за формулою (2.9):

$$M_{кр} = 10 \times 0,0345 \times 30^2 \times 0,12^{0,8} \times 0,87 = 49,537 \text{ Н*м.}$$

Визначаємо осьову силу за формулою (2.10):

$$P_o = 10 \times 68 \times 30^1 \times 0,12^{0,8} \times 0,87 = 1254,576 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання за формулою (2.14):

$$N = \frac{211254,576 \times 140}{1020 \times 60} = 1,64 \text{ кВт.}$$

Порівнюємо з потужністю електродвигуна $1,64 > 1,8$ кВт.

Визначаємо L_{px} за формулою (2.17):

$$L_{px} = 43 + 5 + 3 = 51 \text{ мм.}$$

Визначаємо основний машинний час за формулою (2.18):

$$T_0 = \frac{51}{1500 \times 0,12} \cdot 1 = 0,28 \text{ (хв.)}$$

3. Перехід 4 розточити отвір.

Визначаємо глибину різання за формулою (2.1):

$$t = \frac{35,3 - 30}{2} = 2,65 \text{ мм;}$$

Розточування отвору проводимо у два проходи: $t_1 = 2,2$ мм; $t_2 = 0,45$ мм

S – Обертова подача. Згідно рекомендацій виробника на інструмент $0,12 - 0,3$ мм/об. Приймаємо $0,2$ мм/об.

V – (Згідно рекомендацій виробника на інструмент) = $160 - 280$ м/хв;
Приймаємо $V = 160$ м/хв.

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою (2.5):

$$n = \frac{1000 \times 160}{3,14 \times 35,3} = 1443,496 \text{ об/хв,}$$

Приймаємо частоту обертання $n = 1400$ (об/хв).

Визначаємо сили різання за формулою (2.7):

$$P_z = 10 \times 300 \times 2,2^1 \times 0,2^{0,75} \times 160^{-0,15} \times 0,9 = 829,738 \text{ Н;}$$

Визначаємо потужність різання за формулою (2.14):

$$N = \frac{829,738 \times 160}{1020 \times 60} = 1,17 \sim 1,2 \text{ кВт.}$$

Порівнюємо з потужністю електродвигуна $1,2 < 15$ кВт.

Визначаємо L_{px} за формулою (2.17):

$$L_{px} = 7,25 + 2 + 1 = 10,25 \text{ мм.}$$

Визначаємо основний машинний час за формулою (2.18):

$$T_0 = \frac{10,25}{1400 \times 0,2} \cdot 2 = 0,07 \text{ (хв.)}$$

4. Перехід 5 нарізати різьбу.

Визначаємо глибину різання за формулою (2.1):

$$t = \frac{D-D_1}{2} = \frac{33-30,835}{2} = 2,165 \text{ мм};$$

Нарізання різьби проводимо у десять проходів.

Подача при нарізанні різьби дорівнює кроку різьби; $S = 2 \text{ мм/об.}$

V (Згідно рекомендацій виробника на інструмент) = 30-80 м/хв;

Приймаємо по даним заводу $V = 70 \text{ м/хв.}$

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою (2.5):

$$n = \frac{1000 \times 70}{3,14 \times 33} = 675,545 \text{ об/хв},$$

Приймаємо частоту обертання по даним заводу $n=670(\text{об/хв})$.

Визначаємо силу різання:

$$P_z = \frac{10 C_p P^y}{i^n} = \frac{10 \times 148 \times 2^{1,7}}{2^{0,71}} = 2939,554 \text{ Н};$$

Визначаємо потужність різання за формулою (2.14):

$$N = \frac{2939,554 \times 70}{1020 \times 60} = 1,36 \sim 1,3 \text{ кВт.}$$

Порівнюємо з потужністю електродвигуна $1,3 < 1,8 \text{ кВт.}$

Визначаємо L_{px} за формулою (2.17):

$$L_{px} = 43 + 5 + 5 = 53 \text{ мм.}$$

Визначаємо основний машинний час за формулою (2.18):

$$T_0 = \frac{53}{400 \times 2} \times 10 = 0,66 \text{ (хв.)}$$

Оптимізовані режими:

1. Перехід 2 підрізати торець.

Визначаємо глибину різання для підрізки торця:

$$t = L - l = 34,5 - 32,5 = 2 \text{ мм};$$

Підрізку торця проводимо у два проходи: $t_1=1,5 \text{ мм}; t_2=0,5 \text{ мм.}$

S – Обертова подача. Згідно рекомендацій виробника на інструмент 0,1-0,45 мм/об. Приймаємо по даним заводу 0,12 мм/об.

V – (Згідно рекомендацій виробника на інструмент) = 150-230 м/хв;
Приймаємо по даним заводу $V = 160$ м/хв.

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою (2.5):

$$n = \frac{1000 \times 160}{3,14 \times 110} = 463,23 \text{ об/хв},$$

Приймаємо частоту обертання $n = 450$ (об/хв).

Визначаємо сили різання за формулою (2.7):

$$P_x = 10 \times 339 \times 1,5^1 \times 0,12^{0,5} \times 160^{-0,4} \times 0,97 = 230,259 \text{ Н}.$$

Визначаємо потужність різання за формулою (2.14):

$$N = \frac{230,259 \times 160}{1020 \times 60} = 0,729 \sim 0,7 \text{ кВт}.$$

Порівнюємо з потужністю електродвигуна $0,7 < 15$ кВт; $0,2 < 15$ кВт.

Визначаємо L_{px} за формулою (2.17):

$$L_{px} = 55 + 5 + 1 = 61 \text{ мм}.$$

Визначаємо основний машинний час за формулою (2.18):

$$T_0 = \frac{61}{450 \times 0,12} \cdot x_2 = 2,26 \text{ (хв.)}$$

2. Перехід 3 свердлити отвір.

Визначаємо глибину різання :

$$t = \frac{D}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ мм};$$

S – Обертова подача. Згідно рекомендацій виробника на інструмент 0,12 – 0,25 мм/об. Приймаємо по даним заводу 0,13 мм/об.

V (Згідно рекомендацій виробника на інструмент) = 140-230 м/хв;
Приймаємо по даним заводу $V = 150$ м/хв.

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою (2.5):

$$n = \frac{1000 \times 150}{3,14 \times 30} = 1592,357 \text{ об/хв},$$

Приймаємо частоту обертання $n = 1550$ (об/хв).

Визначаємо крутний момент за формулою (2.9):

$$M_{кр} = 10 \times 0,0345 \times 30^2 \times 0,12^{0,8} \times 0,87 = 49,537 \text{ Н*м}.$$

Визначаємо осьову силу за формулою (2.10):

$$P_o = 10 \times 68 \times 30^1 \times 0,12^{0,8} \times 0,87 = 1254,576 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання за формулою (2.14):

$$N = \frac{211254,576 \times 140}{1020 \times 60} = 1,64 \text{ кВт.}$$

Порівнюємо з потужністю електродвигуна $1,64 > 1,8$ кВт.

Визначаємо L_{px} за формулою (2.17):

$$L_{px} = 34,5 + 5 + 3 = 42,5 \text{ мм.}$$

Визначаємо основний машинний час за формулою (2.18):

$$T_o = \frac{42,5}{1550 \times 0,13} \times 1 = 0,21 \text{ (хв.)}$$

3. Перехід 4 розточити отвір.

Визначаємо глибину різання за формулою (2.1):

$$t = \frac{35,3 - 30}{2} = 2,65 \text{ мм;}$$

Розточування отвору проводимо у два проходи: $t_1 = 2,2$ мм; $t_2 = 0,45$ мм

S – Обертова подача. Згідно рекомендацій виробника на інструмент $0,12 - 0,3$ мм/об. Приймаємо по даним заводу $0,21$ мм/об.

V – (Згідно рекомендацій виробника на інструмент) = $160 - 280$ м/хв;

Приймаємо по даним заводу $V = 170$ м/хв.

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою (2.5):

$$n = \frac{1000 \times 170}{3,14 \times 35,3} = 1533,71 \text{ об/хв,}$$

Приймаємо частоту обертання $n = 1500$ (об/хв).

Визначаємо сили різання за формулою (2.7):

$$P_z = 10 \times 300 \times 2,2^1 \times 0,2^{0,75} \times 160^{-0,15} \times 0,9 = 829,738 \text{ Н;}$$

Визначаємо потужність різання за формулою (2.14):

Порівнюємо з потужністю електродвигуна $1,1 < 15$ кВт; $0,4 < 15$ кВт.

Визначаємо L_{px} за формулою (2.17):

$$L_{px} = 7,25 + 2 + 1 = 10,25 \text{ мм.}$$

Визначаємо основний машинний час за формулою (2.18):

$$T_0 = \frac{10,25}{1500 \times 0,21} \cdot x 2 = 0,07 \text{ (хв.)}$$

4. Перехід 5 нарізати різьбу.

Визначаємо глибину різання за формулою (2.1):

$$t = \frac{D-D_1}{2} = \frac{33-30,835}{2} = 2,165 \text{ мм};$$

Нарізання різьби проводимо у два проходи.

Подача при нарізанні різьби дорівнює кроку різьби; $S = 2 \text{ мм/об.}$

V (Згідно рекомендацій виробника на інструмент) = 30-80 м/хв;

Приймаємо по даним заводу $V = 75 \text{ м/хв.}$

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою (2.5):

$$n = \frac{1000 \times 45}{3,14 \times 33} = 434,27 \text{ об/хв,}$$

Приймаємо частоту обертання по даним заводу $n = 430 \text{ (об/хв).}$

Визначаємо силу різання:

$$P_z = \frac{10 C_p P^y}{i^n} = \frac{10 \times 148 \times 2^{1,7}}{2^{0,71}} = 2939,554 \text{ Н;}$$

Визначаємо потужність різання за формулою (2.14):

$$N_1 = \frac{2939,554 \times 70}{1020 \times 60} = 1,36 \sim 1,3 \text{ кВт.}$$

Порівнюємо з потужністю електродвигуна $1,3 < 1,8 \text{ кВт.}$

Визначаємо L_{px} за формулою (2.17):

$$L_{px} = 34,5 + 5 + 5 = 53 \text{ мм.}$$

Визначаємо основний машинний час за формулою (2.18):

$$T_0 = \frac{34,5}{430 \times 2} \cdot x 10 = 0,4 \text{ (хв.)}$$

2.8 Нормування операції

Проводимо визначення норм часу для фрезерної операції з ЧПУ.

Верстати з ЧПК- високопродуктивне автоматичне обладнання .

Автоматична обробка деталей на верстатах з ЧПК дозволяє використовувати багатOVERSTATNE обслуговування

Одно верстатне обслуговування найбільш доцільне тільки у виключних випадках, наприклад:

- при обробці деталей з низькою тривалістю основного часу;
- при наявності необхідності і можливості швидкого переходу з виготовлення однієї деталі на виготовлення іншої в умовах дрібносерійного виробництва.

У контексті багатOVERSTATNE обслуговування норма часу прямо залежить від кількості обладнання, що підлягає обслуговуванню. Зі збільшенням числа верстатів, які обслуговує один працівник, зростає і загальний обсяг продукції, що виготовляється. Водночас це сприяє зменшенню норми часу на кожний окремий верстат. Проте кількість обладнання, яке може бути обслуговано одночасно, має обмеження, що визначається так званою оптимальною межею.

Це пояснюється тим, що у разі нерівноцінного часу, необхідного для обслуговування різних верстатів, можуть виникати ситуації, коли діяльність працівника на одному верстаті збігається з необхідністю виконання робіт на іншому. Такі збіги призводять до простоїв в роботі частини обладнання. З іншого боку, скорочення кількості верстатів, що обслуговуються, зумовлює неефективність використання праці робітника через виникнення вимушених простоїв.

Для визначення кількості верстатів, які може обслуговувати оператор, спершу потрібно встановити час його зайнятості на кожному з цих верстатів.

Час зайнятості оператора на даному верстаті можна визначити за формулою 2.19

$$T = t_{\text{в}} + t_{\text{н}} + t_{\text{п}} + t_{\text{у}} + t_{\text{пп}} + t_{\text{к}} \quad (2.19)$$

де, $t_{\text{в}}$ – час на встановлення та зняття деталі

$t_{\text{н}}$ – час на активний нагляд за роботою верстата, 10% від T_0

$t_{\text{п}}$ – час на переходи від верстату до верстату

$t_{\text{у}}$ – час на управління верстатом

$t_{\text{пп}}$ – час на перемотку програми.

$t_{\text{к}}$ – час на контрольні заміри деталі

Перші чотири категорії затрат часу постійні, вони повторюються при кожному циклі обробки деталі.

У багатьох випадках перемотування програми є неможливим, наприклад, якщо використовується магнітний носій, а програма після завершення циклу обробки автоматично повертається до початкового кадру.

Контрольні заміри деталі проводяться періодично. Час на заміри залежить від періодичності, кількості та способу проведення вимірювань.

Контролюємі поверхні та розміри вказані в технологічній документації. Час на вищевказані переходи береться з відповідних карт.

При обробці деталей на верстатах з ЧПК зустрічаються два варіанти.

Перший випадок стосується обробки однакових деталей або деталей із однаковою тривалістю програмного часу та часу зайнятості робітника. Другий – це обробка різних деталей. У ситуації, коли виконується одна й та сама операція, і при умові рівності або кратності вільного програмного часу й часу зайнятості, кількість верстатів, які можуть обслуговуватись, визначається за формулою 2.20.

$$H_0 = \frac{T_{\text{вм}} \cdot K_{\text{д}}}{T_{\text{з}}} + 1 \quad (2.20)$$

де, H_0 – норма обслуговування верстатів,

$T_{\text{вм}}$ – вільний машинний час, не зайнятий роботою оператора на даному верстаті що знаходиться за формулою 2.21.

$$T_{\text{вм}} = T_0 - (t_{\text{н}} + t_{\text{п}} + t_{\text{к}}) \quad (2.21)$$

T_z – час зайнятості оператора по обслуговуванню верстата

K_d – коефіцієнт, що враховує мікро паузи в роботі і можливості відхилення фактичного часу зайнятості від його нормативних значень, включених до формули. Без урахування цього коефіцієнта можуть виникнути додаткові простой верстатів в очікуванні обслуговування.

Методом фотохронометражних спостережень Встановлена середня величина K_d для токарних верстатів з ЧПК. $K_d = 0,75$

При обробці деталей з різною тривалістю обробки і різним часом зайнятості оператора, норма обслуговування верстатів розраховується з урахуванням коефіцієнта зайнятості робітника на кожному з обслуговуваних верстатів

$$H_o = \frac{1}{K_z} \quad (2.22)$$

Де, K_z – коефіцієнт зайнятості оператора

Коефіцієнт зайнятості оператора визначається за формулою 2.23

$$K_z = \frac{T_z}{T_o - T_z} \quad (2.23)$$

де, T_z – час зайнятості оператора по обслуговуванню верстата

T_o – Основний час обробки деталі, тобто час автоматичної роботи верстата

Найбільш доцільніше комплектувати обробляємі деталі з однаковими або кратними коефіцієнтами зайнятості. Якщо сума коефіцієнта зайнятості отримається більше одиниці – верстати будуть простоювати, якщо значно менше одиниці – оператор буде недовантажений.

Порядок визначення норм штучного часу для операторів токарних верстатів з ЧПК.

Одно верстатне обслуговування

При одно верстатному обслуговуванні норма штучного часу визначається за формулою 2.24

$$T_{шт} = T_o + T_d \left(1 + \frac{\alpha_{org} + \alpha_{mex} + \alpha_{vid}}{100}\right) K_f \quad (2.24)$$

де, T_o - основний час автоматичної роботи верстату за програмою, хв.

T_d – допоміжний час на установку, зняття деталі та інші прийоми пов'язані з виконанням операції, $T_d = T_z$

α_{org} - час організаційного обслуговування робочого місця, в процентах від оперативного

α_{mex} - час технічного обслуговування робочого місця, в процентах від оперативного

α_{vid} - час технічного обслуговування робочого місця, в процентах від оперативного

K_f – коефіцієнт, що враховує тривалість обробки партії деталей за трудоемністю операції

Оперативний час знаходимо за формулою 2.25

$$T_{оп} = T_o + T_d, \quad (2.25)$$

де, T_o -основний час обробки деталі

T_d – допоміжний час роботи

Штучно калькуляційний час визначаємо за формулою 2.26

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n_d}, \quad (2.26)$$

де, $T_{пз}$ – підготовчо-заключний час

n_d – кількість деталей в партії

Норма штучного часу при багатOVERстатному обслуговуванні для кожної операції окремо розраховується за формулою 2.27

$$\tau_{шт} = T_{шт} \cdot K_{шт} \quad (2.27)$$

де, $T_{шт}$ – норма штучного часу для умов обслуговування одного верстату

Кш – коефіцієнт зміни штучного часу при багатOVERстатному обслуговуванні, що розрахований аналітичним шляхом.

Норма часу при обслуговуванні верстатів з ЧПУ розраховується за формулою 2.28

$$H_B = \frac{T_{зм} - T_{пз}}{T_{шт}} \quad (2.28)$$

де, $T_{зм}$ – тривалість зміни – 480 хвилин

$T_{пз}$ – підготовчо-заклучний час по кожному верстату

$T_{шт}$ – норма штучного часу, хв.

Вихідні дані для розрахунку норм часу при використанні базового різального інструмента

Операція – Токарна з ЧПУ

Кріплення деталі – в патроні

Об'єм партії – 1000 шт.

Основний час виконання операції – 10,09 хв.

Визначаємо час зайнятості оператора, що відповідає допоміжному часу з формулою 2.19

$$T_d = 0,17 + 0,41 + 0,3 + 1,04 + 0,1 + 0,24 = 2,26 \text{ хв}$$

У нашому випадку час на перемотування програми відсутній, адже вона зберігається на магнітному носії й автоматично повертається до початкового кадру після завершення робочого циклу.

Знаходимо вільний машинний час, не зайнятий роботою оператора на даному верстаті за формулою 2.21

$$T_{вм} = 4,06 - (0,41 + 0,3 + 0,24) = 3,11 \text{ хв.}$$

Кількість обслуговуваних верстатів визначається за формулою 2.20

$$H_o = \frac{3,11 \cdot 0,75}{2,26} + 1 = 2,03 \text{ шт.}$$

Приймаємо $H_o = 2$ верстати.

Визначаємо оперативний час за формулою 2.25

$$T_{оп}=4,06 + 2,26=6,32 \text{ хв.}$$

Норма штучного часу при багатOVERSTATному обслуговуванні для кожної операції окремо розраховується за формулою 2.27.

Отже спочатку знайдемо штучний час для умов обслуговування одного верстату за формулою 2.24.

$$T_{шт} = 4,06 + 2,26 \left(1 + \frac{3,2 + 6,3 + 2}{100}\right) = 6,58 \text{ хв.}$$

Визначаємо норму виробітки за зміну на одному верстаті за формулою 2.7.10. Для цього знайдемо підготовчо-заклучний час.

$$T_{пз}=12 \text{ хв.}$$

Тоді:

$$N_{в} = \frac{480 - 12}{6,58} = 71 \text{ шт.}$$

Вихідні дані для розрахунку норм часу при використанні проектних режимів різання.

Операція – Токарна з ЧПУ

Кріплення деталі – в патроні

Об'єм партії – 1000 шт.

Основний час виконання операції – 7,32 хв.

Визначаємо час зайнятості оператора, що відповідає допоміжному часу з формулою 2.7.1

$$T_{д}=0,17+0,29 + 0,3+1,04+0,1+0,24=2,14 \text{ хв.}$$

У нашому випадку час на перемотування програми відсутній, адже вона зберігається на магнітному носії й автоматично повертається до початкового кадру після завершення робочого циклу.

Знаходимо вільний машинний час, не зайнятий роботою оператора на даному верстаті за формулою 2.21

$$T_{вм} = 2,9 - (0,29+0,3+0,24)=2,07 \text{ хв.}$$

Кількість обслуговуваних верстатів визначається за формулою 2.20

$$H_o = \frac{2,07 \cdot 0,75}{2,9} + 1 = 1,54 \text{ шт.}$$

Приймаємо $H_o = 2$ верстати.

Визначаємо оперативний час за формулою 2.25

$$T_{оп} = 2,9 + 2,14 = 5,04 \text{ хв.}$$

Норма штучного часу при багатOVERстатному обслуговуванні для кожної операції окремо розраховується за формулою 2.27.

Отже спочатку знайдемо штучний час для умов обслуговування одного верстату за формулою 2.24.

$$T_{шт} = 2,9 + 2,14 \left(1 + \frac{3,2 + 6,3 + 2}{100} \right) = 5,29 \text{ хв.}$$

Визначаємо норму виробітки за зміну на одному верстаті за формулою 2.28. Для цього знайдемо підготовчо-заклучний час

$$T_{пз} = 12 \text{ хв.}$$

Тоді:

$$H_v = \frac{480 - 12}{5,29} = 88 \text{ шт.}$$

У результаті використання проєктного різального інструменту основний час обробки деталі зменшився на 1,29 хвилини, а продуктивність одного робітника зросла на 17 деталей.

2.9 Розробка операції яка виконується на верстаті з ЧПУ

2.9.1 Розробка маршрутних карт.

Маршрутні карти в технологічному процесі механічної обробки деталі поршень PSM1919.100.40.004 виконується згідно маршрутної технології механічної обробки деталі, наведеної в таблиці 2.3.

2.9.2 Розробка операційних карт (на операцію, яка виконується на верстаті з ЧПУ)

Операційні карти на 2 операцію (Комплексна з ЧПУ), яка виконується на верстаті DOOSAN LYNX 220 в технологічному процесі механічної обробки деталі поршень PSM1919.100.40.004, виконуються згідно операцій вказаних маршрутної технології механічної обробки деталі, наведеної в таблиці 2.3.

2.9.3 Розробка ескізних карт (на операцію, яка виконується на верстаті з ЧПУ)

Ескізна карта на 220 операцію (токарна з ЧПУ), яка виконується на верстаті DOOSAN LYNX 220 наведена в технологічному процесі механічної обробки деталі поршень PSM1919.100.40.004.

2.9.4 Розробка карт кодування інформації

Карти кодування інформації на 220 операцію (Комплексна з ЧПУ), яка виконується на верстаті DOOSAN LYNX 220 наведена в технологічному процесі механічної обробки деталі поршень PSM1919.100.40.004 (див. додаток А).

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис конструкції та принципу роботи вузла верстату, який розглядається.

Заданий вузол здійснює роботу, що забезпечує повздовжнє переміщення револьверної головки відносно шпинделя по осі Z.

Роботу вузла можна пояснити на прикладі лінійного електроприводу, зображеного на рисунку 3.1

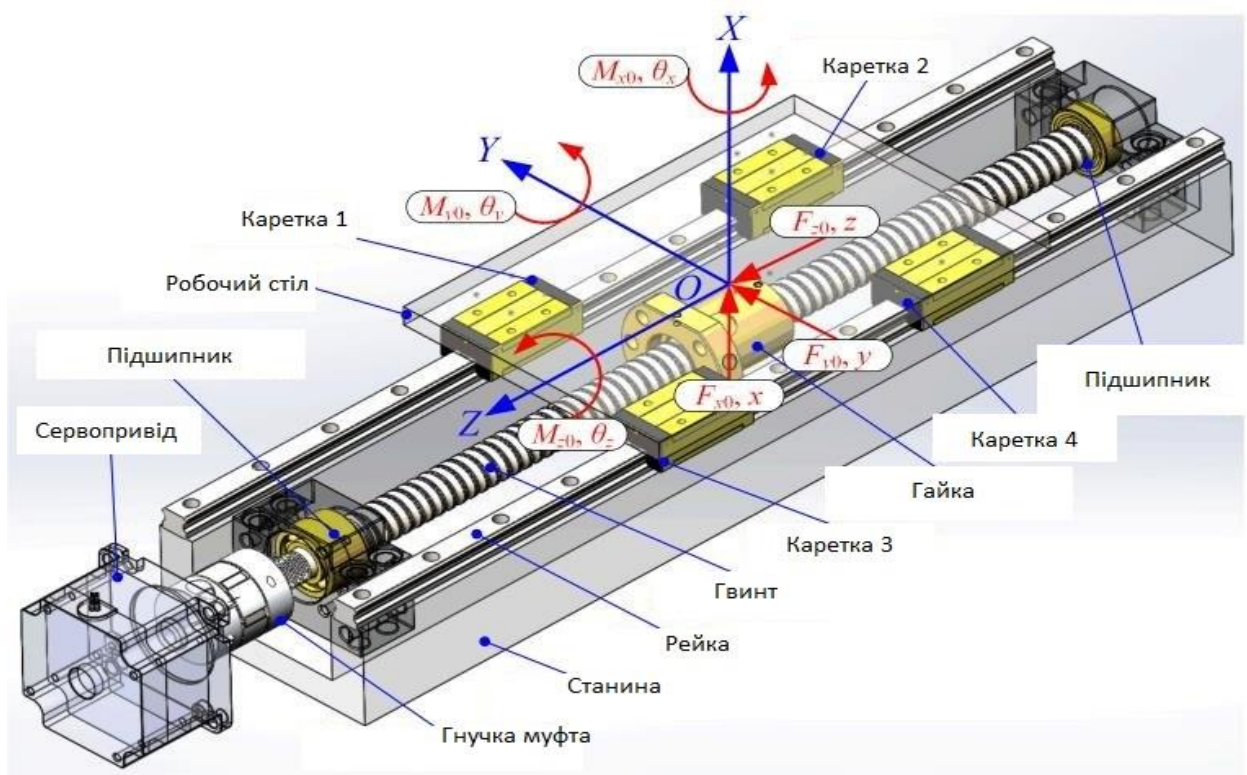


Рисунок 3.1 – Лінійний електропривід

Робочий стіл здійснює переміщення відносно станини за допомогою кульково-гвинтової передачі, що складається з гвинта і гайки. Передача крутного моменту від сервоприводу до гвинта відбувається через використання гнучкої муфти. Електродвигун виконує функцію забезпечення руху робочого столу, у нашому випадку — поздовжнього переміщення револьверної головки, а також фіксації її у визначеному положенні.

3.2 Перевірочний розрахунок вузла верстату ЧПУ.

Виходячи з паспортних даних верстата, приймаємо крок передачі – 10 мм, на основі якого, визначаємо усі інші параметри передачі.

Розрахунок геометричних параметрів:

Діаметр кульки визначаємо на основі кроку різьби. Навантажувальна можливість передачі вища тим, чим більша кулька. Їх діаметр при заданому кроці обмежується мінімальною шириною перемички між западинами різьби. Враховуючі практику використання відомих конструкцій, прийнято розраховувати:

$$d_1 = 0,6p = 0,6 \cdot 10 = 6 \text{ мм};$$

де p – крок різьби, 10 мм .

Номінальний допустимий зовнішній діаметр гвинта:

$$\begin{aligned} d_{н. \text{ в } min} &= d_o \cdot (r_1 + r_2 \cos(k + \gamma) - r_3) \\ &= 32 \cdot 2(3 \cdot 0,6 \cos(45 + 135) - 0,63) = 28,4, \end{aligned}$$

приймаємо $d_{нв} = 30,2 \text{ мм}$,

де α – кут контактної лінії, 45°;

r_1 – Радіус закруглення гвинта, 3 мм;

r_2 – радіус закруглення різьби гвинта, 3,12 мм;

r_3 – радіус закруглення гайки, 0,6 мм;

γ – кут переходу кульок, 110-135°. Приймаємо $\gamma = 135^\circ$;

Діаметр контакту кульок та гвинта:

$$d_{k. b} = d_o - 1,41r_1 = 32 - 1,41 \cdot 3 = 27,77 \text{ мм},$$

Діаметр контакту кульок та гайки:

$$d_{k. b} = d_o - 1,41r_1 = 32 + 1,41 \cdot 3 = 36,23 \text{ мм},$$

Внутрішній діаметр гайки:

$$d_{k. r} = d_o + \frac{a - a_{нв}}{2} = 32 + \frac{32 - 30,2}{2} = 32,9 \text{ мм},$$

Кількість робочих кульок у кожному витку розраховується за формулою:

$$Z_i = \frac{\pi d_o}{d_1} - 5 = \frac{3,14 \cdot 32}{6} - 5 = 12,$$

де d_o – номінальний діаметр різьби на валу, 32мм

d_1 – діаметр кульки, 6мм

Кількість робочих кульок у гайці:

$$Z = Z_i \cdot K = 12 \cdot 3 = 36$$

де Z – кульок у гайці;

Z_i – кульок у витку, 12;

K – кількість витків, 3;

Так як стержень ходового гвинта працює на стиск і має велику вільну довжину, його необхідно перевірити на міцність, з урахуванням усталеності

Розрахунок гвинта на усталеність проводиться по формулі:

$$\delta = \frac{4 \cdot Q}{a^2 \cdot \pi} < \varphi,$$

де Q – статичне навантаження = 2596Н;

Згідно матеріалу гвинта, приймаємо запас безпеки $n=2.5$

де, $\delta_T = 700$ – межа текучості матеріалу гвинта ХВГ, Н/мм

$$\frac{\delta_T}{n} = \frac{700}{2,5} = 280 \text{ Н/мм}^2$$

Коефіцієнт зменшення допустимих напружень для стиснутих стержнів обирається в залежності від гнучкості матеріалу згідно формули:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot L}{i} = \frac{4 \cdot L \cdot \mu}{dk} = \frac{4 \cdot 0,8 \cdot 960 \cdot 0,6}{27,77} = 66,37.$$

$\varphi = 0,80$, $\mu = 0,6$, бо $L_1 = 0,8 \cdot 960 = 768$ враховуючи максимальну довжину натягу гвинта, що працює на стиск.

Отже маємо наступну залежність:

$$\delta = \frac{4 \cdot Q}{d^2 \cdot \pi} < \varphi[\delta] = \frac{4 \cdot 2596}{32^2 \cdot 3,14} = 119,08 < 0,80 \cdot 280 = 224 \text{ Н/мм}.$$

З даного розрахунку маємо, що розрахунки гвинта є допустимими і забезпечують його усталеність.

Розрахунок на статичну міцність

Для доказу вірності попереднього вибору розмірів передачі, проводимо порівняльні можливості максимального осьового навантаження Q_0 з максимально допустимим осьовим навантаженням.

Тобто повинна виконуватись умова:

$$Q < [Q_0].$$

Для визначення допустимого осьового статичного навантаження, використовуємо формулу:

$$[Q_0] = [Q_{ст}] \cdot K = 24800 \cdot 3 = 74400.$$

Обертальний момент на ходовому гвинті визначається:

$$M_{об} = M_{да} \cdot i \cdot \eta = 13 \cdot 2 \cdot 0,9 = 23,4,$$

де i – це передаточне відношення приводу, 2;

η – ККД приводу, 0,9.

Окружна сила на радіусі різьби визначається за формулою:

$$T_o = \frac{2 \cdot M_{об} \cdot 1000}{d_o} = \frac{2 \cdot 23,4 \cdot 1000}{32} = 1462,5H,$$

де d_o – це номінальний діаметр гвинта, 32мм.

Осьова сила Q_0 пов'язана з окружною силою, такою залежністю:

$$Q = \frac{T_o}{\operatorname{tg} \alpha} = 2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot \frac{M_{об}}{P} = 2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot \frac{23,4}{10} = 14695H,$$

де $\operatorname{tg} \alpha$ – кут підйому різьби.

$$\tan \alpha = \frac{P}{\pi \cdot d_0} = \frac{10}{3,14 \cdot 32} = 0,09,$$

де p – крок різьби, 10мм;

d_o – це номінальний діаметр гвинта, 32мм.

Розрахунок на осьову жорсткість

Вибрана по статичні міцності, конструктивним та технологічним міркувань передача ГГК потребує розрахунку на осьову жорсткість.

Осьова піддатливість пари $\delta_{\text{заг}}$ складається з трьох доданків:

$$\delta_{\text{заг}} = \delta_{\text{в}} + \delta_{\text{оп}} + \delta_{\text{п}}.$$

Деформація стиску (розтягнення) ходового гвинта:

$$\delta_{\text{в}} = 1000 \cdot \frac{L}{E \cdot F} \cdot Q = 10^4 \cdot \frac{30}{2,1 \cdot 6 \cdot 10^7 \cdot 21,79} \cdot 2596 = 2,6 \text{ мкм},$$

де L – найбільша відстань від осової опори гвинта до середини гайки,

приймаємо конструктивно 30 см;

E – Модуль пружності матеріалу гвинта, $2,1 \cdot 10^7$;

Q – осьова сила, що діє на гвинт, 2596 Н;

F – Площа січення гвинта.

$$F = \frac{\pi \cdot d_{\text{кв}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 27,77^2}{4} = 21,79 \text{ см}^2.$$

Осьова піддатливість опор розраховується згідно формули:

$$\delta_{\text{оп}} = \frac{Q}{j_{\text{оп}}} = \frac{2596}{700} = 3,7 \text{ мкм},$$

де $j_{\text{оп}}$ – 700Н/мкм осьова жорсткість опор.

Контактна деформація пари гвинт-гайка:

$$\delta_{\text{п}} = \frac{Q}{j} = \frac{2596}{600} = 4,3 \text{ мкм},$$

де j – 600Н /мкм осьова жорсткість пари гвинт-гайка.

Потім загальне значення піддатливості прирівнюється з допустимою піддатливістю передачі.

$$\delta_{\text{заг}} = 2,6 + 3,7 + 4,3 = 10,6 \text{ мкм}.$$

$$[\delta]_{\text{нез}} = 300 \text{ мкм}.$$

$\delta < [\delta]_{\text{нез}}$ – умова виконується

Розрахунок на довговічність:

n – розрахункова частота обертання гвинта, по формулі:

$$n = \frac{n_{\text{приск}} + n_{\text{min}}}{2} = \frac{7599 + 1}{2} = 3800.$$

C_i – Умовна кількість циклів навантаження на один оберт гвинта, визначається за формулою:

$$C_i = 0,5 \cdot Z_i \left(1 + \frac{d_1}{d_0} \cdot \cos a \right) = 0,5 \cdot 12 \cdot \left(1 + \frac{6}{32} \cdot 0,707 \right) = 6,8,$$

де i – кількість кульок в одному витці гайки;

a – кут контакту кульок з профілем різьби, 45° .

$$\cos a = 0,707.$$

Перевірочний розрахунок на довговічність зводиться до знаходження коефіцієнта довговічності D з розрахунковою періода праці:

$$D = 0,28 \cdot \sqrt[3]{n \cdot C_i} = 0,28 \cdot \sqrt[3]{3800 \cdot 6,8} = 8,3.$$

Якщо $D > 1$, то осьове навантаження по довговічності потрібно зменшити згідно формули:

$$[Qq] = \frac{[Q]}{D} = \frac{74400}{8,3} = 8963.$$

Розрахункова точність кроку:

На ходовий гвинт привод подачі діє тягове зусилля та обертовий момент, які можуть впливати на точність кроку різьби. Перевірочний розрахунок на жорсткість гвинта під дією сумарного навантаження доцільно проводити для ходових гвинтів, що передають точні взаємопов'язані зсуви.

Накоплена помилка кроку ходового гвинта, накоплена зміною довжини гвинта визначається за формулою:

$$\Delta = \frac{1000 \cdot Q}{E \cdot F} + \frac{500 \cdot P \cdot M_{ob}}{G \cdot l_0 \cdot \pi},$$

де $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Модуль пружності;

$Q=2596\text{Н}$, тягове зусилля приводу;

$P=0,01\text{мм}$, крок різьби передачі;

$M_{ob}=23,4\text{ Н}\cdot\text{м}$ – обертальний момент на гвинті;

$F=2179\text{мм}$, площа поперечного січення гвинта по внутрішньому діаметру;

I_0 – полярний момент інерції, згідно формули;

$$I_0 = \frac{\pi \cdot d k^4}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,277^4}{32} = 0,5\text{м}^4,$$

де, $G_0=8,4 \cdot 10^{10}$ модуль пружності другого порядку

Підставляємо отриманні данні в початку формулу:

$$\Delta = \frac{1000 \cdot Q}{E \cdot F} + \frac{500 \cdot P \cdot M_{ob}}{G_0 \cdot I_0 \cdot \pi} = \frac{1000 \cdot 2596}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2175} + \frac{500 \cdot 0,01 \cdot 23,4}{3,14 \cdot 8,4 \cdot 10^{10} \cdot 0,5} =$$
$$= 0,00083\text{ mm}$$

3.3 Регулювання вузла, який розглядається

Регулювання заданого вузла повздовжньої подачі на верстаті DOOSAN LYNX 220 складається з регулювання: лінійних направляючих, кулькової подачі (КГП). В нашому випадку регулювання здійснюватиметься КГП.

Кулько-гвинтова передача (КГП) складається з гвинта та гайки і слугує для перетворення обертального руху в поступальний. На гвинті та в гайці виконані гвинтові канавки з криволінійним профілем, які виступають доріжками кочення для кульок, що знаходяться між витками гвинта і гайки. Найбільшого застосування набула різьба з напівкруглим профілем. У процесі роботи обертання гайки, закріпленої від осьових переміщень, забезпечує поступальний рух гвинта. Аналогічно, якщо обертання обмежується гвинтом, то його поступальне переміщення викликає відповідний рух гайки.

Основні геометричні параметри передачі: номінальний діаметр d_o , тобто - діаметр розташування центрів тіл кочення, крок P різьблення та діаметр D_w , тіл кочення (зазвичай $D_w = 0,6 \times P$).

Основними перевагами кулько гвинтової передачі є :

- можливість створення великих осьових сил;
- малі втрати на тертя (ККД передачі 0,9 і вище);
- можливість отримання поступального переміщення із високою точністю;
- малі габарити при високій несучій здатності;
- значний ресурс.

До недоліків можна віднести:

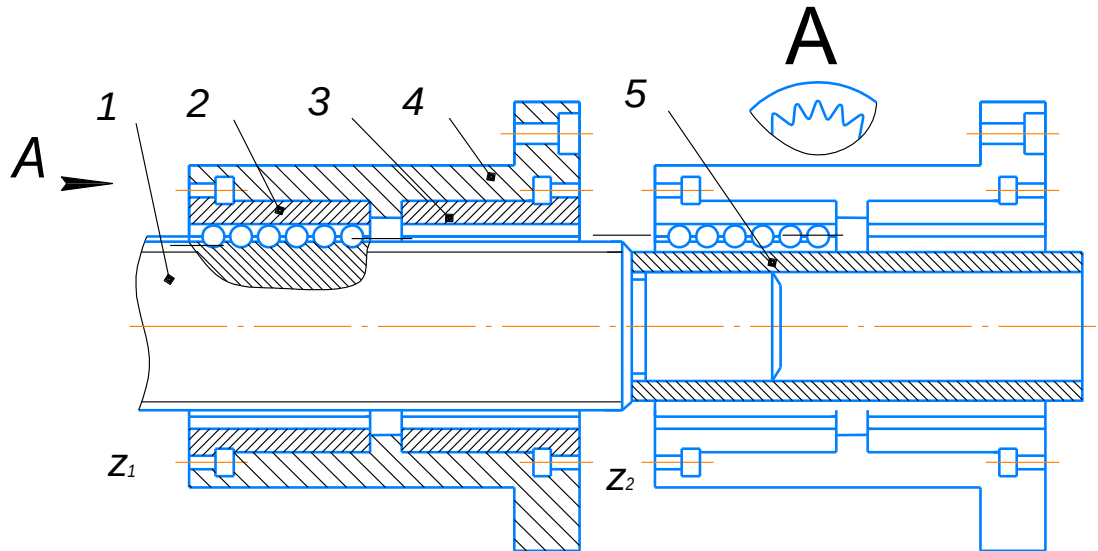
- складність виготовлення деталей;
- необхідність високої точності виготовлення;
- гарного захисту передачі від забруднень.

Перед тим як приступити до регулювання КГП, ми повинні провести ряд технологічних переходів щоб зняти саму КГП з колони де вона є закріпленою на підшипнику опори, а вже потім встановивши КГП на спеціальний стенд, щоб приступати до регулювання передачі.

На верстаті DOOSAN LYNX 220 застосовується конструкція КГП, описана на рисунку 3.1. Гайки 2 і 3 мають зубчасті вінці, причому кількість зубів у гайок відрізняється на одну одиницю. Вінці гайок входять в зачеплення з відповідними вінцями корпусу 4. Різниця в одному зубі між гайками дозволяє здійснювати надзвичайно точне осьове регулювання пари. Для цього корпус 4 разом із гайками потрібно перемістити з гвинта на спеціальну втулку 5, що встановлюється на хвостовик гвинта 1. Після цього слід вивести зубчасті вінці обох гайок із зачеплення з корпусом та повернути гайки на однакову кількість зубів в один бік. Відмінність у кутах повороту забезпечує осьове зближення профілів різьби. Схема регулювання зазору в КГП наведена на рисунку 3.2

У зібраному стані гвинтової пари необхідно перевірити момент холостого ходу, а також забезпечити максимальну жорсткість самої пари. У

приводі подачі верстатів із ЧПУ DOOSAN LYNX 220 важливо досягти мінімального моменту холостого ходу при найвищій можливій жорсткості. Збільшення попереднього натягу в парі підвищує її осьову жорсткість, але одночасно призводить до збільшення моменту холостого ходу.



1 – Гвинт, 2 – Гайка, 3 – Гайка, 4 – Корпус гайки, 5 – Спеціальна втулка

Рисунок 3.2 – Конструкція КГП на верстаті DOOSAN LYNX 220

Надмірний попередній натяг може суттєво знизити довговічність гвинтової передачі, оскільки для однієї з гайок, залежно від напрямку руху, сила попереднього натягу додається до осьового робочого навантаження. При перевірці осьової жорсткості гвинтової передачі оцінюють зміщення корпусу з гайками щодо гвинта під впливом осьового навантаження. У загальному балансі осьової жорсткості привода жорсткість контактної гвинтової передачі (КГП) зазвичай становить 10–40% для кожної керованої координати. Решту жорсткості забезпечують осьові деформації тіла гвинта, жорсткість торцевих стиків в опорах гвинта, а також кутова жорсткість муфт.

За результатами розрахунку виконаний складальний кресленик вузла (шифр вузла), специфікація на складальний кресленик наведений у додатку Б.

ВИСНОВКИ

У рамках виконання завдань кваліфікаційної роботі було проведено оптимізацію процесу комплексної обробки деталі поршня PS100.40.004. Паралельно здійснено аналіз конструкції цієї деталі, що дозволило розробити і запропонувати нову конструкцію деталі під назвою PSM1919.100.40.004. Нова конструкція спрямована на зменшення витрат матеріалу, при цьому повністю зберігаючи функціональні та технологічні характеристики виробу.

Впровадження запропонованої конструкції передбачає реалізацію ряду змін, зокрема:

- оновлення технологічного процесу обробки та складання деталі;
- налаштування обладнання, яке використовується для її механічної обробки;
- коригування конструкції пов'язаних деталей, що також сприятиме зниженню витрат матеріалів та витрат на дорогі компоненти гідравлічного циліндра.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каталог ріжучого інструменту Taegutec. Режим доступу до ресурсу: <https://taegutec.com.ua/uk/zavantazhiti/>
2. Козловський В. О. Організація виробництва. Практикум : навч. посібник / В. О. Козловський. – Частина 1. Вид. 2-ге доп. та перероб. – Вінниця : ВНТУ, 2005 – 154с.
3. Петрович Й. М., Захарчин Г. М. Організація виробництва: Підручник/ Й. М. Петрович, Г. М. Захарчин. – Львів: «Магнолія+», 2004. – 400 с.
4. Різальний інструмент [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л.М. Данилова, С.В. Лапковський, В.П. Приходько – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – с. 147
5. Metal Cutting Theory And Practice 3rd by D. A. Stephenson. January 2016 Edition: 3Publisher: CRC PressEditor: D. A. Stephenson ISBN: -13: 978-1-4665-8754-0
6. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Ю.Є. Паливода, А.Є. Дячун, Р.Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
7. Різальний інструмент [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування» / уклад.: Л.М. Данилова, С.В. Лапковський, В.П. Приходько – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 147 с.
8. 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. Режим доступу до ресурсу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/13832>
9. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : метод. рекомендації з оформлення кваліфікаційної роботи : спец. 131 Прикладна механіка / [уклад. : 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. Режим доступу до ресурсу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/15701>
10. Лисенко О.В., Єрьомін П.М. Проектування та виробництво різального інструмента : метод. рекомендації до виконання практ. роб. для студ. спец. 131 Прикладна механіка та 133 Галузеве машинобудування / Кропивницький : ЦНТУ , 2020. - 48 с. Режим доступу до ресурсу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/12039>

- 11.Лисенко О. В., Лисенко В. М. Різальний інструмент : метод. вказівки до викон. курсового проекту для студ. напряму підготовки 6.050502 "Інженерна механіка", спец. 131 "Прикладна механіка" та 133 "Галузеве машинобудування" / Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 96 с. Режим доступу до ресурсу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/8722>
- 12.Купчевич Є., Скібінський О., Апаракін А., Лисенко О. Підвищення стійкості різального клину розточувального інструменту при обробці переривчастих отворів // Збірник праць молодих науковців ЦНТУ. – Кропивницький, 2024. – Вип. 14. Ч.1. – С. 44-49. Режим доступу до ресурсу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/17693>
- 13.Лисенко О. В., Ігнат'єв Є. С. Розробка інструментальних систем з адаптивним управлінням процесом обробки методом морфологічного аналізу // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. - Кіровоград: КНТУ, 2012. - Вип. 25, ч. 1. - С. 252-257. Режим доступу до ресурсу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/1315>
- 14.Ігнат'єв Е. С., Лисенко О. В. Основні тенденції розвитку сучасного різучого інструменту // Наукові записки : зб. наук. пр. - Кіровоград : КНТУ, 2011. - Вип. 11, ч. 1. - С. 221-225. Режим доступу до ресурсу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/4836>
- 15.Лисенко, О. В. Розробка динамічної моделі технологічної оброблювальної системи точіння з урахуванням багатомасовості // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - Кременчук : КДПУ, 2008. - Вип. 6. Ч. 1. - С. 74-76. Режим доступу до ресурсу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/11290>
- 16.Пестунов В. М., Лисенко О. В. Підвищення ефективності металообробного обладнання удосконаленням приводів. – Зб. наук. пр. КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2006.– Вип. 17.– С. 154-160. Режим доступу до ресурсу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5563>
- 17.Mill Operator's Manual: 96-8000 Rev AP [Electronic resource] / Haas Automation, Inc. – Oxnard, CA, 2012. – 314 p. – URL: <https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/en/service/manual/operator/english---mill-operator%27s-manual---2012.pdf> (дата звернення: 19.06.2026).
- 18.Lathe Operator's Manual [Electronic resource] / Haas Automation, Inc. — Oxnard, CA, 2023. – 160 p. – URL: https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/en/service/manual/operator/english_lathe_interactive_manual_print_version_2023.pdf (дата звернення: 19.06.2026).
- 19.Mill NGC - Operator's Manual - 2024 [Electronic resource] / Haas Automation, Inc. – Oxnard, CA, 2024. – 550 p. – URL: <https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/en/service/manual/operator/english---mill-ngc---operator%27s-manual---2024.pdf>. (дата звернення: 19.06.2026).

ДОДАТКИ

[illegible]

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A1			КРБ.ПМ.26.75.23.10.00	Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
A3		1	КРБ.ПМ.26.75.23.11.00	Гайка	1	
A3		2	КРБ.ПМ.26.75.23.12.00	Муфта	1	
A2		3	КРБ.ПМ.26.75.23.13.00	Захисний екран	1	
A2		4	КРБ.ПМ.26.75.23.14.00	Корпус	1	
				<u>Деталі</u>		
A3		5	КРБ.ПМ.26.75.23.10.01	Корпус привода	1	
A3		6	КРБ.ПМ.26.75.23.10.02	Кришка	1	
A4		7	КРБ.ПМ.26.75.23.10.03	Фланець	1	
A4		8	КРБ.ПМ.26.75.23.10.04	Кільце дистанційне	1	
A4		9	КРБ.ПМ.26.75.23.10.05	Корпус опори лівої	1	
A2		10	КРБ.ПМ.26.75.23.10.06	Кришка опори	1	
A4		11	КРБ.ПМ.26.75.23.10.07	Стакан упорний	1	
A4		12	КРБ.ПМ.26.75.23.10.08	Демфер	2	
A4		13	КРБ.ПМ.26.75.23.10.09	Кільце ущільнююче	2	
A4		14	КРБ.ПМ.26.75.23.10.10	Прокладка	1	
				КРБ.ПМ.26.75.23.10.00		
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розроб	Козленко				Літера	Аркуш
Перевір	Лисенко					Аркушів
						1
						2
					ЦНТУ	

[illegible]