

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

_____ червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Розробка технології виготовлення деталі планшайба»

Виконав здобувач вищої освіти

3мб курсу групи ПМ-23мб-3

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Богдан ПОДЄНЄЖНИЙ

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент

_____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Рецензент:

канд. техн. наук, доцент

_____ Любов ОЛІЙНІЧЕНКО

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
14 квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Подєнєжному Богдану Віталійовичу

Тема роботи:

Розробка технології виготовлення деталі планшайба.

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Затверджено наказом ЦНТУ від 1 квітня 2026 року № 199-02.

Строк подання роботи до захисту:

___ червня 2026 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: проектування та обґрунтування технологічного процесу виготовлення деталі планшайба, який забезпечить задану точність і якість за рахунок впровадження верстатів з ЧПУ.

Завдання: провести оцінку точності та технологічності конструкції деталі, проаналізувати властивості матеріалу, обґрунтувати вибір методу отримання заготовки, сформулювати маршрути обробки окремих поверхонь та загальний маршрут виготовлення деталі із визначенням змісту технологічних операцій, виконати розрахунок припусків на механічну обробку, визначити режими різання та встановити технічно обґрунтовані норми часу на операції механічної обробки.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Виконання загальної частини	20.04.2026 р.	
2	Виконання технологічної частини	20.05.2026 р.	
3	Розробка креслеників	27.05.2026 р.	
4	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	01.06.2026 р.	
5	Перевірка роботи на академічний плагіат	10.06.2026 р.	
6	Рецензування роботи	12.06.2026 р.	

Дата видачі завдання
13 квітня 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____

Богдан ПОДСЕНЄЖНИЙ

Керівник роботи _____

Олександр СКІБІНСЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Подєнежний, Б.В, Розробка технології виготовлення деталі планшайба: кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. О. І. Скібінський; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький: ЦНТУ, 2026. 54 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Метою роботи є розробка технологічного процесу механічної обробки деталі планшайба.

Актуальність роботи полягає в оптимізації існуючих технологічних процесів виготовлення фланцевих деталей шляхом переходу від традиційного універсального обладнання до сучасних токарно-фрезерних оброблювальних центрів з ЧПУ.

У роботі реалізовано низку інженерно-технологічних досліджень, спрямованих на аналіз геометричної точності та технологічності конструкції виробу, обґрунтування вибору конструкційного матеріалу й оптимального способу виробництва заготовки. Сформовано маршрути обробки поверхонь і розроблено технологічний маршрут із детальним операційним описом усіх етапів механічної обробки. За допомогою аналітичного методу розраховано міжопераційні припуски, визначено режими різання та встановлено технічні норми часу для кожної операції.

планшайба, ЧПУ, токарна обробка, фрезерування, контршпіндель, режими різання

ANNOTATION

Podieniezhnyi, B.V. Development of technology for manufacturing faceplate parts : Qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 131 Applied mechanics / Scientific supervisor O. I. Skibinskyi; Central Ukrainian National Technical University – Kropyvnytskyi, 2026. 54 p.

Drawings – summary 3 sheets A1 format.

The purpose of the work is to develop a technological process for machining a faceplate part.

The relevance of the work is to optimize existing technological processes for manufacturing flange parts by transitioning from traditional universal equipment to modern CNC turning-milling machining centers.

The work implements a number of engineering and technological studies aimed at analyzing the geometric accuracy and manufacturability of the product design, substantiating the choice of structural material and the optimal method of manufacturing the workpiece. Surface treatment routes have been formed and a technological route has been developed with a detailed operational description of all stages of machining. Using the analytical method, inter-operational allowances have been calculated, cutting modes have been determined, and technical time standards for each operation have been established.

faceplate, CNC, turning, milling, counter spindle, cutting modes

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

«Розробка технології виготовлення деталі планшайба»

КРБ.ПМ.26.23.80.00.00

Виконав здобувач вищої освіти

3мб курсу групи ПМ-23мб-3

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Богдан ПОДЄНЄЖНИЙ

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент

_____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Кропивницький 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	8
1.1 Службове призначення деталі планшайба	8
1.2 Аналіз технологічності деталі та технічних вимог на її виготовлення	10
1.3 Аналіз матеріалу деталі	13
1.4 Визначення типу виробництва	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	16
2.1 Аналіз точності деталі	16
2.2 Розробка технологічного процесу обробки деталі	17
2.3 Вибір способу виготовлення заготовки	19
2.4 Вибір методів обробки поверхонь деталі	20
2.5 Вибір технологічних баз	24
2.6 Розробка структури та змісту технологічних операцій	26
2.7 Вибір верстатів, ріжучих та вимірювальних інструментів	33
2.8 Розрахунок припусків та операційних розмірів	38
2.9 Розрахунок режимів різання	43
2.10 Технічне нормування операцій	48
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52

ВСТУП

Сучасний етап розвитку машинобудівного комплексу України характеризується стрімким впровадженням високопродуктивного багатоцільового обладнання з числовим програмним управлінням (ЧПУ) та інтеграцією автоматизованих систем проектування. Це зумовлено жорсткими вимогами ринку до скорочення термінів підготовки виробництва, зниження собівартості продукції та підвищення її якісних показників. У цих умовах традиційні підходи до проектування технологічних процесів зазнають суттєвих трансформацій, поступаючись місцем комплексним токарно-фрезерно-шліфувальним технологіям, що дозволяють виконувати концентрацію операцій та мінімізувати похибки базування.

Деталі типу «Планшайба» посідають важливе місце у вузлах металорізальних верстатів, редукторів та технологічного оснащення. Вони виконують функції точного базування та передачі крутного моменту, що висуває високі вимоги до точності їхніх геометричних параметрів, взаємного розташування поверхонь (перпендикулярності торців, співвісності отворів) та шорсткості. Ефективне розв'язання задачі виготовлення таких деталей у середньосерійному виробництві можливе лише за умови розробки раціонального технологічного маршруту, оптимізації міжопераційних припусків та режимів різання, а також обґрунтованого вибору засобів метрологічного контролю та різального інструменту.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Службове призначення деталі планшайба

Планшайба є одним із найважливіших елементів технологічного оснащення в машинобудуванні та металообробці, виступаючи універсальним пристроєм для базування, центрування та надійного закріплення деталей або інструментів на верстатах. Головне її завдання полягає в тому, щоб зв'язати рухомий вузол верстата, найчастіше шпиндель, із заготовкою або іншим складним інструментом, забезпечуючи точну передачу крутного моменту та геометричну стабільність під час обробки.

Найширше застосування планшайби знаходять у токарній групі верстатів, особливо на великих токарно-карусельних та важких токарно-гвинторізних верстатах, а також на фрезерних, розточувальних, шліфувальних верстатах та поворотних ділильних столах. Вони стають незамінними у випадках, коли стандартні трикулачкові або чотирикулачкові патрони фізично не здатні затиснути деталь через її специфічну форму або габарити. Наприклад, на планшайбах обробляють корпусні деталі, колінчасті вали, маховики, ексцентрики, великі фланці, кришки та будь-які асиметричні виливки чи поковки, у яких вісь обертання оброблюваної поверхні не збігається з геометричною віссю самої деталі.

Конструктивно планшайби бувають дуже різноманітними залежно від специфіки завдань. Найпростіші варіанти виконуються у вигляді плоского диска з радіальними або хрестоподібними Т-подібними пазами чи наскрізними видовженими прорізами, через які пропускають кріпильні болти. Більш складні та універсальні конструкції оснащуються незалежними переставними кулачками, які можуть переміщатися по пазах за допомогою гвинтів, що дозволяє затискати деталі неправильної форми так само швидко, як і в патроні. Також існують спеціалізовані планшайби з противагами для балансування дисбалансу при швидкому обертанні асиметричних деталей, магнітні та

електромагнітні моделі для тонких плоских заготовок, а також планшайби-супорти, які самі мають механізм радіальної подачі різця для обробки торців великих отворів.



Рисунок 1.1 – Планшайби

До самої планшайби можуть кріпитися: безпосередньо оброблювані заготовки будь-якої складної конфігурації, які фіксуються за допомогою притискних планок, упорів, прихватів та болтів із сухарями, що встановлюються в пази; додаткові пристосування, такі як кутники, зміщувальні класичні лещата або спеціальні кондуктори, в які вже потім встановлюють серійні деталі; різальні інструменти, наприклад, розточувальні різці або блоки,

здійснюючи коловий рух навколо нерухомої заготовки на фрезерних або розточувальних верстатах.

1.2 Аналіз технологічності деталі та технічних вимог на її виготовлення

Метою аналізу технологічності деталі є виявлення конструктивних особливостей деталі, які впливають на трудомісткість та собівартість її виготовлення, а також визначення можливостей для спрощення технологічного процесу без погіршення функціональних характеристик виробу.

Планшайба є деталлю типу «диск» і належить до класу плоских деталей з елементами обертання. За своїм службовим призначенням вона використовується у верстатобудуванні – як базовий елемент для закріплення заготовок або оснащення на шпинделі токарного верстата. Деталь передає крутний момент і сприймає осьові та радіальні навантаження в процесі обробки.

За результатами вивчення креслення деталь має такі основні конструктивні елементи: центральний фланець циліндричної форми з отвором; зовнішній фланець (обід) більшого діаметра; чотири рівномірно розташовані по колу наскрізні отвори під кріпильні елементи; чотири симетрично розташовані пази, що виконані в радіальному напрямку на торцевій поверхні.

З точки зору технологічності конструкції деталь має ряд позитивних ознак. Основні оброблювані поверхні – зовнішні та внутрішні циліндричні – є поверхнями обертання, що дозволяє виконувати більшість операцій на токарному обладнанні з одного або двох установів. Це суттєво скорочує кількість переустановів заготовки та підвищує точність взаємного розташування поверхонь.

Конструкція деталі має вісь симетрії, що є основою для вибору технологічних баз відповідно до принципу суміщення баз. Зовнішня циліндрична поверхня фланця або центральний отвір можуть

використовуватись як технологічні базові поверхні при обробці на різних операціях.

Чотири кріпильних отвори розташовані рівномірно по колу, що дозволяє використовувати для їх обробки багатошпиндельні головки або поворотні пристосування. Рівномірне розташування отворів також спрощує контроль.

Відкритість більшості поверхонь для ріжучого інструменту є позитивною ознакою. Зовнішні торцеві та циліндричні поверхні, отвори – всі вони доступні для обробки стандартним інструментом без застосування спеціальних пристроїв.

Канавка потребує застосування відрізного або канавочного різця при розточуванні. Якщо профіль канавки є нестандартним, то при обробці необхідно застосовувати спеціальний фасонний інструмент.

Поверхні деталі аналізуємо виконавши ескіз планшайби (рисунок 1.2) на якому позначаємо поверхні, які будуть підлягати механічній обробці.

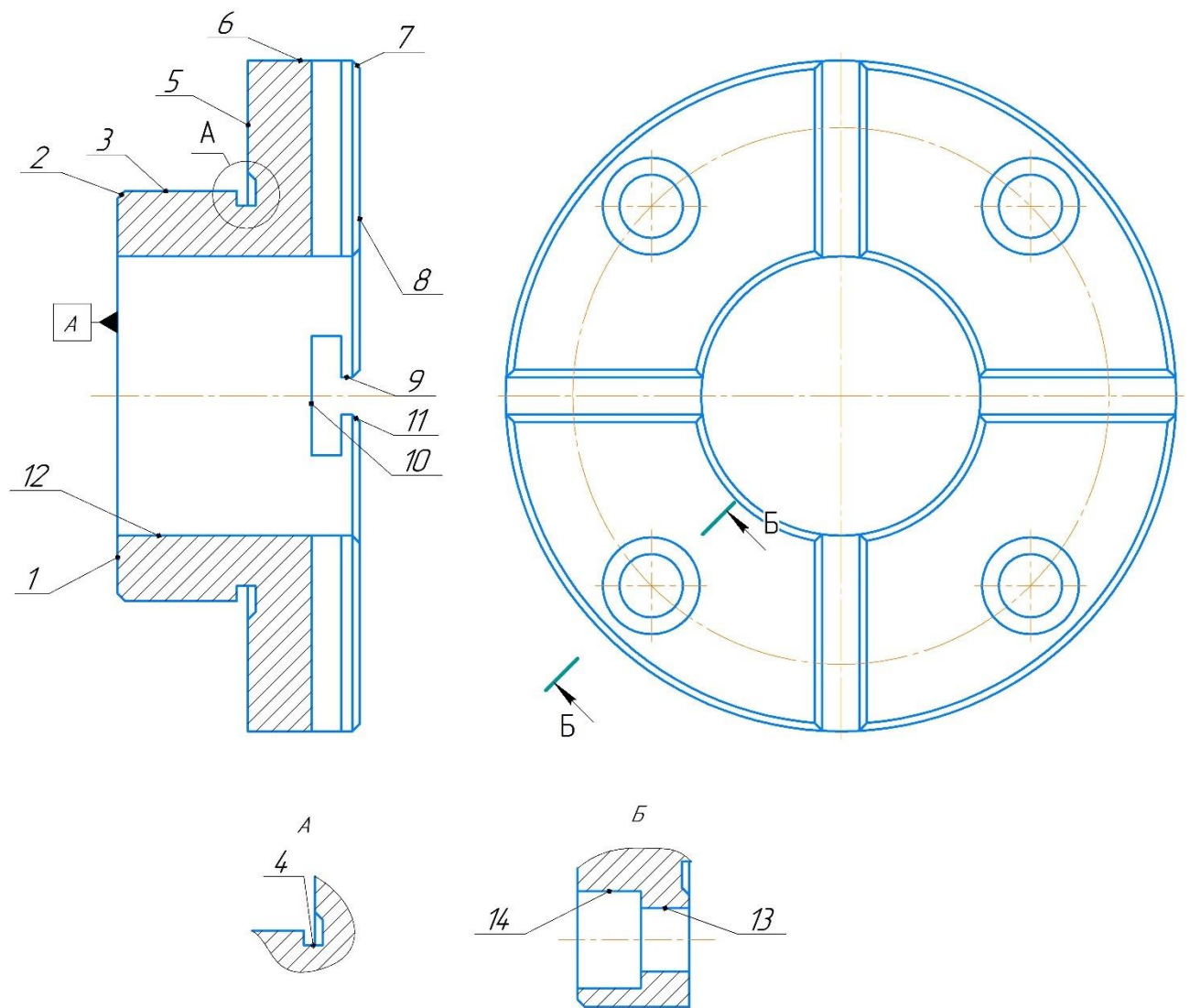


Рисунок 1.2 – Ескіз деталі планшайба

За результатами аналізу технологічності можна зробити такі висновки. Загалом деталь є технологічною для серійного виробництва: більшість поверхонь обробляється на стандартному токарному та фрезерному обладнанні, конструкція має вісь симетрії, що спрощує базування. При розробці технологічного процесу необхідно передбачити раціональний порядок обробки поверхонь, щоб забезпечити необхідну точність взаємного розташування елементів деталі та мінімізувати похибки базування.

1.3 Аналіз матеріалу деталі

Матеріалом планшайби є конструкційна легована сталь марки 40X. Вибір саме цієї марки сталі обумовлений поєднанням достатньої міцності, задовільної оброблюваності різанням та здатності до термічної обробки, що в сукупності забезпечує необхідні експлуатаційні характеристики деталі.

Сталь 40X є хромистою конструкційною сталлю. Основним легуючим елементом є хром у кількості 0,80–1,10 %, який підвищує прогартовуваність сталі, збільшує межу міцності та твердість після термічної обробки, а також покращує корозійну стійкість у порівнянні з вуглецевими сталями. Вміст вуглецю становить 0,36–0,44 %, що забезпечує достатню твердість після гартування та задовільну пластичність у відпаленому стані.

Склад та властивості сталі 40X наведено в таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад матеріалу деталі планшайба

Марка матеріалу	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
Сталь 40X	0,36-0,44%	0,17-0,37%	0,5-0,8%	до 0,3%	до 0,035%	до 0,035%	0,8-1,1%

Таблиця 1.2 – Механічні властивості матеріалу деталі планшайба

Марка матеріалу	σ_B (МПа)	δ_5 , %	Твердість по Брінелю HB
Сталь 40X	900	13	269

Для планшайби, що працює в умовах знакозмінних навантажень і потребує поєднання міцності з достатньою ударною в'язкістю, як правило, призначається термічна обробка – гартування з наступним високим відпуском (покращення). Після покращення сталь 40X набуває однорідної сорбітної структури, що забезпечує оптимальне співвідношення між міцністю та пластичністю.

Технологічні властивості сталі 40X характеризуються наступним чином. Оброблюваність різанням у нормалізованому або покращеному стані є

задовільною; коефіцієнт оброблюваності відносно еталонної сталі 45 становить приблизно 0,90–0,95, що свідчить про незначне ускладнення різання порівняно з вуглецевими сталями. При чорновій обробці рекомендується застосовувати різці з пластинами з твердого сплаву T5K10, при чистовій – T15K6 або T30K4. Прогартовуваність сталі є задовільною: критичний діаметр наскрізного гартування у воді становить 28–40 мм, у маслі – 15–25 мм. Оскільки планшайба є деталлю відносно великого перерізу, при призначенні режимів гартування необхідно враховувати можливість неповного прогартування центральних зон.

1.4 Визначення типу виробництва

Тип виробництва є одним із важливих факторів при розробці технологічного процесу виготовлення деталі, оскільки він обумовлює вибір обладнання, технологічного оснащення, методів обробки та організації праці на виробничій дільниці.

Тип виробництва визначається за двома основними показниками: річною програмою випуску деталей та масою деталі. Маса планшайби становить 5,6 кг, що відповідає деталям середньої вагової категорії.

Відповідно до стандартів та загальноприйнятої класифікації, тип виробництва залежить від маси деталі та річної програми випуску, що складає 4800 шт.

Середньосерійне виробництво – це тип організації виробництва, що характеризується одночасним виготовленням обмеженої номенклатури виробів порівняно великими партіями (серіями), які періодично повторюються протягом планового періоду (місяць, квартал, рік).

Це найбільш гнучкий і поширений у сучасному машинобудуванні тип виробництва, який поєднує в собі переваги одиничного (мобільність, здатність швидко переналагоджуватися) та масового (вища продуктивність, низька собівартість) виробництв.

В середньосерійному виробництві застосовується універсально-збірне обладнання, але перевага надається верстатам з ЧПУ, оброблювальним центрам та гнучким виробничим модулям (ГВМ). Це дозволяє швидко переходити на випуск іншої деталі з серії шляхом заміни управляючої програми.

Використовують спеціалізовані налагоджувальні пристрої, універсально-збірні пристосування (УЗП) та переналагоджувані затискні елементи. Проектування дорогого спеціального оснащення виправдане лише для відповідальних операцій з високою концентрацією переходів.

Широко застосовується як стандартний різальний інструмент, так і комбінований (наприклад, ступінчасті свердла, фрези зі змінними пластинами). Для контролю розмірів використовують граничні калібри (пробки, скоби), а також універсальні засоби вимірювання (штангенциркулі, мікрометри) та координатно-вимірювальні машини (КВМ).

Часто застосовується групова форма організації (технологічні процеси розробляються на групи конструктивно та технологічно подібних деталей). Робочі місця розташовуються переважно за типами обладнання (ділянки токарних верстатів, фрезерних тощо) або за предметно-замкнутими ділянками (для виготовлення конкретної групи деталей).

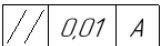
Завдяки механізації та зменшенню штучно-калькуляційного часу собівартість продукції є значно нижчою, ніж в одиничному виробництві, хоча витрати на підготовку виробництва (програмування ЧПУ, закупівля налагоджувальних пристроїв) залишаються помітними.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз точності деталі

Аналіз точності деталі виконується на основі вивчення розмірів, допусків, вимог до форми, взаємного розташування поверхонь та шорсткості, що вказані на кресленні планшайби. Метою аналізу є класифікація поверхонь за точністю та визначення найбільш відповідальних елементів деталі. За даними рисунку 1.2 виконано аналіз, результати якого представлено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Аналіз точності деталі планшайба

Номер поверхні на деталі	Найменування поверхні	Розміри	Квалітет точності	Точність відносного розміщення	Точність форми	Шорсткість
1	2	3	4	5	6	7
1, 8	Торцева	$65 \pm 0,37$	Js14		-	Ra6,3
2	Фаска	2×45^0 $\varnothing 110$	-	-	-	-
3	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 110_{-0,054}$	H8	-	-	Ra1,6
4	Канавка	$\varnothing 102$ $5 \pm 0,15$	Js14	-	-	Ra3,2
5	Торцева	$30 \pm 0,016$	Js8	-	-	Ra1,6
6	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 180_{-0,25}$	h11	-	-	Ra3,2
7	Фаска	2×45^0 $\varnothing 180_{-0,25}$	-	-	-	-
9	Паз	$10^{+0,036}_{-5}$	H9	-	-	Ra2,5
10	Паз	$30^{+0,25}_{-8}$	H12	-	-	Ra3,2
11	Фаска	2×45^0	-	-	-	-
12	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 75^{+0,046}$	H8	-	-	Ra1,6
13	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 17_{-0,18}$	H12	-	-	Ra3,2
14	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 26_{-0,21}$	H12	-	-	Ra3,2

В цілому, поверхні деталі планшайба мають невисокі вимоги щодо точності та шорсткості. Точними поверхнями, що виготовляються за 8

квалітетом та мають шорсткість $Ra_{1,6}$ є: зовнішня циліндрична 3 $\varnothing 110^{+0,054}$, торцева 5 $30 \pm 0,0165$ та внутрішня циліндрична 12 $\varnothing 75^{-0,046}$. Торцева поверхня 5 це головна робоча площа (базова поверхня) якою деталь притискається до шпинделя. Поверхня 12 є посадковим отвором, яким планшайба центрується на шпинделі верстата.

Канавка 4 призначена для виходу шліфувального круга при обробці зовнішньої циліндричної поверхні 3 та торцевої поверхні 5.

Т-подібний паз, що утворений пазами 9 та 10 призначений для встановлення затискних болтів, сухарів або притискних планок, якими безпосередньо фіксується деталь.

2.2 Розробка технологічного процесу обробки деталі

Розробка маршрутного технологічного процесу виконується з урахуванням типу виробництва (середньосерійне), конструктивних особливостей деталі, вимог до точності та шорсткості поверхонь, а також матеріалу деталі — сталь 40Х. При побудові маршруту дотримуються загальних принципів: спочатку обробляються поверхні, що є технологічними базами для подальших операцій; чорнова обробка передуює чистовій; поверхні з жорсткими вимогами до точності обробляються в останню чергу.

Для виготовлення планшайби на 005 операції доцільно застосувати токарний верстат з ЧПУ, оснащений контршпинделем та приводним інструментом із можливістю виконання спіральної інтерполяції. Такий верстат дозволяє суттєво скоротити кількість операцій та переустановів деталі, що є важливим фактором забезпечення точності взаємного розташування поверхонь.

Заготовка затискається в основному шпинделі верстата. Виконується обробка зовнішньої циліндричної поверхні, торців, точіння канавки, а також зняття фаски $2 \times 45^\circ$ на зовнішній циліндричній поверхні.

Після завершення обробки з однієї сторони деталь автоматично передається в контршпиндель верстата без розтискання та переустановлення

вручну. Контршпіндель підхоплює деталь, утримуючи її за вже оброблені поверхні, що забезпечує точне базування та виключає похибки переустанову. З протилежної сторони виконується обробка другого торця, зовнішньої циліндричної поверхні, обробка отвору. Завдяки можливості приводного інструменту на цьому ж установі виконується фрезерування чотирьох радіальних пазів із застосуванням кутового ділення шпинделя (функція C-осі) та фрезерування кріпильних отворів методом спіральної інтерполяції. Спіральна інтерполяція є особливо доцільною, оскільки дозволяє отримати точний отвір фрезою без застосування розточувального інструменту, суміщуючи обертання фрези з її гвинтовим переміщенням по колу. Це забезпечує вищу якість поверхні отвору порівняно зі свердлінням і виключає необхідність зенкування.

Застосування верстата з контршпінделем та приводним інструментом дозволяє виконати всю чорнову механічну обробку деталі за одну операцію з двома автоматичними установками, що забезпечує: скорочення кількості операцій і переустановів; підвищення точності взаємного розташування поверхонь, оброблених з різних сторін; зменшення часу на транспортування та очікування між операціями; зниження загальної трудомісткості виготовлення деталі.

На 010 операції виконується термічна обробка – гартування з наступним низьким відпуском. Необхідність термічної обробки обумовлена вимогою до твердості поверхонь деталі HRC 52...67. Така твердість не може бути досягнута на сталі 40X в стані поставки або після покращення і потребує об'ємного гартування.

Режим термічної обробки для сталі 40X: нагрів до температури гартування 840–860 °C, витримка залежно від перерізу деталі, охолодження в маслі (для запобігання короблення та утворення гартівних тріщин у деталі складної форми), наступний низький відпуск при температурі 150–200 °C протягом 1,5–2 годин для зняття внутрішніх напружень із збереженням необхідної твердості. Охолодження в маслі.

На 015 круглошліфувальній операції виконується шліфування зовнішньої циліндричної поверхні 3. Шліфування виконується після термічної обробки з метою відновлення точності розміру та шорсткості поверхні, що могли погіршитись внаслідок жолоблення та утворення оксидної плівки при гартуванні. Деталь базується за внутрішнім отвором.

На 020 плоскошліфувальній операції виконується шліфування поверхні 5. Плоске шліфування торця дозволяє забезпечити необхідну площинність і шорсткість після термічної обробки, а також відновити точність розмірів по довжині. Деталь базується на магнітному столі верстата.

На 025 шліфувальній операції виконується обробка отвору 12.

Розроблений технологічний процес є раціональним для умов середньосерійного виробництва. Концентрація максимальної кількості переходів в операції 005 на верстаті з ЧПУ забезпечує високу точність взаємного розташування поверхонь, скорочує кількість установів та знижує трудомісткість виготовлення. Послідовність шліфувальних операцій після термічної обробки гарантує досягнення необхідних параметрів точності та шорсткості на відповідальних поверхнях деталі.

2.3 Вибір способу виготовлення заготовки

Матеріалом для виготовлення деталі планшайба є конструкційна легована сталь 40Х. Ця марка сталі має високу пластичність у гарячому стані та низький опір деформації у температурному інтервалі кування ($1200-800^{\circ}\text{C}$), що робить її високоефективною для отримання заготовок методами пластичної деформації.

Прокат (круглий прут) є неефективним для середнього серійного виробництва через значні об'єми стружки під час виготовлення отвору 12 та зняття шару металу для виготовлення зовнішньої циліндричної поверхні 3. Це призводить до низького коефіцієнта використання металу (КВМ) та високої собівартості.

Вільне кування характеризується високими припусками на обробку та низькою точністю розмірів, що збільшує час роботи токарних верстатів у серійному виробництві.

Гаряче об'ємне штампування (ГОШ) дозволяє отримати заготовку, форма якої максимально наближена до контуру готової деталі. Штампувальні нахили та радіуси мінімізують об'єм подальшої механічної обробки.

Для виробництва планшайби приймаємо поковку, отриману гарячим об'ємним штампуванням на кривошипному гарячештампувальному пресі (КГШП).

Цей вибір аргументується такими факторами:

- у середньосерійному виробництві витрати на проектування та виготовлення штампа повністю окупаються за рахунок економії металу та зниження трудомісткості механічної обробки;
- на відміну від прокату, при штампуванні внутрішні волокна металу не перерізаються, а повторюють контур. Це суттєво підвищує міцність, втомну витривалість та зносостійкість планшайби, яка працює під динамічними навантаженнями;
- конструкція преса КГШП дозволяє виконати операцію прошивки (попереднього формування) наскрізного центрального отвору, що значно економить матеріал (Сталь 40Х).

2.4 Вибір методів обробки поверхонь деталі

Для кожної поверхні розробляється маршрут обробки – послідовність технологічних переходів від чорного до фінішного, що поступово підвищують точність та знижують шорсткість. Вибір раціонального маршруту здійснюється на основі аналізу коефіцієнтів уточнення, що характеризують ступінь підвищення точності на кожному переході та загалом по маршруту.

Для визначення маршруту обробки поверхонь заготовки необхідно виконати порівняння двох маршрутів обробки однієї поверхні деталі.

Загальний коефіцієнт уточнення показує, у скільки разів зменшується допуск від початкової заготовки до кінцевого розміру деталі, і визначається за формулою:

$$\varepsilon_3 = \frac{\delta_3}{\delta_d} \quad (2.1)$$

де δ_3 - допуск на розмір заготовки;

δ_d - допуск на розмір поверхні, після її обробки.

Частинний коефіцієнт уточнення для кожного i -го переходу визначається як:

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_i}{\delta_{i+1}} \quad (2.2)$$

де δ_i – допуск на попередньому переході;

δ_{i+1} – допуск після даного переходу.

Загальний коефіцієнт уточнення дорівнює добутку частинних коефіцієнтів:

$$E_{заг} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_n \quad (2.3)$$

Виконуємо порівняння двох маршрутів обробки поверхні 12 внутрішньої циліндричної $\varnothing 75^{+0,046}_{-0}$ Н8 шорсткість якої Ra1,6. Для досягнення 8 квалітету точності застосовується фінішний метод обробки – шліфування. Заготовка має точність за 14-м квалітетом (IT14 = 0,740 мм). Розглядаються два маршрути обробки.

Маршрут 1:

- розточування чорнове (IT11);
- розточування чистове (IT9);

- шліфування (IT8).

Допуски за квалітетами для діаметра 75 мм:

$$IT_{11} = 0,190 \text{ мм};$$

$$IT_9 = 0,074 \text{ мм};$$

$$T_8 = 0,046 \text{ мм}.$$

Загальне уточнення:

$$\varepsilon_3 = \frac{0,74}{0,046} = 16,087$$

Частинні коефіцієнти уточнення:

$$\varepsilon_1 = \frac{0,74}{0,19} = 3,89$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0,19}{0,074} = 2,57$$

$$\varepsilon_3 = \frac{0,074}{0,046} = 1,61$$

Загальний коефіцієнт уточнення за маршрутом 1:

$$E_{\text{заг1}} = 3,89 \cdot 2,57 \cdot 1,61 = 16,095$$

Маршрут 2:

- розточування чорнове (IT13);
- розточування напівчистове (IT11);
- розточування чистове (IT9);
- шліфування (IT8).

Допуски за квалітетами для діаметра 75 мм:

$$IT_{13} = 0,460 \text{ мм};$$

$$IT_{11} = 0,190 \text{ мм};$$

$$IT_9 = 0,074 \text{ мм};$$

$$IT_8 = 0,046 \text{ мм}.$$

Частинні коефіцієнти уточнення:

$$\varepsilon_1 = \frac{0,74}{0,46} = 1,61$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0,46}{0,19} = 2,42$$

$$\varepsilon_3 = \frac{0,19}{0,074} = 2,57$$

$$\varepsilon_4 = \frac{0,074}{0,046} = 1,61$$

Загальний коефіцієнт уточнення за маршрутом 2:

$$E_{\text{заг1}} = 1,61 \cdot 2,42 \cdot 2,57 \cdot 1,61 = 16,12$$

Обидва маршрути обробки отвору 12 забезпечують практично однаковий загальний коефіцієнт уточнення: $E_{\text{заг1}} = 16,095$ та $E_{\text{заг2}} = 16,12$, що підтверджується прямим розрахунком $IT_{14}/IT_8 = 16,087$.

Маршрут 1 передбачає три переходи з рівномірно зростаючими частинними коефіцієнтами уточнення, забезпечуючи досягнення необхідної точності за меншу кількість переходів. Маршрут 2 містить чотири переходи, серед яких перший перехід дає незначне уточнення $\varepsilon_1 = 1,61$, що фактично означає надлишковий проміжний перехід без суттєвого технологічного ефекту.

Таблиця 2.2 – Таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталі планшайба

Позначення поверхні	Допуск на поверхню по кресленню, δ_d мм	Шорсткість поверхні, R_a мкм	Допуск на заготовку по поверхні, δ_z мм	Загальне уточнення ε_3	Можливі технологічні маршрути обробки поверхні		Економічні допуски на проміжні методи обробки,	Частинні коефіцієнти уточнення	$P_{\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_n}$
					№	Зміст маршруту			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	0,046	1,6	0,74	16,087	1	Розточування чорнове	0,19	3,87	16,095
						Розточування чистове	0,074	2,57	
						Шліфування	0,046	1,61	
					2	Розточування чорнове	0,46	1,61	16,12
						Розточування напівчистове	0,19	2,42	
						Розточування чистове	0,074	2,57	
						Шліфування	0,046	1,61	

З урахуванням вимог до точності (IT8) та шорсткості (R_a 1,6 мкм) поверхні 12, а також з міркувань мінімізації трудомісткості та собівартості обробки, для подальшого проектування технологічного процесу приймається маршрут 1: розточування чорнове, розточування чистове, шліфування.

2.5 Вибір технологічних баз

Аналіз базування та вибір технологічних баз є важливим етапом проектування технологічного процесу обробки планшайби, оскільки він безпосередньо впливає на досягнення заданої точності взаємного розташування поверхонь і лінійних розмірів деталі.

Специфіка обробки даної деталі типу фланець на 005 токарній з ЧПУ операції полягає у використанні сучасного токарного центру з ЧПУ Doosan PUMA 2100 SY, обладнаного контршпинделем, що дозволяє суттєво оптимізувати структуру базування та концентрацію переходів. На першому установі (установ А) токарної операції заготовку встановлюють у трикулачковий патрон головного шпинделя. Як чорнові технологічні бази

використовують зовнішню циліндричну поверхню 6 та торець 8 заготовки, що забезпечує надійне закріплення. На цьому установі формуються чистові бази для наступних етапів обробки.

Перехід до другого установу (установ Б) токарної з ЧПУ операції реалізується за допомогою автоматичного перезатиску деталі в контршпинделі, що мінімізує похибку базування завдяки виключенню людського фактора. На установі Б базами служать вже оброблені на попередньому установі зовнішня циліндрична поверхня 3 та торець 1. Таке базування за принципом суміщення та постійності баз забезпечує жорстку фіксацію деталі під час виконання операцій розточування центрального отвору 12, фрезерування пазів 9 та 10, розфрезерування та обробки напрохід кріпильних отворів 13 та 14 на торці 8, а також додаткових елементів і фасок. Використання обробленої зовнішньої циліндричної поверхні 3 та чистового торця 1 як технологічних баз гарантує високу точність співвісності внутрішнього отвору відносно зовнішнього контуру, а також строгу перпендикулярність осей фрезерованих пазів та отворів до базового торця, що підтверджується жорсткими вимогами до позиційного допуску та допуску паралельності на операційних ескізах.

На 015 круглошліфувальній операції деталь базується по внутрішньому центральному отвору та торцю, що дозволяє здійснити фінішну обробку зовнішньої циліндричної поверхні 3 із жорстким допуском за восьмим квалітетом, виключаючи биття та досягаючи шорсткості поверхні Ra 1,6.

Для 020 плоскошліфувальної операції технологічною базою виступає торець 8 планшайби. Деталь встановлюється цією площиною на магнітну плиту верстата, що забезпечує бездоганне базування для шліфування робочого торця з витримуванням точного лінійного розміру 30мм та високої площинності.

На 025 шліфувальній операції внутрішньої циліндричної поверхні базування знову здійснюється по зовнішній циліндричній поверхні 3 та торцю 1. Такий послідовний вибір баз повністю відповідає вимогам технологічності, забезпечує високу жорсткість технологічної системи та дозволяє виконати всі

задані кресленням норми точності та взаємного розташування поверхонь планшайби.

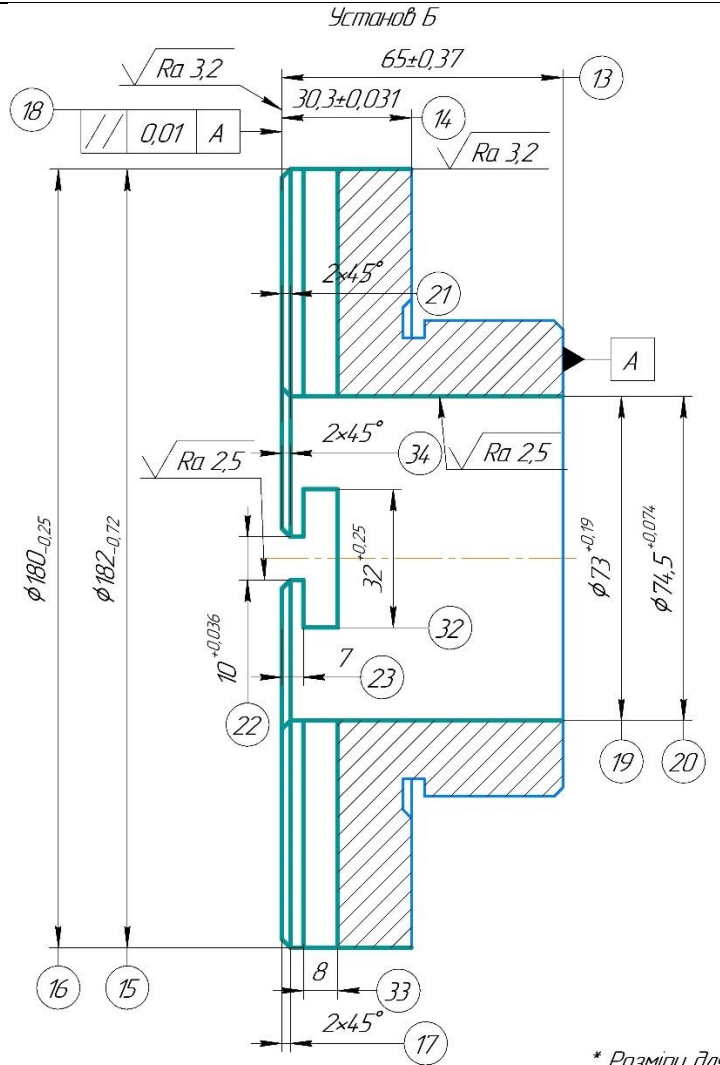
2.6 Розробка структури та змісту технологічних операцій

Виходячи з проектного технологічного маршруту виготовлення планшайби, прийнятих схем базування для кожної операції, послідовності обробки поверхонь, а також з урахуванням обраного способу отримання заготовки та заданого типу виробництва, сформовано структуру технологічного процесу. Склад та послідовність виконання технологічних операцій представлено в таблиці 2.3.

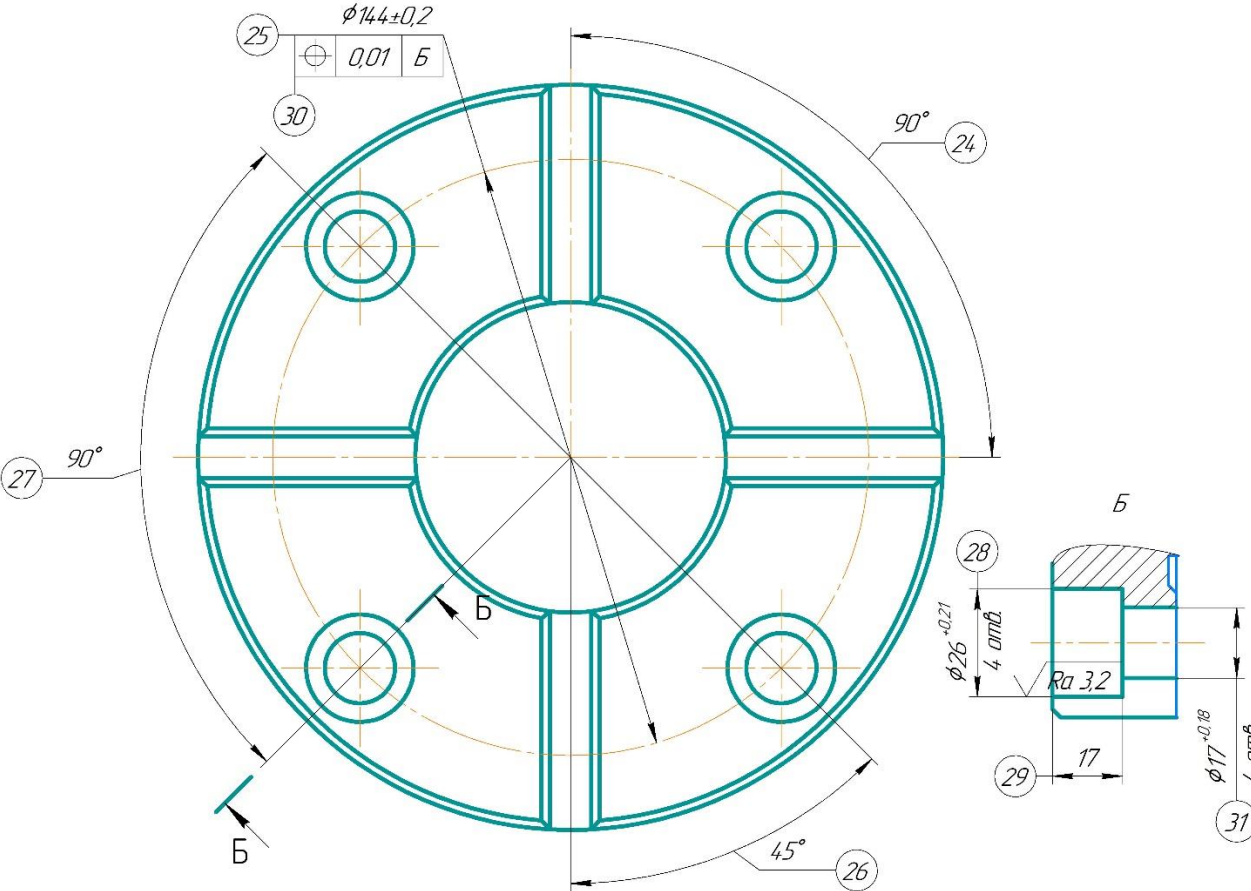
Таблиця 2.3 – Зміст та структура технологічних операцій обробки деталі планшайба

№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
005 Токарна з ЧПУ	Doosan PUMA 2100 SY Токарний центр з ЧПУ	Установ А	Установ А 1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Підрізати торець, витримуючи розмір 1. 3. Точити зовнішню циліндричну поверхню та торець начорно, витримуючи розміри 1, 2, 3. 4. Точити зовнішню циліндричну поверхню та торець напівчисто, витримуючи розміри 1, 4, 5. 5. Точити зовнішню циліндричну поверхню, торець начисто, точити фаску, витримуючи розміри 1, 6, 7, 8. 6. Точити канавку, витримуючи розміри 6, 7, 9, 10, 11, 12. 7. Автоматичний презатиск деталі в

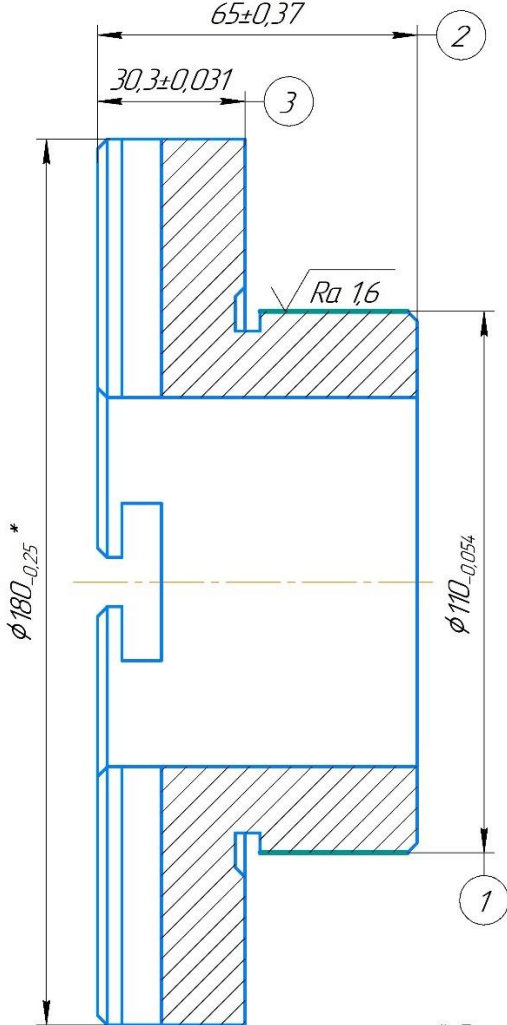
Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
		Установ Б  * Розміри для довідок	контршпинделі. Установ Б 8. Точити торець та зовнішню циліндричну поверхню начорно, витримуючи розміри 13, 14, 15. 9. Точити зовнішню циліндричну поверхню напівчисто, витримуючи розміри 14, 16, 17, допуск 18. 10. Розточити отвір начорно, витримуючи розміри 13, 19. 11. Розточити отвір начисто, точити фаску, витримуючи розміри 13, 20, 21. 12. Фрезерувати послідовно 4 пази, витримуючи розміри 16, 20, 22, 23, 24. 13. Розфрезерувати послідовно 4 отвори,

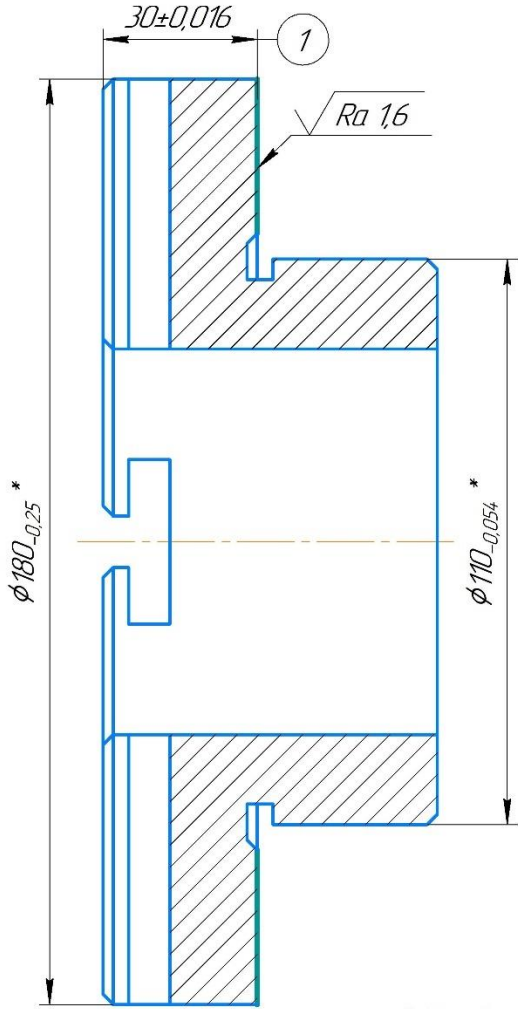
Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
		 Technical drawing of a circular part with four slots and four holes. The drawing includes dimensions: outer diameter $\phi 144 \pm 0.2$ (25), hole diameter $\phi 26$ (28), slot width 17 (29), and inner diameter $\phi 17$ (31). It also shows surface roughness $Ra 3.2$ and various angles (90°, 45°, 90°). A detail view shows a cross-section of a slot with a width of 17 and a depth of 4.	витримуючи розміри 25, 26, 27, 28, 29 допуск 30. 14. Фрезерувати послідовно 4 отвори напрохід, витримуючи розміри 14, 25, 26, 27, 29, 31, допуск 30. 15. Фрезерувати послідовно 4 пази, витримуючи розміри 16, 20, 24, 26, 32, 33. 16. Фрезерувати послідовно фаски, витримуючи розміри 16, 20, 22, 24, 34. 17. Відкріпити та зняти деталь.

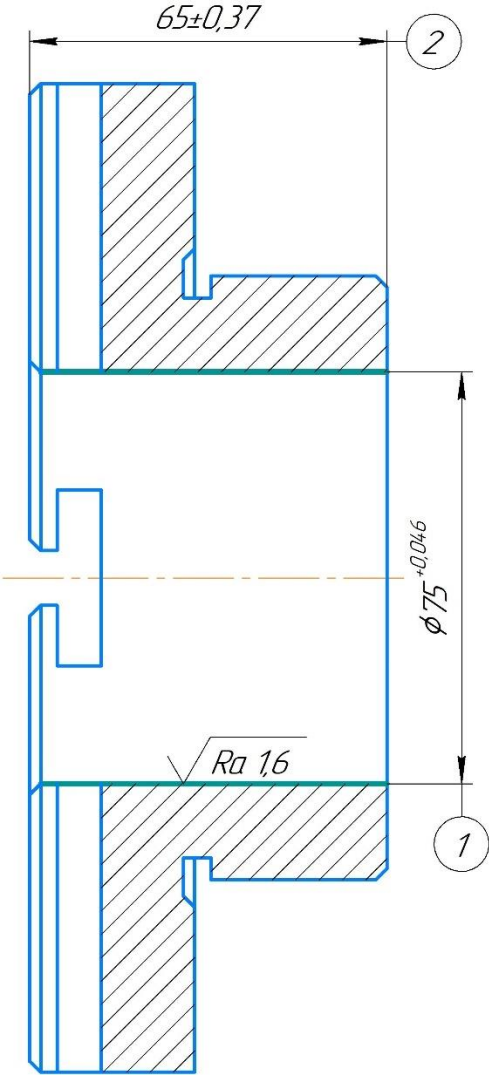
Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
015 Круглошліфувальна	3М151 Круглошліфувальний	 The drawing shows a cross-section of a cylindrical grinding wheel. The outer diameter is labeled $\phi 180_{-0,25}^*$ and the inner diameter is $\phi 110_{-0,054}$. The total width is $65 \pm 0,37$. The distance from the inner diameter to the start of the grinding surface is $30,3 \pm 0,031$. A callout '3' points to the grinding surface, and a callout '2' points to the outer edge. A surface texture symbol indicates $Ra 1,6$. A callout '1' points to the bottom edge. A dashed centerline is shown. * Розміри для довідок	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри 1, 2, 3. 3. Відкріпити та зняти деталь.

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
020 Плоскошліфувальна	PROTH PSGS-2550AH Плоскошліфувальний	 * Розміри для довідок	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати площину, витримуючи розмір 1. 3. Відкріпити та зняти деталь.

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
025 Шліфувальна	3K227A Внутрішньошліфувальний		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати внутрішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри 1, 2. 3. Відкріпити та зняти деталь.

2.7 Вибір верстатів, ріжучих та вимірювальних інструментів

Для виконання 005 токарної з ЧПУ операції обробки деталі планшайба обрано сучасний високоефективний токарний оброблювальний центр з ЧПУ Doosan PUMA 2100 SY (виробництва DN Solutions/Doosan, Південна Корея). Дане обладнання за своїми технічними характеристиками повністю відповідає вимогам середньосерійного типу виробництва, забезпечуючи високу концентрацію технологічних переходів, гнучкість налагодження та стабільне досягнення заданої точності обробки.

Технічна характеристика верстата Doosan PUMA 2100 SY:

- максимальний діаметр точіння – 406 мм;
- максимальна довжина точіння – 520 мм;
- частота обертання головного шпинделя – 5000 об/хв;
- частота обертання контршпинделя – 6000 об/хв;
- кількість позицій у револьверній головці: 12 (усі позиції привідні);
- частота обертання привідного інструменту: 5000 об/хв.

Конструкція верстата передбачає наявність повноцінного контршпинделя з вбудованим мотор-шпинделем (потужністю 15 кВт). Для деталі типу планшайба це дозволяє реалізувати повний цикл двосторонньої токарної обробки (Установ А та Установ Б) за одну управляючу програму без зупинки верстата. Автоматичне перехоплення деталі з головного шпинделя в контршпиндель виключає людський фактор і похибку базування під час переустановлення, забезпечуючи співвісність між внутрішніми поверхнями та зовнішніми циліндричними поверхнями.

Наявність привода фрезерного інструменту (5,5 кВт) у поєднанні з повною віссю С головного і контршпинделя дозволяє безпосередньо в токарній операції виконувати фрезерні переходи. Це забезпечує точне кутове розташування 4 пазів та координатної сітки 4 отворів на торці планшайби.

Окрім стандартних переміщень по Х та Z, верстат оснащений віссю Y з ходом 105 мм, що реалізується через клиновий рух супорта. Наявність осі Y є

конструктивною перевагою, яка дозволяє фрезерувати пази на торці та виконувати операції розфрезерування отворів у зміщеному (ексцентричному) положенні відносно осі обертання деталі з високою точністю геометрії, що неможливо реалізувати лише за допомогою інтерполяції осей X та C.

Таким чином, верстат Doosan PUMA 2100 SY (наявність осей Y, C, контршпинделя та привідного інструменту на базі жорстких напрямних ковзання) забезпечує концентрацію операцій та дозволяє повністю обробити профіль планшайби за два установи, гарантуючи високу точність взаємного розташування елементів.

Для виконання 015 круглошліфувальної операції обробки зовнішньої циліндричної поверхні планшайби обрано універсальний круглошліфувальний верстат 3M151. Цей верстат є класичним представником прецизійного шліфувального обладнання, призначеного для роботи в умовах серійного та крупносерійного виробництва завдяки високій жорсткості конструкції та можливості автоматизації робочого циклу.

Технічна характеристика верстата 3M151:

- максимальний діаметр встановлюваної деталі – 600 мм;
- максимальна довжина встановлюваної деталі – 300 мм;
- максимальний діаметр шліфування – 200 мм.

На 020 плоскошліфувальній операції застосовується плоскошліфувальний верстат-напівавтомат PROTH PSGS-2550AH (виробництва компанії Proth Industrial Co., Ltd., Тайвань). Даний верстат є високотехнологічним сучасним аналогом верстата 3Г71 та повністю відповідає вимогам точності й продуктивності в умовах середньосерійного виробництва.

Технічні характеристики верстата PROTH PSGS-2550AH:

- робоча поверхня столу (магнітної плити) – 250 x 500 мм;
- максимальна довжина шліфування – 500 мм;
- максимальна ширина шліфування: 250 мм.

Для виконання 025 шліфувальної операції обрано внутрішньошліфувальний верстат високої точності 3K227A.

Даний верстат за своїми кінематичними та жорсткісними характеристиками повністю відповідає технічним вимогам операції. Діапазон діаметрів шліфування верстата (20–200 мм) відповідає геометричним параметрам деталі. Базування планшайби на операції здійснюється по чистовій зовнішній циліндричній поверхні та торцю, що забезпечується затисканням у спеціальному трикулачковому патроні. Наявність високооборотної шліфувальної головки та жорстка фіксація деталі гарантують виконання жорстких вимог щодо співвідношення внутрішнього отвору відносно зовнішніх поверхонь готового виробу.

Технічна характеристика обраних металорізальних верстатів наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристика верстатів

№ операції	Модель та найменування верстату	Стисла технічна характеристика				
		Макс. діаметр обробки (мм)	Ряд частот обертання (хв ⁻¹)	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
1	2	3	4	5	6	7
005	Токарний центр з ЧПУ Doosan PUMA 2100 SY	406	до 6000	до 4	32	3415×1800×1900
015	Круглошліфувальний 3M151	600	1100	0,05-1,5	10	4250×2410×2110
020	Плоскошліфувальний PROTH PSGS-2550AH	500	1800	0,04	2,8	1700×1870×1800
025	Внутрішньошліфувальний 3K227A	200	12000	0,002-0,006	5	2250×1830×1900

Різальні інструменти, що застосовуються згідно розроблено технологічного процесу обробки деталі планшайба наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Різальні інструменти для обробки деталі планшайба

Номер		Найменування інструменту, стандарт на конструкцію інструменту (код)	Стандарт на конструкцію різальної пластини (код)
Опер.	Пере х.		
1	2	3	4
005	2	Різець прохідний MFWNN 2525M 06	WNMG 060408-MF4 GC 4325
	3	Різець прохідний PCLNR 2525M 12	CNMG 120408-MR GC 4325
	4	Різець прохідний PCLNR 2525M 12	CNMG 120404-MF GC 4315
	5	Різець прохідний SVJCR 2525M 16	VCMT 160404-MF GC 4315
	6	Різець канавочний RF123G25-2525B	N123G2-0300-0002-GF GC 1125
	8, 9	Різець прохідний PCLNR 2525M 12	CNMG 120408-MR GC 4325
	10	Різець розточувальний A25T-PDUNR 11	DNMG 110408-MR GC 4325
	11	Різець розточувальний A25T-SVJCR 16	VCMT 160404-MF GC 4315
	12	Фреза кінцева CoroMill Plura 2P342-1000-PA 1630, діам. 10 мм	GC1630
	13, 14	Фреза кінцева CoroMill 390 R390-014A14-11L	R390-11 T3 08M-PM GC4240
	15	Фреза кінцева CoroMill Plura 2P342-3200-PA 1630, діам. 32 мм	GC1630
	16	Фреза фасочна CoroMill Plura 2P341-1000-XA 1630, кут 45°, діам.10мм	GC1630
015	2	Круг шліфувальний Flexovit/Norton Quantum Q3SP, тип 1 (прямий профіль), характеристика 32A 46 K 5 V розмір 600×63×305 мм	Електрокорунд білий, зернистість 46, твердість К, керамічна зв'язка V),
020	2	Круг шліфувальний Norton Quantum Q3SP, тип 1, 32A 46 J 5 V, розмір 350×40×127 мм	Електрокорунд монокристалічний
025	2	Круг шліфувальний внутрішній Norton Quantum Q3SP, тип 6 32A 46 J 5 V, розмір 60×32×20 мм	монокристалічний електрокорунд

Перевірка та контроль розмірів деталі планшайба виконується вимірювальними інструментами, що наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Вимірювальний інструмент для контролю деталі планшайба

Номер		Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
Опер.	Перех.		
1	2	3	4
005	2, 3	Штангенциркуль Mitutoyo 530-119, діапазон 0–300 мм, точність 0,05 мм	ISO 13385-1:2022
	4, 5	Мікрометр гладкий Mitutoyo 103-177-10, діапазон 150–175 мм, точність 0,01 мм	ISO 3611:2022
	5	Кутомір універсальний Mitutoyo 187-901, діапазон 0–360°,	
	6	Штангенциркуль Mitutoyo 573-661 Нутромір індикаторний Mitutoyo 511-711, діапазон 50–150 мм, точність 0,01 мм	
	8	Штангенциркуль Mitutoyo 530-119, діапазон 0–300 мм, точність 0,05 мм	ISO 13385-1:2022
	9	Мікрометр гладкий Mitutoyo 103-178-10, діапазон 175–200 мм, відлік 0,01 мм	ISO 3611:2022
	10	Нутромір індикаторний Mitutoyo 511-711, діапазон 50–150 мм, точність 0,01 мм	
	11	Нутромір мікрометричний Mitutoyo 137-215, діапазон 50–100 мм, точність 0,001 мм Калібр-пробка Н8 $\varnothing 74,5$, Mahr 4410800 (прохідна — непрохідна) Кутомір універсальний Mitutoyo 187-901	ISO 3611:2020 ДСТУ 2015-92 ISO 23233:2015
	12	Штангенциркуль Mitutoyo 530-104, діапазон 0–150 мм, точність 0,05 мм Кутомір універсальний Mitutoyo 187-901	ISO 13385-1:2022
	13	Штангенциркуль Mitutoyo 530-104, діапазон 0–150 мм, точність 0,05 мм	ISO 13385-1:2022
	14	Калібр-пробка гладка $\varnothing 17$ Н12, Mahr 4410200 Шаблон позиційний спеціальний для контролю розташування 4 отворів Штангенциркуль Mitutoyo 530-119, діапазон 0–300 мм, точність 0,05 мм	ДСТУ 2015-92 ISO 13385-1:2022
	15	Калібр-пробка гладка $\varnothing 17$ Н12, Mahr 4410200 Штангенциркуль Mitutoyo 530-119, діапазон 0–300 мм, точність 0,05 мм	ISO 13385-1:2022

	16	Кутомір універсальний Mitutoyo 187-901 Штангенциркуль Mitutoyo 530-104, діапазон 0–150 мм, точність 0,05 мм	ISO 13385-1:2022
015	2	Мікрометр Mitutoyo 103-178-10, діапазон 175–200 мм, відлік 0,001 мм	ISO 3611:2022
020	2	Мікрометр гладкий Mitutoyo 103-137-10, діапазон 50–75 мм, відлік 0,001	ISO 3611:2022
025	2	Нутромір мікрометричний Mitutoyo 137- 215, діапазон 50–100 мм, відлік 0,001 мм Калібр-пробка Н8 ø75, Mahr 4410800	ISO 3611:2020 ДСТУ 2015-92

2.8 Розрахунок припусків та операційних розмірів

Розрахунок припусків та операційних розмірів за методикою Кована (методом автоматичного отримання розмірів) будується на основі послідовного аналізу технологічного маршруту від заготовки до готової деталі.

Розрахунок виконуємо для поверхні 3 зовнішньої циліндричної поверхні Ø110_{-0,054} Ra1,6.

Маршрут обробки поверхні складається з чорнового, напівчистового та чистового точіння, а також шліфування.

При виконанні даних переходів, деталі закріплюється в трикулачковому патроні, при цьому просторові відхилення будуть рівні:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{крив}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2} \quad (2.3)$$

$$\rho_{\text{крив}} = \Delta_{\text{крив}} \cdot L_k = 0,6 \cdot 50 = 30 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{30^2 + 115^2} = 120 \text{ мкм}$$

Залишкові відхилення, що існують після переходів механічної обробки:

$$\rho_{\text{зал}} = k_y \cdot \rho_d \quad (2.4)$$

де k_y – коефіцієнт уточнення форми

Просторові відхилення:

$$\rho_{\text{чорн}} = 0,2 \cdot 120 = 30 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{напівчист.}} = 0,1 \cdot 120 = 15 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{чист.}} = 0,04 \cdot 120 = 5 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{шліф}} = 0,02 \cdot 120 = 2 \text{ мкм}$$

Розрахунковий розмір:

$$d_{p \ i-1} = d_{p \ i} - 2z_{i \ min} \quad (2.5)$$

Для технологічних переходів визначаємо розрахункові припуски:

$$2z_{i \ min} = 2 \cdot \left(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \quad (2.6)$$

де $R_{z_{i-1}}$ – шорсткість поверхні на попередньому переході;

T_{i-1} – значення дефектного шару поверхні на попередньому переході;

ρ_{i-1} – просторові відхилення поверхні на попередньому переході;

ε_i - похибка базування.

Розрахунковий припуск при шліфуванні:

$$2z_{1 \ min} = 2 \cdot (10 + 15 + \sqrt{5^2}) = 0,6 \text{ мм}$$

Розрахунковий припуск при точінні чистовому:

$$2z_{2 \min} = 2 \cdot (25 + 30 + \sqrt{15^2}) = 1,6 \text{ мм}$$

Розрахунковий припуск при точінні напівчистовому:

$$2z_{3 \min} = 2 \cdot (60 + 50 + \sqrt{30^2}) = 2 \text{ мм}$$

Розрахунковий припуск при точінні чорновому:

$$2z_{4 \min} = 2 \cdot (150 + 250 + \sqrt{120^2}) = 3,8 \text{ мм}$$

Найменший граничний розмір:

$$d_{\min i} = d_{\max i} - \delta_i \quad (2.7)$$

Найбільше граничне відхилення:

$$2z_{\max i}^{\text{rp}} = d_{\max i-1} - d_{\min i} \quad (2.8)$$

$$2z_{\max 1}^{\text{rp}} = 118,4 - 114,146 = 4,254$$

$$2z_{\max 2}^{\text{rp}} = 114,2 - 112,146 = 2,054$$

$$2z_{\max 3}^{\text{rp}} = 112,2 - 110,546 = 1,654$$

$$2z_{\max 3}^{\text{rp}} = 110,6 - 109,946 = 0,654$$

Найменше граничне відхилення:

$$2z_{\min i}^{\text{rp}} = d_{\min i-1} - d_{\max i} \quad (2.9)$$

$$2z_{\min 1}^{\text{rp}} = 110,546 - 110 = 0,546$$

$$2z_{\min 2}^{\text{rp}} = 112,146 - 110,6 = 1,546$$

$$2z_{\min 3}^{\text{rp}} = 114,146 - 112,2 = 1,946$$

$$2z_{\min 4}^{\text{rp}} = 117,2 - 114,2 = 3$$

В таблицю 2.7 для зовнішньої циліндричної поверхні 3 зведено розраховані значення припусків та допусків.

Таблиця 2.7 – Розрахунок припусків на обробку зовнішньої циліндричної поверхні деталі планшайба

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мм	Граничний розмір, мм		Граничні відхилення припусків, мм	
	R_z	T	ρ	$2z_{\min}$	d_p	δ	$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2z_{\min}^{gp}$	$2z_{\max}^{gp}$
Заготовка	150	250	120	-	118	1,2	117,2	118,4	-	-
Точіння чорнове	50	50	30	3,8	114,2	0,54	114,146	114,2	3,0	4,254
Точіння напівчистове	25	30	15	2,0	112,2	0,22	112,146	112,2	1,946	2,054
Точіння чистове	10	15	5	1,6	110,6	0,087	110,546	110,6	1,546	1,654
Шліфування	3,2	5	2	0,6	110	0,054	109,946	110,0	0,546	0,654
Всього:									7,038	9,102

Виконуємо перевірку:

$$2z_{\max}^{gp} - 2z_{\min}^{gp} = \delta_{\text{попер}} - \delta_{\text{поточ}} \quad (2.10)$$

Взаємне розташування міжопераційних припусків та полів допусків для зовнішньої циліндричної поверхні 3 наочно проілюстровано у вигляді графічної схеми на рисунку 2.3. Величина припусків для інших поверхонь деталі планшайба була встановлена за допомогою табличних нормативних даних, а підсумкові результати цих розрахунків систематизовано та представлено в таблиці 2.8.

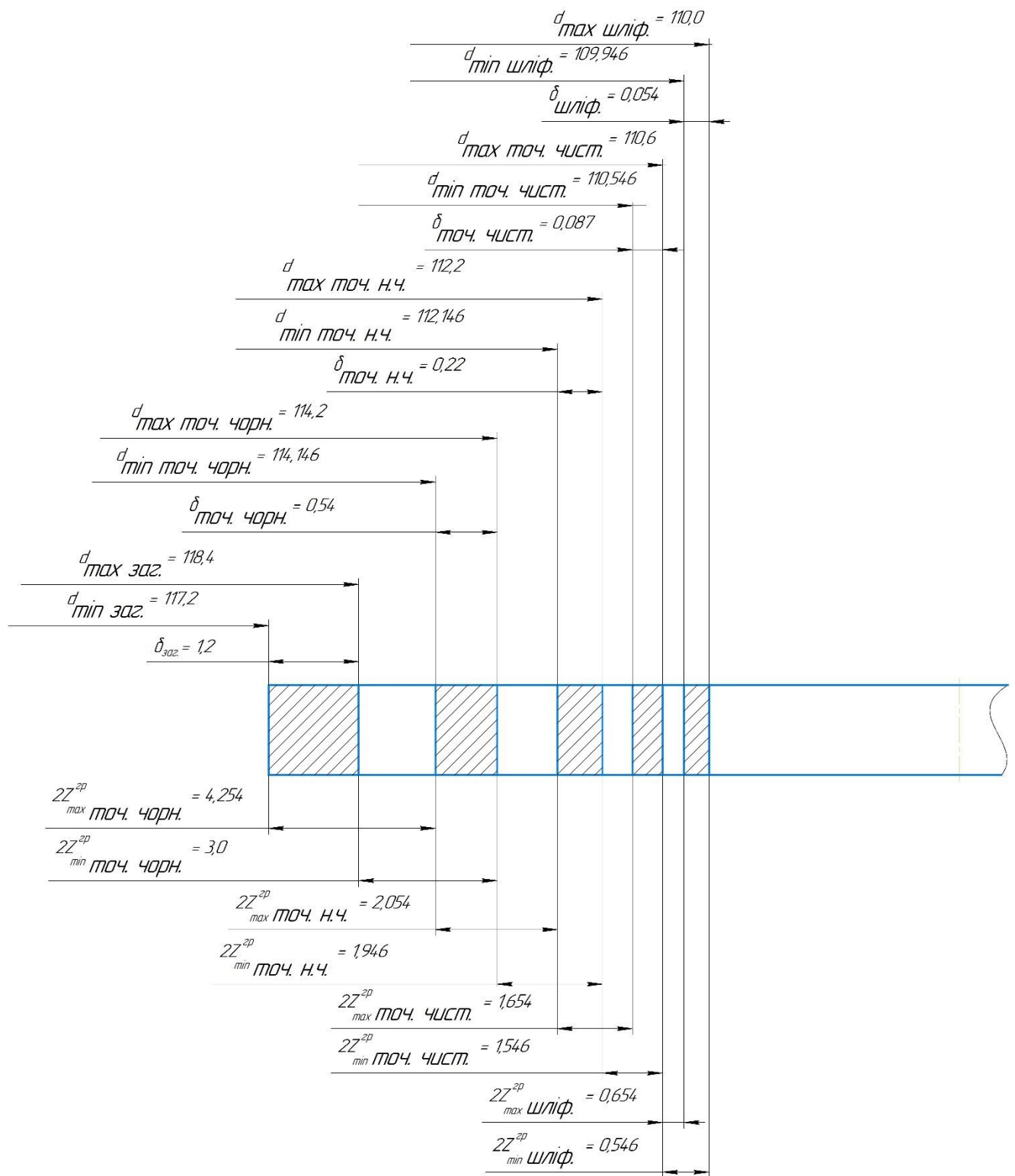


Рисунок 2.3 – Схема графічного розташування припусків і допусків для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 110_{-0,054}$

Таблиця 2.8 – Припуски на поверхні деталі планшайба

№ пов-ні	Найменування поверхні	Припуск $Z_{\min}$, мм	Технологічний допуск, мм
1	2	3	4
1, 8	Торцева	3	0,74
3	Зовнішня циліндрична	4	0,054
4	Канавка	4	0,3
5	Торцева	4	0,032
6	Зовнішня циліндрична	3	0,25
9	Паз	5	0,036
10	Паз	16	0,25
12	Внутрішня циліндрична	3	0,046
13	Внутрішня циліндрична	8,5	0,18
14	Внутрішня циліндрична	3	0,21

2.9 Розрахунок режимів різання

Режими різання є сукупністю параметрів, що визначають умови виконання обробки різанням: глибину різання t , подачу S та швидкість різання V . Правильне призначення режимів різання безпосередньо впливає на продуктивність обробки, стійкість ріжучого інструменту, якість обробленої поверхні та собівартість виготовлення деталі. Режими різання призначаються з урахуванням матеріалу заготовки, матеріалу ріжучої частини інструменту, геометрії інструменту, вимог до точності та шорсткості поверхні, а також технічних характеристик обладнання. Розрахунок виконується аналітичним методом для одного переходу токарної обробки та одного переходу фрезерної обробки.

Розрахунок виконуємо аналітичним методом для 5 переходу 005 токарної з ЧПУ операції – чистового точіння зовнішньої циліндричної поверхні. Інструмент – токарний прохідний різець із пластиною з твердого сплаву.

Вихідні дані для розрахунку:

- номінальний діаметр після обробки: $d = 110,6$ мм;
- довжина обробки: $l = 35,1$ мм;
- припуск на чистову обробку (на сторону): $t = 0,8$ мм.

Глибина різання t приймається рівною припуску на чистову обробку за один прохід ($i = 1$):

$$t = 0,8 \text{ мм}$$

Для чистового точіння сталей твердосплавним інструментом з метою досягнення заданої шорсткості $R_a \ 2,5$ мкм, за нормативними таблицями приймаємо подачу:

$$s = 0,2 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v \quad (2.11)$$

Де $C_v = 350$; $x = 0,15$; $y = 0,35$; $m = 0,20$ коефіцієнти для обробки сталі;

$T = 60$ хв – прийнята стійкість змінної пластини.

$K_v = 1$ – поправочний коефіцієнт

$$V = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 0,6^{0,15} \cdot 0,2^{0,35}} \cdot 1 = 294,1 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.12)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 294,1}{3,14 \cdot 110,6} = 847,2 \text{ об/хв}$$

Коригуємо значення за паспортними даними верстата Doosan PUMA 2100 SY, приймаємо:

$$n = 850 \text{ об/хв}$$

Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 110,6 \cdot 850}{1000} = 295,1 \text{ м/хв}$$

Основний час:

$$t_o = \frac{l + l_1}{n \cdot s} \cdot i \quad (2.13)$$

$$t_o = \frac{35,1 + 2}{850 \cdot 0,2} \cdot 1 = 0,224 \text{ хв}$$

Виконуємо розрахунок аналітичним методом для 12 переходу 005 токарної з ЧПУ операції – послідовного фрезерування 4 пазів. Інструмент – кінцева фреза.

Вихідні дані для розрахунку:

- глибина фрезерування (ширина паза) $B = 10 \text{ мм}$;
- глибина різання осьова (товщина фланця) $t = 8 \text{ мм}$;
- кількість оброблюваних пазів 4 шт.

Подачу на зуб фрези визначаємо за довідником для фрезерування пазів кінцевими фрезами. Приймаємо:

$$s_z = 0,04 \text{ мм/зуб}$$

Подача на один оберт фрези:

$$s = s_z \cdot z \quad (2.14)$$

$$s = 0,04 \cdot 4 = 0,16 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s^y \cdot B^u} \cdot K_v \quad (2.15)$$

де $C_v = 48$; $q = 0,25$; $x = 0,11$; $y = 0,2$; $u = 0,2$; $m = 0,20$ коефіцієнти для обробки сталі;

$T = 45$ хв – прийнята стійкість інструменту;

$K_v = 1$ – поправочний коефіцієнт .

$$V = \frac{48 \cdot 10^{0,25}}{45^{0,2} \cdot 8^{0,1} \cdot 0,2^{0,2} \cdot 10^{0,2}} \cdot 1 = 38,9 \text{ м/хв}$$

Частота обертання фрези:

$$n = \frac{1000 \cdot 38,9}{3,14 \cdot 10} = 1237,6 \text{ об/хв}$$

Коригуємо значення за паспортними даними верстата, приймаємо:

$$n = 1240 \text{ об/хв}$$

Хвилинна подача:

$$s_{\text{хв}} = s_z \cdot z \cdot n \quad (2.16)$$

$$s_{\text{хв}} = 0,04 \cdot 4 \cdot 1240 = 198 \text{ мм/хв}$$

Основний час:

$$t_o = \frac{54 + 5}{198,4} \cdot 4 = 1,189 \text{ хв}$$

На всі інші переходи та операції механічної обробки призначаємо режими різання за довідниками та заносимо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Режими різання при обробці деталі планшайба

Номер		t, мм	S _{мм/об} S _{мм/хв}	V м/хв	n, хв. ⁻¹	t _о , хв
опе- рації	пере- ходу					
1	2	3	4	5	6	7
005	2	2	0,4	180	315	6,7
	3	2	0,45	160	450	
	4	1	0,3	210	600	
	5	1	0,2	295	850	
	6	1	0,1	100	310	
	8	2	0.40	160	280	
	9	2	0.25	220	385	
	10	1	0,35	150	650	
	11	2	0,18	220	940	
	12	1	198,4	39	1240	
	13	1	(240)	45	900	
	14	1	0.12	35	650	
	15	1	(180)	50	800	
	16	1	(320)	60	1500	
015	2	1	(240)	45	160	1,20
020	2	1	(3000)	35	45	1,10
025	2	1	(800)	25	200	1,40

2.10 Технічне нормування операцій

Метою технічного нормування є визначення штучно-калькуляційного часу ($T_{шт-к}$) на виконання кожної операції, що необхідно для розрахунку завантаження обладнання, визначення чисельності робітників та калькулювання собівартості обробки деталей.

Штучно-калькуляційний час обчислюється за структурованою формулою:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{N} \quad (2.17)$$

Штучний час ($T_{шт}$) визначається як сума його складових елементів:

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{обсл} + T_{відп} \quad (2.18)$$

де T_o – основний час, хв;

T_d – допоміжний час, хв;

$T_{обсл}$ – час обслуговування робочого місця, хв;

$T_{відп}$ – час на відпочинок та особисті потреби, хв.

Допоміжний час включає час на встановлення та зняття деталі, керування верстатом, підведення та відведення інструменту, вимірювання. Для токарної операції на верстаті з ЧПУ з патронним затиском при масі деталі до 8 кг:

$$T_d = T_{уст} + T_{упр} + T_{вим} \quad (2.19)$$

$$T_d = 0,54 + 0,15 + 0,8 = 1,49 \text{ хв}$$

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок приймається у відсотках від оперативного часу:

$$T_{\text{обсл}} + T_{\text{відп}} = \frac{(T_o + T_d) \cdot \alpha}{100} \quad (2.20)$$

де $\alpha = 8\%$ - для верстатів з ЧПУ при середньосерійному виробництві.

Загальний штучний час на виготовлення однієї деталі (без термічної операції, що нормується партійно):

$$\Sigma T_{\text{шт}} = 8,85 + 2,0 + 1,84 + 2,21 = 14,9 \text{ хв}$$

Таблиця 2.10 – Норми часу на обробку деталі планшайба

№ та назва операції	T_o , хв	T_d , хв	$T_{\text{обс+}} + T_{\text{відп}}$, хв	$T_{\text{шт}}$, хв	$T_{\text{п-з}}$, хв	$T_{\text{шт-к}}$, хв
005 Токарна з ЧПУ	6,70	1,49	0,66	8,85	30	8,98
015 Круглошліфувальна	1,20	0,65	0,15	2,00	15	2,06
020 Плоскошліфувальна	1,10	0,60	0,14	1,84	12	1,89
025 Шліфувальна	1,40	0,65	0,16	2,21	15	2,27

Загальний штучно-калькуляційний час:

$$\Sigma T_{\text{шт-к}} = 8,98 + 2,06 + 1,89 + 2,27 = 15,2 \text{ хв}$$

Отримані значення норм часу є основою для розрахунку завантаження обладнання, визначення кількості верстатів та планування виробничої ділянки при середньосерійному виробництві планшайби.

ВИСНОВКИ

Результатом виконаної роботи є розроблений технологічний процес механічної обробки деталі планшайба. В рамках роботи здійснено оцінку точності та технологічності конструкції деталі, досліджено матеріал деталі та його хімічний склад, обґрунтовано вибір методу отримання заготовки. Сформовано маршрути обробки окремих поверхонь із виконанням аналітичного розрахунку припусків, а також розроблено загальний маршрут виготовлення деталі та визначено зміст кожної технологічної операції.

Технологія обробки планшайби налічує 4 операції механічної обробки та одну операцію термічну. На 005 токарній з ЧПУ операції, на якій застосовується токарний з ЧПУ верстат моделі Doosan PUMA 2100 SY, що оснащений контршпінделем та приводним інструментом деталь обробляється за два установи. Заготовка затискається в основному шпинделі верстата та виконується обробка зовнішньої циліндричної поверхні, торців, точіння канавки, а також зняття фаски $2 \times 45^\circ$ на зовнішній циліндричній поверхні.

Після завершення обробки з однієї сторони деталь автоматично передається в контршпіндель верстата без розтискання та переустановлення вручну. Контршпіндель підхоплює деталь, утримуючи її за вже оброблені поверхні, що забезпечує точне базування та виключає похибки переустанову. З протилежної сторони виконується обробка другого торця, зовнішньої циліндричної поверхні, обробка отвору. Завдяки можливості приводного інструменту на цьому ж установі виконується фрезерування чотирьох радіальних пазів та фрезерування отворів методом спіральної інтерполяції.

Застосування верстата з контршпінделем та приводним інструментом дозволяє виконати всю чорнову механічну обробку деталі за одну операцію з двома автоматичними установами, що забезпечує: скорочення кількості операцій і переустановів; підвищення точності взаємного розташування поверхонь, оброблених з різних сторін; зменшення часу на транспортування та

очікування між операціями; зниження загальної трудомісткості виготовлення деталі.

На 010 операції виконується термічна обробка деталі.

На 015 круглошліфувальній операції виконується шліфування зовнішньої циліндричної поверхні. Шліфування виконується після термічної обробки з метою відновлення точності розміру та шорсткості поверхні, що могли погіршитись внаслідок жолоблення та утворення оксидної плівки при гартуванні.

На 020 плоскошліфувальній операції виконується шліфування торця, яке дозволяє забезпечити необхідну площинність і шорсткість після термічної обробки, а також відновити точність розмірів по довжині.

На 025 шліфувальній операції виконується обробка отвору.

Розроблений технологічний процес є раціональним для умов середньосерійного виробництва. Концентрація максимальної кількості переходів в 005 токарній з ЧПУ операції забезпечує високу точність взаємного розташування поверхонь та знижує трудомісткість виготовлення. Послідовність шліфувальних операцій після термічної обробки гарантує досягнення необхідних параметрів точності та шорсткості на відповідальних поверхнях деталі.

Розраховано режими різання та норми часу по операціях механічної обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антонюк В. С. Теплові явища при обробці матеріалів різанням : навч. посіб. / В. С. Антонюк, С. Ан. Клименко, С. А. Клименко. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 156 с.
2. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання : метод. вказ. до викон. лаб. робіт / А. М. Артюхов, А. Р. Апаракін // М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. технології машинобудування. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. 52 с.
3. Глоба О. В. Теорія різання : підручник / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.
4. Грабченко А. І. Розрахунок найвигідніших режимів різання при точінні : навч. посіб. / А. І. Грабченко, М. Д. Узунян, Н. В. Зубкова та ін. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – 88 с.
5. Дідик Р. П. Розрахункові операції режимів механічної обробки матеріалів: точіння, свердління, зенкерування, розгортання : навч. посіб. / Р. П. Дідик, В. В. Зіль, С. Т. Пацера. – Дніпропетровськ : НГУ, 2012. – 104 с.
6. ДСТУ 2015-92. Калібри гладкі для циліндричних отворів і валів. – Київ : Держстандарт України, 1993. – 12 с. (Введено в дію 1994).
7. ДСТУ 4738:2007 (ГОСТ 2590-2006). Прокат сортовий сталевий гарячекатаний круглий. Сортамент. – Київ : Держспоживстандарт України, 2008. – 14 с.
8. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 17 с.
9. Залога В. О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні : навч. посіб. / В. О. Залога, В. Д. Гончаров, О. О. Залога ; за заг. ред. В. О. Залоги. – Суми : СумДУ, 2013. – 371 с.
10. 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.

11. Кукляк М. Л. Металорізальні інструменти. Проектування / М. Л. Кукляк, І. С. Афтаназів, І. І. Юрчишин. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2003. – 556 с.

12. Мазур М. П. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога, Ю. К. Новосьолов, Ф. Я. Якубов ; під заг. ред. М. П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2011. – 422 с.

13. Мельничук П. П. Металорізальні інструменти. Проектування та розрахунок : підручник / П. П. Мельничук, В. М. Ночвай, Я. Ю. Гаращенко та ін. ; за ред. П. П. Мельничука. – Житомир : ЖДТУ, 2012. – 544 с.

14. Металорізальні інструменти. Проектування та розрахунок : підручник / П. П. Мельничук та ін.; за ред. П. П. Мельничука. Житомир: ЖДТУ, 2012. 544 с.

15. Методичні рекомендації до виконання самостійної роботи з початкової дисципліни «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання» для здобувачів вищої освіти галузі знань 13 «Механічна інженерія» [уклад. : А. М. Артюхов, В. А. Мажара, В. М. Селєхова] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки, – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. – 114 с.

16. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур та ін. ; за ред. М. П. Мазура. Хмельницький: Новий Світ-2000, 422 с.

17. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навч.-метод. посіб. / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Р. Я. Лещук. – Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

18. Равська Н. С. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці : навч. посіб. / Н. С. Равська, П. П. Мельничук, О. В. Мамлюк та ін. – Київ : СКД-Друк, 2013. – 215 с.

19. Сілкін В. П. Різальний інструмент. Курсове проектування : навч. посіб. / В. П. Сілкін, В. Ю. Солод. – Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012. – 329 с.

20. Солодкий В. І. Проектування та технологічне забезпечення інструментальних систем інженерного дизайну. Ч. І : навч. посіб. / В. І. Солодкий, Ю. І. Адаменко, В. В. Вовк, Н. В. Мініцька. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 225 с.

21. Технологія машинобудування: методичні рекомендації до вивчення дисципліни для студентів інженерно-хімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» / Уклад. С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв, В.К. Фролов. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 92 с.

22. Технологія обробки типових деталей та складання машин : метод. рекомендації до виконання лаб. роб. : для студ. спец. 131 - Прикладна механіка, 133 - Галузеве машинобудування / [уклад. : О. І. Скібінський, Я. О. Скібінський, В. М. Селехова] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. - Кропивницький : ЦНТУ, 2025. - 124 с.