

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: ***«Верстатне та інструментальне забезпечення обробки деталі
«Корпус редуктора КСБВ-11.021.444»***

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МВс-11
спеціальності _____

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

(підпис) **Жолобіцький В.Я.**
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(підпис) **Скляр Р.А.**
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____
(підпис) **Кобельник В.Р.**
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____
(підпис) **Кобельник В.Р.**
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) _____
(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2022

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Кобельник В.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2022 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 – галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

студенту Жолобіцькому Володимирі Ярославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Верстатне та інструментальне забезпечення обробки деталі
«Корпус редуктора КСБВ-11.021.444»

Керівник роботи Склярів Руслан Анатолійович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 19 » січня 2022 року № 4/7-11

2. Термін подання студентом завершеної роботи 17 червня 2022

3. Вихідні дані до роботи креслення деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444»,
технологічний процес механічної обробки; паспорт металорізального верстата мод. 2A459AФ4

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
аналіз завдання на проектування; огляд літератури по тематичі роботи; аналіз базового
технологічного процесу механічної обробки деталі; розробка кінематичної схеми верстата на одну
із технологічних операцій; конструювання коробки швидкостей верстату;
розробка питань з Охорони Праці та Безпеки Життєдіяльності

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Креслення деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» – 1 аркуш формату А1;
Наладка інструментальна на одну із операцій – 1 аркуш формату А1;
Кінематична схема верстату – 1 аркуш формату А1;
Складальне креслення коробки швидкостей верстата – 1 аркуш формату А1;
Складальне креслення пристрою автоматичної заміни інструментів – 1 аркуш формату А0;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	к.т.н., ас. Сеник А.А.		
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Кобельник В.Р.		

7. Дата видачі завдання 21 січня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Жолобіцький В.Я.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Скляр Р.А.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Верстатне та інструментальне забезпечення обробки деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» // Кваліфікаційна робота бакалавра. Жолобіцький Володимир Ярославович. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет інженерії машин, споруд та технологій, кафедра конструювання верстатів інструментів та машин, група МВс-41.: ТНТУ, 2022.

Ключові слова: корпус редуктора, механічна обробка, режими різання, коробка швидкостей, пристрій автоматичної заміни інструментів.

В дипломній роботі бакалавра приведено технологічні розрахунки на технологічну операцію «Комплексна з ЧПК» для деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444». Розроблено кінематичну схему верстата. Здійснено конструювання приводу головного руху верстату. вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Annotation

Zholobitskyi V.Ya. Tools and instruments for the part «Reduction gear housing КСБВ-11.021.444» processing. Thesis for the bachelor's degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2022.

Key words: reduction gear housing, machining, cutting modes, gearbox, automatic tool change device

In the bachelor's thesis the technological calculations for the technological operation "Complex with CNC" for the part " Reduction gear housing КСБВ - 11.021.444" are given. The kinematic scheme of the machine is developed. The design of the drive of the main movement of the machine is carried out. resolved issues of labor protection and life safety.

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Анотація</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		<i>Жолобіцький В.Я.</i>						
Перевір.		<i>Склярів Р.А.</i>					4	1
Реценз.						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВс-41, м.Тернопіль</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		<i>Кодельник В.Р.</i>						

Зміст

Вступ	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Аналіз завдання	8
1.2 Характеристика об'єкту виробництва	9
1.3 Огляд літератури	11
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	13
2.1 Запропонований технологічний процес та вибране обладнання	13
2.2 Розрахунок режимів різання для технологічної операції	14
2.3 Верстатне забезпечення технологічної операції	19
2.4 Інструментальне забезпечення технологічної операції	21
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	24
3.1 Кінематичний розрахунок верстата	24
3.1.1 Обґрунтування технічних характеристик верстата	24
3.1.2 Розрахунок і вибір електродвигуна	29
3.1.3 Визначення діапазону регулювання приводу та побудова кінематичної схеми коробки швидкостей	30
3.2 Конструювання вузла верстату	36
3.2.1 Розрахунок клинопасової передачі	36
3.2.2 Розрахунок зубчастих передач на міцність	41
3.2.3 Розрахунок валів на міцність	44
3.3 Використання пристроїв автоматичної заміни інструментів	46
3.3.1 Загальна характеристика пристроїв автоматичної зміни інструменту	46
3.3.2 Розрахунок невірноваженості пристрою для автоматичної зміни інструмента	47
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	49
ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	55
ДОДАТКИ	58

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЗМІСТ</i>		
Розроб.		Жолобський В.Я.					
Перевір.		Склярів Р.А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Кодельник В.Р.					
Затверд.		Кодельник В.Р.			<div>Літ.</div> <div>Арк.</div> <div>Аркушів</div> <div>5</div> <div>1</div> <div>ТНТУ ім. І. Пулюя</div> <div>гр. МВС-41, м. Тернопіль</div>		

ВСТУП

Розвиток науково-технічного прогресу передбачає створення нового досконалого високопродуктивного обладнання. При розробці такого обладнання слід застосовувати останні досягнення науки та техніки, це в свою чергу спонукає до підвищення теоретичного та практичного рівня конструкторів, які займаються їх проектуванням.

На сьогоднішній день важко уявити проектування металорізальних верстатів, та й різноманітного технологічного обладнання без застосування сучасних CAD-CAM систем [27].

Застосовуване сучасне технологічне обладнання дозволяє досягнути значного підвищення продуктивності праці. В кризових умовах, в яких зараз перебуває Україна, саме розвинуте машинобудування може стати запорукою нашої економічної незалежності та сприятиме підвищенню обороноздатності країни.

При проектуванні металорізальних верстатів важливо не просто розробити обладнання з технічними характеристиками, які відповідають сучасному рівню галузі, воно повинно мати навіть кращі параметри. Саме тому на ранніх етапах проектування доцільним є використання процедури прогнозування [12, 23].

Конструкції створюваного металообробного обладнання повинні бути перспективними, вони повинні відповідати прогнозованим вимогам завтрашнього дня. Воно повинно не тільки мати запас по досконалості, але й характеризуватися новизною конструкторських рішень [11].

Не менш важливим чинником є розроблення технологічного процесу (ТП) виготовлення деталей на сучасному металообробному обладнанні. Адже при проектуванні ТП необхідно забезпечити потрібну точність обробки.

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розроб.		Жолобський В.Я.					
Перевір.		Склярів Р.А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Кодельник В.Р.					
Затверд.		Кодельник В.Р.					
					Лит.	Арк.	Аркушів
						6	2
					ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВС-41, м. Тернопіль		

Новітнє металообробне обладнання передбачає обробку деталей на високих швидкостях, а також використання сучасних CAD/CAM систем при технічній та технологічній підготовці виробництва.

На сьогоднішній день використання новітніх інформаційних технологій стає об'єктивною необхідністю та однією із умов до створення конкурентоспроможного виробництва.

Якщо раніше механізація та автоматизація технологічних процесів ставили за мету звільнити працівника від важкої фізичної праці та монотонних процесів, то сучасні системи полегшують, крім фізичної, розумову працю робітників.

Особливістю сучасного прогресивного металорізального обладнання є те, що воно здатне забезпечити високу точність оброблених деталей. На такому обладнанні можуть застосовуватись пристосування, які допускають похибку обробки, що вимірюється в долях мікрометрів. Саме тому на сьогоднішній день при обробці складних корпусних деталей доцільним є використання багатоопераційних верстатів та верстатів з ЧПК.

Структура і обсяг роботи. Кваліфікаційна робота бакалавра складається із вступу, чотирьох розділів і основних висновків, які розміщені на 55 сторінках, 13 рисунків та 15 таблиць, списку літературних джерел з 26 найменувань на 3 сторінках і 4 додатків на 10 сторінках, всього 67 сторінок.

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз завдання

Вихідними даними на виконання кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавр є креслення деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» та програма випуску деталі, яка становить 2200 штук на рік.

Величина програми випуску деталей є характерною для серійного виробництва (поточної форми). Згідно проведеного аналізу креслення заготовки деталей «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» отримується литвом у кокіль.

Аналіз технологічної документації, а саме базового ТП обробки деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» показав, що для її виготовлення необхідно забезпечити виконання 8 технологічних операцій, для яких передбачено застосування металорізальних верстатів різних груп, їх перелік приведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Операції та обладнання яке використовується згідно базового ТП

№ операції	Найменування операції	Використовуване обладнання
005	Вертикально-фрезерна	Вертикально-фрезерний верстат 6М12П
010	Горизонтально-свердлильна	Горизонтально-розточний верстат 2611Ф2
015	Вертикально-фрезерна	Вертикально-фрезерний верстат 6М12П
020	Горизонтально-розточна	Горизонтально-розточний верстат 2611Ф2
025	Алмазно-розточна	Алмазно-розточний верстат 2А725
030	Радіально-свердлильна	Радіально-свердлильний верстат 2А554
035	Радіально-свердлильна	Радіально-свердлильний верстат 2А554
040	Радіально-свердлильна	Радіально-свердлильний верстат 2А554

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Аналітична частина</i>		
Розроб.		<i>Жолобський В.Я.</i>					
Перевір.		<i>Склярів Р.А.</i>					
Реценз.							
Н. Контр.		<i>Кодельник В.Р.</i>					
Затверд.		<i>Кодельник В.Р.</i>					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						<i>8</i>	<i>5</i>
					<i>ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВс-41, м. Тернопіль</i>		

Для обробки деталі ми будемо використовувати металорізальний верстат мод. 2А459АФ4 (паспорт якого входить до виданого завдання).

Аналіз показав, що деталь «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» є складовим елементом центрального редуктора приводу викопуючого пристрою, який використовується в конструкції коренезбиральної машини МКП6. Даний редуктор забезпечує величину передаточного відношення $i = 2$, він служить для передачі обертів від двигуна машини до трансмісії викопуючого пристрою. Редуктор кріпиться до рами викопуючого пристрою своєю нижньою поверхнею. В корпусі повинні розміщуватися ведучих вал з конічною шестернею та ведений вал-шестерня. Обидва вали обертаються на кулькових підшипниках.

Для корпусу використовують сплав АЛ14В, його маса становить 11 кг. Вибір матеріалу для «Корпусу редуктора КСБВ-11.021.444» обумовлений метою зменшення загальної маси як редуктора так і викопуючого пристрою, а також для полегшення його механічної обробки.

1.2 Характеристика об'єкту виробництва

Як зазначалось вище для деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» використовують сплав АЛ14В [10], його хімічний склад та механічні властивості приведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі

Марка	Вміст елементів в %				
АЛ14В	мідь	марганець	магній	кремній	алюміній
	1,5-3,0	0,2-0,6	0,2-0,6	6,8-8,0	решта
Марка	Границя міцності на розтяг, кг/мм		Відносне видовження, %		Твердість по Брінелю, НВ
АЛ14В	13-24		0,5		70-85

Як відомо, матеріал АЛ14В, з якого виготовляється наша деталь, є технологічним з точки зору виготовлення та обробки, але є задовільним, якщо розглядати його з позицій вартості (відноситься до кольорових сплавів). При цьому даний матеріал є достатньо поширеним.

Стосовно геометричної форми, то деталь «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» є пустотілим виробом, до складу якого входять площини, отвори, бобишки та приливи. Частина поверхонь не передбачає наступної механічної обробки. Поверхні які повинні оброблятися мають просту геометричну форму, є певні особливості щодо базування заготовки та її закріплення у верстатних пристосуваннях.

На рис. 1.1. приведено загальний вигляд деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» та позначено основні базові та оброблювані поверхні.

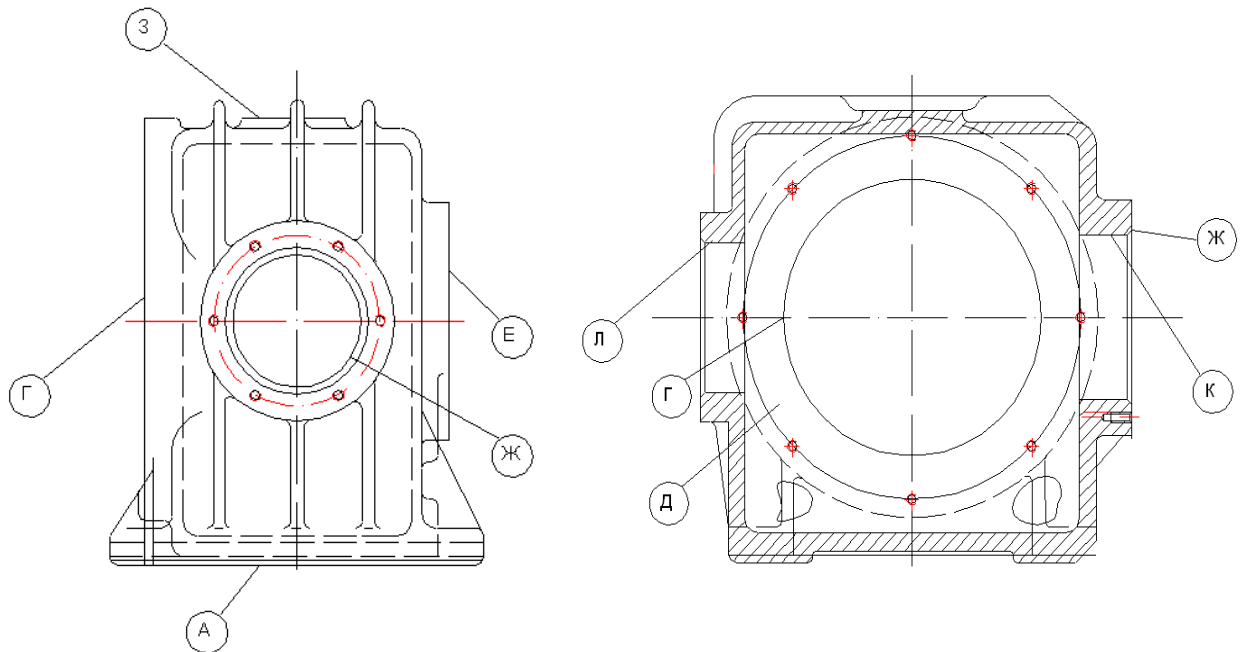


Рис. 1.1. Ескіз деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» з поверхнями які підлягають обробці

Згідно базового ТП технологічна та вимірювальна бази не завжди співпадають, тому має місце похибка базування.

При обробці заготовки не витримується принцип єдності і суміщення баз, але це не має вирішального впливу на точність готової деталі, оскільки при її обробці передбачено принцип постійності технологічних баз. Згідно базового ТП

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

спочатку відбувається формування чистової бази, відносно якої в подальшому відбувається обробка в наступних операціях.

Стосовно зручності встановлення, закріплення деталі на верстаті, контролю її розмірів – вона є задовільною з точки зору технологічності.

Аналіз деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» показав, що він містить ряд поверхонь, до яких висуваються підвищені вимоги до точності розмірів, форми поверхонь та їх взаємного розміщення. Це поверхні $\varnothing 100$ Н7, $\varnothing 128$ Н8, співвісність цих поверхонь, а також перпендикулярність осі цих поверхонь до поверхні $\varnothing 230$.

Тобто в цілому деталь «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» є технологічною.

1.3 Огляд літератури

В галузі механічної обробки металів різанням за останні роки відбулися суттєві зміни. При виготовленні деталей класу корпус широко використовуються багатоцільові верстати з ЧПК, застосовуються сучасні різальні інструменти (на основі нових інструментальних матеріалів), а також різноманітні роботизовані технологічні комплекси.

Сучасні багатоцільові верстати стають більш функціональними, вони поєднують у собі можливості верстатів з ЧПК (токарних, фрезерних та свердлильних). В них відбувається поєднання 5-ти координатної обробки [3] з процесом автоматичної заміни інструменту. Дане обладнання дозволяє досягнути високої технологічної гнучкості та надійності, їх можна застосовувати як для одиничного, так і масового виробництва [7].

Однією із особливостей багатоцільових верстатів є те, що встановлення та закріплення заготовки повинно забезпечувати можливість її обробки з усіх сторін, тобто повинен забезпечуватися вільний доступ інструментів до поверхонь які обробляються.

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Обробка корпусних деталей передбачає формування основних отворів, а саме гладких отворів, що не містять уступів та обробка яких проводиться з однієї сторони деталі. На багатоцільових верстатах широко застосовуються різноманітні розточувальні оправки, борштанги, головки. Перспективним при цьому є використання багатолезового оснащення з кінематичними міжінструментальними зв'язками [15, 16, 17].

На багатоцільових верстатах доцільно використовувати спеціальний комбінований інструмент, який дозволить забезпечити більшу продуктивність праці, а відповідно, скоротити час обробки деталі [4].

Для того щоб підвищити ефективність металообробного обладнання необхідно шукати шляхи та методи вдосконалення їх механізмів. На сьогоднішній день перспективною є розробка механізмів в яких застосовуються паралельні кінематичні зв'язки. При обробці корпусних деталей все частіше застосовують верстатні системи з паралельною кінематикою [11, 13, 22].

Обладнання яке може застосовуватися для обробки корпусних деталей повинно бути гнучким, мати можливість швидкого переналагодження. Практика показує, що в останні роки на підприємствах переважно застосовують поточковий, середньосерійний тип виробництва, при якому необхідно забезпечити обробку деталей невеликими партіями. Гнучкість багатоцільових верстатів визначається як особливістю власної конструкції, так і в певній мірі залежить від гнучкості технологічного оснащення.

Одним із компонентів багатоцільових верстатів є пристрої автоматичної заміни інструментів, їх основне призначення: розмістити інструмент на верстаті; здійснити підготовчий рух по переведенню інструменту в позицію очікування; провести заміну інструменту; повернути використаний інструмент в інструментальний магазин [21]. Розмір інструментального магазину повинен містити достатню кількість інструменту щоб забезпечити обробку максимальної кількості поверхонь оброблюваної деталі.

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Запропонований технологічний процес та вибране обладнання

Провівши аналіз базового ТП було прийнято рішення застосувати високопродуктивне обладнання, а саме багатоцільовий верстат з ЧПК та спеціальний агрегатний верстат. Пропонований ТП приведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. ТП обробки деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444»

Номер операції	Назва операції (переходу)	Оброблювані поверхні	Базові поверхні	Назва обладнання	Схема базування
005	Комплексна з ЧПК 1. Фрезерувати поверхню 2. Центрувати 4 отвори 3. Свердлити 4 отвори	А Б Б	Е	2А459АФ4	
010	Комплексна з ЧПК 1. Фрезерувати 2. Фрезерувати 3. Фрезерувати 4. Фрезерувати 5. Попередня розточка отвору 6. Розточити фаску 7. Розточити отвір 8. Попередня розточка отвору 9. Розточити фаску 10. Розточити отвір 11. Попередня розточка отвору 12. Розточити фаску 13. Розточити отвір 14. Розточити фаску 15. Фрезерувати бобишку 4 отв.	Г Д Е В Ж Ж Ж З З З К К К М Б	А, Б	2А459АФ4	
015	Агрегатна 1. Свердлити 6 отворів Свердлити 2 отвори Свердлити 8 отворів 2. Свердлити 1 отвір Свердлити 6 отворів Свердлити 3 отвори 3. Нарізати різь в 6 отворах Нарізати різь в 2 отворах Нарізати різь в 8 отворах 4. Нарізати різь в 1 отворі Нарізати різь в 6 отворах Нарізати різь в 3 отворах 5. Цекувати 2 отвори Цекувати 1 отвір	Р С У Л П Т Р С У Л П Т С Л	А, Б	3ХА4621	

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Технологічний розділ</i>		
Розроб.		Жолоб'цький В.Я.					
Перевір.		Склярів Р.А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Кодельник В.Р.					
Затверд.		Кодельник В.Р.			<div>Лит.</div> <div>Арк.</div> <div>Аркуші</div> <div>13</div> <div>11</div> <div>ТНТУ ім. І. Пулюя</div> <div>гр. МВС-41, м. Тернопіль</div>		

2.2 Розрахунок режимів різання для технологічної операції

Проведемо розрахунок режимів різання для операції 005 Комплексна з ЧПК. При цьому розрахунки проведемо як аналітичним способом, так і за нормативними даними.

Аналітичний спосіб застосуємо для розрахунку режимів різання при свердління отворів Ø18 мм, при цьому скористаємось методикою, яка приведена в [5, 19, 26].

Вихідними даними для розрахунку є дані про різальний інструмент, а саме: свердло Ø18, 2301-0061, ГОСТ 10903-77, матеріал ріжучої частини Р6М5. Даний інструмент призначений для свердління на глибину 20 мм на прохід.

Оскільки процес свердління буде здійснюватися без обмежуючих факторів, то для свердла вибираємо подачу, яка є максимально допустимою по міцності [26, с. 277, табл. 25].

$$S = 0.2 \text{ мм/об.}$$

Для розрахунку швидкості різання скористаємось виразом [26, с. 276]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v; \text{ м/хв} \quad (2.1)$$

де $C_v = 36.3$; $q = 0.25$; $y = 0.55$; [26, табл. 28-30];

$m = 0.125$; $T = 60 \text{ хв.}$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv} \quad (2.2)$$

де $K_{mv} = 1.0$ – коефіцієнт, що враховує оброблювальний матеріал, його обираємо згідно даних [26, табл. 1-4];

$K_{uv} = 1.2$ – коефіцієнт, що враховує матеріал з якого виготовлена ріжуча частина інструменту [26, табл. 6];

$K_{lv} = 1$ – коефіцієнт, що враховує, яка глибина свердління [26, табл. 31].

$$K_v = 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,2$$

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

$$V = \frac{36,3 \cdot 0,018^{0,25}}{60^{0,125} \cdot 0,2^{0,55}} \cdot 1,2 = 23,16 \text{ м/хв}$$

Наступним етапом є визначення частоти обертання:

$$n = \frac{V}{\pi \cdot D} \quad (2.3)$$

$$n = \frac{23,16}{3,14 \cdot 0,018} = 409,16 \text{ об/хв}$$

Виходячи з паспортних даних верстату на якому буде здійснюватися обробка, обираємо найближче значення із чисел обертів.

Так для верстату 2А459Ф4 найближчим є $n = 400 \text{ об/хв}$, його і приймаємо для подальших розрахунків.

Після цього слід уточнити швидкість різання:

$$V = \pi \cdot n \cdot D \quad (2.4)$$

$$V = 3,14 \cdot 400 \cdot 0,018 = 23 \text{ м/хв}$$

Проведемо розрахунок значення крутного моменту, яке необхідно забезпечити при свердлінні [20, с. 277]:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot K^p \quad (2.5)$$

де $C_m = 0.005$; $q = 2.0$; $y = 0.8$ [26, с. 282, табл. 32]

$K^p = K_{мр}$ - коефіцієнт, що дозволяє врахувати фактичні умови обробки, він залежить тільки від матеріалу заготовки $K_{мр} = 1$ [26, табл. 10].

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,005 \cdot 18^2 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 1,0 = 4,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Здійснимо розрахунок осьової сили, вона визначається [26, с. 277]:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K^p \quad (2.6)$$

де $C_p = 9.8$; $q = 1$; $y = 0.7$ [26, с. 281, табл. 32];

$K^p = 1$ [26, табл. 10];

$$P_0 = 10 \cdot 9.8 \cdot 18^{1.0} \cdot 0.2^{0.7} \cdot 1 = 571.8 \text{ Н}$$

Для визначення потужності різання скористаємось виразом [26, с. 280]:

$$N_e = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9750} \quad (2.7)$$

$$N_e = \frac{4.5 \cdot 400}{9750} = 0.2 \text{ кВт}$$

Назначимо режими різання для тієї ж операції на свердління Ø18 згідно нормативних даних поданих [1].

Спочатку необхідно визначити подачу на оберт шпинделя, для скористаємось картою С-2, [1, с. 110-114].

Приймаємо $S = 0.4$ мм/об, але враховуючи, що отвори повинні бути точними, вони в подальшому будуть використовуватись як поверхні базування, тому приймаємо $S = 0.25$ мм/об.

Використовуючи дані з карти С-3 [1, с. 144] знаходимо стійкість інструменту $T = 40$ хв.

Використовуючи дані з карти С-4 [1, с. 115-123] знаходимо швидкість різання:

$$V = V_{\text{таб1}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (2.8)$$

$$V_{\text{таб1}} = 40 \text{ м/хв.}$$

$$V = 40 \cdot 1.1 \cdot 1 \cdot 1 = 44 \text{ м/хв.}$$

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Проведемо розрахунок числа обертів:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.9)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 44}{3,14 \cdot 18} = 770 \text{ об/хв}$$

Використовуючи паспортні дані приймаємо найближче значення:

$$n = 630 \text{ об/хв}$$

Проведемо уточнення швидкості різання:

$$V = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{1000} \quad (2.10)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 18 \cdot 630}{1000} = 35,6 \text{ м/хв}$$

Для решти технологічних переходів операції 005 призначаємо режими різання згідно [1], результати зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. Зведена таблиця режимів різання для операції 005

Назва операції переходу, позиції	t , мм	L , мм	i	T_m , хв	S , мм/об	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв	N , кВт
005 Комплексна з ЧПК									
1.Фрезерувати поверхню в розмір 160 _{0.1}	2.5	460	2	0.276	2.4	624	313	5.25	0.71
2.Зацентрувати під свердління 4 отв. Ø18.	1.0	10	4	0.05	0.3	1964	62	0.208	0.53
3.Свердлийти 4 отв. Ø18 на прохід.	2.5	20	4	0.09	0.5	938	53	0.76	2.88

Використовуючи приведені раніше аналітичні вирази проводимо розрахунок режимів різання для операції 010 Комплексна з ЧПК. Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. Зведена таблиця режимів різання для операції 010

Назва операції переходу, позиції	t , мм	L , мм	i	T_m , хв	S , мм/об	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв	N , кВт
010 Комплексна з ЧПК									
1.Фрезерувати поверхню в розмір 155 _{-0.1}	2.5	140	1	0.09	2.4	624	203	0.84	0.46
2.Фрезерувати поверхню в розмір 106 _{-0.1}	2.5	270	1	0.18	2.4	624	486	1.62	1.02
3.Фрезерувати поверхню в розмір 158 _{-0.1}	2.5	160	1	0.11	2.4	624	293	0.96	0.62
4.Фрезерувати поверхню в розмір 104.	2.5	160	1	0.11	2.4	624	293	0.96	0.62
5.Розточити отвір Ø100 Н7 чорнова.	1.2	40	1	0.19	0.8	301	94	0.72	2.6
6.Розточити фаску 1.6×45°	1.6	5	1	0.02	0.8	301	94	0.09	2.6
7.Розточити отвір Ø100 Н7 чистова.	0.3	40	1	0.53	0.12	624	195	0.72	0.3
8.Розточити отвір Ø230 ^{+0.01} _{-0.02} чорнова.	1.5	36	1	0.25	0.8	210	152	1.57	6.2
9.Розточити фаску 1.6×45°.	1.6	5	1	0.03	0.8	210	152	0.21	6.2
10.Розточити отвір Ø230 ^{+0.01} _{-0.02} чорнова.	0.3	38	1	1.05	0.12	301	217	1.57	0.4
11.Розточити отвір Ø122 Н8 чорнова.	1.2	50	1	0.23	0.8	301	115	1.1	3.2
12.Розточити фаску 1.6×45°.	1.6	5	1	0.02	0.8	301	115	0.11	3.2
13.Розточити отвір Ø122 Н8 чистова.	0.3	50	1	0.66	0.12	624	239	1.1	0.4
14.Розточити фаску Ø110, 1.6×45°.	4	8	1	0.05	0.8	210	102	0.16	2.8
15.Фрезерування бобишок отворів Ø18 в розмір 20.	2	160	4	0.04	2.0	1964	197	3.84	0.81

2.3 Верстатне забезпечення технологічної операції

При виконанні операцій 005 та 010 згідно запропонованого ТП буде використовуватись багатоцільовий свердлильний-фрезерно-розточний верстат з горизонтально розміщеним шпиндельним вузлом мод. 2А459АФ4. В залежності від виконання верстат може комплектуватися змінними столами-супутниками. Столи-супутники виконуються у вигляді поворотного столу, що дозволяє проводити комплексну обробку з чотирьох сторін без переустановлення деталі.

Також в комплект верстату може входити пристрій автоматичної зміни інструмента, його встановлюють на фундаменті поруч, до його складу входить ланцюговий інструментальний магазин та маніпулятор.

На багатоцільовому верстаті можна здійснити: обробку площин (напівчистову та чистову); обробку пазів та криволінійних поверхонь; розточування отворів; свердління, нарізання різі. Система ЧПК, якою оснащений верстат, дозволяє проводити обробку з великою кількістю операцій.

В Додатку А приведені основні технічні характеристики багатоцільового верстату з ЧПК мод. 2А459АФ4, а на рис. 2.1 та рис. 2.2 зображено загальний вигляд верстату з позначенням його складових частин, опис яких приведено у Додатку Б.

На обраному багатоцільовому верстаті можна здійснити: обробку площин (напівчистову та чистову); обробку пазів та криволінійних поверхонь; розточування отворів; свердління, нарізання різі. Система ЧПК, якою оснащений верстат, дозволяє проводити комплексну обробку деталі з великою кількістю операційних переходів.

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

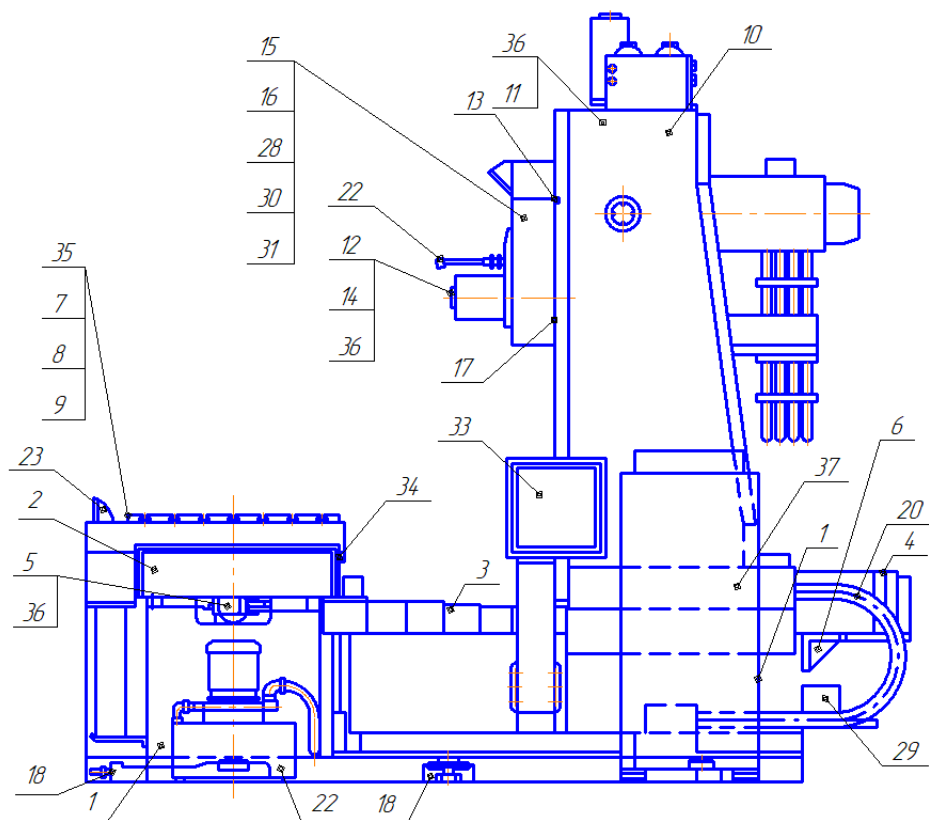


Рис. 2.1. Позначення складових частин верстата

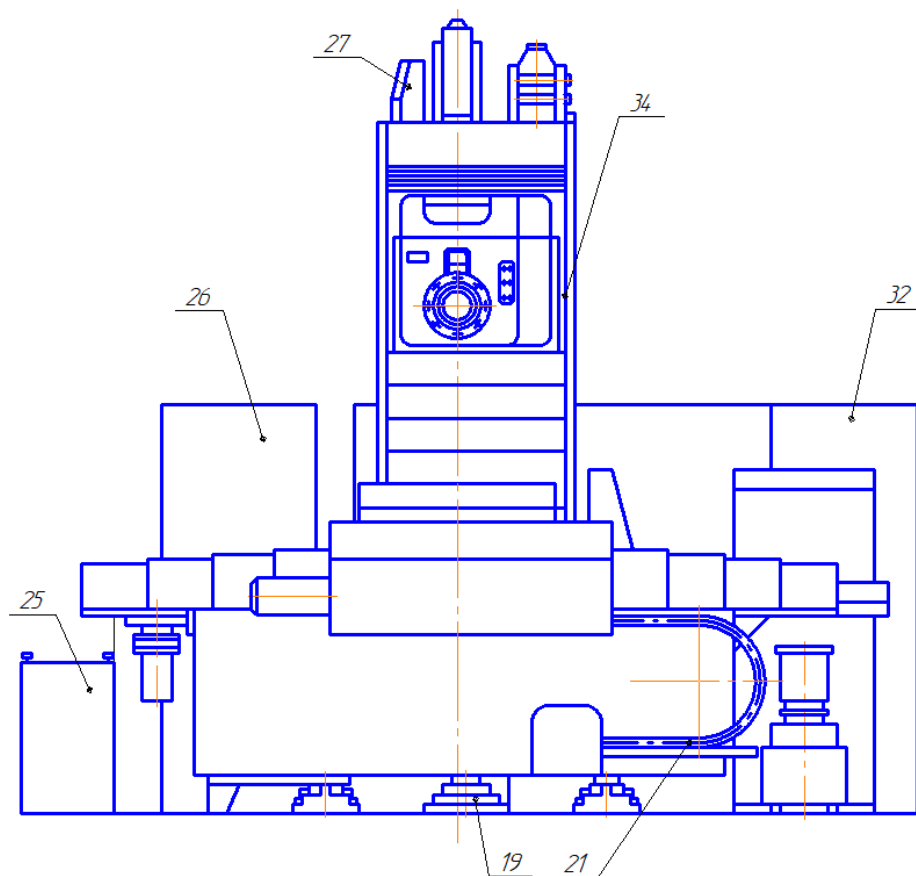


Рис. 2.2. Позначення складових частин верстата

2.4 Інструментальне забезпечення технологічної операції

На вибір ріжучих інструментів впливає перш за все метод обробки, оброблюваний матеріал, вимоги до точності та якості оброблюваної поверхні.

Так при виборі різального інструменту слід надавати перевагу використанню стандартного інструменту і лише за необхідністю слід застосовувати спеціальний інструмент (дозволяє суміщати обробку декількох поверхонь).

До різальних інструментів, які використовуються на багатоцільових верстатах, відносяться розточувальні різці, свердла, зенкери, зенківки, розвертки, фрези та мітчики. Крім різального на верстатах даної групи використовується допоміжний інструмент, до якого відносяться конічні та циліндричні перехідні втулки, різноманітні регульовані оправки, а також цангові та різенарізні патрони. Для забезпечення точності на верстаті використовуються спеціальні прилади для розмірної настройки різальних інструментів.

При виконанні операції 005 передбачено виконання ряду технологічних переходів, вони приведені в таблиці 2.1, а розрахункові значення режимів різання приведені в таблиці 2.2.

Дана технологічна операція передбачає фрезерування поверхні у вказаний розмір, центрування та свердління 4-х отворів.

Так для обробки плоских поверхонь доцільно використовувати торцеві або циліндричні фрези. При обробці отворів на верстатах можна застосовувати спіральні свердла з циліндричним і конічним хвостовиком, їх довжину вибирають в залежності від розмірів деталі. Для забезпечення достатньої жорсткості слід обирати найменшу з довжин свердла. Перед виконанням операції свердління проводять центрування отворів, для цього застосовують спеціальне центрувальне свердло. Використовувані при цьому свердла повинні задовольняти висунуті до них технічні вимоги, забезпечувати високу надійність, стійкість і точність.

Для настройки інструментів на розмір для багатоцільових верстатів доцільно використовувати прилад моделі БВ-2013.

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

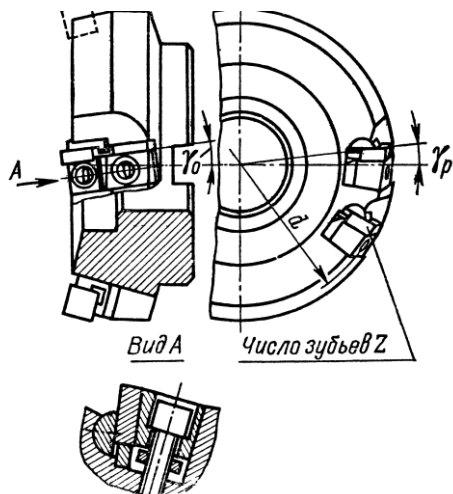
Результати вибору ріжучого та вимірювального інструменту для операції 005 Комплексна з ЧПК зведемо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.4. Вибір ріжучого та вимірювального інструменту

№ п/п операції	Назва операції (переходу)	Інструмент	
		Ріжучий	Вимірювальний
005	Комплексна з ЧПК: 1.Фрезерування 2.Центрування 3.Свердління	Фреза Ø200, 2214-0277 ГОСТ 25595-85, ВК8 Свердло Ø6.8, 2317-0009 ГОСТ 886-77 Свердло Ø18, 2301-0061 ГОСТ 10903-77	Калібр 8150-5094 Пробка Ø18 3133-0932 Н9

Нижче приведено характеристики призначеного стандартизованого ріжучого інструменту, який буде застосовуватися під час обробки деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» [25].

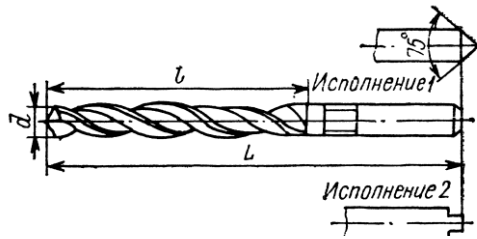
Так для фрезерної операції використовується фреза з механічним кріпленням багатограних пластин Ø200, 2214-0277 ГОСТ 25595-85, ВК8, її зовнішній вигляд приведено на рис. 2.3.



$$d = 100 \dots 500 \text{ мм};$$

Рис. 2.3. Інструмент для фрезерування площини

При виготовленні деталі використовуються свердло Ø6.8, 2317-0009 ГОСТ 14952-75 (рис. 2.4) та свердло Ø18, 2301-0061 ГОСТ 10903-77 (рис. 2.5).

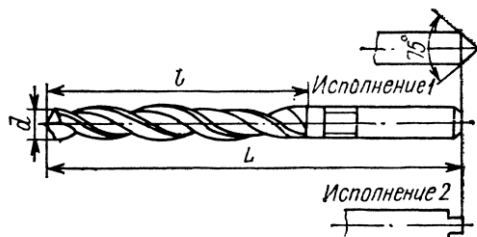


$$d = 1,0 \dots 9,5 \text{ мм};$$

$$L = 48 \dots 155 \text{ мм};$$

$$l = 25 \dots 110 \text{ мм}.$$

Рис. 2.4. Загальний вигляд та характеристика свердла Ø6,8 мм



$$d = 1,95 \dots 20 \text{ мм};$$

$$L = 85 \dots 255 \text{ мм};$$

$$l = 55 \dots 165 \text{ мм}.$$

Рис. 2.5 – Загальний вигляд та характеристика свердла Ø18 мм

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Кінематичний розрахунок верстата

3.1.1 Обґрунтування технічних характеристик верстата

При обґрунтуванні технічних характеристик верстату будемо застосовувати різноманітні критерії, а саме [18]:

- габаритні розміри інструменту;
- гранична глибина різання при обробці;
- граничні значення подачі;
- граничні значення швидкостей різання;
- граничні значення частот обертання шпинделя.

Проектоване обладнання відноситься до багатоцільових верстатів, які призначені для комплексної обробки корпусних деталей, що можуть бути виготовлені із кольорових сплавів, чавуну та сталі. В якості матеріалу для різального інструменту можуть використовуватися швидкорізальні сталі та тверді сплави.

Проведемо розрахунок габаритних розмірів інструментів.

Знаючи значення величини довжини L та ширини B столу визначаємо граничні значення розмірів фрез, які можуть використовуватися на верстаті [18].

Так при $B = 1000$ мм та $L = 1000$ мм отримаємо:

$$B_{max} = (0,3 \div 0,4) \cdot B \quad (3.1)$$

$$B_{min} = 0,5 \cdot B_{max} \quad (3.2)$$

$$L_{max} = 0,5 \cdot L \quad (3.3)$$

$$L_{min} = 0,5 \cdot L_{max} = 0,5 \cdot 500 = 250 \text{ мм} \quad (3.4)$$

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Конструкторська частина		
Розроб.		Жолобiцький В.Я.					
Перевiр.		Склярв Р.А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Кодельник В.Р.					
Затверд.		Кодельник В.Р.			ТНТУ iм. I. Пулюя гр. МВС-41, м. Тернопiль		
					Лiт.	Арк.	Аркушiв
						24	25

$$B_{max} = 0,3 \cdot 1000 = 300 \text{ мм}$$

$$B_{min} = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ мм}$$

$$L_{max} = 0,5 \cdot 1000 = 500 \text{ мм}$$

$$L_{min} = 0,5 \cdot 500 = 250 \text{ мм}$$

Після цього знаходимо середні значення максимальних і мінімальних діаметрів торцевих фрез [18]:

$$D_{max} = (1,25 \div 1,6) \cdot B_{max} \quad (3.5)$$

$$D_{min} = (0,2 \div 0,25) \cdot D_{max} \quad (3.6)$$

$$D_{max} = 1,5 \cdot 300 = 450 \text{ м}$$

$$D_{min} = 0,2 \cdot 450 = 90 \text{ мм}$$

Отримані значення діаметрів фрез D_{max} та D_{min} необхідно звірити із рядом переважних чисел, після чого здійснюється остаточний вибір.

Розглянемо розрахунок для свердлильної операції, яка також може проводитися на верстаті. За основу розрахунку приймаємо найбільший діаметр свердління, приймаємо $D = 50 \text{ мм}$.

Тоді найменший діаметр свердління D_{min} визначається за виразом [18]:

$$D_{min} = (0,15 \div 0,25) \cdot D = 0,15 \cdot 50 = 7,5 \text{ мм} \quad (3.7)$$

$$D_{min} = 0,15 \cdot 50 = 7,5 \text{ мм}$$

Також врахуємо найбільший діаметр розточування, так при $D = 500 \text{ мм}$ найменший діаметр розточування визначається за виразом [18]:

$$D_{min} = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 500 = 125 \text{ мм} \quad (3.8)$$

$$D_{min} = 0,25 \cdot 500 = 125 \text{ мм}$$

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Визначимо граничні глибини різання при обробці на обраному верстаті.

Розрахунок будемо проводити для операції фрезерування. Максимальну глибину різання при обробці в один прохід для чорнового фрезерування будемо визначати за виразом [18]:

$$t_{max} = P_{max} - P_{чист} \quad (3.9)$$

де t_{max} - максимальна глибина різання;

P_{max} – значення максимального припуску на сторону (це табличне значення, його обираємо в залежності від матеріалу, що обробляється та розмірів заготовки);

$P_{чист}$ – чистовий припуск (для усіх розмірів оброблюваних деталей приймаємо

$P_{чист} = 0,5$ мм.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1. Граничні глибини різання при обробці

матеріал	P_{max} , мм	t_{max} чорнова обробка	t_{min} чистова обробка
сталь	6	$t_{max} = 6 - 0,5 = 5,5$ мм	$t_{min} = 0,5$ мм
чавун	5	$t_{max} = 5 - 0,5 = 5,5$ мм	$t_{min} = 0,5$ мм
мідь	3	$t_{max} = 3 - 0,5 = 2,5$ мм	$t_{min} = 0,5$ мм

Наступним етапом є розрахунок граничних значень подачі для різних операцій.

При проведенні даного розрахунку враховуються обрані типи матеріалів та матеріал різальної частини інструментів. Розрахунки будемо здійснювати для попередньо обраних операцій (фрезерування, свердління та розточування), для цього скористаємось методикою [18], а результати розрахунку зводимо у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2. Граничні значення подач для різних операцій

Операція	Розрахунковий вираз та коефіцієнт, що враховує... (вибираємо із таблиць)	Подача, мм/об	Оброблюваний матеріал		
			Сталь	Чавун	Мідь
Фрезерування	$S = S_T \cdot K_{SU} \cdot K_{SR} \cdot K_{S\Phi} \quad (3.10)$ S_T – значення подачі на зуб, мм; K_{SU} – матеріал фрези; K_{SR} – шорсткість оброблюваної поверхні; $K_{S\Phi}$ – форму оброблюваної поверхні	S_{max}	0,09	0,15	0,165
		S_{min}	0,017	0,03	0,031
Свердління	$S = S_T \cdot K_{Sl} \cdot K_{SЖ} \cdot K_{SU} \cdot K_{Sd} \cdot K_{SM} \quad (3.11)$ S_T – значення подачі, мм/об; K_{Sl} – глибину свердління; $K_{SЖ}$ – твердість технологічної системи; K_{SU} – матеріал інструмента; K_{Sd} – тип оброблюваного отвору; K_{SM} – марку оброблюваного матеріалу.	S_{max}	0,285	0,57	0,57
		S_{min}	0,008	0,016	0,016
Розточування	$S = S_T \cdot K_{Sl} \cdot K_{SU} \cdot K_{S\Phi} \cdot K_{S3} \cdot K_{SЖ} \cdot K_{SM} \quad (3.12)$ S_T – значення подачі, мм/об; K_{Sl} – стан оброблюваної поверхні; K_{SU} – матеріал інструмента; $K_{S\Phi}$ – форму оброблюваної поверхні; K_{S3} – вплив загартування; $K_{SЖ}$ – твердість технологічної системи; K_{SM} – марку оброблюваного матеріалу.	S_{max}	0,285	0,57	0,57
		S_{min}	0,008	0,016	0,016

Наступним етапом є визначення граничних значень швидкостей різання. Їх вибираємо на підставі довідкових даних та розрахунків [12]. Результати вибору значень та розрахунків приведено в таблиці 3.3.

Також для подальших розрахунків будемо враховувати швидкість нарізування різи на даному верстаті. Згідно довідникової літератури швидкість різання при нарізуванні різи мітчиком становить: $V_{min} = 3 \div 4$ м/хв.

Таблиця 3.3. Граничні значення швидкості різання для різних операцій

Операція	Розрахунковий вираз та коефіцієнт, що враховує... (вибираємо із таблиць)	Швидкість, м/хв	Оброблюваний матеріал		
			Сталь	Чавун	Мідь
Фрезерування	Обираємо табличним способом	V_{max}	164	141	450
		V_{min}	147	112	415
Свердління	Обираємо табличним способом (обробка проводиться одним інструментом, заданий період стійкості, нормальне затуплення, передбачено використання МОР)	V_{max}	38	48	96
		V_{min}	20	25	46
Розточування	$V = V_T \cdot K_{VU} \cdot K_{V\phi} \cdot K_{VЖ} \cdot K_{V\Pi} \cdot K_{VO}$ (3.13) V_T – значення швидкості різання, м/хв; K_{VU} – враховує властивості матеріалу інструмента; $K_{V\phi}$ – вплив кута в плані ($K_{V\phi} = 0,9$); $K_{VЖ}$ – твердість технологічної системи; $K_{V\Pi}$ – стан оброблюваної поверхні; K_{VO} – вплив МОР.	V_{max}	306	179	599
		V_{min}	35	21	54

Завершуючи розрахунок визначаємо граничні значення частот обертання шпинделя. При цьому будемо використовувати розраховані раніше значення (див. табл. 3.1-3.3). Для розрахунків скористаємось наступними виразами [9]:

$$n_{max} = \frac{1000 \cdot V_{max}}{\pi \cdot D_{min}} \quad (3.14)$$

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot V_{min}}{\pi \cdot D_{max}} \quad (3.15)$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4. Граничні значення частот обертання шпинделя

Операція	n_{max} , об/хв	n_{min} , об/хв
фрезерування	1592	79
свердління	3076	127
розточування	1526	13,4

Із отриманих вище значень граничних частот обертання шпинделя слід обрати максимальну та мінімальну частоти, а саме:

$$n_{max} = 3076 \text{ об/хв та } n_{min} = 13,4 \text{ об/хв.}$$

Ці значення необхідно звірити із стандартними, та прийняти найбільш близькі. Згідно ОСТ Н11-1-72 приймаємо:

$$n_{max} = 3150 \text{ об/хв та } n_{min} = 20 \text{ об/хв.}$$

3.1.2 Розрахунок і вибір електродвигуна

Для вибору нормативної потужності електродвигуна необхідно врахувати такі критерії як:

- величина t_{max} та S_{max} при чорновій обробці;
- матеріал з якого виготовлена оброблювана заготовка;
- матеріал для різального інструменту (обирається матеріал з найменшою стійкістю).

Для розрахунку потужності електродвигуна привода головного руху скористаємось аналітичним виразом [9]:

$$N_{ел.дв.} = \frac{N_{норм.}}{\eta \cdot K}, \quad (3.16)$$

де η – ККД ланцюга головного руху, приймаємо $\eta = 0,7 \div 0,85$;

K – коефіцієнт, що враховує перевантаження двигуна, згідно рекомендацій приймаємо $K=1,25$;

$N_{норм.}$ – значення нормативної потужності електродвигуна, його обираємо в залежності від операції [9]:

- при виконанні операції фрезерування: $N_{норм.} = 12,1 \text{ кВт}$;
- при виконанні операції свердління: $N_{норм.} = 8,3 \text{ кВт}$;
- при виконанні операції розточування: $N_{норм.} = 8,3 \text{ кВт}$.

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Із приведенного вище переліку обираємо максимальну номінальну потужність, та підставляємо у вираз 3.16.

$$N_{ел.дв.} = \frac{12,1}{0,7 \cdot 1,25} = 13,8 \text{ кВт.}$$

Згідно рекомендацій потужність розрахованого електродвигуна слід порівняти з потужністю двигунів які встановлюються на сучасних верстатах аналогічного типорозміру. Це дозволить забезпечити виконання основного обсягу запланованих технологічних операцій. Так відповідно до [9] вибираємо двигун 2ПН160ЛУХ4, який має наступні характеристики:

$$N_{ел.дв.} = 14 \text{ кВт}; n_n = 800 \text{ об/хв}; n_{max} = 4000 \text{ об/хв.}$$

3.1.3 Визначення діапазону регулювання приводу та побудова кінематичної схеми коробки швидкостей

При визначенні діапазону регулювання приводу вихідними даними є значення отримані в попередніх розрахунках, а саме частоти обертання шпинделя ($n_{max} = 3150 \text{ об/хв}$ та $n_{min} = 20 \text{ об/хв}$), а також параметри двигуна 2ПН160ЛУХ4 ($N_{ел.дв.} = 14 \text{ кВт}; n_n = 800 \text{ об/хв}; n_{max} = 4000 \text{ об/хв}$).

Для верстатів такого типу використовують двигуни постійного струму з тиристорною системою керування, вона дозволяє забезпечити безступеневе регулювання швидкості. Дана схема передбачає використання двозонного регулювання.

Для розрахунку загальної величини приводу використовують аналітичну залежність [9]:

$$R_d = R_{дм} \cdot R_{др} \quad (3.17)$$

де R_d - загальна величина діапазону регулювання приводу;

$R_{дм}$ - діапазон регулювання при постійному моменті;

$R_{др}$ - діапазон регулювання при постійній потужності.

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальний діапазон регулювання приводу визначається [9]:

$$R = R_d \cdot R_M = R_{dM} \cdot R_{dP} \cdot R_M \quad (3.18)$$

де R_M - діапазон регулювання механічної коробки швидкостей.

Дану величину ми можемо обрахувати за наступною аналітичною залежністю [9]:

$$R_M = R/R_d \quad (3.19)$$

Запропонована методика [9] дозволяє в залежності від способу регулювання двигуна провести регулювання частоти обертання шпинделя (або при постійному моменті, або при постійній потужності).

$$R_P = R_{dP} \cdot R_M \quad (3.20)$$

На основі вихідних даних визначаємо числові значення діапазону регулювання, результати розрахунків зводимо в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5. Розрахункові значення діапазонів регулювання

Діапазон регулювання	Формула обрахунку	Результат обчислення
R	$R = \frac{n_{max}}{n_{min}} \quad (3.21)$	$R = \frac{3150}{20} \approx 157,5$
R_d	$R_d = \frac{n_{dmax}}{n_{dmin}} \quad (3.22)$	$R_d = \frac{4000}{800} = 5$
R_{dP}	$R_{dP} = \frac{n_{dmax}}{n_{д.н.}} \quad (3.23)$	$R_{dP} = \frac{3150}{80} = 39,375 \approx 40$

В металорізальних верстатах використовуються коробки швидкостей, які можуть мати z ступенів регулювання, для розрахунку яких використовується аналітична залежність [9]:

$$R_M = \varphi_1^{z-1} \quad (3.24)$$

В проектуваному верстаті слід забезпечити безступеневе регулювання частоти обертання шпинделя в усьому діапазоні, тому приймають $\varphi_1 = R_{дp}$.

Враховуючи вирази 3.20 та 3.24 запишемо наступну аналітичну залежність:

$$R_p = R_{дp} \cdot R_M = \varphi_1 \cdot \varphi_1^{z-1} = \varphi_1^z \quad (3.25)$$

Це дозволяє визначити необхідне число ступенів коробки швидкостей:

$$z = \frac{\lg R_p}{\lg \varphi_1} \quad (3.26)$$

В приводах верстатів з ЧПК досить часто використовують двигунами постійного струму та ступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя. Згідно існуючих рекомендацій слід переважно використовувати ряд частот з малим знаменником φ (переважно $\varphi = 1,12$, рідше $\varphi = 1,06$).

Оскільки при розрахунках (див. табл. 3.5) було виявлено, що $R_d < R_{дp}$ то в конструкції приводу необхідно передбачити коробку швидкостей.

При цьому число щаблів коробки швидкостей визначаємо за виразом [9]:

$$z = \frac{\lg R_p}{\lg R_d} = \frac{\lg 40}{\lg 5} \approx 2,28 \quad (3.27)$$

Отримане розрахункове значення округлюємо у більшу сторону, приймаємо $z = 3$.

Наступним кроком є розрахунок числа зубів для приводу головного руху верстату. Для цього побудуємо графік частот обертання шпинделя (рис. 3.1), побудову здійснимо із врахуванням приведених вище міркувань.

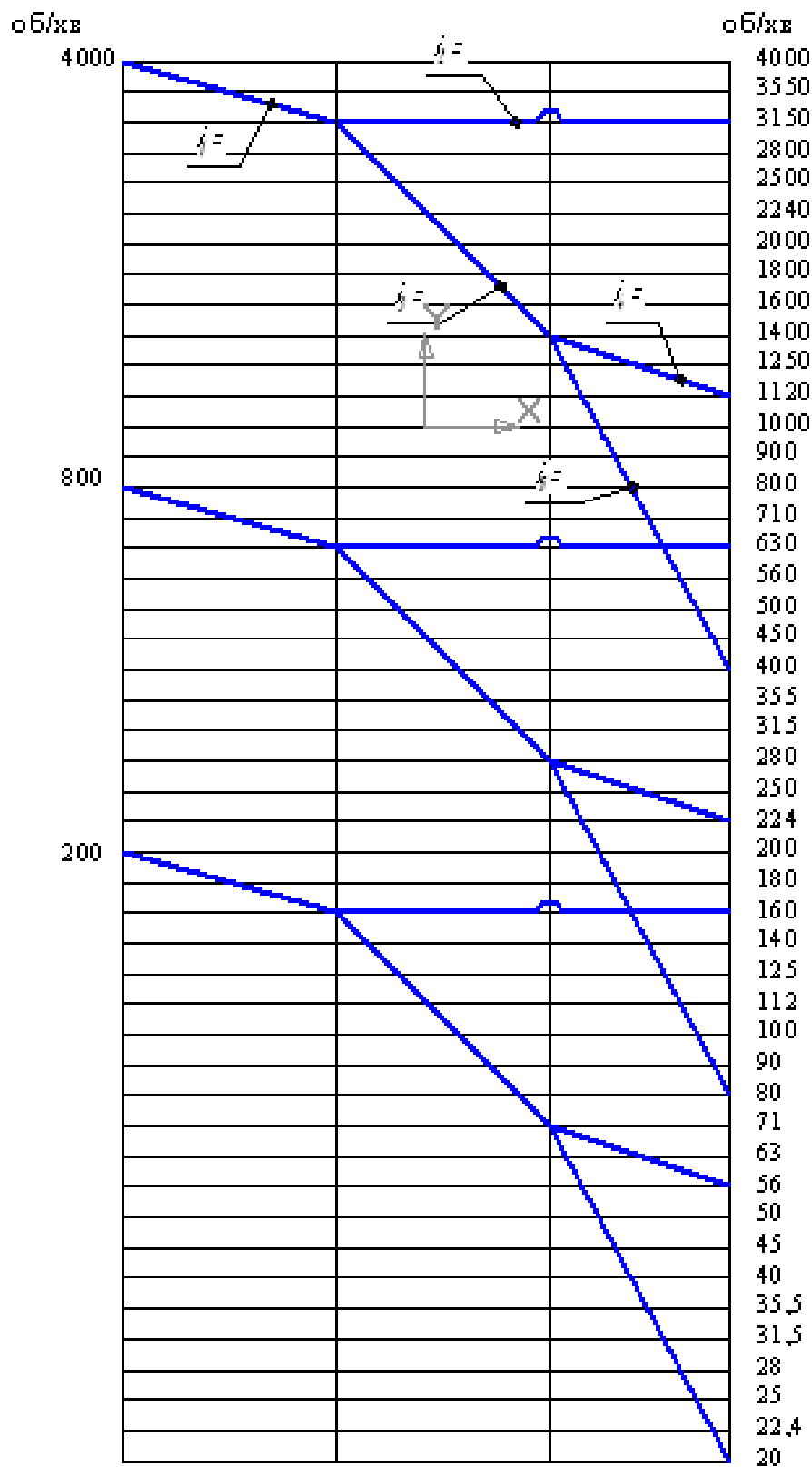


Рис. 3.1. Графік частот обертів шпиндельного вузла

Ряд чисел обертів шпинделя отримуємо шляхом безступінчастого регулювання чисел обертів електродвигуна та редукцією коробки швидкостей. Коробка буде містити чотири вали, які з'єднані між собою зубчастими колесами, в таблиці 3.6 приведено розрахунок величин передаточних відносин.

Таблиця 3.6. Передаточні відношення між валами коробки приводу

Вали, що взаємодіють між собою	Передаточне відношення	Прийняте значення кількості зубів
I і II	$i_1 = \phi^{-2} = \frac{160}{200} = \frac{1}{1,25}$	
II і III	$i_3 = \frac{1}{\phi^7} = \frac{1}{1,12^7} = \frac{1}{2,21}$	$\sum Z = 112$ $Z_A = 32$ $Z_B = 80$
III і IV	$i_4 = \frac{1}{\phi^2} = \frac{1}{1,12^2} = \frac{1}{1,25}$	$\sum Z = 112$ $Z_A = 50$ $Z_B = 62$
	$i_5 = \frac{1}{\phi^{11}} = \frac{1}{1,12^{11}} = \frac{1}{3,47}$	$\sum Z = 112$ $Z_A = 24$ $Z_B = 88$
II і IV	$i_2 = \phi^0 = 1$	$Z_A = 32$ $Z_B = 32$

Після цього необхідно провести перевірку відхилень дійсних значень частот обертання шпинделя від табличних, які взятих згідно нормалі Н11-1, воно не повинно перевищувати величини допуску на відхилення $(= \pm 10 \cdot (\phi - 1))$.

Розрахунки будемо проводити для $\phi = 1,12$:

$$\Delta = \pm 10 \cdot (\phi - 1) = \pm 10 \cdot (1,2 - 1) = \pm 1,2\% \quad (3.28)$$

Результати розрахунків приведені в Додатку В.

На основі даного розрахунку будуємо кінематичну схему коробки швидкостей проектованого верстата, вона приведена на рис. 3.2.

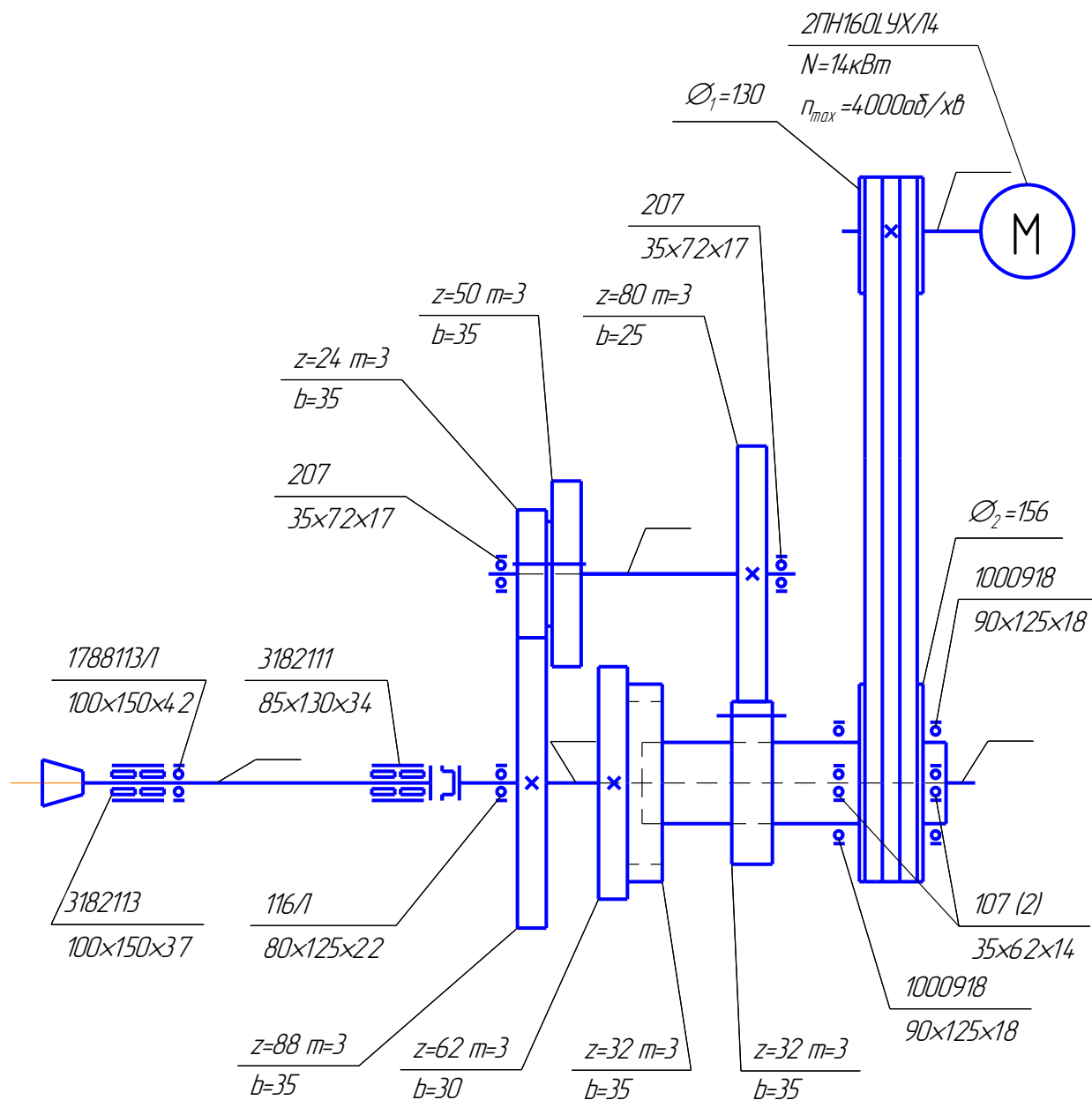


Рис. 3.2. Кінематична схема коробки швидкостей

3.2 Конструювання вузла верстату

3.2.1 Розрахунок клинопасової передачі

Вихідними даними для розрахунку клинопасової передачі є:

- потужність, яка передається $P_1 = P_{\text{ном}}$, кВт ($P_{\text{ном}} = 14$ кВт);
- частота обертання ведучого шківa n_1 , хв.⁻¹ ($n_1 = 4000$ об/хв);
- передаточне відношення i , умови експлуатації і вимоги конструктивного

Спочатку здійснимо вибір січення ремнів. Для цього скористаємось діаграмою вибору січення клинового ремня, яка приведена на рис. 3.3 [8].



Рис. 3.3. Діаграма вибору січення клинового ремня

Враховуючи частоту обертання малого шківa обираємо згідно діаграми тип січення ремнів А.

В таблиці 3.7. приведено основні розміри для січень ремнів різного типу (ГОСТ 1284.1-89) А.

Таблиця 3.7 Розміри січень клинових ременів (ГОСТ 1284.1-89) А

 <div style="margin-left: 20px;"> W – ширина великої основи пасу, мм; W_p – розрахункова ширина пасу, мм; T – висота пасу, мм </div>				
Позначення січення пасу	W_p	W (довідниковий)	T	α , град
Z	8,5	10	6	40
A	11	13	8	
B	14	17	11	
C	19	22	14	
D	27	32	20	
E	32	38	25	

Для обчислення потужності P_p , яка передається від приводу скористаємось виразом:

$$P_p = P_{\text{ном}} \cdot C_p, \text{ кВт} \quad (3.29)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність приводу, кВт;

C_p – коефіцієнт який враховує динамічності навантаження та режими роботи приводу. Приймаємо $C_p=1,2$ – середній режим роботи (для фрезерних верстатів).

$$P_p = 14 \cdot 1,2 = 15,4 \text{ кВт}$$

У відповідності до вимог ГОСТ 20889-98 вибираємо значення розрахункового діаметру меншого шківів. В таблиці 3.8. приведені рекомендовані значення діаметрів меншого шківів.

Таблиця 3.8 Мінімальний розрахунковий діаметр меншого шківів

Січення ремня	Z	A	B	C	D	E	EO
d_{1min}	63(50)	90 (75)	125	200	315	500	800

Згідно [8] нормальні розрахункові діаметри шківів d_p повинні відповідати ряду основних та додаткових чисел.

Приймаємо для січення А діаметр $d_1 = 132$ мм.

Тоді розрахунковий діаметр більшого шківa буде визначатися:

$$d_2 = d_1 \cdot i, \text{ мм} \quad (3.30)$$

$$d_2 = 132 \cdot 1,2 = 158,4 \text{ мм}$$

Згідно приведених вище рекомендацій приймаємо:

$$d_p = 160 \text{ мм}$$

Тоді передаточне відношення буде розраховуватись:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \approx \frac{d_2}{d_1} \quad (3.31)$$

$$i = \frac{160}{132} = 1,21$$

Розрахуємо кут охоплення ременем меншого шківa α за формулою:

$$\alpha = 180 - 57,3 \frac{d_2 - d_1}{a} \quad (3.32)$$

де a – міжосьова відстань, мм, вона визначається конструктивними особливостями приводу.

Так існують рекомендації, у відповідності до яких, для збільшення довговічності ременів слід прийняти наступну міжосьову відстань:

$$a = 2 \frac{d_2}{\sqrt[3]{i}} \quad (3.33)$$

Але при цьому слід дотримуватися умови, у відповідності до якої a повинно знаходитись в діапазоні:

$$0,7(d_1 + d_2) < a < 2(d_1 + d_2)$$

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Провівши обчислення за формулою 3.32 ми отримаємо значення a :

$$a = 323 \text{ мм}$$

Після цього здійснимо перевірку, чи знаходиться міжосьова відстань граничних межах:

$$179,9 < a < 514$$

Зазначена вище умова виконується.

При цьому кут охоплення ременем меншого шківів $\alpha = 150^\circ$.

Наступним кроком є визначення розрахункової величини ременя:

$$L \approx 2 \cdot a + \pi \frac{d_1 + d_2}{2} + \frac{\Delta^2}{a} \quad (3.34)$$

де $\Delta = (d_2 - d_1)/2$

Підставивши значення у формулу 3.34 отримаємо:

$$L = 1049 \text{ мм}$$

Дану розрахункову величину слід заокруглити до найближчого стандартного значення величини ременя (згідно з ГОСТ 1284.1-89). Приймаємо $L_p = 1050 \text{ мм}$.

Далі проведемо розрахунок номінальної міжосьової відстані:

$$a_{\text{ном}} = 0,25 \cdot \left[L - \pi \frac{d_1 + d_2}{2} + \sqrt{\left(L - \pi \frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2 - 8 \cdot \Delta^2} \right] \quad (3.35)$$

$$a_{\text{ном}} = 323 \text{ мм}$$

В процесі експлуатації можливе видовження ременя, тому слід передбачити можливість компенсації відхилення від номіналу по його довжині, для цього в конструкції передачі може бути передбачене регулювання міжосьової відстані шківів.

Згідно методичних рекомендацій [8] можливе видовження міжосьової відстані Δ_1 відносно номінального $a_{\text{ном}}$ повинно задовольняти умові:

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta_1 \geq S_1 \cdot L_p, \text{ мм} \quad (3.36)$$

де S_1 – табличний коефіцієнт (приймаємо $S_1 = 0,025$).

Зменшення міжцентрової відстані Δ_2 може бути здійснено при виконанні умови:

$$\Delta_2 \geq S_2 \cdot L_p + 2 \cdot W_p, \text{ мм} \quad (3.37)$$

де S_2 – табличний коефіцієнт (приймаємо $S_2 = 0,009$), для ременів I та II класів;
 W_p – розрахункова ширина шківа (приймаємо $W_p = 11$ мм).

Провівши відповідні розрахунки отримаємо:

$$\Delta_1 \geq 0,025 \cdot 1050 = 25,25 \text{ мм}$$

$$\Delta_2 \geq 0,009 \cdot 1050 + 2 \cdot 11 = 31,45 \text{ мм.}$$

Розрахуємо необхідне число ременів в приводі z :

$$z = \frac{P_{\text{ном}} \cdot C_p}{P_o \cdot C_a \cdot C_L \cdot C_K} \quad (3.38)$$

де P_o – номінальна потужність, кВт, (визначається табличним способом, приймаємо $P_o = 5,67$ (згідно таблиці 18-24, [8]);

C_a – коефіцієнт кута охоплення $C_a = 0,86$ (згідно таблиці 26, [8]);

C_L – коефіцієнт, що враховує довжину ремня $C_L = 1,02$ (згідно таблиці 27, [8]);

C_K – коефіцієнт, що враховує кількість ременів в передачі $C_K = 0,79$ (приймаємо згідно таблиці 28, [8]);

Підставивши значення у вираз отримаємо:

$$z = \frac{14 \cdot 1,2}{5,67 \cdot 0,86 \cdot 1,2 \cdot 0,79} = 3,92$$

Приймаємо значення:

$$z = 4$$

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступним кроком є розрахунок попереднього натягу вітки одного ремня F_0 (використовується для передач з автоматичним натягом):

$$F_0 = 500 \frac{(2,5 - C_a) \cdot P_{\text{ном}} \cdot C_p}{C_a \cdot v \cdot z} \quad (3.39)$$

де C_p – коефіцієнт динамічності навантаження і режиму роботи;

v – гранично допустима швидкість ремня (приймаємо $v = 30$ м/с згідно таблиці 18-24, [8]);

Тоді попередній натяг вітки одного ремня F_0 становить:

$$F_0 = 500 \frac{(2,5 - 0,86) \cdot 14 \cdot 1,2}{0,86 \cdot 30 \cdot 4} = 124,88 \text{ Н}$$

Здійснимо розрахуємо навантаження на вал передачі:

$$F_B \approx 2 \cdot F_0 \cdot \sin \frac{\alpha_1}{2}, \text{ Н} \quad (3.40)$$

$$F_B \approx 2 \cdot 124,88 \cdot \sin \frac{150}{2} = 249,75 \text{ Н}$$

3.2.2 Розрахунок зубчастих передач на міцність

Розрахунки будемо проводити для трьох пар зубчастих коліс, а саме зубчаста передача 32/80, 24/88 та 50/62. Значення чисел зубів та частот обертання валів були розраховані раніше. Для всіх пар зубчастих коліс приймаємо $m = 3$ мм.

Для розрахунку номінального крутного моменту який передається передачею скористаємось виразом [9]:

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$M_{кр.} = 9554 \cdot \frac{N \cdot \eta}{n} \quad (3.41)$$

Тоді значення розрахункового крутного моменту:

$$M_p = K \cdot M_{кр} \quad (3.42)$$

Для визначення швидкості ковзання скористаємось виразом:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_p}{1000 \cdot 60} \quad (3.43)$$

Для розрахунку напруги згину скористаємось аналітичним виразом [9]:

$$\sigma_{U1} = \frac{6,35}{m^2 \cdot b_1 \cdot z_1 \cdot y_1} \cdot M_p \cdot \frac{1}{k_v} \quad (3.43)$$

$$\sigma_{U2} = \sigma_{U1} \cdot \frac{y_1 \cdot b_1}{y_2 \cdot b_2} \quad (3.44)$$

де k_v – швидкісний коефіцієнт (обирається з таблиці);

y_1, y_2 – коефіцієнти, що характеризують форму зуба коліс, що в зачепленні (обирається з таблиці);

b_1, b_2 – ширина зубчастих коліс, що перебувають в зачепленні.

Для розрахунку питомого тиску на робочих поверхнях зубів застосуємо вираз [9]:

$$\sigma_K = \frac{C}{z_1 \cdot m} \cdot \sqrt{\frac{i+1}{i \cdot b_{min}}} \cdot M_p \cdot \frac{1}{k_v} \quad (3.45)$$

де C – коефіцієнт тиску (приймається з таблиці);

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

b_{min} – менше значення з b_1 та b_2 .

Оскільки методика розрахунку для всіх коліс є однаковою, то результати розрахунків зведемо у таблицю 3.9.

Таблиця 3.9. Результати розрахунку зубчастих передач на міцність

Вихідні дані:	Зубчаста передача		
	32/80	24/88	50/62
z_1	32	24	50
z_2	80	88	62
b_1	30	34	34
b_2	25	30	30
k_v	0,5	0,8	0,6
y_1	0,116	0,105	0,130
y_2	0,139	0,140	0,134
n_p	630	280	280
C	670	670	670
Розрахункові значення:			
$M_{кр}, H \cdot m$	204	450	450
$M_p, H \cdot m$	306	675	675
$V, m/c$	3,17	1,06	2,2
$\sigma_{U1}, H/m^2$	9	22	10
$\sigma_{U2}, H/m^2$	9,01	18,7	11,4
$\sigma_K, H/m^2$	62	101,5	57,6

Для коліс попередньо приймаємо матеріал - Сталь 40Х ГОСТ 4543-71, для якої HRc 24..28; а для зубів HRc 45..50.

$$[\sigma]_U = 38H/m^2; [\sigma]_K = 135H/m^2.$$

Висновок: для всіх пар зубчастих передач міцність задовільна.

3.3.3 Розрахунок валів на міцність

Використовуючи програму «Комплекс инженерных расчетов» (рис. 3.4), проведемо розрахунок найбільш навантаженого валу коробки швидкостей, при цьому можливі 2 варіанти навантаження (оскільки вал передає 2 передачі).

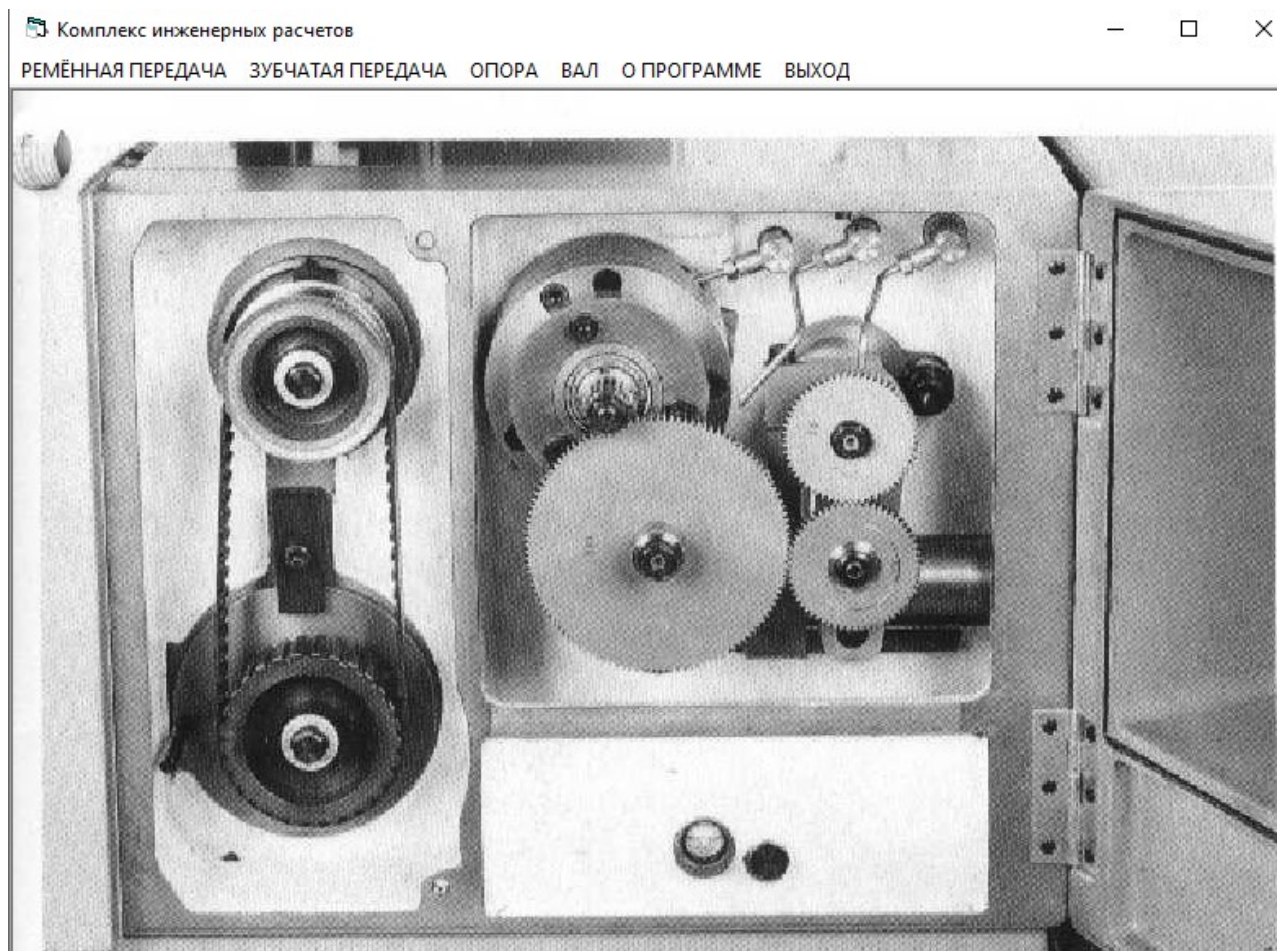


Рис. 3.4. Вітальне вікно програми

Проведемо розрахунок валу (III), який є найбільш навантаженим, при цьому можливі 2 варіанти навантаження (оскільки вал передає 2 передачі).

На рис. 3.5. приведено результат автоматизованого розрахунку для 1 варіанту навантаження.

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

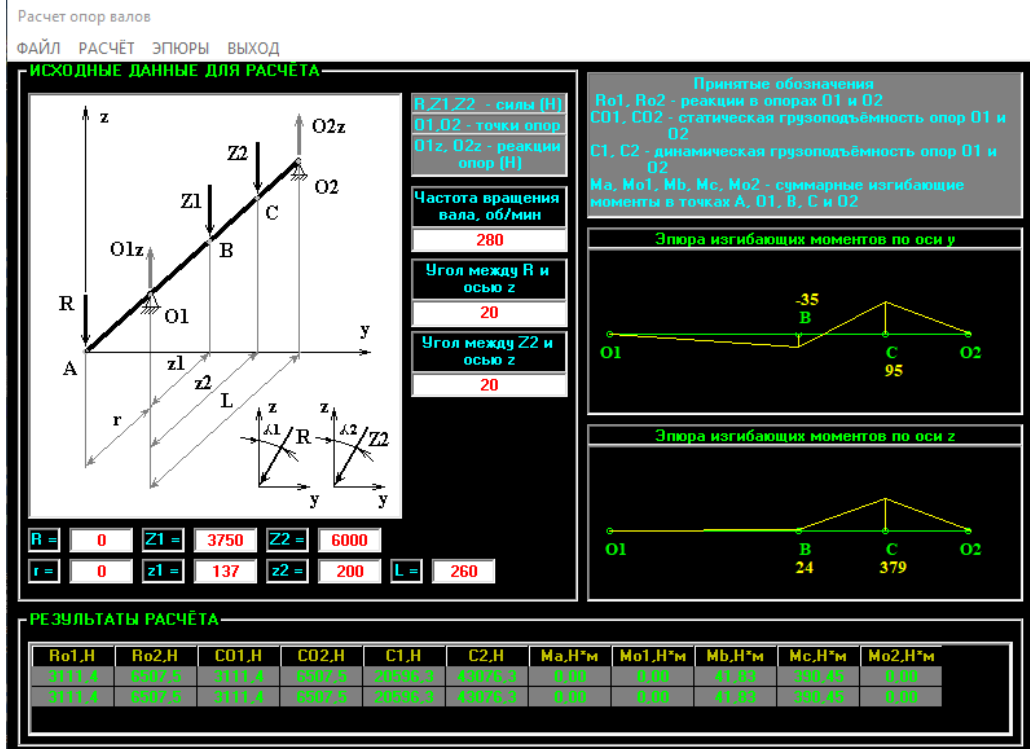


Рис. 3.5. Результаты розрахунку первого варианту навантаження

На рис. 3.6. приведено результат автоматизованого розрахунку для 2 варианту навантаження.

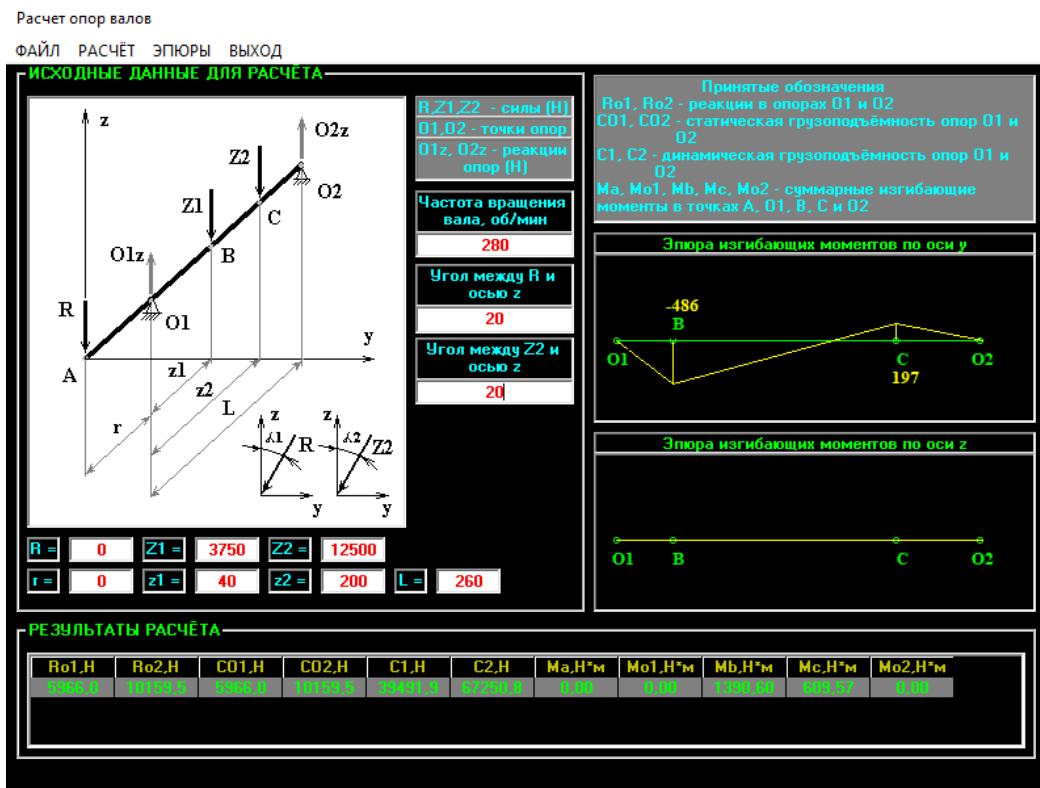


Рис. 3.6. Результаты розрахунку другого варианту навантаження

3.3 Використання пристроїв автоматичної заміни інструменту

3.3.1 Загальна характеристика пристроїв автоматичної зміни інструменту

Багатоцільові верстати з ЧПК можуть оснащуватися пристроями автоматичної заміни інструментів. Такі пристрої переважно складаються з інструментального магазину та власне пристрою, що здійснює автоматичну заміну (переміщує інструмент з інструментального магазину в шпиндель, та повертає його назад). Під час заміни відбувається автоматичний затиск оправки. Кожен інструмент має свою позицію в магазині і система ЧПК дозволяє його індексувати. Тільки тоді коли шпиндель повністю зупинений відбувається пошук інструмента, при цьому він займає верхнє положення. Після використання інструмент повин бути повернений у те саме гніздо.

На багатоцільовому верстаті з горизонтальним шпиндельним вузлом інструментальний магазин встановлюється на стійці верстату. За рахунок використання автооператора забезпечується зв'язок магазину зі шпинделем верстата. Ефективною є схема автооператора з двома захватами.

При зміні інструментів автооператор повинен здійснити хід знизу вгору та захопити оправку інструмента, яка перебуває в гнізді магазину. При цьому шпиндельна бабка із шпинделем підіймається догори і оправка з інструментом входить в нижній схват автооператора. Після цього автооператор висуває обидві оправки в напрямку осі шпинделя та здійснює поворот навколо своєї осі на 180° , підводячи змінюваний інструмент до шпинделя. Різким рухом вздовж осі інструмент «заштовхується» в шпиндель, де відбувається його автоматичне закріплення. При цьому інструмент, який працював перед цим встановлюється в гніздо інструментального магазину на свою позицію.

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

3.3.2. Розрахунок невірноваженості пристрою для автоматичної зміни інструмента

При роботі пристроїв автоматичної заміни спостерігається явище невірноваженості, оскільки в процесі їх роботи відбувається постійна зміна мас виконавчих органів. На рис. 3.7 приведено розрахункову схему для визначення моменту невірноваженості механізму зміни інструментів автооператора з горизонтальною віссю обертання [12].

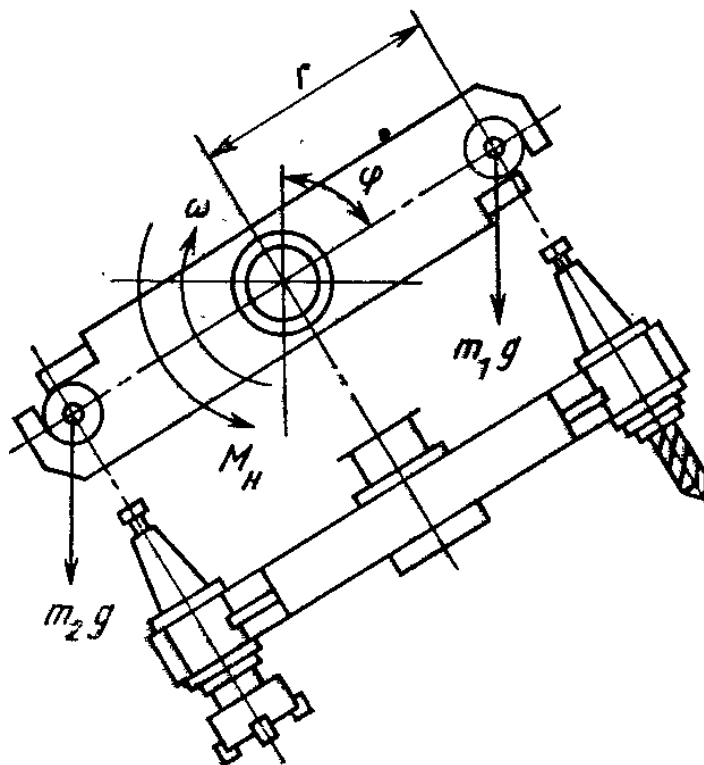


Рис. 3.7. Розрахункова схема для визначення моменту M_H невірноваженості автооператора

$$M_H = (m_1 - m_2) \cdot g \cdot r \cdot \sin\varphi \quad (3.46)$$

де: m_1 - маса найважчого інструмента;

m_2 - маса найлегшого інструмента;

g - прискорення сили важеля;

r - відстань між осями автооператора й інструмента;

φ - кутове положення автооператора.

Найважчим інструментом є торцева фреза (її вага орієнтовно становить $m_1 = 1,7$ кг), а відповідно найлегшим інструментом є пазова фреза (її вага становить $m_2 = 0,04$ кг).

Тоді розрахункове значення невірноваженості автооператора буде становити:

$$M_n = (1.7 - 0.04) \cdot 9.8 \cdot 0.2 \cdot 1 = 3.25 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Основним завданням проектування робочого місця робітника-верстатника є створення такої конструкції обладнання, заготовок, готових деталей і оснащення, при якому відсутні зайві і нераціональні рухи та переміщення. Тому до організації робочого місця верстатника висуваються спеціальні вимоги [24]:

- захист від рухомих елементів обладнання;
- захист обладнання огорожами;
- наявність протиаварійних заходів і запобіжних блокувань;
- захист від можливої травми гострими кромками;
- захист від впливу шуму та вібрацій;
- надійне освітлення на робочому місці;
- захист від твердих і рідких аерозолів у повітрі робочої зони.

Захист від рухомих елементів обладнання.

Усі рухомі елементи обладнання повинні бути розташовані так, щоб виключалася можливість травмування людини. Тому периферійні пристрої, обслуговування яких здійснює оператор в процесі роботи обладнання (різноманітні пульти керування та панелі керування) повинні бути розміщені в безпечних зонах.

При використанні багатопозиційного обладнання, в якому обслуговування робочих позицій може проходити без зупинки технологічного процесу, необхідно вжити заходів щодо недопущення людини в небезпечну зону працюючих позицій.

А для верстатів з ЧПК, в яких застосовується механізоване кріплення інструменту, повинні використовуватися системи блокування вмикання верстата

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ		
Розроб.		Жолабський В.Я.					
Перевір.		Склярів Р.А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Кодельник В.Р.					
Затверд.		Кодельник В.Р.			Літ. Арк. Аркушів		
					49 4		
					ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВС-41, м. Тернопіль		

при незатисненому інструменті. Усі органи керування приводом для закріплення інструменту повинні бути зручно розташовані, а на пульті керування має бути сигнальний пристрій, який підтверджує кріплення інструменту.

Захист огорожами.

Якщо на виробництві використовуються рухомі елементи, що знаходяться на висоті менше як 2500 мм від рівня підлоги, то вони становлять небезпеку для людини [6]. Тому в таких приміщеннях повинні застосовуватися спеціальні захисні огорожі. Вони повинні забезпечувати захист людини за нормальних умов експлуатації, а також при виникненні аварійних ситуацій (наприклад, при поломці устаткування, випаданні інструменту чи деталі з магазинів або транспортних пристосувань, викиданні заготовок і (або) інструменту із зони обробки). Такі огорожі можуть бути суцільними або містити спеціальні отвори (несуцільними). За можливості на виробництві слід застосовувати суцільні огорожі.

Оскільки багатоцільові верстати переважно використовують пристрої для підводу мастильно-охолоджуючих рідин (МОР) у зону обробки верстатів, то в них передбачається система яка дозволяє зручне та безпечне регулювання їх положення, а також дозволяє проводити надійну фіксацію та оптимальний розподіл рідини в зону різання. Огорожі при цьому повинні забезпечити унеможливлення попадання МОР, стружки та пилу на пульти (панелі) електричного керування та кінцеві вимикачі.

Протиаварійні заходи і запобіжні блокування.

Також конструкція верстата повинна виключати можливість довільного ослаблення кріплення його елементів. Якщо цього не зробити, то можуть виникати різноманітні аварійні ситуації, відбуватися поломки елементів устаткування або довільного переходу його на інші режими робіт. Також обладнання повинне містити системи, що унеможливають його експлуатацію при режимах роботи, які здатних призвести до його руйнування або створити небезпеку для працюючих.

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для змащування рухомих вузлів на верстаті застосовується централізована система змащування з автономним приводом, така система не допускає можливості ввімкнення приводу верстата без ввімкненої системи змащування.

Захист від можливої травми гострими кромками.

На підприємствах зовнішні поверхні устаткування, захисних огорож, поручнів, сходів і площадок, рукояток не повинні мати гострих кромek та задирок. Вони не повинні спричинити травму під час роботи або обслуговування обладнання. Якщо обладнання має гострі кромки і їх наявність яких визначається функціональним призначенням елементів, то тоді вживаються додаткові заходи захисту працюючих від можливого травмування.

Органи керування, рукоятки, призначені для затискання інструменту, заготовки та інших елементів обладнання, повинні бути виконані так, щоб керуюча дія на них не була спрямована в бік гострих кромek інструменту, оскільки може виникати небезпека при зриві руки з органу керування.

Захист від впливу шуму та вібрацій.

В процесі експлуатації верстати стають джерелами шуму, ультразвуку та вібрації, при цьому вони не повинні перевищувати допустимі рівні які встановлені ДСТУ 2807-94.

У відповідності до існуючих санітарних норм та правил допустиме вібраційне навантаження не повинно перевищувати для загальної вібрації (за віброшвидкістю) 92 дБ, а для локальної вібрації – 112 дБ [6].

Допустиме шумове навантаження за 8-ми годинну робочу зміну не повинне перевищувати 80 дБА. Тому для забезпечення допустимого шумового навантаження робітники повинні використовувати індивідуальні засоби захисту від шуму, а на устаткуванні повинен міститися знак небезпеки (він допускає роботу на обладнанні тільки при наявних засобах захисту).

Освітлення.

Згідно існуючих вимог усі універсальні верстати повинні бути забезпечені пристроями місцевого освітлення зони обробки. У пристроях повинна бути передбачена можливість зручного, надійного встановлення і фіксації світильників у потрібних положеннях. При цьому освітленість робочої поверхні

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в зоні обробки верстатів з ручним керуванням в системі комбінованої освітленості (загальна плюс місцева, що дорівнює 200 лк) повинна відповідати наступним значенням [6]:

- для фрезерних верстатів – 2000 лк;
- для свердлильних, розточних та верстатів з ЧПК- 1500 лк.

Захист від твердих і рідких аерозолів у повітрі робочої зони.

Під час роботи верстатів під час обробки утворюється пил, дрібна стружка, шкідливі для здоров'я аерозолі і гази, концентрація яких у робочій зоні може перевищувати гранично допустиму. Тому в них слід передбачити можливість відсмоктування із зони обробки забрудненого повітря, очищення його від домішок. За необхідності верстати оснащують індивідуальними пристроями, а саме пило-стружко-газоприймачі та відсмоктувальні пристрої. При цьому зона обробки в них повинна закриватися захисним кожухом, а вже до нього приєднують повітропровід відсмоктувальної системи.

Огорожі зони різання повинні бути сконструйовані так, щоб потоки повітря від деталей, які швидко обертаються, патронів або інструменту не були спрямовані в бік робочого місця оператора. Швидкість переміщення повітря в робочій зоні, яке спричинюється працюючим устаткуванням, не повинна перевищувати 0,5 м/с.

Для робочого місця регламентуються згідно [2] вміст шкідливих речовин в повітрі (ГОСТ 12.1.005-76 і СН 245-71). По СН 245-71 встановлені гранично допустимі норми концентрації шкідливих речовин g , ГДК в мг/м^3 в повітрі робочої зони:

- оксид вуглецю: $g\text{ГДК} = 20 \text{ мг/м}^3$;
- марганець: $g\text{ГДК} = 0.3 \text{ мг/м}^3$;
- ртуть, олово: $g\text{ДК} = 0.01 \text{ мг/м}^3$.

Згідно СНІП II-33-75:

- пил в повітрі: $g\text{ГДК} = 2 \pm 4 \text{ мг/м}^3$.

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

ВИСНОВКИ

На основі технічного завдання на проектування проведено розрахунки які дозволяють здійснити верстатно-інструментальне забезпечення ТП механічної обробки деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444».

Огляд літератури показав, що для обробки корпусних деталей доцільно використовувати багатоцільові верстати з ЧПК, які мають високу гнучкість та є надійними. На таких верстатах широко застосовуються різноманітні розточувальні оправки, борштанги, головки, комбінований інструмент, а також багатолезове оснащення з кінематичними міжінструментальними зв'язками. Такі верстати доцільно оснащувати пристроями автоматичної заміни інструментів

Запропоновано ТП обробки деталі «Корпус редуктора КСБВ-11.021.444» з використанням верстатів моделі 2А459АФ4 та 3ХА4621. Аналітичними та табличними методами призначено режими різання. Здійснено вибір необхідного різального та вимірювального

Здійснено обґрунтування технічних характеристик верстату за критеріями габаритних розмірів інструменту, граничними значеннями таких показників як глибина різання, подача, швидкість різання та частоти обертання шпинделя.

Для приводу верстату обґрунтовано вибір двигуна приводу головного руху, з каталогу вибрано двигун 2ПН160ЛУХ4, який має наступні характеристики: $N_{ел.дв.} = 14 \text{ кВт}$; $n_n = 800 \text{ об/хв}$; $n_{max} = 4000 \text{ об/хв}$.

Здійснено розрахунок діапазону регулювання приводу головного руху, здійснено розробку кінематичної схеми коробки швидкостей.

Для розробленої кінематичної схеми проведено розрахунок клинопасової передачі, розраховано номінальну міжосьову відстань передачі, яка становить 323 мм, а також розраховані діаметри шківів, кількість ременів у передачі становить $z = 4$, розраховано величину попереднього натягу вітки одного ременя, вона становить $F_0 = 124,88 \text{ Н}$.

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Жолдобський В.Я.			<i>ВИСНОВКИ</i>		
Перевір.		Склярів Р.А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Кодельник В.Р.					
Затверд.		Кодельник В.Р.					
						Літ.	Арк.
							53
							2
						ТНТУ ім. І. Пулюя	
						гр. МВС-41, м. Тернопіль	

Здійснено розрахунок зубчастих передач на міцність. Для коліс попередньо приймаємо матеріал - Сталь 40Х ГОСТ 4543-71, для якої HRC 24..28; а для зубів HRC 45..50.

З використанням засобів САПР проведено автоматизований розрахунок валів на міцність.

Вибрано конструкцію пристрою автоматичної заміни інструментів, для якої розраховано момент неврівноваженості автооператора.

В кваліфікаційній роботі висвітлені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Барановський Ю. В. Режимы резания металов. Машиностроение,- М.: 1982,-342 с.
2. Білявський Г. О., Падун М. М., Фурдуй Р. С. Основи загальної екології. — К.: Либідь. 1995 — 368 с.
3. Волошин В. Н. Формоутворюючі можливості п'ятикоординатного фрезерного верстату з ЧПК / В. Н. Волошин, В. В. Луців // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 28-29 листопада 2018 року. — Т. : ТНТУ, 2018. — Том 1. — С. 56–57. — (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).
4. Гевко І. Б Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І. Б. Гевко, Р. Я. Лещук, І. І. Стойко, Н. М. Марчук, М. Д. Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.– Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.
5. Горбацевич А. Ф. и др. Курсовое проектирование по технологии машиностроения.- Минск.: Высшая школа, 1970.
6. Житецький В. Ц., Джигирей В. С, Мельников О. В. Основи охорони праці. Навчальний посібник. - Вид. 4-те, доповнене. - Львів- Афіша, 2000. — 350 с
7. Зубовецька Н. Т., Редько Р. Г., Марчук. І. В. Аналіз використання багатоцільових верстатів з ЧПУ на прикладі IP-500. "Наукові нотатки". Міжвузівський збірник. Випуск 51 Луцьк, 2015, - С.81-85.
8. Коновалов А. Б., Гребенникова В. М. Ременные передачи: учебное пособие / СПбГТУРП. СПб., 2011.: 106 с.
9. Кочергин А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование. Учеб. пособие для вузов — Мн.: Вышш, шк., 1991,- 382 с.

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</i>		
Розроб.		Жолабідський В.Я.					
Перевір.		Склярів Р.А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Кодельник В.Р.					
Затверд.		Кодельник В.Р.			<div>ТНТУ ім. І. Пулюя</div> <div>гр. МВС-41, м. Тернопіль</div>		
					Лит.	Арк.	Аркушів
						55	3

10. Краткий справочник металлста / Под ред. П. Н. Орлов и Е. А. Скороходов. – М.: Машиностроение, 1987. – 960 с.
11. Крижанівський В. А., Кузнецов Ю. М., Валявський І. А., Скляр Р. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою. – Кіровоград, 2004. – 449с.
12. Кузнецов Ю.Н. Целевые механизмы станков-автоматов и станков с ЧПУ.- К.-Тернополь: ООО "ЗМОК" - ПП "ГНОЗИС", 2001.-354 с.
13. Кузнецов Ю. М., Крижанівський В. А., Скляр Р. А. Сучасний стан, прогнозування і перспективи розвитку верстатів з паралельною кінематикою // Зб. наукових праць «Процеси механічної обробки в машинобудуванні». - ЖДТУ, 2005. - Вип. 1. – С. 320 – 333.
14. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А., Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Скляр; під ред. Ю. М. Кузнецова. – К.: ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗИС», 2004. – 323 с.
15. Луців І. В. Динамічні характеристики підсистем верстатного оснащення адаптивного типу / І. В. Луців, Р. Я. Лещук // Вісник Тернопільського державного технічного університету, 2009, Том 14, №4. С.144-149.
16. Луців І. Кінематичні особливості багатолезової адаптивної обробки/ І. В. Луців // Вісник Тернопільського державного технічного університету, 1998, т.3, №4, с.107-111.
17. Луців І. Структурний синтез багатолезового оснащення з кінематичними міжінструментальними зв'язками / І. В. Луців // Вісник Тернопільського державного технічного університету, 1997, т.2, №1, с.78-84.
18. Обоснование технических характеристик станков: /Сост. Зубенко В. Л., Денисенко А. Ф., Рабкин А. Л. - Куйбышев: КпТИ, 1984г., 40с.
19. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Сачко Н. С., Бабук Н. М. Организация и планирование машиностроительного производства. (Курсовой проект, работа) – Минск, Высшая школа, 1975,- 286 с.

21. Скляр Р. А. Динамічна модель приводу автоматичної заміни інструментів багатоцільових верстатів / Р. А. Скляр, В. В. Шанайда // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Обладнання і технології сучасного машинобудування», 11-12 травня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 155–156.

22. Скляр Р. А. Розробка критеріальних оцінок для аналізу компоновок верстатів з паралельною кінематикою / Р. А. Скляр, В. В. Шанайда // Матеріали наукової конференції ТНТУ ім. Ів. Пулюя, 18-19 травня 2016 року — Т. : ТНТУ, 2016 — С. 74.

23. Скляр Р., Шанайда В. Використання багатофункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. Збірник тез доповідей XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2012, С. 69.

24. Справочная книга по охране труда в машиностроении / Под. ред. Русака А. А. – Л.: Машиностроение, – 1989 г. – 541 с.

25. Справочник инструментальщика / И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А. Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И. А. Ординарцева.- Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987.- 846 с.

26. Справочник технолога-машиностроителя в 2-х томах. Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещякова – 4-е издание. М.: Машиностроение, 1985.- 515 с.

27. Vitenko T. Features of creating a solid models and assembly operations at CAD-systems / Vitenko T., Shanaida V., Drożdziel P., Madlenak R. // 9th International Conference on Education and New Learning Technologies, Barcelona (Spain), 3rd-5th of July, 2017: IATED Academy, 2017. – P. 7464-7469. - Режим доступу: <https://library.iated.org/view/VITENKO2017FEA>

					<i>КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ДОДАТКИ

					КРБ 20-205.00.00.000.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічна характеристика верстату мод. 2А459АФ4

№ п/п	Технічна характеристика верстату	Величина
1.	Клас точності верстата	А
2.	Розміри робочої поверхні столу по ГОСТ 6569-75, мм ширина; довжина.	1000 1000
3.	Найбільший діаметр розточуваного отвору, мм	250
4.	Розмір вмонтованого поворотного столу, мм	1000*100 0
5.	Розмір робочої поверхні стола-супутника, мм	800*800
6.	Найбільша маса деталі, що встановлюється, кг	2000
7.	Відстань від осі шпинделя до робочої поверхні стола, мм.	1040
8.	Найбільший хід по осях X, Y, Z, мм	1250, 1000, 800
9.	Діапазон частот обертання шпинделя, хв. ⁻¹	20-2500
10.	Діапазон подач, мм/хв	2-2500
11.	Швидкість швидких переміщень робочих органів, м/хв	8
12.	Ємність інструментального магазину, шт	40
13.	Конус отвору в шпинделі	50АТ3
14.	Найбільша маса інструменту, кг	20
15.	Найбільша довжина інструмента, мм	450
16.	Час заміни інструменту, сек	7
17.	Дискретність задання переміщень, мм	0,001
18.	Точність встановлення координат столу і шпиндельної бабки, мм	0,01
19.	Потужність приводу головного руху, кВт	14
20.	Габарити верстата, мм • довжина; • ширина; • висота.	4040 3970 3570
21.	Вага верстата з приставним обладнанням, кг	21200

Перелік складових частин верстата

Позиція	Найменування
1	Станина
2	Телескопічний захист напрямних станини (стола)
3	Телескопічний захист напрямних станини (стійки)
4	Телескопічний захист напрямні станини (стійки)
5	Передача гвинт-гайка кочення переміщення стола
6	Передача гвинт-гайка кочення переміщення стійки
7	Стіл
8	Редуктор
10	Стійка
11	Передача гвинт-гайка кочення переміщення шпиндельної бабки
12	Затискач інструмента
13	Пристрій попереднього натягу
14	Пристрій шпиндельний
15	Бабка шпиндельна
16	Коробка швидкостей
17	Пристрій попереднього натягу
18	Опора регульована
19	Опора нерегульована
20	Пристрій транспортування гідро й електрокомунікацій (до стійки)
21	Пристрій транспортування гідро й електрокомунікацій (до стола)
22	Охолодження зони різання й змив стружки
23	Охолодження зони різання
25	Розведення гідравліки
26	Гідроагрегат
27	Гідроциліндр зрівноважування шпиндельної бабки
28	Циліндр віджиму інструмента
29	Гідробак
30	Циліндр перемикання шестерень
31	Циліндр перемикання блоку
32	Електрошафи
33	Куль керування
34	Перетворювач вимірювальний по координаті X, Y, Z (оптико-електронний растровий перетворювач ЛІР8)
35	Перетворювач вимірювальний по координаті В (оптико-електронний растровий перетворювач ЛІР1170А)
36	Датчик орієнтації шпинделя (оптико-електронний перетворювач ЛІР158Д)
37	Пристрій ЧПК

Додаток В

Результат перевірки відхилень дійсних значень частот обертання шпинделя від
табличних

Значення з графіку частот обертів шпиндельного вузла	Формула обрахунку передаточного відношення	Величина допуску на відхилення
3150	$4000 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 3136$	$\Delta = \frac{3150 - 3136}{3150} \cdot 100\% = -0,44\%$
2800	$3550 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 2812$	$\Delta = \frac{2800 - 2812}{2800} \cdot 100\% = -0,42\%$
2500	$3150 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 2514$	$\Delta = \frac{2500 - 2514}{2500} \cdot 100\% = -0,56\%$
2240	$2800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 2246$	$\Delta = \frac{2240 - 2246}{2240} \cdot 100\% = -0,26\%$
2000	$2500 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 2008$	$\Delta = \frac{2000 - 2008}{2000} \cdot 100\% = -0,4\%$
1800	$2240 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 1816$	$\Delta = \frac{1800 - 1816}{1800} \cdot 100\% = -0,88\%$
1600	$2000 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 1609$	$\Delta = \frac{1600 - 1609}{1600} \cdot 100\% = -0,56\%$
1400	$1800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 1415$	$\Delta = \frac{1400 - 1415}{1400} \cdot 100\% = -1,07\%$
1250	$1600 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 1256$	$\Delta = \frac{1250 - 1256}{1250} \cdot 100\% = -0,48\%$
1120	$4000 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{50}{62} = 1117$	$\Delta = \frac{1120 - 1117}{1120} \cdot 100\% = 0,26\%$
1000	$3550 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{50}{62} = 998$	$\Delta = \frac{1000 - 998}{1000} \cdot 100\% = 0,2\%$
900	$3150 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{50}{62} = 897$	$\Delta = \frac{900 - 897}{900} \cdot 100\% = 0,33\%$
800	$2800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{50}{62} = 799$	$\Delta = \frac{800 - 799}{800} \cdot 100\% = 0,13\%$
710	$2500 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{50}{62} = 709$	$\Delta = \frac{710 - 709}{710} \cdot 100\% = 0,14\%$
630	$800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 632$	$\Delta = \frac{630 - 632}{630} \cdot 100\% = -0,32\%$
630	$710 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{32} = 564$	$\Delta = \frac{560 - 564}{560} \cdot 100\% = -0,71\%$

500	$630 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{88} = 503$	$\Delta = \frac{500 - 503}{500} \cdot 100\% = -0,6\%$
450	$560 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{88} = 450$	$\Delta = \frac{450 - 450}{450} \cdot 100\% = 0\%$
400	$4000 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 404$	$\Delta = \frac{400 - 404}{400} \cdot 100\% = -1\%$
355	$3550 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 358$	$\Delta = \frac{355 - 358}{355} \cdot 100\% = -0,84\%$
315	$3150 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 317$	$\Delta = \frac{315 - 317}{315} \cdot 100\% = -0,64\%$
280	$2800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 281$	$\Delta = \frac{280 - 281}{280} \cdot 100\% = -0,35\%$
250	$2500 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 253$	$\Delta = \frac{250 - 253}{250} \cdot 100\% = -1,2\%$
224	$2240 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 222$	$\Delta = \frac{224 - 222}{224} \cdot 100\% = 0,89\%$
200	$2000 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 199$	$\Delta = \frac{200 - 199}{200} \cdot 100\% = 0,5\%$
178	$1800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 178$	$\Delta = \frac{180 - 178}{180} \cdot 100\% = 1,11\%$
160	$1600 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 159$	$\Delta = \frac{160 - 159}{160} \cdot 100\% = 0,63\%$
140	$1400 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 140$	$\Delta = \frac{140 - 140}{140} \cdot 100\% = 0\%$
125	$1250 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 124$	$\Delta = \frac{125 - 124}{125} \cdot 100\% = 0,8\%$
112	$1120 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 111$	$\Delta = \frac{112 - 111}{112} \cdot 100\% = 0,89\%$
100	$1000 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 100$	$\Delta = \frac{100 - 100}{100} \cdot 100\% = 0\%$
90	$900 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 89$	$\Delta = \frac{90 - 89}{90} \cdot 100\% = 1,11\%$
80	$800 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 79$	$\Delta = \frac{80 - 79}{80} \cdot 100\% = 1,2\%$
71	$710 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 71$	$\Delta = \frac{71 - 71}{71} \cdot 100\% = 0\%$
63	$630 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 63$	$\Delta = \frac{63 - 63}{63} \cdot 100\% = 0\%$

56	$560 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 56,5$	$\Delta = \frac{56 - 56,5}{56} \cdot 100\% = -0,89\%$
50	$500 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 50,3$	$\Delta = \frac{50 - 50,3}{50} \cdot 100\% = -0,6\%$
45	$450 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 45,4$	$\Delta = \frac{45 - 45,4}{45} \cdot 100\% = -0,88\%$
40	$400 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 40,1$	$\Delta = \frac{40 - 40,1}{40} \cdot 100\% = -0,25\%$
35,5	$355 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 35,5$	$\Delta = \frac{35,5 - 35,5}{35,5} \cdot 100\% = 0\%$
31,5	$315 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 31,48$	$\Delta = \frac{31,5 - 31,48}{31,5} \cdot 100\% = 0,63\%$
28	$280 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 27,88$	$\Delta = \frac{28 - 27,88}{28} \cdot 100\% = 0,43\%$
25	$250 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 24,96$	$\Delta = \frac{25 - 24,96}{25} \cdot 100\% = 0,16\%$
22,4	$224 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 22,38$	$\Delta = \frac{22,4 - 22,38}{22,4} \cdot 100\% = 0,56\%$
20	$200 \cdot \frac{130}{156} \cdot \frac{32}{80} \cdot \frac{24}{88} = 19,87$	$\Delta = \frac{20 - 19,87}{20} \cdot 100\% = 0,65\%$