

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**ПРОГРАМУВАННЯ ВЕРСТАТА З ЧПУ**

Методичні вказівки  
до виконання розділу дипломного проекту бакалавра

для студентів спеціальностей  
7.05050201 «Технології машинобудування»,  
7.05050302 «Інструментальне виробництво»

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 2 від 06.12. 2012 р.

Харків  
НТУ «ХП»  
2013

Програмування верстата з ЧПУ : методичні вказівки до виконання розділу дипломного проекту бакалавра для студентів спеціальностей 7.05050201 «Технології машинобудування», 7.05050302 «Інструментальне виробництво» / уклад. В. М. Доля. – Х. : НТУ «ХП», 2013. – 65 с.

Укладач: В.М. Доля

Рецензент І.М. Пижов, д-р техн. наук, проф.

Кафедра інтегрованих технологій машинобудування.

## Вступ

Сучасний розвиток машинобудування безпосередньо пов'язаний з ефективним використанням роботизованих технологічних комплексів та верстатів з ЧПУ. Технічна документація, що додається до обладнання, не знайшла широкого поширення і доступна вузькому колу фахівців. Метою цього видання є надання студентам необхідних початкових знань у галузі програмування управляючих програм, порядку розробки управляючої програми для верстата моделі 16K20T1 з системою числового програмного управління „Електроніка НЦ-31”. Методичні вказівки призначені для допомоги студентам у підготовці та розробці розділу дипломного проекту бакалавра, а також дипломного проекту спеціаліста.

У першому розділі методичних вказівок викладені загальні правила кодування інформації управляючих програм згідно з кодом ISO-7 bit; подані значення управляючих символів та знаків, значення підготовчих функцій та технологічних команд за ГОСТ 20999-83. Детально викладені особливості програмування токарного верстата мод. 16K20T1 з ПЧПУ “Електроніка НЦ-31”. Розглянуто приклад програмування управляючої програми. Наведені технічні характеристики та призначення верстата мод. 16K20T1 з ПЧПУ “Електроніка НЦ-31”.

У другому розділі розглянуто порядок поетапної розробки управляючої програми для верстата мод. 16K20T1 — від аналізу креслення деталі, яку необхідно обробити на верстаті, до розрахунку розмірів заготовки та проміжних розмірів, розрахунку режимів різання, побудови траєкторії переміщення різального інструмента та нормування операції. Наведена управляюча програма.

Методичні вказівки можуть бути корисними для студентів усіх форм навчання машинобудівних спеціальностей та програмістів верстатів з ЧПУ.

# 1. ПРОГРАМУВАННЯ УПРАВЛЯЮЧИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 16К20Т1 З СИСТЕМОЮ ЧПУ «ЕЛЕКТРОНІКА НЦ-31»

## *1.1. Правила програмування*

Верстат токарний програмний з оперативною системою управління моделі 16К20Т1 призначений для токарної обробки за один або кілька проходів у замкненому напівавтоматичному циклі зовнішніх та внутрішніх поверхонь деталей типу тіл обертання зі ступінчастим та криволінійним профілем різної складності, включаючи нарізування кріпильної різьби.

Програма переміщень інструмента та допоміжні команди вводяться до пам'яті оперативної системи управління з клавіатури пульта або касети зовнішньої пам'яті.

Пристрій ЧПУ «Електроніка НЦ-31» забезпечує введення та редагування управляючої програми за допомогою клавіатури пульта, а також здатність передачі програми в касету зовнішньої пам'яті та з неї. Система ЧПУ «Електроніка НЦ-31» належить до типу CNC і містить у собі як традиційні функції оперативної системи, так і функції введення та корекції програми обробки, управління верстатом, розрахунку управляючої програми за мінімальним обсягом вхідних даних безпосередньо на робочому місці. Ця система має широкі технологічні здатності щодо завдання та корекції програми в режимі діалогу оператора з пристроєм ЧПУ. Використовується при обробці деталей різноманітної конфігурації (деталі ступінчастої форми з низкою додаткових геометричних елементів, розташованих вздовж контуру, наприклад конуса, різьби, канавки, галтелі та ін.) в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва. Система ЧПУ «Електроніка НЦ-31», що вмонтована у верстат 16К20Т1, дозволяє зберігати протягом декількох діб з вимкненим обладнанням до чотирьох управляючих програм формату до 250 кадрів, а в касету зовнішньої пам'яті можна записати до восьми управляючих програм того ж формату. У кожному кадрі програмується тільки одне слово, яке складається з буквеної адреси та числового значення. Дискретність завдання розмірів є 0,01 мм.

Значення подачі програмується за адресою F від F1 до F280, що відповідає значенню подачі від 0,01 до 2,8 мм/об. На верстаті моделі 16К20Т1 вста-

новлений шестипозиційний автоматичний поворотний різцеутримувач, який забезпечує встановлення за командами від T1 до T6 у робочу позицію одного з шести інструментів, розташованих у ньому.

Встановлення необхідної частоти обертів шпинделя відбувається за рахунок автоматичної коробки швидкостей, яка має дев'ять ступеневих положень, що вмикаються за командами S1 – S9 від СЧПУ та рукоятки перебору на передній шпиндельній бабці, яка має три положення, що перемикаються оператором. Частоти обертів шпинделя, які використовуються на верстаті моделі 16K20T1, зазначені у таблиці 1.1.

При програмуванні УП використовуються адреси та спеціальні знаки, що наведені у таблиці 1.2.


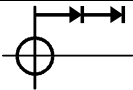
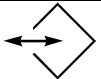
Таблиця 1.1 – Частота обертів шпинделя, об/хв.

Положення рукоятки	Команди контролю	Команди від СЧПУ «Електроніка НЦ-31»								
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
	M38	12,5	18	25	35,5	50	71	100	140	200
	M39	50	71	100	140	200	280	400	560	800
	M40	125	180	250	355	500	710	1000	1400	2000

Таблиця 1.2 – Адреси та спеціальні знаки

Символ	Значення
M	Допоміжна функція (таблиця 1.3)
N	Номер кадру
P	Параметри верстата та технологічних функцій

Закінчення таблиці 1.2

Символ	Значення
G	Технологічні функції (таблиця 1.4)
S	Команда на швидкість шпинделя
T	Команда на зміну інструмента
F	Подача
X	Напрямок руху поперек
Z	Напрямок руху вздовж
	Знак швидкого переміщення
	Знак завдання відносної системи відліку
*	Знак об'єднання кадрів
+45°	Знак завдання ознаки зняття фаски під кутом +45°
-45°	Знак завдання ознаки зняття фаски під кутом -45°
-	Мінус
	Кінець кадру

Таблиця 1.3 – Значення допоміжних функцій

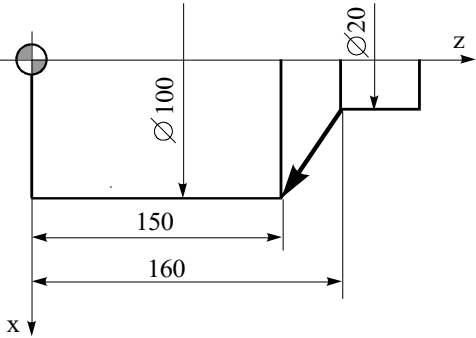


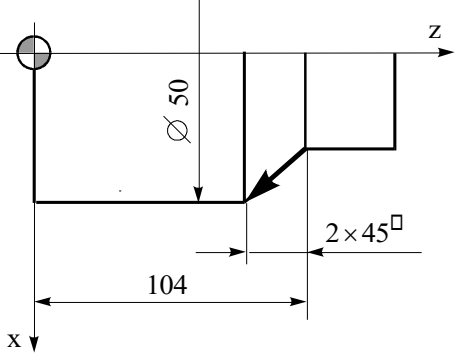


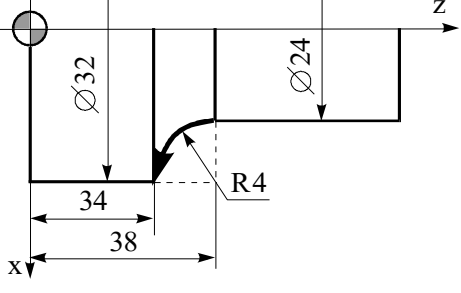



Функція	Значення
M0	Зупинник управляючої програми обробки
M3	Праві оберти шпинделя
M4	Ліві оберти шпинделя
M5	Зупинник шпинделя
M8	Вмикання охолодження
M9	Вимикання охолодження
M30	Кінець управляючої програми обробки
M38	Нижній ступінь швидкостей шпинделя
M39	Середній ступінь швидкостей шпинделя
M40	Верхній ступінь швидкостей шпинделя

Таблиця 1.4 – Значення технологічних функцій

Функція	Значення
G2	Обробка дуги, меншої ніж $90^\circ$ , за годинниковою стрілкою
G3	Обробка дуги, меншої ніж $90^\circ$ , проти годинникової стрілки
G4	Витримка часу
G12	Обробка однієї чверті кола за годинниковою стрілкою
G13	Обробка однієї чверті кола проти годинникової стрілки
G25	Звертання до підпрограми обробки
G31	} Група циклів різьбонарізання
G32	
G33	
G55	Запланований програмний зупинник
G70	} Група однопрохідних циклів
G71	
G73	Цикл глибокого свердління
G74	Цикл обробки торцевої проточки
G75	Цикл обробки прямих зовнішніх канавок
G77	Багатопохідний цикл зняття припуску вздовж (паралельно осі Z)
G78	Багатопохідний цикл зняття припуску поперек (паралельно осі X)
G92	Автоматичне зміщення нульової точки

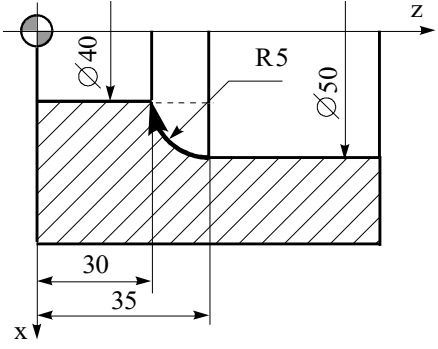



Розглянемо декілька прикладів фрагментів управляючих програм для обробки типових поверхонь деталей (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5 – Приклади фрагментів УП

Рисунок поверхні	Фрагмент програми
<p style="text-align: center;">Програмування конуса</p> 	<p>N100 X2000                      N101 Z16000                      N102 X10000*                      N103 Z15000                      або                      N102 X8000 *                      N103 Z-1000 </p>
<p style="text-align: center;">Програмування фасок під кутом 45°</p> 	<p>N98 X4600                      N99 Z10400                      N100 X5000-45°                      або                      N100 Z10200+45°                      або                      N100 X400-45°                       або                      N100 Z-200+45° </p>
<p style="text-align: center;">Програмування радіусів</p> 	<p>N100 G13*                      N101 X3200*                      N102 Z3400                      або                      N100 G13 *                      N101 X800 *                      N102 Z-400 </p>

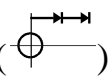


Закінчення таблиці 1.5




Рисунок поверхні	Фрагмент програми
<p style="text-align: center;">Програмування радіусів</p> 	<pre> N100 G12 * N101 X4000 * N102 Z3000 або N100 G12  * N101 X-1000  * N102 Z-500                      </pre>

У пам'яті сучасних СЧПУ постійно зберігається низка типових технологічних циклів, що значно спрощують підготовку УП. Ці цикли мають код G. Усі G-цикли вводяться в режимі «Діалог», що дозволяє автоматизувати цей процес та зменшити кількість помилок. Ознака \* вводиться автоматично. G-цикл складається з послідовності кадрів: перший кадр – заголовок циклу – містить буквену адресу G та номер циклу; наступні кадри характеризують формат циклу. Окрім розглянутих циклів G12 та G13 в СЧПУ «Електроніка НЦ-31» реалізуються G-цикли, наведені у таблиці 1.6.

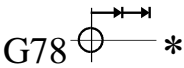

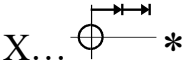

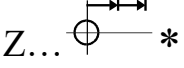

Таблиця 1.6 – Формат та значення G-циклів

Формат циклу	Значення змісту G-циклу
<p>Програмування радіусних поверхонь вздовж дуги, меншої за 90°</p> <p>G3(G2) * </p>	<p>Обхід дуги проти годинникової стрілки (Обхід дуги за годинниковою стрілкою)</p>

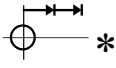
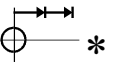
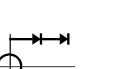
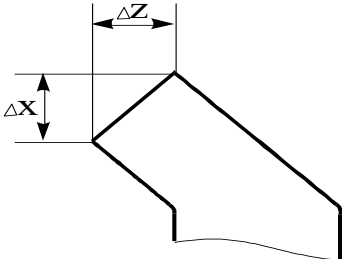
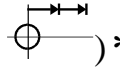
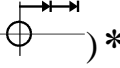
Продовження таблиці 1.6

Формат циклу	Значення змісту G-циклу
<p>X...(X...)*</p> <p>Z...(Z...)*</p> <p>R...*</p> <p>R...</p>	<p>} Координати кінцевої точки дуги (прирошення координат)</p> <p>Відстань від першої точки дуги до її центра паралельно осі X</p> <p>Відстань від першої точки дуги до її центра паралельно осі Z</p> <p>Якщо перша точка дуги знаходиться в мінусі відносно центра, то відповідне значення параметра «R» треба програмувати з «-»</p>
<p>Програмування циклу зняття припуску вздовж</p> <p>G77*</p> <p>X...*</p> <p>Z...*</p> <p>R...*</p> <p>R...</p> <p>або</p> <p>G77<math>\left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array}\right)</math>*</p> <p>X...<math>\left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array}\right)</math>*</p> <p>Z...<math>\left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array}\right)</math>*</p> <p>R...*</p> <p>R...</p>	<p>Кінцевий діаметр</p> <p>Координата Z кінцевої точки проходу на кінцевому діаметрі</p> <p>Глибина різання за один прохід</p> <p>Довжина скошу припуску вздовж координати Z</p> <p>Повний припуск</p> <p>Довжина, на якій знімається припуск, мінімальна на кінцевому діаметрі</p> <p>Глибина різання за один прохід</p> <p>Довжина скошу припуску вздовж координати Z</p>







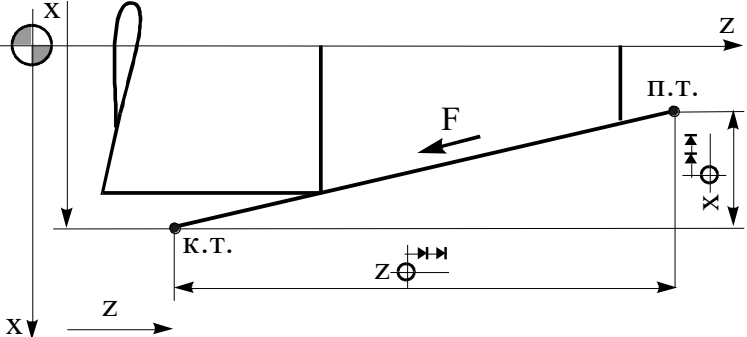
Продовження таблиці 1.6

Формат циклу	Значення змісту G-циклу
<p>Програмування циклу зняття припуску поперек</p> <p>G78 *</p> <p>X... *</p> <p>Z... *</p> <p>R... *</p> <p>R...</p> <p>або</p>  <p>G78  *</p>  <p>X...  *</p>  <p>Z...  *</p> <p>R... *</p> <p>R...</p>	<p>Діаметр, що обмежує довжину проходу</p> <p>Координата торця з урахуванням зняття припуску</p> <p>Припуск на прохід</p> <p>Перепад діаметра, що обмежує довжину проходу</p> <p>Довжина проходу</p> <p>Повний припуск</p> <p>Припуск на прохід</p> <p>Перепад діаметра, що обмежує довжину проходу</p>
<p>Команда витримки часу</p> <p>G4</p> <p>R...</p>	<p>Витримка часу в 0,01 с</p>
<p>Команда на зміну послідовності виконання кадрів УП</p> <p>Наприклад,</p> <p>N100 P150</p>	<p>З кадру N100 перейти на виконання кадру N150</p>

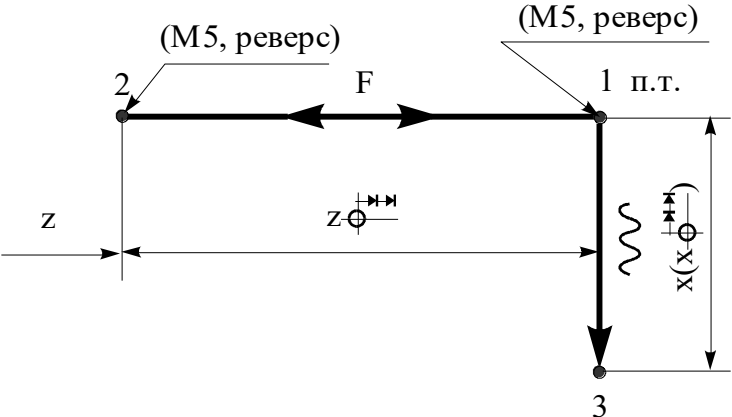
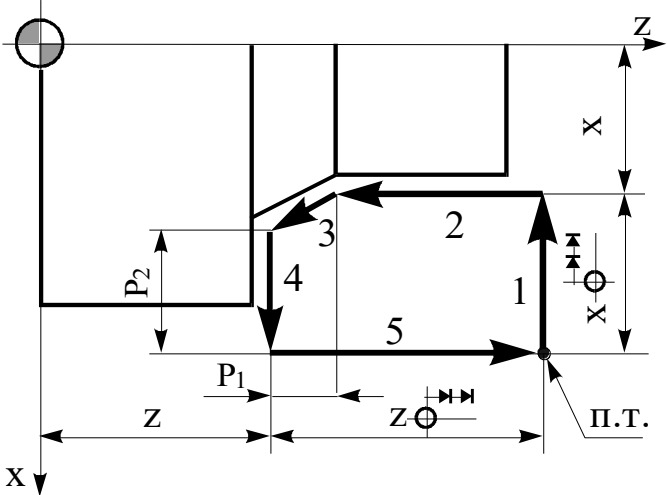
Продовження таблиці 1.6

Формат циклу	Значення змісту G-циклу
<p>Команда виклику підпрограми Наприклад, N100 G25 N101 P052080 N102P4</p>	<p>Повторити програму з кадру N52 до кадру N80 Повторити 4 рази</p>
<p>Зміщення нульової точки та корекція положення інструмента G92 * X... * Z... або G92  * X...  * Z... </p>	<p>} Нові координати точки</p>  <p>Команда діє тільки на попередньо заданий інструмент і відміняється при зміні інструмента</p>
<p>Програмування циклу глибокого свердління</p>	
<p>G73 *</p>	
<p>X...(X...  *) *</p>	<p>Координата (зміщення) інструмента після виконання циклу</p>
<p>Z...(Z...  *) *</p>	<p>Координата кінцевої точки отвору (глибина отвору)</p>



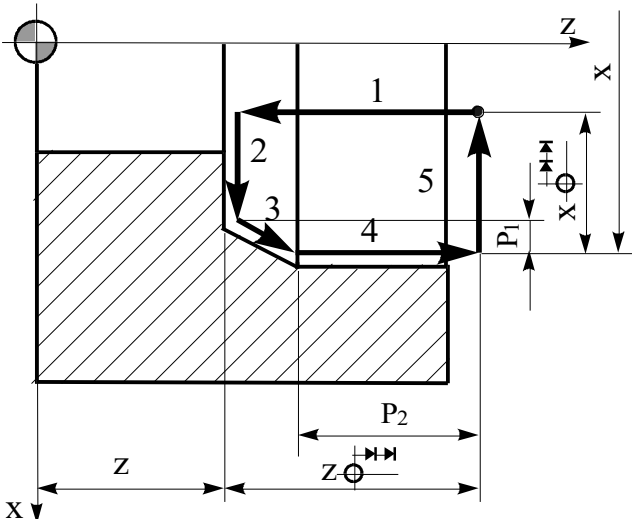


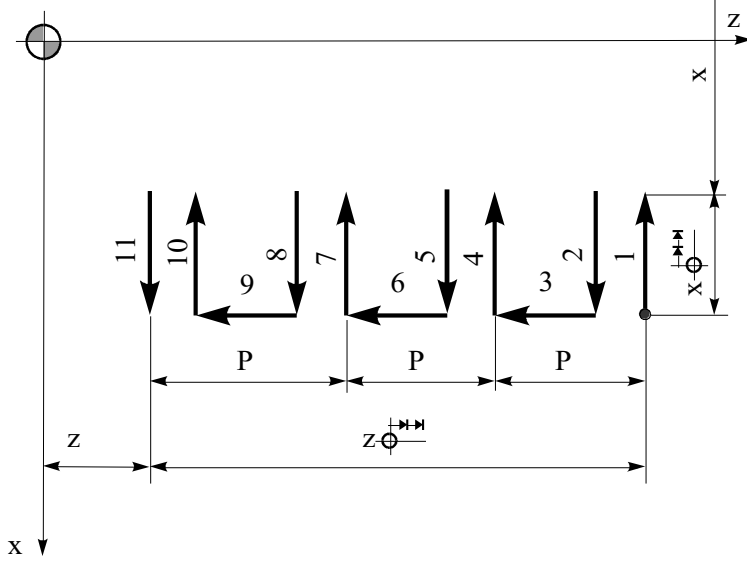

Продовження таблиці 1.6

Формат циклу	Значення змісту G-циклу
<p>R...</p>	<p>Глибина свердління за один прохід. Умова: <math>R \leq Z</math></p>  <p>, <math>R \neq 0</math>, X можна не програмувати</p>
<p>Програмування багатопрохідного циклу різьбонарізання</p> <p>G31 *</p> <p>X...(X...  ) *</p> <p>Z...(Z...  ) *</p> <p>F... *</p> <p>R... *</p> <p>R... *</p> <p>R...</p>	<p>Зовнішній діаметр різьби (зміщення до зовнішнього діаметра з початково-кінцевої точки циклу)</p> <p>Координата кінцевої точки різьби (довжина різьби)</p> <p>Крок різьби в 0,0001 мм. Діапазон різьб, що нарізають 0,0001 – 99,99 мм</p> <p>Глибина різьби (додатна, на радіус)</p> <p>Глибина різання на першому проході (додатна, на радіус)</p> <p>Конусність різьби (додатна, на діаметр)</p>
<p>Програмування однопрохідного циклу різьбонарізання</p> <p> G32 *</p> <p>X...(X...  ) *</p> <p>Z...(Z...  ) *</p> <p>F...</p>	 <p>Координата кінцевої точки (зміщення кінцевої точки відносно початкового положення по осі X)</p> <p>Координата кінцевої точки (зміщення кінцевої точки відносно початкового положення по осі Z)</p> <p>Крок різьби в 0,0001 мм</p>

Продовження таблиці 1.6

Формат циклу	Значення змісту G-циклу
<p>Нарізання різьби плашкою або мітчиком</p> <p><math>G33^*</math></p> <p><math>X...(X...)^*</math></p> <p><math>Z...(Z...)^*</math></p> <p>F...</p>	 <p>Координата (зміщення) інструмента після виконання циклу</p> <p>Координата кінцевої точки різьби (глибина різьби)</p> <p>Крок різьби в 0,0001 мм</p>
<p>Програмування однопрохідних циклів</p> <p><math>G70^*</math></p> <p><math>X...(X...)^*</math></p> <p><math>Z...(Z...)^*</math></p> <p><math>P_1...^*</math></p> <p><math>P_2...</math></p>	 <p>Умова: <math>P_1 \leq Z</math>, <math>P_2 \leq X</math></p> <p><math>P_1</math> та <math>P_2</math> можуть дорівнювати нулю</p> <p>1.-F (wavy) 2.-F 3.-F 4.-F 5.- (wavy)</p>

Закінчення таблиці 1.6

Формат циклу	Значення змісту G-циклу
<p><math>\sim G71^*</math></p> <p>X...(X...)*</p> <p>Z...(Z...)*</p> <p>P<sub>1</sub> ... *</p> <p>P<sub>2</sub> ...</p>	
<p>Програмування циклу обробки прямих зовнішніх канавок</p> <p><math>\sim G75^*</math></p> <p>X...(X...)*</p> <p>Z...(Z...)*</p> <p>P...</p>	 <p>Умова: <math>P \leq Z</math> </p> <p>1, 4, 7, 10—F</p> <p>2, 5, 8, 11—<math>\sim</math></p> <p>3, 6, 9—F(<math>\sim</math>)</p>

У таблиці 1.7 наведено приклад управляючої програми для обробки деталі, зображеної на рисунку 1.1, на верстаті моделі 16K20T1 з СЧПУ «Електроніка НЦ-31».

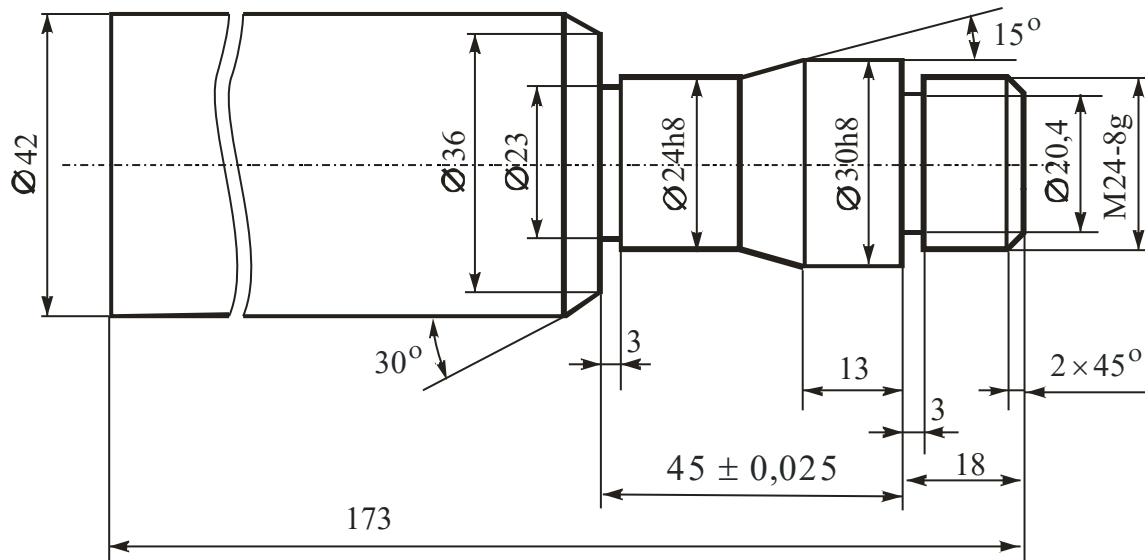







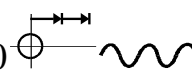
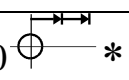






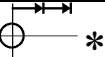

Рисунок 1.1 – Креслення деталі

Таблиця 1.7 – Приклад управляючої програми












№ кадру	Команда	Елементи управляючої програми
0	M40	Вибір діапазону швидкостей
1	M3	Вмикання обертання шпинделя
2	S5	Встановлення $n = 500$ об/хв
3	F35	Встановлення подачі $S = 0,35$ мм/об
4	T1	Встановлення різця 1, прохідного контурного
5	Z17400 	Вихід по осі Z у початкову точку циклу
6	X4200 	Вихід по осі X у початкову точку циклу
7	G77	Багатопрхідний цикл точіння вздовж
8	X3100	Координата по осі X останнього робочого ходу
9	Z-6370 	Довжина кожного робочого ходу циклу
10	R300	Глибина робочого ходу
11	X2500 	Вихід по осі X
12	Z-1870 	Проточити $\varnothing 25$ на довжину 18 мм згідно з кресленням



Продовження таблиці 1.7

№ кадру	Команда	Елементи управляючої програми
13	X3200	Вихід по осі X
14	Z-1300 	Вихід по осі Z на попереднє обточування конуса
15	Z-1120 	Обточування конуса попередньо з урахуванням похибки на радіус інструмента $R=1$ мм
16	X2500	
17	Z11030	Обточити $\varnothing 24$ до $\varnothing 25$ попередньо на довжину 62, 8 мм
18	X4500 	Відхід по осі X
19	Z17400 	Відхід по осі Z
20	X2000 	Вихід на фаску по осі X
21	S7	Встановлення $n = 1000$ об/хв
22	F25	Встановлення подачі $S = 0,25$ мм/об
23	Z-100 	Підхід до торця деталі на робочій подачі
24	X2360 - 45°	Зняти фаску $2 \times 45^\circ$
25	Z15500	Проточити $\varnothing 23,60$ остаточно на довжину 18 мм
26	X2998	Вихід на розмір по осі X
27	Z-1300 	Проточити $\varnothing 30h8$ остаточно
28	X2398 *	Проточити конус остаточно
29	Z-1120 	
30	Z11000	Проточити $\varnothing 24h8$ остаточно на довжину 63 мм
31	X3600	Вихід на розмір по осі X
32	Z-520 	Зняти фаску $30^\circ$ на $\varnothing 42$
33	X4200	
34	X10000 	Вихід по осі X у точку зміни інструмента

Закінчення таблиці 1.7

№ кадру	Команда	Елементи управляючої програми
35	Z25000 	Вихід по осі Z у точку зміни інструмента
36	F15	Встановлення подачі $S = 0,15$ мм/об
37	T2	Встановлення різця 2 канавкового
38	Z15500 	Вихід по осі Z на прорізання канавки 1
39	X3100 	Підхід по осі X
40	S5	Встановлення $n = 500$ об/хв
41	X2030	Прорізання канавки $\varnothing 20,4 \times 3$
42	X3800 	Відхід по осі X
43	Z11000 	Вихід по осі Z на прорізання канавки 2
44	X2290	Прорізання канавки $\varnothing 23 \times 3$
45	X10000 	Вихід по осі X у точку зміни інструмента
46	Z25000 	Вихід по осі Z у точку зміни інструмента
47	T3	Встановлення різця 3 для різьбонарізання
48	S6	Встановлення $n = 710$ об/хв
49	Z18300 	Вихід у початкову точку по осі Z
50	X2700 	Вихід по осі X в початкову точку циклу
51	G31	Функція циклу різьбонарізання
52	X2400	Зовнішній діаметр різьби
53	Z15700	Координата Z кінцевої точки різьби
54	F15000	Крок різьби 1,5 мм
55	P96	Глибина різьби
56	P30	Глибина першого робочого ходу
57	X10000 	Вихід по осі X у точку зміни інструмента
58	Z25000 	Вихід по осі Z у точку зміни інструмента
59	M30	Кінець програми

### 1.2. Технічні характеристики верстата мод. 16K20T1

Верстат використовується в індивідуальному, дрібносерійному та серійному виробництві з дрібними партіями деталей, що повторюються. Верстати випускаються в спеціальному та спеціалізованому виконанні з наладкою за комплектом замовлення, укомплектовуються оперативною системою числового програмного управління “Електроніка НЦ - 31”. Технічні характеристики верстата подані у таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики верстата мод.16K20T1

Найменування параметрів	Значення параметрів
Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над станиною, мм	500
Найбільший діаметр виробу, що обробляється над супортом, мм	215
Висота різця, що встановлюється в різцетримачі, мм	25
Кількість координат, що управляються / найбільша кількість координат, що управляються одночасно	2/2
Найбільша довжина виробу, що встановлюється, мм	1000
Найбільша довжина обробки, мм	900
Центр у шпинделі передньої (шпиндельної) бабки за ГОСТ 13214-79	7032-0043 Морзе 6
Кінець шпинделя фланцевого за ГОСТ 12593-72	6К
Найбільший діаметр прута, що проходить крізь отвір у шпинделі, мм	53
Центр у пінолі задньої бабки за ГОСТ 13214-79	7032-0035 Морзе 5
Кількість швидкостей шпинделя	22
Кількість швидкостей, що автоматично перемикаються	9
Частота обертання шпинделя, об/хв	12,5 – 2000

Закінчення таблиці 1.8

Найменування параметрів	Значення параметрів
Діапазони частоти обертання шпинделя, що встановлюються вручну, об/хв: 1 діапазон 2 діапазон 3 діапазон	12,5 – 200 50 – 800 125 – 2000
Діапазон подач, мм/об: поздовжніх поперечних	0,01 – 2,8 0,005 – 1,4
Максимальна швидкість робочої подачі, мм/хв: поздовжньої поперечної	2000 1000
Швидкість швидких ходів, мм/хв: поздовжніх поперечних	6000 5000
Дискретність переміщень, мм: поздовжніх поперечних	0,01 0,005
Границі кроків різьб, що нарізаються, мм	0,01 – 40,959
Кількість позицій автоматичного поворотного різцетримача	6
Найбільший крутний момент на шпинделі, кГм	100
Габаритні розміри верстата, мм: довжина ширина висота	3175 1700 1700
Маса верстата, кг	4100
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	11
Сумарна потужність усіх електродвигунів, кВт	14,72
Сумарна потужність, що споживається, кВт	24

## 2. ПОРЯДОК РОЗРОБКИ УПРАВЛЯЮЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 16К20Т1

### 2.1. Розрахунок точок контуру деталі

Під час механічної обробки необхідно отримати деталь, зображену на рисунку 2.1. З креслення деталі вилучено поверхні, які обробляються на фрезерних, свердлильних, зубо- та шліцеобробних верстатах. Деталь обробляється на токарному верстаті з ЧПУ мод. 16К20Т1 після її обробки на фрезерно-центрувальному верстаті. Матеріал деталі – конструкційна сталь 45,  $\delta_{\text{ч}} = 610$  МПа. Базування деталі відбувається за допомогою патрона повідкового типу 7162-4004 та заднього центра типу 7032-0035.

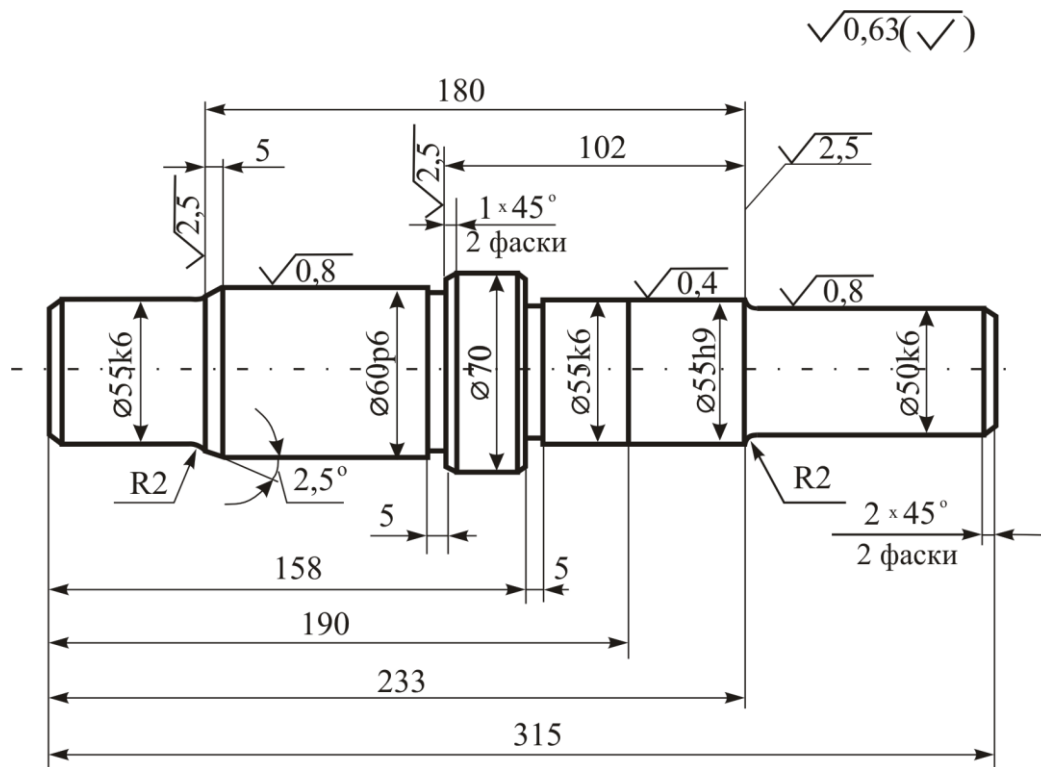


Рисунок 2.1 – Креслення деталі

Деталь обробляється за два установка. Оскільки як базові встановлено торці деталі, то потрібно провести перерахунок лінійних розмірів з визначенням їх відхилень за допомогою методів розрахунку розмірних ланцюгів. Для цього

необхідно опрацювати креслення деталі на технологічність та розмірний аналіз з метою раціонального прославлення розмірів.

Номери точок контуру деталі зображені на рисунку 2.2 та рисунку 2.3, а результати розрахунку наведені у таблиці 2.1. Граничні відхилення  $es$  та  $ei$  визначаються залежно від номінального розміру  $d$  або  $l$  та поля допуску за ГОСТ 25347-82. Середні розміри  $d_{сер}$  та  $l_{сер}$  розраховуються за такими формулами:

$$d_{сер} = d + \frac{es + ei}{2000}, \quad (2.1)$$

$$l_{сер} = l + \frac{es + ei}{2000}. \quad (2.2)$$

Оскільки в ПЧПУ “Електроніка НЦ-31” ціна імпульсу 0,01 мм, то отримані значення  $d_{сер}$  та  $l_{сер}$  округляють до 0,01 мм.

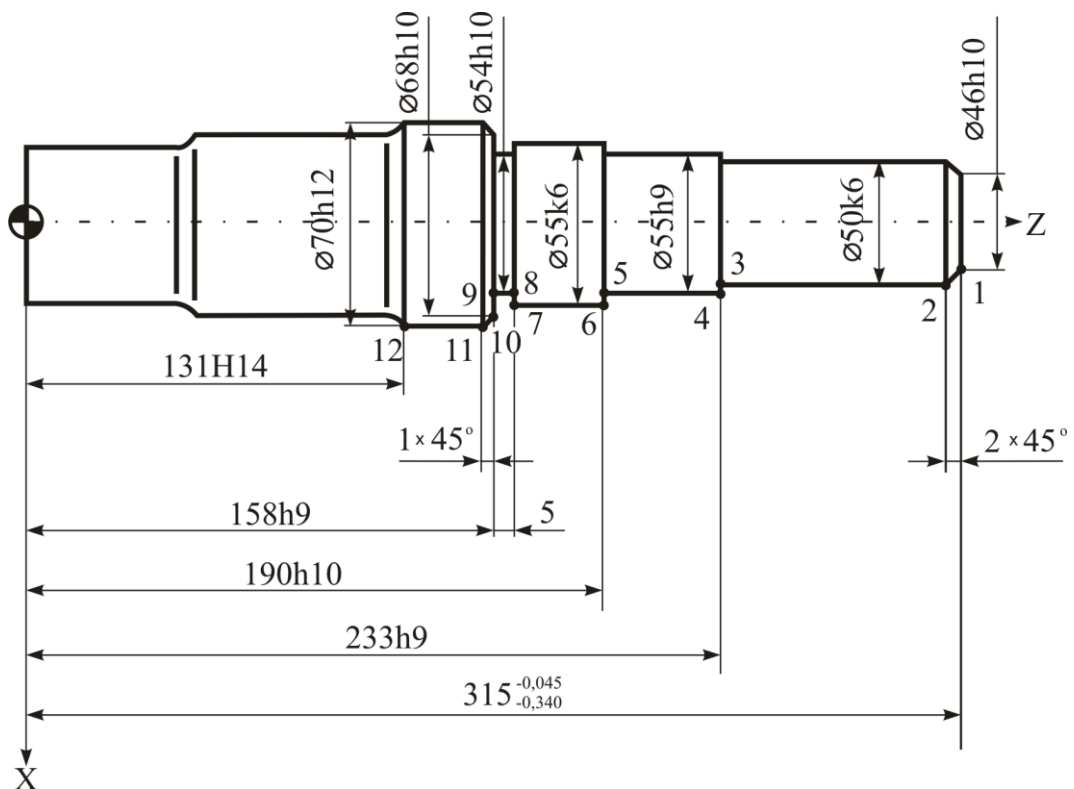


Рисунок 2.2 – Схема для розрахунку точок контуру деталі на першому установі

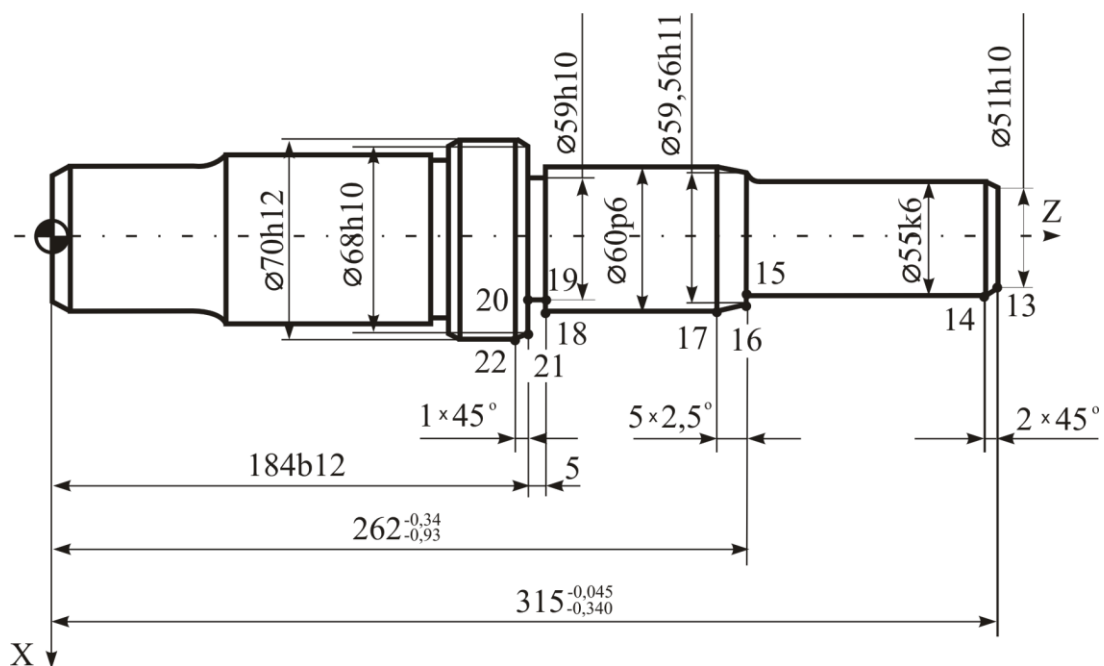


Рисунок 2.3 – Схема для розрахунку точок контуру деталі на другому установі

Таблиця 2.1 – Розрахунок точок контуру деталі

Номер точки	$d$ , мм	Поле допуску	$es$ , мкм	$ei$ , мкм	$d_{сер}$ , мм	$l$ , мм	Поле допуску	$es$ , мкм	$ei$ , мкм	$l_{сер}$ , мм
1	46	$h10$	0	-100	45,95	315	–	-45	-340	314,81
2	50	$k6$	+18	+2	50,01	–	–	–	–	–
3	50	$k6$	+18	+2	50,01	233	$h9$	0	-115	232,94
4	55	$h9$	0	-74	54,96	233	$h9$	0	-115	232,94
5	55	$h9$	0	-74	54,96	190	$h10$	0	-185	189,91
6	55	$k6$	+21	+2	55,01	190	$h10$	0	-185	189,91
7	55	$k6$	+21	+2	55,01	–	–	–	–	–
8	54	$h10$	0	-120	53,94	–	–	–	–	–
9	54	$h10$	0	-120	53,94	158	$h9$	0	-100	157,95
10	68	$h10$	0	-120	67,94	158	$h9$	0	-100	157,95

Закінчення таблиці 2.1

Номер точки	$d$ , мм	Поле допуску	$es$ , МКМ	$ei$ , МКМ	$d_{сер}$ , мм	$l$ , мм	Поле допуску	$es$ , МКМ	$ei$ , МКМ	$l_{сер}$ , мм
11	70	$h12$	0	-300	69,85	-	-	-	-	-
12	70	$h12$	0	-300	69,85	131	$H14$	1000	0	131,50
13	51	$h10$	0	-120	50,94	315	-	-45	-340	314,81
14	55	$k6$	+21	+2	55,01	-	-	-	-	-
15	55	$k6$	+21	+2	55,01	262	-	-340	-930	261,37
16	59,56	$h11$	0	-190	59,47	262	-	-340	-930	261,37
17	60	$p6$	+51	+32	60,04	-	-	-	-	-
18	60	$p6$	+51	+32	60,04	-	-	-	-	-
19	59	$h10$	0	-120	58,94	-	-	-	-	-
20	59	$h10$	0	-120	58,94	184	$b12$	-340	-800	183,43
21	68	$h10$	0	-120	67,94	184	$b12$	-340	-800	183,43
22	70	$h12$	0	-300	69,85	-	-	-	-	-

## 2.2. Вибір різального інструмента

На верстаті з ЧПУ моделі 16K20T1 використовуються тільки праві різці з механічним кріпленням різальної пластини (таблиця 2.2) спеціальної конструкції. Геометричні параметри різальної пластини (радіус при вершині та ширину канавкового різця) можна встановлювати залежно від потреб виготовлення деталі. При необхідності застосовуються різці інших геометричних параметрів, але вони повинні бути стандартизовані і мати певну форму держака. Інструментальний матеріал різальної пластини встановлюється залежно від матеріалу заготовки, що обробляється, та виду обробки.

Виходячи з цих відомостей будується схема знімання припуску (рисунок 2.4) та встановлюється необхідна кількість та форма різального інструмента. Поверхні деталі, замкнені точками 2-3-4-5-6-7-11-12, 14-15-16-17-18, при чорновому точінні обробляються різцем K01-4079-000-39-2194-2521 з пластиною з інструментального матеріалу T5K10+TiN, а при чистовому точін-



ні – К01-4079-000-39-2194-2521 з пластиною з інструментального матеріалу Т15К6+TiN. Поверхні 7-8-9-10, 18-19-20-21 формуються при одноразовому точінні різцем К01-4115-000-39-2194-3041 з пластиною з інструментального матеріалу Т5К10+TiN. Поверхні 1-2, 10-11, 13-14, 21-22 формуються при одноразовому точінні різцем К01-4075-000-39-2194-1021 з пластиною з інструментального матеріалу Т5К10+TiN. Оскільки поверхні 3-4, 15-16 мають радіус R2, то отримати їх можна, якщо радіус при вершині різця К01-4079-000-39-2194-2521 буде дорівнювати 2 мм. Ширину різальної пластини різця К01-4115-000-39-2194-3041 встановлюють рівною 5 мм, оскільки цей різець формує поверхні 7-8, 9-10 та 18-19, 20-21, що знаходяться одна від одної на відстані 5 мм.

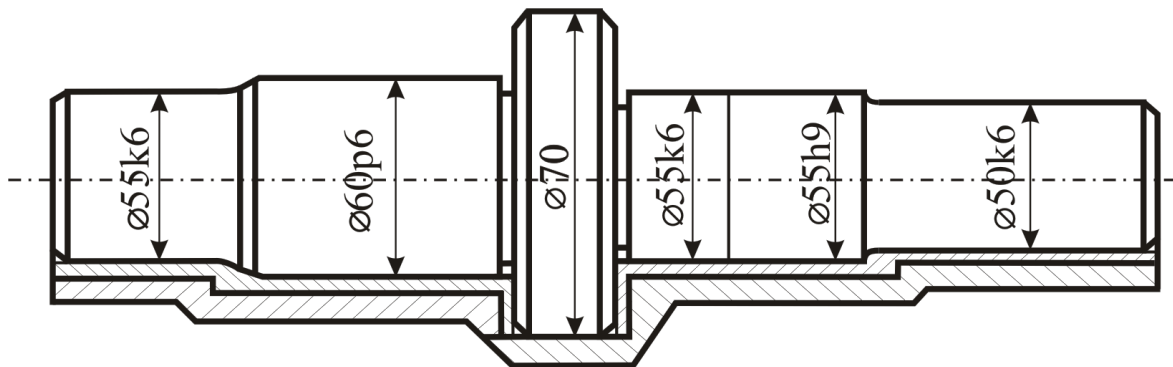
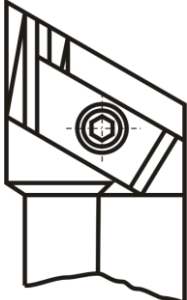
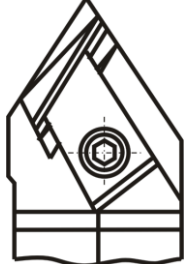
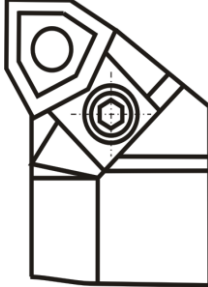
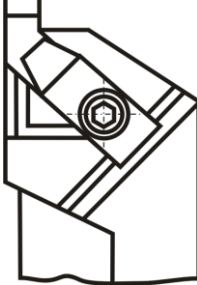
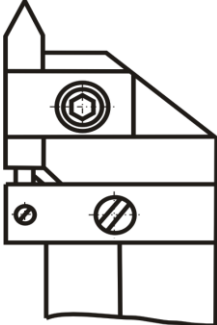


Рисунок. 2.4 – Схема знімання припуску

Таблиця 2.2 – Різальний інструмент, що застосовується на верстаті мод. 16К20Т1

№ різця	Ескіз різця	Номер креслення
1		<p>К01-4075-000 39-2194-1021</p>

Закінчення таблиці 2.2

№ різця	Ескіз різця	Номер креслення
2		K01-4079-000 39-2194-2521
3		K01-4275-000 39-2194-2221
4		K01-4229-000 39-2194-1221
5		K01-4115-000 39-2194-3041
6		K01-4165-000 39-2194-4121

### 2.3. Розрахунок проміжних розмірів та розмірів заготовки, що виготовлена штампуванням

Проміжні мінімальні припуски при обробці торців заготовки розраховують за формулою

$$Z_{i\min} = (Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i, \quad (2.3)$$

а при обробці діаметрів – за формулою

$$2Z_{i\min} = 2[(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}], \quad (2.4)$$

де  $Rz_{i-1}$  – висота нерівностей профілю на попередньому переході;

$h_{i-1}$  – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході;

$\Delta_{\Sigma i-1}$  – сумарне відхилення розташування поверхонь;

$\varepsilon_i$  – похибка встановлення заготовки на переході, що виконується.

У випадку, коли обробка деталі ведеться у центрах з використанням патрона повідкового штирьового, похибка встановлення заготовки  $\varepsilon_i$  дорівнює нулю, тобто з розрахунків вилучається.

Значення висоти нерівностей профілю  $Rz$  та глибини дефектного поверхневого шару поковок, що виготовлені штампуванням,  $h$ , зазначені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Якість поверхні поковок, що виготовлені штампуванням

Маса поковки, кг	$Rz$ , мкм	$h$ , мкм
До 0,25	80	150
Більше 0,25 до 4	160	200
Більше 4 до 25	200	250
Більше 25 до 40	250	300

Маса деталі розраховується за формулою

$$m_{\text{дет}} = \rho \cdot V, \quad (2.5)$$

де  $\rho = 7,8 \text{ кг/дм}^3$  – щільність сталі;

$V$  – приблизний об'єм деталі,  $\text{дм}^3$ .

Приблизний об'єм деталі розраховується за формулою

$$V = \sum_{i=1}^n V_i, \quad (2.6)$$

де  $V_i$  – об'єм  $i$ -тої циліндричної частини деталі,  $\text{дм}^3$ ;

$n$  – кількість циліндричних частин деталі.

Об'єм  $i$ -тої циліндричної частини деталі розраховується за формулою

$$V_i = \frac{\Pi \cdot d_i^2}{4} \cdot l_i, \quad (2.7)$$

де  $d_i$  – діаметр  $i$ -тої циліндричної частини деталі,  $\text{дм}$ ;

$l_i$  – довжина  $i$ -тої циліндричної частини деталі,  $\text{дм}$ .

Оскільки остаточні розміри заготовки ще не визначені приймаємо, що маса поковки

$$m_{\text{пок}} = 1,3 \cdot m_{\text{дет}}. \quad (2.8)$$

Для визначення у подальшому допусків на виготовлення поковок розраховують масу простої фігури (циліндра) за формулою

$$m_{\text{п.ф.}} = \rho \cdot \frac{\Pi \cdot d_{\text{max}}^2}{4} \cdot l_{\text{max}}, \quad (2.9)$$

де  $d_{\text{max}}$  – найбільший номінальний діаметр деталі,  $\text{дм}$ ;

$l_{\text{max}}$  – довжина деталі,  $\text{дм}$ .

та визначають коефіцієнт  $C$

$$C = \frac{m_{\text{дет}}}{m_{\text{п.ф.}}}. \quad (2.10)$$

Якщо коефіцієнт  $C = 0,63 \dots 1$  тоді приймається ступінь складності поковки –  $C1$ , якщо коефіцієнт  $C = 0,32 \dots 0,63$ , тоді приймається ступінь складності поковки –  $C2$ , якщо коефіцієнт  $C = 0,16 \dots 0,32$ , тоді приймається ступінь скла-

дності поковки – С3, якщо коефіцієнт  $C$  менший за 0,16 тоді приймається ступінь складності поковки – С4.

Якщо деталь виготовлена з вуглецевої сталі, що містить до 0,45 % вуглецю і до 2 % легованих елементів та приймається група сталі – М1; якщо більш за 0,45 % вуглецю, то приймається група сталі – М2.

Значення висоти нерівностей профілю  $Rz$  та глибини дефектного поверхневого шару  $h$  заготовок після механічної обробки наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Точність та якість поверхні штампованих поковок після механічної обробки валів ступінчастих

Спосіб обробки	Квалітет	$Rz$ , мкм	$h$ , мкм
Точіння зовнішніх поверхонь:			
одноразове	11–12	32	30
чорнове	12	50	50
чистове	11	25	25
тонке	7–9	5	5
Підрізка торцевих поверхонь:			
чорнова	12	50	50
чистова	11	32	30
Шліфування:			
одноразове	7–9	5	10
чорнове	8–9	10	20
чистове	6–7	5	15
тонке	5–6	2,5	5

Сумарне відхилення розташування поверхонь розраховується як середньоквадратичне відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, симетричності, перетину осей, позиційне. У деяких випадках враховується відхилення форми поверхні, тобто відхилення від площинності та прямолінійності на попередньому переході. Для спрощення розрахунків діаметральних розмірів приймаємо:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma K}^2 + \Delta_{\Sigma Ц}^2 + \Delta_{\Sigma ШТ}^2}, \quad (2.11)$$

де ...  $\Delta_{\Sigma K}$  – місцеве відхилення осі деталі від прямолінійності, мкм;

$\Delta_{\text{Ц}}$  – зсув осі заготовки внаслідок похибки центрування, мкм;

$\Delta_{\text{ШТ}}$  – відхилення від співвісності елементів, що штампуються в різних половинах штампа, мкм (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Відхилення від співвісності  $\Delta_{\text{ШТ}}$  (мкм) елементів, що штампуються в різних половинах штампа

Маса поковки, кг	Штапування	
	на молотах	на пресах
До 0,25	400	300
Більше 0,25 до 0,63	500	400
Більше 0,63 до 1,6	600	500
Більше 1,60 до 2,5	800	600
Більше 2,50 до 4,00	1000	700
Більше 4,00 до 6,30	1100	800
Більше 6,30 до 10	1200	900
Більше 10 до 16	1300	1000
Більше 16 до 25	1400	1100
Більше 25 до 40	1600	1200

Місцеве відхилення осі деталі від прямолінійності при обробці деталі в центрах розраховують за формулою

$$\Delta_{\Sigma \text{К}} = \Delta_{\text{К}}(l - l_x), \quad (2.12)$$

де ...  $\Delta_{\text{К}}$  – кривизна, мкм/мм (таблиця 2.6);

$l$  – довжина заготовки, мм;

$l_x$  – довжина лівої точки діаметра, що розглядається, мм.

Таблиця 2.6 – Кривизна  $\Delta_{\text{К}}$  (мкм на 1 мм) поковок типу валів

Діаметр поковки $D$ , мм	Після штапування	Після правки на пресах	Після термічної обробки в печах
До 25	4	0,20	2,5
Більше 25 до 50	3	0,15	1,5
Більше 50 до 80	2	0,12	1,5
Більше 80 до 120	1,8	0,10	1,0

Закінчення таблиці 2.6

Діаметр поковки $D$ , мм	Після штампування	Після правки на пресах	Після термічної обробки в печах
Більше 120 до 180	1,6	0,08	1,0
Більше 180 до 260	1,4	0,06	–
Більше 260 до 360	1,2	–	–
Більше 360 до 500	1,0	–	–

Зсув осі заготовки внаслідок похибки центрування розраховують за формулою

$$\Delta_{\text{Ц}} = 0,25T, \quad (2.13)$$

де  $T$  – допуск на діаметральний розмір заготовки, що використовувався як базовий при центруванні, мкм.

При розрахунках лінійних розмірів

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma \text{Н}}^2 + \Delta_{\text{ШТ}}^2}, \quad (2.14)$$

де  $\Delta_{\Sigma \text{Н}}$  – відхилення розташування торцевих поверхонь від перпендикулярності, мкм; у випадку, коли різниця суміжних діаметрів менше 100 мм, цей показник не враховується;

$\Delta_{\text{ШТ}}$  – відхилення від співвісності елементів, що штампуються в різних половинах штампа, мкм (див. таблицю 2.5).

При розрахунку залишкового відхилення розташування заготовки після механічної обробки використовується коефіцієнт уточнення  $K_y$  (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7 – Значення коефіцієнта уточнення

Технологічний перехід	$K_y$
Після обточування:	
чорного	0,06
чистового	0,04
Після шліфування:	
чорного	0,03
чистового	0,02

Мінімальний та максимальний діаметри при обробці зовнішніх поверхонь заготовки розраховують за формулами

$$D_{\min i-1} = D_{\min i} + 2Z_{\min i}, \quad (2.15)$$

$$D_{\max i-1} = D_{\min i-1} + TD_{i-1}, \quad (2.16)$$

а мінімальну та максимальну довжину при торцевій обробці за формулами

$$l_{\min i-1} = l_{\min i} + Z_{\min i}, \quad (2.17)$$

$$l_{\max i-1} = l_{\min i-1} + TD_{i-1}, \quad (2.18)$$

де  $TD_{i-1}$  – допуск розмірів на попередньому переході; встановлюється залежно від якості та номінального розміру (таблиця 2.8), а для покочки підвищеної точності – залежно від маси, розмірів та ступеня складності (таблиці 2.9, 2.10, 2.11, 2.12).

Таблиця 2.8 – Допуски, мкм

Розмір, мм	Квалітет								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
До 3	6	10	14	25	40	60	100	140	250
3 – 6	8	12	18	30	48	75	120	180	300
6 – 10	9	15	22	36	58	90	150	220	360
10 – 18	11	18	27	43	70	110	180	270	430
18 – 30	13	21	33	52	84	130	210	330	520
30 – 50	16	25	39	62	100	160	250	390	620
50 – 80	19	30	46	74	120	190	300	460	740
80 – 120	22	35	54	87	140	220	350	540	870
120 – 180	25	40	63	100	160	250	400	630	1000
180 – 250	29	46	72	115	185	290	460	720	1150
250 – 315	32	52	81	130	210	320	520	810	1300
315 – 400	36	57	89	140	230	360	570	890	1400
400 – 500	40	63	97	155	250	400	630	970	1550



Таблиця 2.9 – Допуски на виготовлення поковок підвищеної точності групи сталі М1, ступені складності поковки С1.

Маса поковки, кг	Розміри поковки, мм					
	До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500
До 0,25	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,7 -0,5
0,25 – 0,40	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,7 -0,5	+0,7 -0,6
0,40 – 0,63	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,8 -0,5	+0,9 -0,5
0,63 – 1,00	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+0,9 -0,5	+0,9 -0,6
1,00 – 1,60	+0,8 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+0,9 -0,5	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6
1,60 – 2,50	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7
2,50 – 4,00	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8
4,00 – 6,30	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8	+1,3 -0,9
6,30 – 10	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0
10 – 16	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,8 -1,0
16 – 25	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2
25 – 40	+1,3 -0,7	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2
40 – 63	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,5 -1,5
63 – 100	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -1,5

Таблиця 2.10 – Допуски на виготовлення поковок підвищеної точності групи сталі М1, ступені складності поковки С2 та групи сталі М2, ступені складності поковки С1

Маса поковки, кг	Розміри поковки, мм					
	До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500
До 0,25	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,7 -0,5	+0,7 -0,6
0,25 – 0,40	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,8 -0,5	+0,9 -0,5
0,40 – 0,63	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+0,9 -0,5	+0,9 -0,6
0,63 – 1,00	+0,8 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+0,9 -0,5	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6
1,00 – 1,60	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7
1,60 – 2,50	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8
2,50 – 4,00	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8	+1,3 -0,9
4,00 – 6,30	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0
6,30 – 10,0	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,8 -1,0
10 – 16	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2
16 – 25	+1,3 -0,7	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2
25 – 40	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,5 -1,5
40 – 63	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -1,5
63 – 100	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -2,0	+2,5 -2,0

Таблиця 2.11 – Допуски на виготовлення поковок підвищеної точності групи сталі М1, ступені складності поковки С3 та групи сталі М2, ступені складності поковки С2

Маса поковки, кг	Розміри поковки, мм					
	До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500
До 0,25	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,8 -0,5	+0,9 -0,5
0,25 – 0,40	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+0,9 -0,5	+0,9 -0,6
0,40 – 0,63	+0,8 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+0,9 -0,5	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6
0,63 – 1,00	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7
1,00 – 1,60	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8
1,60 – 2,50	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8	+1,3 -0,9
2,50 – 4,00	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0
4,00 – 6,30	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,8 -1,0
6,30 – 10,0	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2
10 – 16	+1,3 -0,7	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2
16 – 25	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,5 -1,5
25 – 40	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -1,5
40 – 63	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -2,0	+2,5 -2,0
63 – 100	+2,5 -1,4	+2,8 -1,4	+3,2 -1,6	+3,6 -1,8	+3,6 -2,5	+3,6 -2,5

Таблиця 2.12 – Допуски на виготовлення поковок підвищеної точності групи сталі М1, ступені складності поковки С4 та групи сталі М2, ступені складності поковки С3

Маса поковки, кг	Розміри поковки, мм					
	До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500
До 0,25	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+0,9 -0,5	+0,9 -0,6
0,25 – 0,40	+0,8 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+0,9 -0,5	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6
0,40 – 0,63	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7
0,63 – 1,00	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8
1,00 – 1,60	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8	+1,3 -0,9
1,60 – 2,50	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0
2,50 – 4,00	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,8 -1,0
4,00 – 6,30	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2
6,30 – 10,0	+1,3 -0,7	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2
10 – 16	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,5 -1,5
16 – 25	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -1,5
25 – 40	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -2,0	+2,5 -2,0
40 – 63	+2,5 -1,4	+2,8 -1,4	+3,2 -1,6	+3,6 -1,8	+3,6 -2,5	+3,6 -2,5
63 – 100	+2,8 -1,4	+3,2 -1,6	+3,6 -1,8	+3,8 -2,0	+4,0 -2,2	+4,2 -2,5

Результати розрахунків зводять до таблиці 2.13 та до таблиці 2.14.

Таблиця 2.13 – Карта розрахунку проміжних розмірів діаметрів

Техноло- гічний маршрут обробки	Елементи припуску, мкм				$2Z_{\min}$ мкм	Квалітет	$TD$ , мкм	Прийняті розміри, мм		
	$Rz$	$h$	$\Delta_{\Sigma}$	$\varepsilon$				$D_{\max}$	$D_{\min}$	$D_{\text{сер}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\text{Ø}50k6^{(+0.018/+0.002)}$										
Поковка	200	250	1015	–	–	+1,0 –0,5	1500	55,056	53,556	$54^{+1,0/-0,5}$
Чорнове точіння	50	50	61	0	2930	12	250	50,876	50,626	50,75
Чистове точіння	25	25	41	0	322	11	160	50,464	50,304	50,38
Чорнове шліфув.	10	20	30	0	182	8	39	50,161	50,122	50,14
Чистове шліфув.	–	–	–	0	120	6	16	50,018	50,002	50,01
$\text{Ø}55h9_{(-0.074)}$										
Поковка	200	250	1016	–	–	+1,0 –0,6	1600	59,972	58,372	$59^{+1,0/-0,6}$
Чорнове точіння	50	50	61	0	2932	12	300	55,740	55,440	55,59
Чистове точіння	25	25	41	0	322	11	190	55,298	55,108	55,20
Чорнове шліфув.	–	–	–	0	182	9	74	55,0	54,926	54,96
$\text{Ø}55k6^{(+0.021/+0.002)}$										
Поковка	200	250	1034	–	–	+1,0 –0,6	1600	60,198	58,598	$59^{+1,0/-0,6}$
Чорнове точіння	50	50	62	0	2968	12	300	55,930	55,630	55,78

Продовження таблиці 2.13

Технологічний маршрут обробки	Елементи припуску, мкм				$2Z_{\min}$ мкм	Квалітет	TD, мкм	Прийняті розміри, мм		
	Rz	h	$\Delta_{\Sigma}$	$\varepsilon$				$D_{\max}$	$D_{\min}$	$D_{\text{сер}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Чистове точіння	25	25	41	0	324	11	190	55,496	55,306	55,40
Чорнове шліфув.	10	20	31	0	182	8	46	55,170	55,124	55,15
Чистове шліфув.	–	–	–	0	122	6	19	55,021	55,002	55,01
$\varnothing 70h12(-0.300)$										
Поковка	200	250	1051	–	–	$+1,0$ $-0,6$	1600	74,302	72,702	$73^{+1,0}$ $-0,6$
Чорнове точіння	–	–	–	0	3002	12	300	70,0	69,700	69,67
$\varnothing 60p6(+0.051$ $+0.032)$										
Поковка	200	250	1019	–	–	$+1,0$ $-0,6$	1600	65,200	63,600	$64^{+1,0}$ $-0,6$
Чорнове точіння	50	50	61	0	2938	12	300	60,960	60,660	60,81
Чистове точіння	25	25	41	0	322	11	190	60,528	60,338	60,43
Чорнове шліфув.	10	20	31	0	182	8	46	60,202	60,156	60,18
Чистове шліфув.	–	–	–	0	124	6	19	60,051	60,032	60,04
$55k6(+0.021$ $+0.002)$										
Поковка	200	250	991	–	–	$+1,0$ $-0,6$	1600	60,102	58,502	$59^{+1,0}$ $-0,6$

Закінчення таблиці 2.13

Технологічний маршрут обробки	Елементи припуску, мкм				$2Z_{\min}$ мкм	Квалітет	$TD$ , мкм	Прийняті розміри, мм		
	$Rz$	$h$	$\Delta_{\Sigma}$	$\varepsilon$				$D_{\max}$	$D_{\min}$	$D_{\text{сер}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Чорнове точіння	50	50	59	0	2882	12	300	55,920	55,620	55,77
Чистове точіння	25	25	40	0	318	11	190	55,492	55,302	55,40
Чорнове шліфув.	10	20	30	0	180	8	46	55,168	55,122	55,15
Чистове шліфув.	–	–	–	0	120	6	19	55,021	55,002	55,01

Таблиця 2.14 – Карта розрахунку проміжних розмірів довжин

Технологічний маршрут обробки	Елементи припуску, мкм				$Z_{\min}$ мкм	Квалітет	$TD$ , мкм	Прийняті розміри, мм		
	$Rz$	$h$	$\Delta_{\Sigma}$	$\varepsilon$				$l_{\max}$	$l_{\min}$	$l_{\text{сер}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$158h9_{(-0.1)}$										
Поковка	200	250	900	–	–	1,2– 0,6	1800	161,359	159,559	$160^{+1,2}_{-0,6}$
Підрізка чорнова	50	50	54	0	1350	12	400	158,609	158,209	158,41
Підрізка чистова	32	30	36	0	154	11	250	158,305	158,055	158,18
Чорнове шліфув.	10	20	27	0	98	9	100	158,057	157,957	158,01
Чистове шліфув.	–	–	–	0	57	9	100	158,000	157,900	157,95

Продовження таблиці 2.14

Технологічний маршрут обробки	Елементи припуску, мкм				$Z_{\min}$ мкм	Квалітет	$TD$ , мкм	Прийняті розміри, мм		
	$Rz$	$h$	$\Delta_{\Sigma}$	$\varepsilon$				$l_{\max}$	$l_{\min}$	$l_{\text{сер}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
233h9 <sub>(-0.115)</sub>										
Поковка	200	250	900	–	–	+1,3 –0,7	2000	236,544	234,544	235 <sup>+1,3</sup> <sub>–0,7</sub>
Підрізка чорнова	50	50	54	0	1350	12	460	233,654	233,194	233,42
Підрізка чистова	32	30	36	0	154	11	290	233,330	233,040	233,19
Чорнове шліфув.	10	20	27	0	98	9	115	233,057	232,942	233,00
Чистове шліфув.	–	–	–	0	57	9	115	233,0	232,885	232,94
184b12 <sub>(-0.340 / -0.800)</sub>										
Поковка	200	250	900	–	–	+1,3 –0,7	2000	186,859	184,859	185,5 <sup>+1,3</sup> <sub>–0,7</sub>
Підрізка чорнова	50	50	54	0	1350	12	460	183,969	183,509	183,74
Підрізка чистова	32	30	36	0	154	12	460	183,815	183,355	183,59
Чорнове шліфув.	10	20	27	0	98	12	460	183,717	183,257	183,49
Чистове шліфув.	–	–	–	0	57	12	460	183,660	183,200	183,43



Закінчення таблиці 2.14

Технологічний маршрут обробки	Елементи припуску, мкм				$Z_{\min}$ мкм	Квалітет	$TD$ , мкм	Прийняті розміри, мм		
	$Rz$	$h$	$\Delta_{\Sigma}$	$\varepsilon$				$l_{\max}$	$l_{\min}$	$l_{\text{сер}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$262_{-0,93}^{-0,34}$										
Поковка	200	250	900	—	—	+1,4 -0,8	2200	264,929	262,729	$263,5_{-0,8}^{+1,4}$
Підрізка чорнова	50	50	54	0	1350	13	810	262,189	261,379	261,78
Підрізка чистова	32	30	36	0	154	13	810	262,035	261,225	261,63
Чорнове шліфув.	10	20	27	0	98	13	810	261,937	261,127	261,53
Чистове шліфув.	—	—	—	0	57	-0,34 -0,93	590	261,660	261,070	261,37
$131H14(^{+1})$										
Поковка	200	250	900	—	—	+1,2 -0,6	1800	127,850	129,650	126,00
Підрізка чорнова	—	—	—	0	1350	14	1000	132,000	131,000	—

#### 2.4. Розрахунок режимів різання

Режими різання розраховують для кожного з переходів. Подачу при чорновому зовнішньому точінні різцями з пластинами з твердого сплаву вибирають з таблиці 2.15, а при чистовому точінні – з таблиці 2.16.

Таблиця 2.15 – Подача при чорновому точінні

Діаметр деталі, мм	Подача $S$ , мм/об при глибині різання $t$ , мм	
	До 3	Більше 3 до 5
До 20	0,3–0,4	–
Більше 20 до 40	0,4–0,5	0,3–0,4
Більше 40 до 60	0,5–0,9	0,4–0,8
Більше 60 до 100	0,6–1,2	0,5–1,1
Більше 100 до 400	0,8–1,3	0,7–1,2

Таблиця 2.16 – Подача при чистовому точінні

Шорсткість поверхні	Подача, мм/об, при радіусі при вершині різця, мм					
	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
$R_a 0,63$	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
$R_a 1,25$	0,10	0,13	0,16	0,19	0,21	0,23
$R_a 2,5$	0,14	0,20	0,25	0,29	0,32	0,35
$R_z 20$	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
$R_z 40$	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
$R_z 80$	0,47	0,66	0,81	0,94	1,04	1,14

Поправочний коефіцієнт на подачу при чистовому точінні залежно від міцності оброблюваного матеріалу вибирають з таблиці 2.17

Таблиця 2.17 – Поправочний коефіцієнт на чистову подачу

$\delta_{\text{ч}}$ , МПа	500–700	700–900	900–1100
$k_s$	0,45	1	1,25

При обробці пазів, канавок та фасок подачу вибирають з таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 – Подачі при обробці пазів

Діаметр обробки, мм	Ширина паза, мм	Подача $S$ , мм/об
До 20	3	0,06–0,08
Більше 20 до 40	3–4	0,1–0,12
Більше 40 до 60	4–5	0,13–0,16
Більше 60 до 100	5–8	0,16–0,23
Більше 100 до 150	6–10	0,18–0,26
Більше 150	10–15	0,28–0,36

Швидкість різання  $V$ , м/хв, у випадку, якщо встановлена подача  $S \leq 0,3$  мм/об, розраховують за формулою

$$V = \frac{420}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,2}} k_V, \quad (2.19)$$

де  $T$  – стійкість різця; встановлюється в інтервалі 30–60 хвилин;  
 $t$  – глибина різання, мм;  
 $S$  – подача, мм/об.

Швидкість різання  $V$ , м/хв, у випадку, якщо встановлена подача  $S$  знаходиться в інтервалі 0,3–0,7 мм/об, розраховують за формулою

$$V = \frac{350}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,35}} k_V, \quad (2.20)$$

а якщо встановлена подача перевищує 0,7 мм/об, то – за формулою

$$V = \frac{340}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,45}} k_V. \quad (2.21)$$

При прорізанні канавок, пазів та обробці фасок швидкість різання розраховують за формулою

$$V = \frac{47}{T^{0,18} \cdot S^{0,8}} k_V. \quad (2.22)$$

Поправочний коефіцієнт  $k_V$  на швидкість різання встановлюють за таблицею 2.19.

Таблиця 2.19 – Значення поправочного коефіцієнта на швидкість різання ( $k_V = k_{MV} \cdot k_{nV} \cdot k_{iV} \cdot k_{\varphi V}$ )

$k_{MV} = \frac{750}{\sigma_{\varphi}}$		Обробка конструкційних сталей твердосплавними різцями
$k_{nV}$	1,0	Поверхня заготовки без корки (чистове точіння, точіння фасок та канавок)
	0,9	Прокат з коркою
	0,8	Поковка з коркою (чорнове точіння)
$k_{iV}$	0,35	T5K12B+ TiN
	0,65	T5K10+ TiN (чорнове точіння, точіння фасок та канавок)
	0,8	T14K8+ TiN
	1,0	T15K6+ TiN (чистове точіння)
$k_{\varphi V}$	0,87	Різець № 1 (точіння фасок)
	0,64	Різець № 2 (чорнове та чистове точіння)
	0,72	Різець № 3 (фасонне точіння)
	0,7	Різець № 4 (чорнове та чистове точіння)
	1	Різець № 5 (точіння канавок)

Результати розрахунків зводять до таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 – Карта режимів різання

Перехід	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$t$ , мм	$S$ , мм/об	$k_V$	$V$ , м/хв	$n_p$ , об/хв	$n_{вер}$ , об/хв
Установ 1								
$\varnothing 50k6^{(+0.018)}$ $^{(+0.002)}$								
Чорнове точіння	55	50,75	2,125	0,7	0,41	64	371	355
Чистове точіння	50,75	50,38	0,185	0,25	0,79	249	1563	1400
Точіння фаски	50,38	–	2	0,14	0,70	76	480	500

Закінчення таблиці 2.20

Перехід	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$t$ , мм	$S$ , мм/об	$k_V$	$V$ , м/хв	$n_p$ , об/хв	$n_{вер}$ , об/хв
$\varnothing 55h9(-0.074)$								
Чорнове точіння	60	55,59	2,205	0,7	0,41	64	340	355
Чистове точіння	55,59	55,20	0,195	0,25	0,79	246	1409	1400
$\varnothing 55k6(+0.021/+0.002)$								
Чорнове точіння	60	55,78	2,11	0,7	0,41	64	340	355
Чистове точіння	55,78	55,40	0,19	0,25	0,79	248	1416	1400
Точіння канавки	55,40	–	5	0,16	0,80	75	431	355
$\varnothing 70h12(-0.300)$								
Чорнове точіння	74	69,67	2,165	0,7	0,41	64	275	250
Точіння фаски	69,67	–	1	0,17	0,70	65	297	250
Установ 2								
$55k6(+0.021/+0.002)$								
Чорнове точіння	60	55,77	2,115	0,7	0,41	64	340	355
Чистове точіння	55,77	55,40	0,185	0,25	0,79	249	1422	1400
Точіння фаски	55,40	–	2	0,15	0,70	72	414	355
$\varnothing 60p6(+0.051/+0.032)$								
Чорнове точіння	65	60,81	2,095	0,7	0,41	64	314	355
Чистове точіння	60,81	60,43	0,19	0,25	0,79	248	1299	1400
Точіння канавки	60,43	–	5	0,16	0,80	75	395	355

### 2.5. Побудова траєкторії переміщення різального інструмента, розрахунок основного та машинно-допоміжного часу

Основний час розраховують за формулою

$$t_0 = \frac{L}{n \cdot S}, \quad (2.23)$$

де  $L$  – довжина робочого ходу на ділянці, що замкнена між опорних точок, мм;

$n$  – частота обертів шпинделя, об/хв;

$S$  – робоча подача, мм/об.

Машинно-допоміжний час, тобто час установочних ходів, які виконуються на швидкій подачі, розраховують за формулою

$$t_{\text{м.д}} = \frac{L}{S_{\text{хв}}}, \quad (2.24)$$

де  $L$  – довжина установочних переміщень на ділянці між опорних точок, мм;

$S_{\text{хв}}$  – швидкість установочних переміщень, мм/хв.

Траєкторія переміщення різального інструмента при чорновій обробці на установі 1 зображена на рисунку 2.5, а розрахунок основного та машинно-допоміжного часу зведений до таблиці 2.21.

Траєкторія переміщення різального інструмента при чистовій обробці на установі 1 зображена на рисунку 2.6, а розрахунок основного та машинно-допоміжного часу зведений до таблиці 2.22.

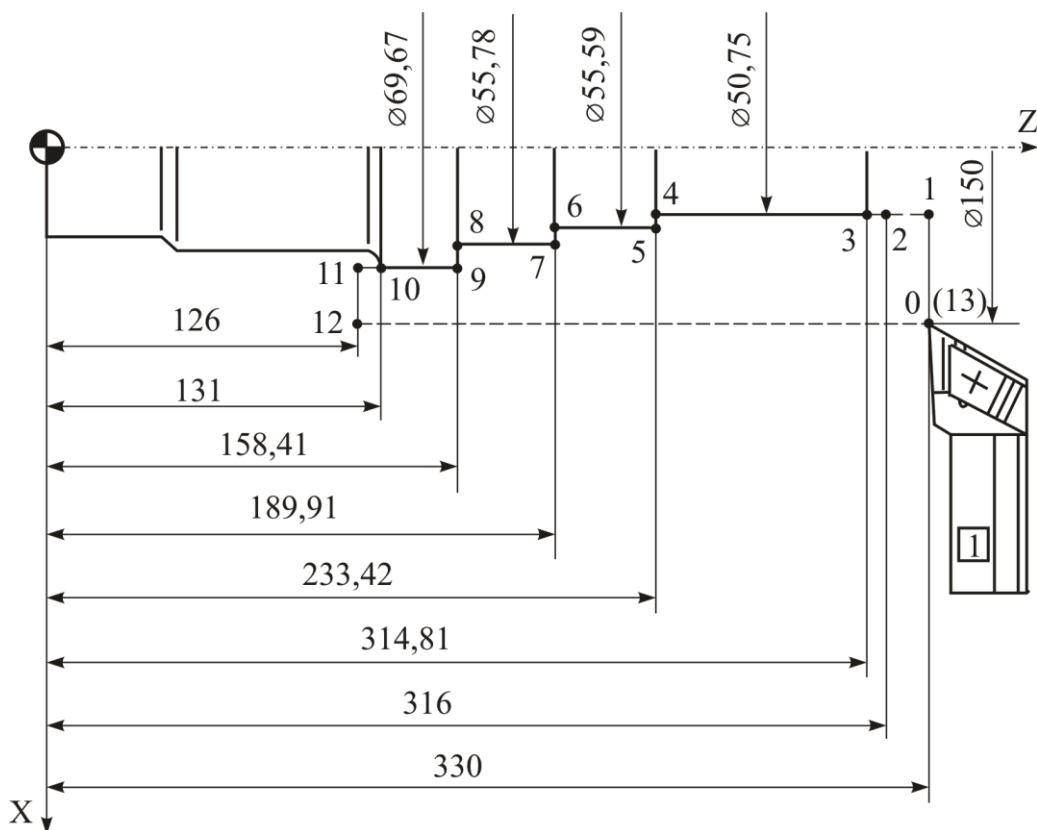


Рисунок 2.5 – Траєкторія переміщення різця при чорновій обробці на першому установі

Траєкторія переміщення різального інструмента при прорізанні канавки на установі 1 зображена на рисунку 2.7, а розрахунок основного та машинно-допоміжного часу зведений до таблиці 2.23.

Таблиця 2.21 – Розрахунок основного та машинно-допоміжного часу при чорновій обробці на установі 1

№ точок	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$L$ , мм	$S$ , мм/об (мм/хв)	$n$ , об/хв	$t_0$ , хв	$t_{м.д.}$ , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–1	150	50,75	330	330	49,63	3000	–	–	0,017
1–2	50,75	50,75	330	316	14	3000	–	–	0,005
2–3	50,75	50,75	316	314,81	1,19	0,7	355	0,005	–
3–4	50,75	50,75	314,81	233,42	81,39	0,7	355	0,328	–
4–5	50,75	55,59	233,42	233,42	2,42	0,7	355	0,010	–
5–6	55,59	55,59	233,42	189,91	43,51	0,7	355	0,175	–
6–7	55,59	55,78	189,91	189,91	0,1	0,7	355	0,001	–
7–8	55,78	55,78	189,91	158,41	31,50	0,7	355	0,127	–
8–9	55,78	69,67	158,41	158,41	6,95	0,7	355	0,028	–
9–10	69,67	69,67	158,41	131	27,41	0,7	250	0,157	–
10–11	69,67	69,67	131	126	5	0,7	250	0,029	–
11–12	69,67	150	126	126	40,17	3000	–	–	0,013
12–13	150	150	126	330	204	3000	–	–	0,068

Траєкторія переміщення різального інструмента при обробці фасок на установі 1 зображена на рисунку 2.8, а розрахунок основного та машинно-допоміжного часу зведений до таблиці 2.24.

Траєкторія переміщення різального інструмента при чорновій обробці на установі 2 зображена на рисунку 2.9, а розрахунок основного та машинно-допоміжного часу зведений до таблиці 2.25.

Траєкторія переміщення різального інструмента при чистовій обробці на установі 2 зображена на рисунку 2.10, а розрахунок основного та машинно-допоміжного часу зведений до таблиці 2.26.

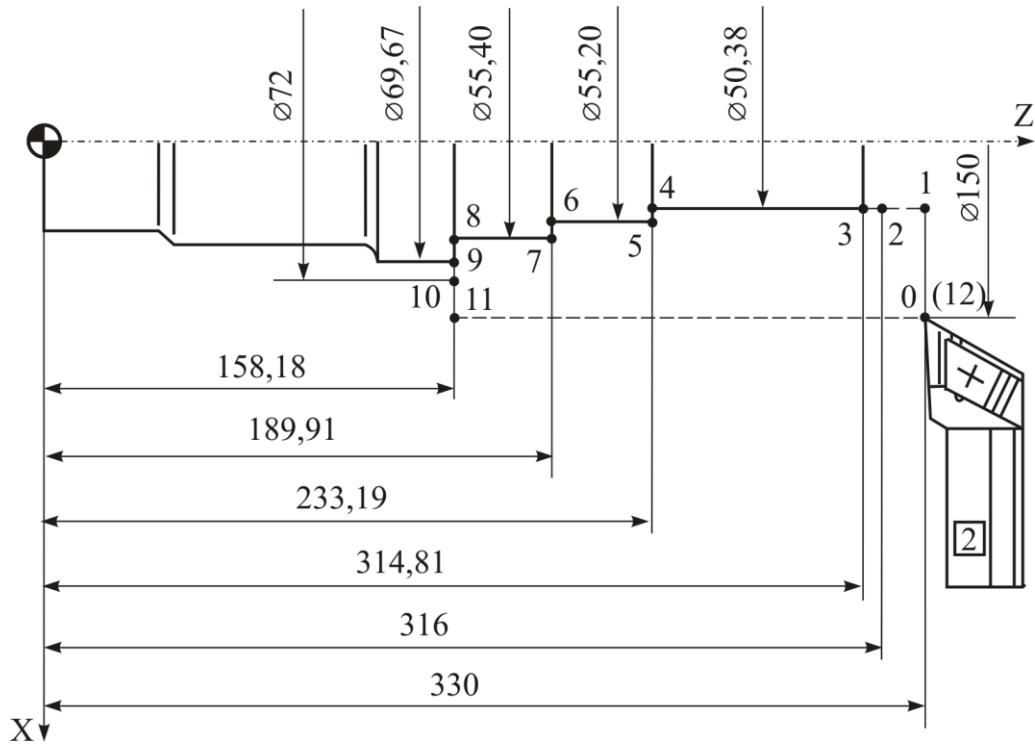


Рисунок 2.6 – Траєкторія переміщення різця при чистовій обробці на першому установі

Таблиця 2.22 – Розрахунок основного та машинно-допоміжного часу при чистовій обробці на установі 1

№ точок	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$L$ , мм	$S$ , мм/об (мм/хв)	$n$ , об/хв	$t_0$ , хв	$t_{м.д.}$ , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–1	150	50,38	330	330	49,81	3000	–	–	0,017
1–2	50,38	50,38	330	316	14	3000	–	–	0,005
2–3	50,38	50,38	316	314,81	1,19	0,25	1400	0,003	–



Закінчення таблиці 2.22

№ точок	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$L$ , мм	$S$ , мм/об (мм/хв)	$n$ , об/хв	$t_0$ , хв	$t_{м.д}$ , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3–4	50,38	50,38	314,81	233,19	81,62	0,25	1400	0,233	–
4–5	50,38	55,20	233,19	233,19	2,41	0,25	1400	0,007	–
5–6	55,20	55,20	233,19	189,91	43,28	0,25	1400	0,124	–
6–7	55,20	55,40	189,91	189,91	0,1	0,25	1400	0,001	–
7–8	55,40	55,40	189,91	158,18	31,73	0,25	1400	0,091	–
8–9	55,40	69,67	158,18	158,18	7,14	0,25	1400	0,020	–
9–10	69,67	72	158,18	158,18	1,17	0,25	1400	0,003	–
10–11	72	150	158,18	158,18	39	3000	–	–	0,013
11–12	150	150	158,18	330	171,82	3000	–	–	0,057

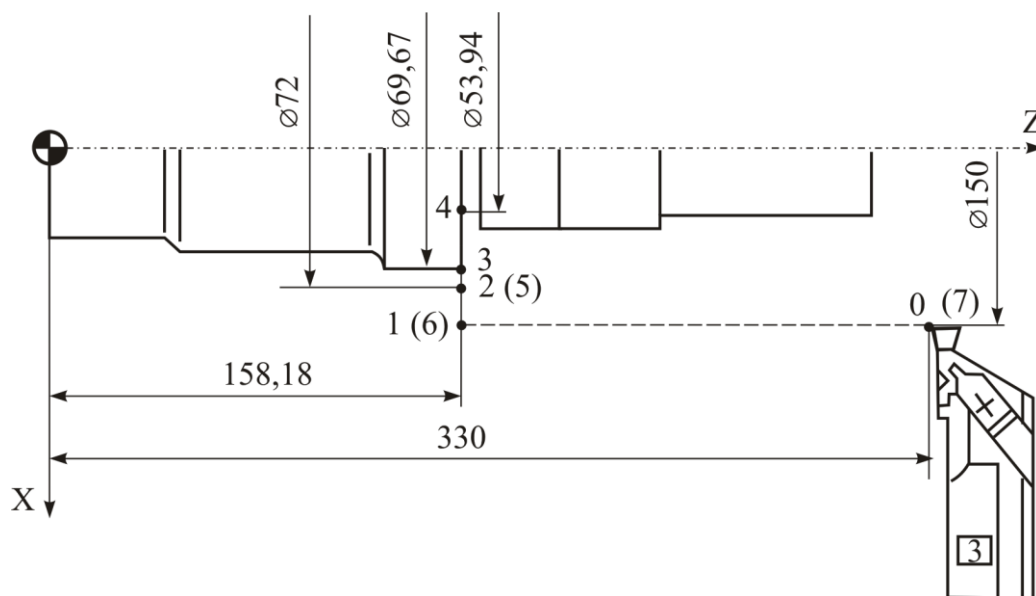


Рисунок 2.7 – Траєкторія переміщення різця при прорізанні канавки на першому установі

Таблиця 2.23 – Розрахунок основного та машинно-допоміжного часу при прорізанні канавки на установі 1

№ ТОЧОК	$D_1$ , ММ	$D_2$ , ММ	$l_1$ , ММ	$l_2$ , ММ	$L$ , ММ	$S$ , ММ/ОБ (ММ/ХВ)	$n$ , ОБ/ХВ	$t_0$ , ХВ	$t_{М.Д}$ , ХВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–1	150	150	330	158,18	171,82	3000	–	–	0,057
1–2	150	72	158,18	158,18	39	3000	–	–	0,013
2–3	72	69,67	158,18	158,18	1,17	0,16	355	0,021	–
3–4	69,67	53,94	158,18	158,18	7,87	0,16	355	0,138	–
4–5	53,94	72	158,18	158,18	9,03	0,16	355	0,159	–
5–6	72	150	158,18	158,18	39	3000	–	–	0,013
6–7	150	150	158,18	330	171,82	3000	–	–	0,057

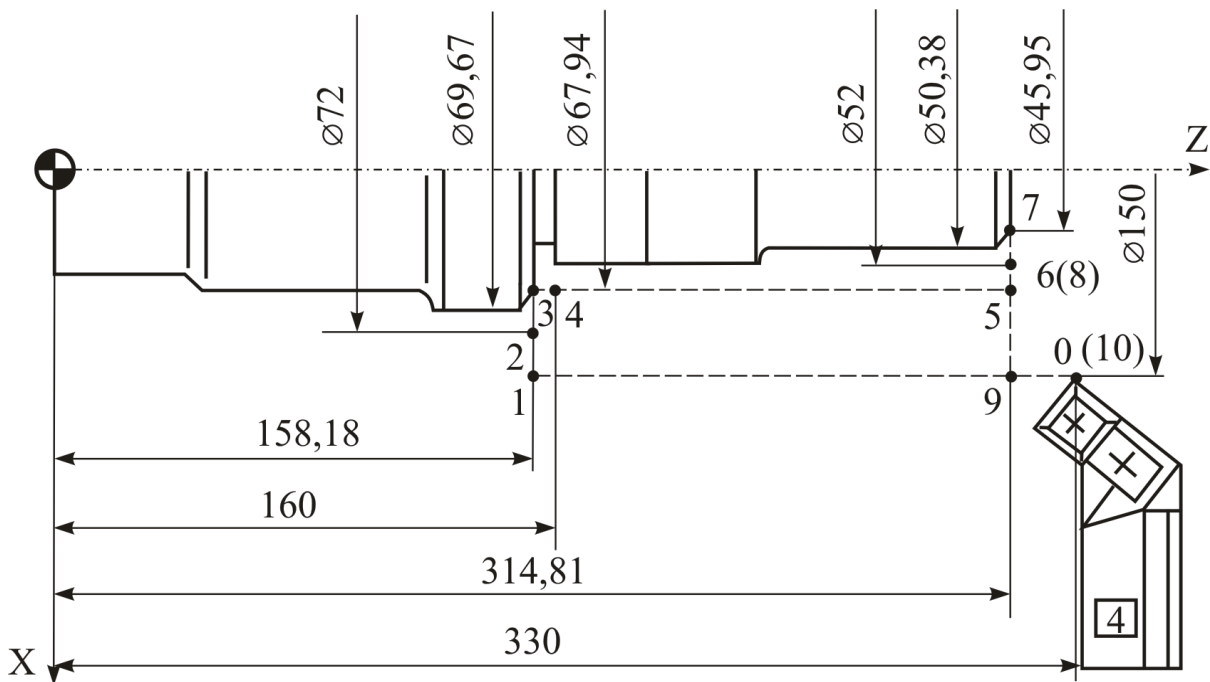


Рисунок 2.8 – Траекторія переміщення різця при обробці фасок на першому установі

Таблиця 2.24 – Розрахунок основного та машинно-допоміжного часу при обробці фасок на установі 1

№ точок	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$L$ , мм	$S$ , мм/об (мм/хв)	$n$ , об/хв	$t_0$ , хв	$t_{м.д}$ , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–1	150	150	330	158,18	171,82	3000	–	–	0,057
1–2	150	72	158,18	158,18	39	3000	–	–	0,013
2–3	72	67,94	158,18	158,18	2,03	0,17	250	0,048	–
3–4	67,94	67,94	158,18	160	1,82	0,17	250	0,043	–
4–5	67,94	67,94	160	314,81	154,81	3000	–	–	0,052
5–6	67,94	52	314,81	314,81	7,97	3000	–	–	0,003
6–7	52	45,95	314,81	314,81	3,03	0,14	500	0,043	–
7–8	45,95	52	314,81	314,81	3,03	0,14	500	0,043	–
8–9	52	150	314,81	314,81	49	3000	–	–	0,016
9–10	150	150	314,81	330	15,19	3000	–	–	0,005

Траєкторія переміщення різального інструмента при прорізанні канавки на установі 2 зображена на рисунку 2.11, а розрахунок основного та машинно-допоміжного часу зведений до таблиці 2.27.

Траєкторія переміщення різального інструмента при обробці фасок на установі 2 зображена на рисунку 2.12, а розрахунок основного та машинно-допоміжного часу зведений до таблиці 2.28.

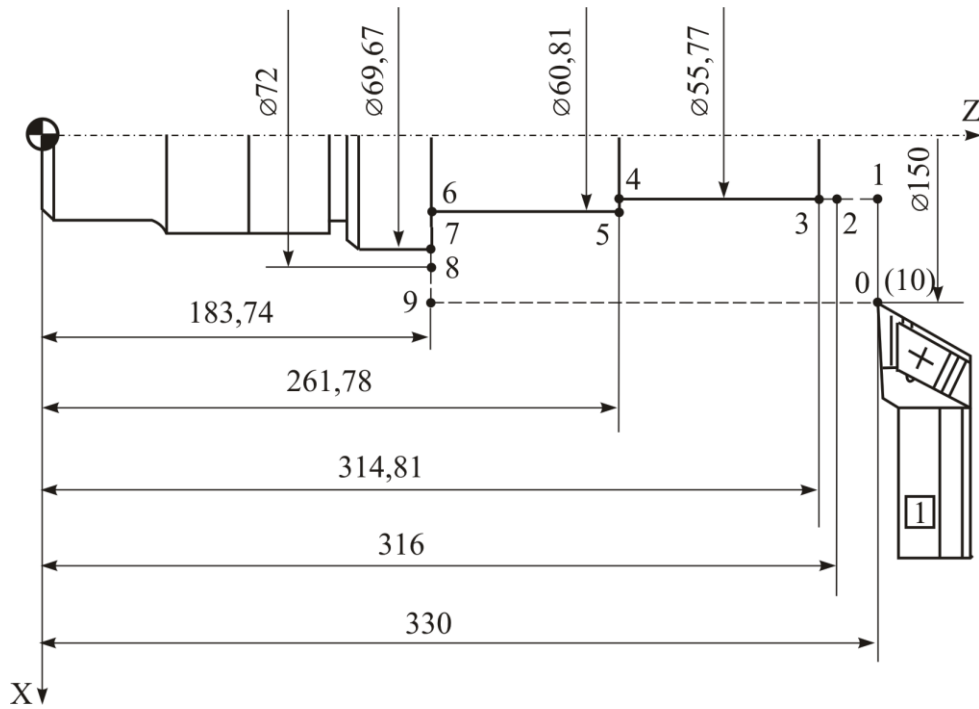


Рисунок 2.9 – Траєкторія переміщення різця при чорновій обробці на другому установі

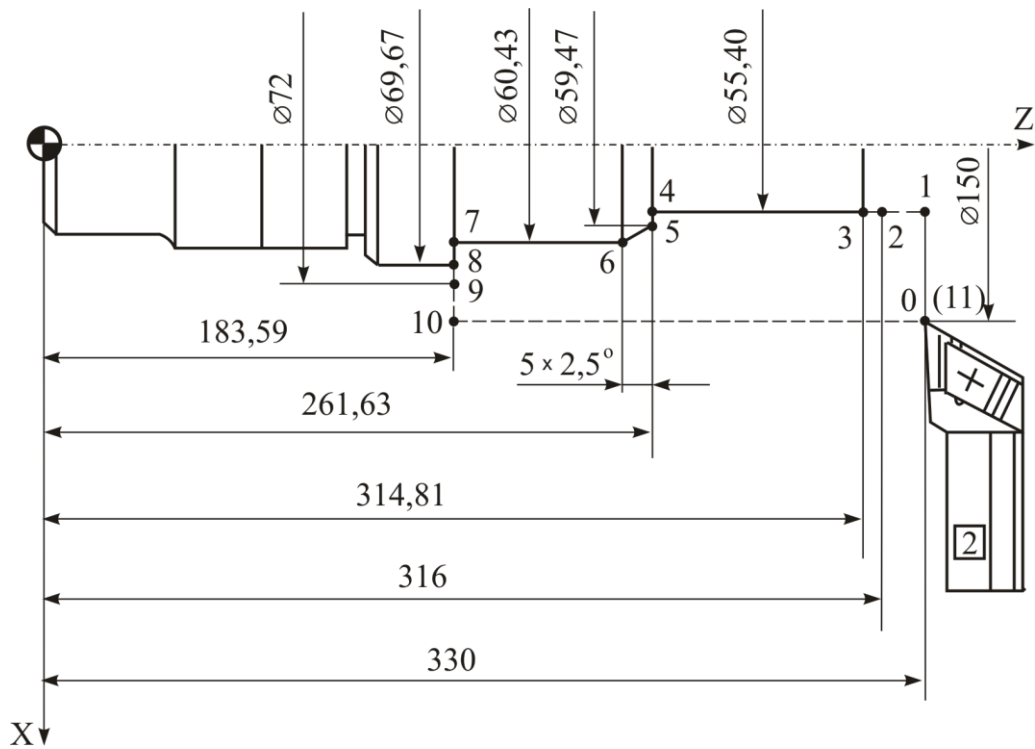


Рисунок 2.10 – Траєкторія переміщення різця при чистовій обробці на другому установі

Таблиця 2.25 – Розрахунок основного та машинно-допоміжного часу при чорновій обробці на установі 2

№ точок	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$L$ , мм	$S$ , мм/об (мм/хв)	$n$ , об/хв	$t_0$ , хв	$t_{м.д}$ , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–1	150	55,77	330	330	47,12	3000	–	–	0,016
1–2	55,77	55,77	330	316	14	3000	–	–	0,005
2–3	55,77	55,77	316	314,81	1,19	0,7	355	0,005	–
3–4	55,77	55,77	314,81	261,78	53,03	0,7	355	0,213	–
4–5	55,77	60,81	261,78	261,78	2,52	0,7	355	0,010	–
5–6	60,81	60,81	261,78	183,74	78,04	0,7	355	0,314	–
6–7	60,81	69,67	183,74	183,74	4,43	0,7	355	0,018	–
7–8	69,67	72	183,74	183,74	1,17	0,7	355	0,005	–
8–9	72	150	183,74	183,74	39	3000	–	–	0,013
9–10	150	150	183,74	330	146,26	3000	–	–	0,049

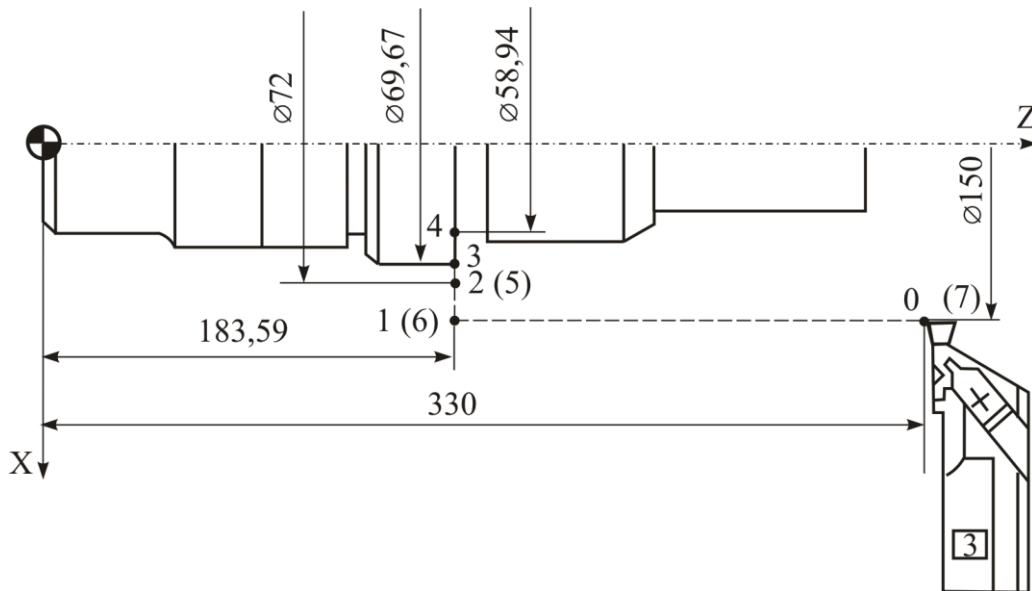


Рисунок 2.11 – Траекторія переміщення різця при прорізанні канавки на другому установі

Таблиця 2.26 – Розрахунок основного та машинно-допоміжного часу при чистовій обробці на установі 2

№ точок	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$L$ , мм	$S$ , мм/об (мм/хв)	$n$ , об/хв	$t_0$ , хв	$t_{м.д}$ , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–1	150	55,40	330	330	47,3	3000	–	–	0,016
1–2	55,40	55,40	330	316	14	3000	–	–	0,005
2–3	55,40	55,40	316	314,81	1,19	0,25	1400	0,003	–
3–4	55,40	55,40	314,81	261,63	53,18	0,25	1400	0,152	–
4–5	55,40	59,47	261,63	261,63	2,04	0,25	1400	0,006	–
5–6	59,47	60,43	261,63	256,63	4,52	0,25	1400	0,013	–
6–7	60,43	60,43	256,63	183,59	73,04	0,25	1400	0,209	–
7–8	60,43	69,67	183,59	183,59	4,62	0,25	1400	0,013	–
8–9	69,67	72	183,59	183,59	1,17	0,25	1400	0,003	–
9–10	72	150	183,59	183,59	39	3000	–	–	0,013
10–11	150	150	183,59	330	146,41	3000	–	–	0,049

Таблиця 2.27 – Розрахунок основного та машинно-допоміжного часу при прорізанні канавки на установі 2

№ точок	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$L$ , мм	$S$ , мм/об (мм/хв)	$n$ , об/хв	$t_0$ , хв	$t_{м.д}$ , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–1	150	150	330	183,59	146,41	3000	–	–	0,049
1–2	150	72	183,59	183,59	39	3000	–	–	0,013
2–3	72	69,67	183,59	183,59	1,17	0,16	355	0,021	–
3–4	69,67	58,94	183,59	183,59	5,37	0,16	355	0,094	–
4–5	58,94	72	183,59	183,59	6,53	0,16	355	0,115	–
5–6	72	150	183,59	183,59	39	3000	–	–	0,013
6–7	150	150	183,59	330	146,41	3000	–	–	0,049

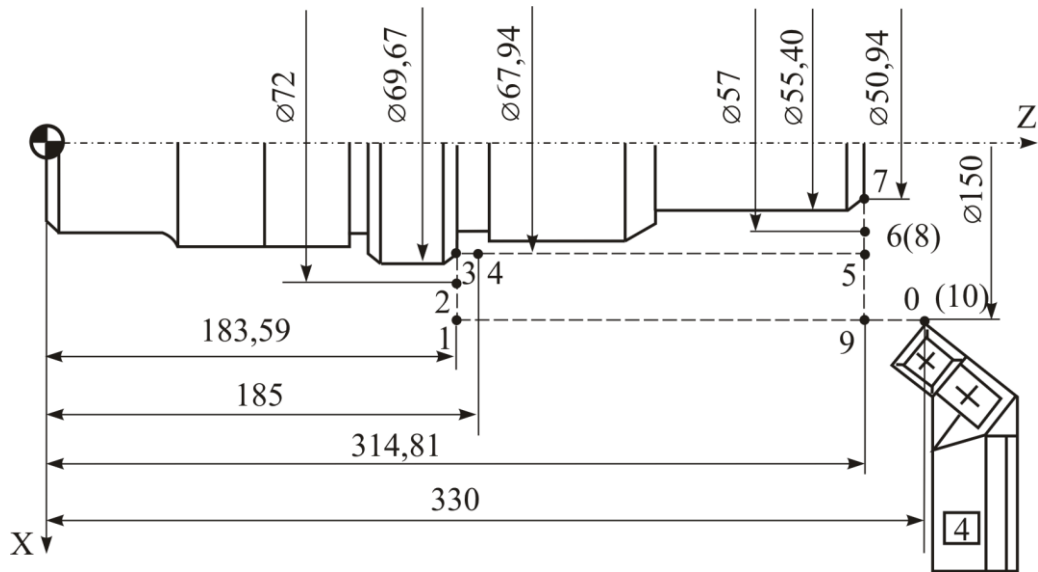


Рисунок 2.12 – Траекторія переміщення різця при обробці фасок на другому установі

Таблиця 2.28 – Розрахунок основного та машинно-допоміжного часу при обробці фасок на установі 2

№ точок	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$L$ , мм	$S$ , мм/об (мм/хв)	$n$ , об/хв	$t_0$ , хв	$t_{м.д.}$ , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–1	150	150	330	183,59	146,41	3000	–	–	0,049
1–2	150	72	183,59	183,59	39	3000	–	–	0,013
2–3	72	67,94	183,59	183,59	2,03	0,17	250	0,048	–
3–4	67,94	67,94	183,59	185	1,41	0,17	250	0,033	–
4–5	67,94	67,94	185	314,81	129,81	3000	–	–	0,043
5–6	67,94	57	314,81	314,81	5,47	3000	–	–	0,002
6–7	57	50,94	314,81	314,81	3,03	0,15	355	0,057	–
7–8	50,94	57	314,81	314,81	3,03	0,15	355	0,057	–
8–9	57	150	314,81	314,81	46,50	3000	–	–	0,016
9–10	150	150	314,81	330	15,19	3000	–	–	0,005

## 2.6. Розрахунок штучного часу

Оперативний час на обробку деталі розраховують за формулою

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{о}} + t_{\text{м.д}} + t_{\text{уст}}, \quad (2.25)$$

де  $t_{\text{о}}$  – основний час на операцію, хв;

$t_{\text{м.д}}$  – машинно-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів та переміщень при обробці поверхонь, хв;

$t_{\text{уст}}$  – час на установку та знімання заготовки, хв (таблиця 2.29).

При переустановці деталі треба застосовувати коефіцієнт 0,8, тобто час на переустановку деталі розраховується як

$$t_{\text{перест}} = 0,8 t_{\text{уст}}. \quad (2.26)$$

До машинно-допоміжного часу при розрахунку штучного часу входять: час, що витрачається на поворот різцевої головки, який становить 0,02 хв при повороті на 1 позицію; час на те, щоб задвинути загороджувальний щиток токарного верстата, відвести його – 0,03 хв; час на зміну діапазону частот обертів шпинделя (при необхідності) – 0,08 хв.

Таблиця 2.29 – Час на установку та знімання заготовки

Спосіб установки деталі	Маса деталі, кг, до								
	0,25	0,5	1	3	5	8	12	20	30
У без ключовому патроні	0,08	0,10	0,12	0,16	0,18	0,21	–	–	–
У патроні з кріпленням ключем	0,15	0,18	0,23	0,32	0,37	0,43	0,50	0,65	0,80
У патроні з підтисканням за допомогою задньої бабки	–	–	0,38	0,50	0,60	0,70	0,75	0,90	–
У центрах	0,10	0,12	0,13	0,16	0,19	0,23	0,28	0,34	0,41

Час на обслуговування робочого місця та особисті потреби при роботі на верстаті моделі 16К20Т1 становить:



$$t_{\text{обсл}} = 0,1 t_{\text{оп}} \quad (2.27)$$

Штучний час обробки деталі, хв:

$$T_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{обсл}} \quad (2.28)$$

Результати розрахунків зведені до таблиці 2.30.

Таблиця 2.30 – Розрахунок оперативного часу

Перехід	$t_o$ , хв	$t_{\text{м.д}}$ , хв	$t_{\text{уст}}$ , хв
1	2	3	4
1. Установити та зняти деталь	–	–	0,190
2. Задвинути щиток загородження, відвести, ввімкнути цикл	–	–	0,030
3. Повернути різцеву головку на 3 позиції	–	0,060	–
4. Підвести різець до деталі на швидкому ході	–	0,021	–
5. Проточити деталь начорно на першому установі	0,857	–	–
6. Відвести різець у точку зміни інструмента	–	0,081	–
7. Повернути різцеву головку на 1 позицію	–	0,020	–
8. Підвести різець до деталі на швидкому ході	–	0,021	–
9. Проточити деталь начисто на першому установі	0,482	–	–
10. Відвести різець у точку зміни інструмента	–	0,070	–
11. Повернути різцеву головку на 1 позицію	–	0,020	–
12. Підвести різець до деталі на швидкому ході	–	0,070	–
13. Прорізати канавку на першому установі	0,318	–	–
14. Відвести різець у точку зміни інструмента	–	0,070	–
15. Повернути різцеву головку на 1 позицію	–	0,020	–
16. Підвести різець до деталі на швидкому ході	–	0,070	–
17. Проточити фаски на першому установі	0,177	0,054	–
18. Відвести різець у точку зміни інструмента	–	0,021	–
19. Переустановити деталь	–	–	0,152
20. Задвинути щиток загородження, відвести, ввімкнути цикл	–	–	0,030
21. Повернути різцеву головку на 3 позиції	–	0,060	–

Закінчення таблиці 2.30

Перехід	$t_o$ , хв	$t_{м.д}$ , хв	$t_{уст}$ , хв
1	2	3	4
22. Підвести різець до деталі на швидкому ході	–	0,020	–
23. Проточити деталь начорно на другому установі	0,565	–	–
24. Відвести різець у точку зміни інструмента	–	0,062	–
25. Повернути різцеву головку на 1 позицію	–	0,020	–
26. Підвести різець до деталі на швидкому ході	–	0,020	–
27. Проточити деталь начисто на другому установі	0,399	–	–
28. Відвести різець у точку зміни інструмента	–	0,062	–
29. Повернути різцеву головку на 1 позицію	–	0,020	–
30. Підвести різець до деталі на швидкому ході	–	0,062	–
31. Прорізати канавку на другому установі	0,230	–	–
32. Відвести різець у точку зміни інструмента	–	0,062	–
33. Повернути різцеву головку на 1 позицію	–	0,020	–
34. Підвести різець до деталі на швидкому ході	–	0,062	–
35. Проточити фаски на другому установі	0,195	0,045	–
36. Відвести різець у точку зміни інструмента	–	0,021	–
Сума:	3,223	1,136	0,402

Оперативний час

$$t_{оп} = \sum t_o + \sum t_{м.д} + \sum t_{уст} =$$

$$= 3,223 + 1,136 + 0,402 = 4,761 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця та особисті потреби:

















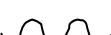




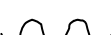







$$t_{обсл} = 0,1 t_{оп} = 0,476 \text{ хв.}$$

Штучний час обробки деталі:

$$T_{шт} = t_{оп} + t_{обсл} = 5,237 \text{ хв.}$$

## 2.7. Розробка управляючої програми

Відповідно до інструкції з програмування верстата моделі 16К20Т1 з ПЧПУ “Електроніка НЦ-31” (див. розділ 1.1) складають управляючу програму:

N000 M40	N029 Z33000 	N058 F70
N001 M03	N030 T3	N059 T1
N002 S4	N031 S4	N060 X5577 
N003 F70	N032 F16	N061 Z31600 
N004 T1	N033 Z15818 	N062 Z26178
N005 X5075 	N034 X7200 	N063 X6081
N006 Z31600 	N035 X5394	N064 Z18374
N007 Z23342	N036 X7200	N065 X7200
N008 X5559	N037 X15000 	N066 X15000 
N009 Z18991	N038 Z33000 	N067 Z33000 
N010 X5578	N039 T4	N068 T2
N011 Z15841	N040 S3	N069 S8
N012 X6967	N041 F17	N070 F25
N013 S3	N042 Z15818 	N071 X5540 
N014 Z12600	N043 X7200 	N072 Z31600 
N015 X15000 	N044 X6967	N073 Z26163
N016 Z33000 	N045 Z16000	N074 X5947
N017 T2	N046 Z31481 	N075 X6043*
N018 S8	N047 S5	
N019 F25	N048 F14	N076 Z-500 
N020 X5038 	N049 X5200 	N077 Z18359
N021 Z31600 	N050 X4595	N078 X7200
N022 Z23319	N051 X5038	N079 X15000 
N023 X5520	N052 X15000 	N080 Z33000 
N024 Z18991	N053 Z33000 	N081 T3
N025 X5540	N054 M05	N082 S4
N026 Z15818	N055 M00	N083 F16
N027 X7200	N056 M03	N084 Z18359 
N028 X15000 	N057 S4	N085 X7200 

N086 X5894	N093 Z18359 ~~~~~	N100 X5700 ~~~~~
N087 X7200	N094 X7200 ~~~~~	N101 X5094
N088 X15000 ~~~~~	N095 X6794	N102 X5700
N089 Z33000 ~~~~~	N096 Z18500	N103 X15000 ~~~~~
N090 T4	N097 Z31481 ~~~~~	N104 Z33000 ~~~~~
N091 F17	N098 S4	N105 M05
N092 S3	N099 F15	N106 M30

Згідно з таблицею 2.1, таблицею 2.13 та таблицею 2.14 а також рисунком 2.2 та рисунком 2.3 розроблюють карту ескізів, що зображена на рисунку 2.13.

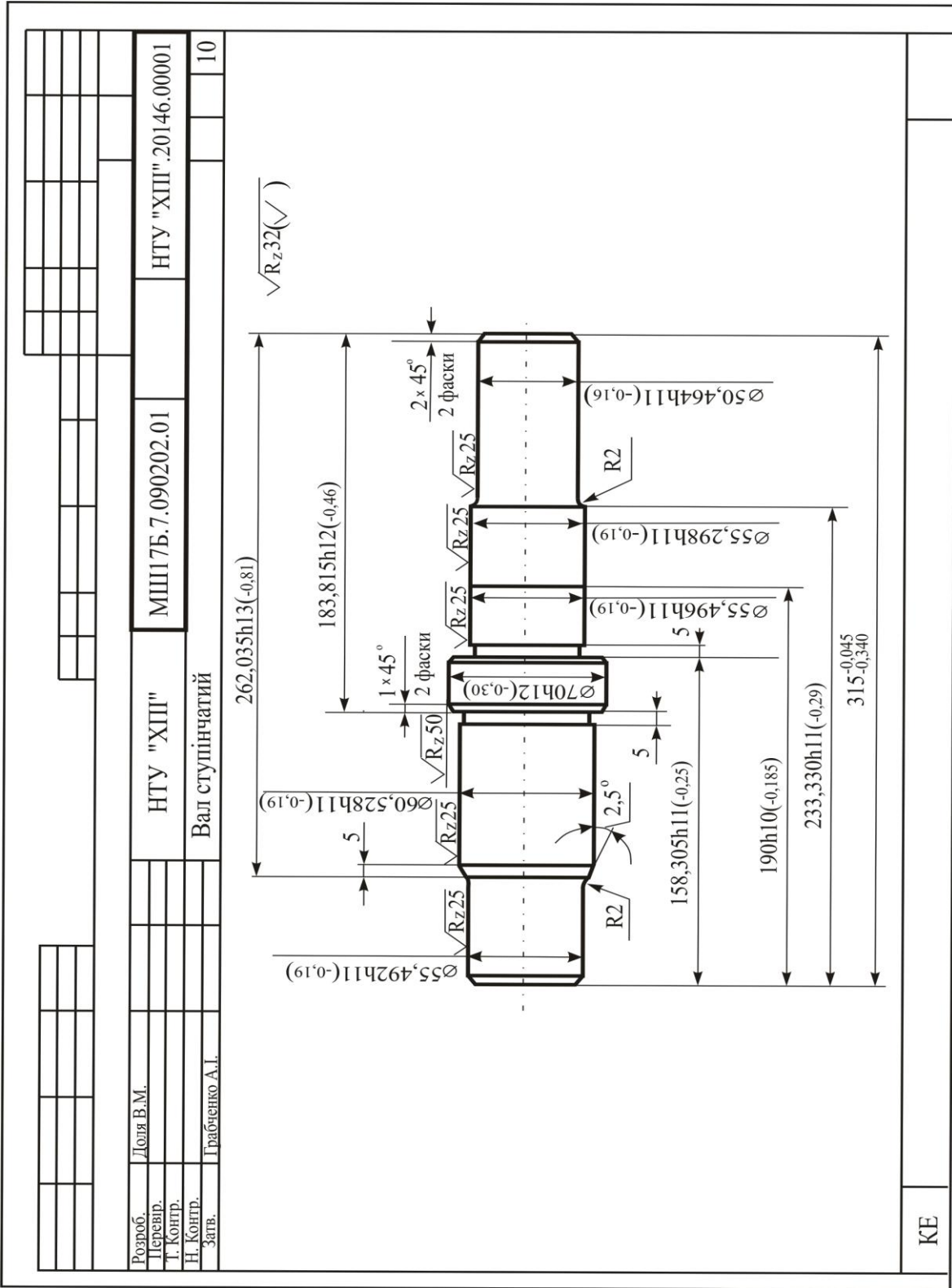


Рисунок 2.13 – Карта ескізів

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

- 1 Технологія автоматизованого машинобудування : підручник / О.В. Якимов, В.С. Гусарєв, О.О. Якимов., П.А. Линчевський. – К.: ІСДО, 1994. – 400 с.
- 2 Горбунов Б.И. Обработка металлов резанием, металлорежущий инструмент и станки : учеб. пособие для студентов немашиностроительных специальностей вузов / Б.И. Горбунов – М.: Машиностроение, 1981. – 287 с.
- 3 Конструкция и наладка станков с программным управлением и роботизированных комплексов : учеб. пособие для СПТУ / Л.Н. Грачев, В.Л. Косовский, А.Н. Ковшов и др. – М.: Высш. шк., 1986. – 288 с.
- 4 Программное управление станками и промышленными роботами : учебник для СПТУ / В.Л. Косовский, Ю.Г. Козырев, А.Н. Ковшов и др. – М.: Высш.шк., 1986. – 287 с.
- 5 Устройства числового программного управления : учеб. пособие для техн. вузов / И.Т. Гусев, В.Г. Елисеев, А.А. Маслов. – М.: Высш. шк., 1986. – 296 с.
- 6 Фельдштейн Е.Э. Режущий инструмент и оснастка станков с ЧПУ: Справ. пособие / Е.Э. Фельдштейн – Мн.: высш. шк., 1988. – 336 с.
- 7 Дерябин А.Л. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС : учеб. пособие для машиностроит. техникумов / А.Л. Дерябин, М.А. Эстерзон – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.
- 8 Обработка металлов резанием : справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
- 9 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. – Т. 1 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
- 10 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. – Т. 2 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
- 11 Кузнецов Ю.И. Оснастка для станков с ЧПУ : справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.И. Кузнецов, А.Р. Маслов, А.Н. Байков – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
- 12 Шарин Ю.С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ/ Ю.С. Шарин – М.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
- 13 Кузнецов Ю.И. Технологическая оснастка для станков с ЧПУ и промышленных роботов : учеб. пособие для машиностроительных техникумов. – М.: Машиностроение, 1987. – 112 с.

14 Инструментальная оснастка для станков с ЧПУ / Ю.И. Кузнецов, Р.Э. Сафраган, Н.А. Кармышкин; под общ. ред. Р.Э. Сафрагана. – К.: Техніка, 1988. – 152 с.

15 Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение : справочник / В.П. Жедь, Г.В. Боровский, А.Я. Музыкант, К.М. Ипполитов. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.

16 Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов : справочник / Н.П. Винников, А.И. Грабченко, Э.И. Гриценко и др.; под общ. ред. Н.В. Новикова. – К.: Техніка, 1988. – 118 с.

17 Справочник по обработке металлов резанием / Ф.Н. Абрамов, В.В. Коваленко, В.И. Любимов и др. – К.: Техніка, 1983. – 239 с.

18 ГОСТ 25347-82. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки. – М., 1982. – 52 с.

19 Станок токарный программный с оперативной системой управления НЦ-31 : инструкция по программированию 16К20Т1. – М.: Красный пролетарий, 1982. – 109 с.

20 Станок токарный программный с оперативной системой управления 16К20Т1. Руководство по эксплуатации. – М.: Красный пролетарий, 1982. – 105 с.

21 Стыскин Г.М., Гаевский В.Д. Токарные станки с оперативным программным управлением. / Г.М. Стыскин, В.Д. Гаевский – К.: Техніка, 1989. – 176 с.

22 Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 1. Нормативы времени. – М.: Экономика, 1990. – 206 с.

23 Общемашиностроительные нормативы режимов резания резцами с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин. Обработка на станках с ЧПУ. – М.: НИИМаш, 1978. – 56 с.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Програмування управляючих програм для верстата моделі 16К20Т1 з системою ЧПУ „Електроніка НЦ-31”.....	4
1.1 Правила програмування.....	4
1.2 Технічні характеристики верстата мод. 16К20Т1.....	19
2 Порядок розробки управляючої програми для верстата моделі 16К20Т1	21
2.1 Розрахунок точок контуру деталі.....	21
2.2 Вибір різального інструмента.....	24
2.3 Розрахунок проміжних розмірів та розмірів заготовки, що виготовлена штампуванням.....	27
2.4 Розрахунок режимів різання.....	42
2.5 Побудова траєкторії переміщення різального інструмента, розрахунок основного та машинно-допоміжного часу.....	45
2.6 Розрахунок штучного часу.....	56
2.7 Розробка управляючої програми.....	59
Список джерел інформації.....	62



Навчальне видання

ПРОГРАМУВАННЯ ВЕРСТАТА З ЧПУ

Методичні вказівки

до виконання розділу дипломного проекту бакалавра

для студентів спеціальностей

7.05050201 «Технологія машинобудування»,

7.05050302 «Інструментальне виробництво»

Укладач ДОЛЯ Віктор Миколайович

Відповідальний за випуск *А.І. Грабченко*

Роботу до видання рекомендував *О.М. Шелковой*

В авторській редакції

План 2013, поз. 21

Підписано до друку 29.05. 2013 р. Формат 60×841/16. Папір офсетний.

Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 3,3 . Наклад 50 прим.

Зам. № 69. Ціна договірна.

---

Видавець і виготовлювач

Видавничий центр НТУ "ХП".

вул. Фрунзе, 21м. Харків-2, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3657 від 24.12.2009 р