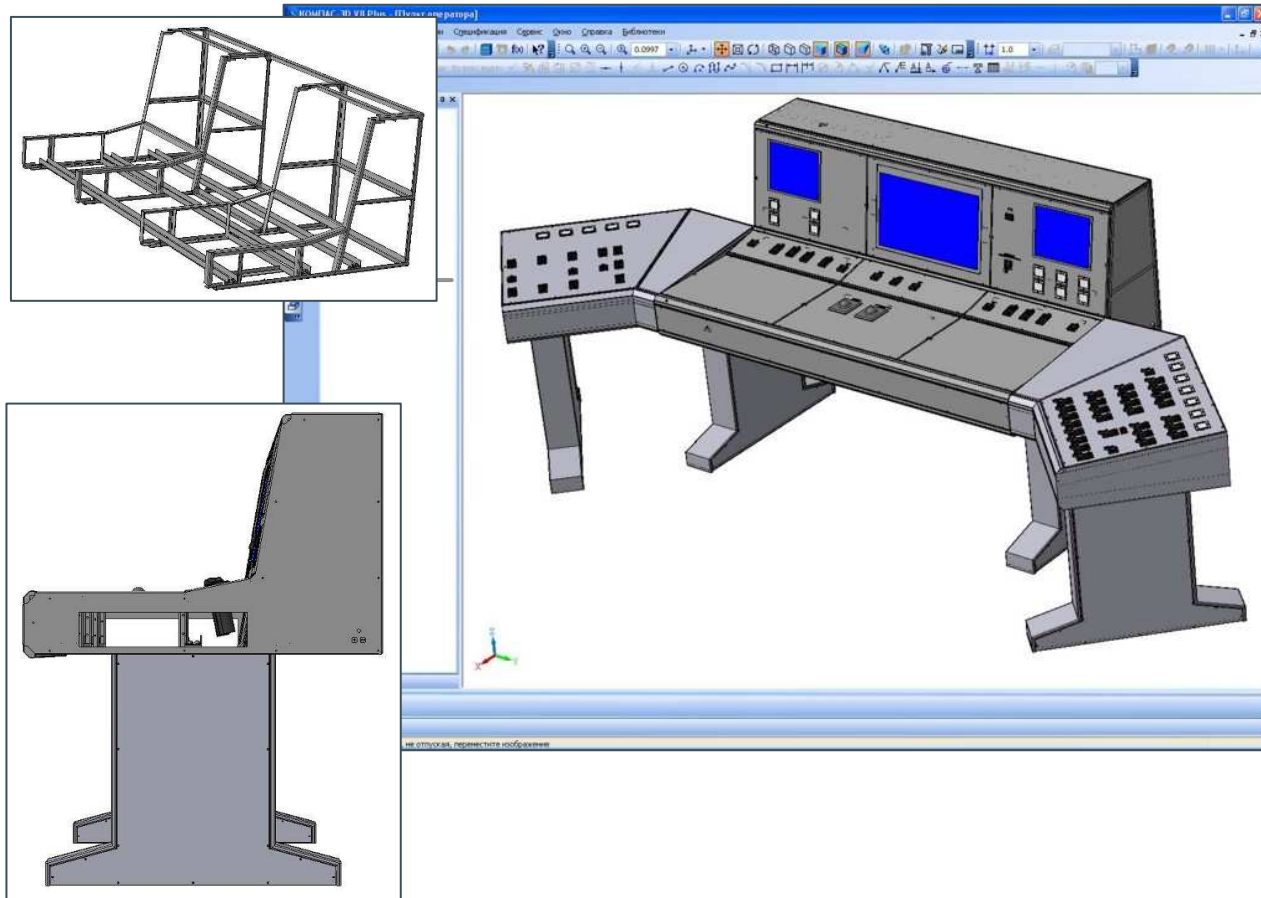


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О.М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до курсової, розрахунково-графічної та практичних робіт  
з дисципліни

**АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ  
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ**

*(для студентів 5-6 курсів усіх форм навчання за спеціальностями  
7.05070204, 8.05070204  
«Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»)*



**Харків  
ХНУМГ  
2013**

Методичні вказівки до курсової, розрахунково-графічної та практичних робіт з дисципліни «Автоматизоване проектування електромеханічних систем» (для студентів 5-6 курсів усіх форм навчання спеціальності 7.05070204, 8.05070204 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. Ф. Бабічева, С. М. Єсаулов. – Х.: ХНУМГ, 2013. – 51 с.

Укладачі: О. Ф. Бабічева,  
С. М. Єсаулов

Рецензенти: канд. техн. наук А. К. Бабіченко (ХНТУ ХПІ)

Ці методичні вказівки призначені для вивчення курсу автоматизоване проектування електромеханічних систем за допомогою програмного забезпечення КОМПАС та SinSys і виконання практичних і курсової робіт.

Затверджено на засіданні кафедри електричного транспорту  
протокол №1 від 3.09.2013 р.

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	5
1.1 Мета і завдання курсової роботи.....	5
1.2 Зміст курсової роботи і вказівки до її оформлення.....	5
2 ЗМІСТ І ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ.....	8
3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	13
3.1 Проектування технологічного пристрою для металообробного верстата (фрезерування шпонкового пазу).....	13
3.1.1 Вибір технологічних баз.....	13
3.1.2 Вибір засобів технологічного оснащення фрезерної операції.....	14
3.1.3 Розрахунок і вибір режимів різання.....	16
3.1.4 Розрахунок сил затиску.....	20
3.1.5 Розрахунок правильного базування заготовок.....	24
3.1.6 Методика проектування пристрою.....	28
3.2 Розробка системи автоматичного контролю технологічних параметрів при обробці досліджуваної деталі.....	34
3.2.1 Опис технологічного процесу металообробки.....	34
3.2.2 Опис параметрів і принципів вимірів на технологічному об'єкті.....	35
3.2.3 Короткий опис прийомних елементів і варіантів їх використання для контролю вибраних технологічних параметрів.....	36
3.2.4 Вибір схем для практичної реалізації системи контролю параметрів.....	38
3.2.5 Опис виконання роботи.....	44
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	50

## ВСТУП

Метою дисципліни «Автоматизоване проектування електромеханічних систем» є формулювання у студентів системи знань, умінь і навичок з автоматизованого проектування електромеханічних пристроїв у технічній галузі, побудова електричних схем і набуття навичок володіння системами автоматизованого проектування.

Автоматизоване проектування систематизує, розширює і поглиблює теоретичні знання, дозволяє набутти досвід самостійного проектування будь-яких пристроїв, а також одержати навички користування довідково-нормативною і навчальною літературою.

При курсовому проектуванні студент повинен вирішити відповідно до завдання конкретні технологічні й конструкторські завдання, виконати всі необхідні інженерні розрахунки, обґрунтувати й вибрати нормалізовані вузли й деталі пристроїв.

Ці вказівки розроблені відповідно до програми дисципліни «Автоматизоване проектування електромеханічних систем» і призначені для студентів спеціальності 7.092.203 – «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» при виконанні розділів курсових і дипломних проектів, пов'язаних з проектуванням засобів електромеханічних систем, зокрема в галузі електротранспорту.

Вони також рекомендуються для проведення практичних занять у процесі вивчення дисципліни, можуть бути корисні інженерно-технічним працівникам підприємств ЕТ.

# **1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

## **1.1 Мета і завдання курсової роботи**

Автоматизоване проектування є одним з важливих видів навчання за допомогою персональних комп'ютерів (ПК). Воно сприяє розвитку навичок самостійної роботи студентів при виконанні курсових і дипломних проектів в електронних варіантах. Знання із спеціальних дисциплін, придбані студентами, використовуються для вирішення задач, пов'язаних із проектуванням засобів технологічного оснащення підприємств ЕТ. Робота дозволяє розвивати навички технологічної, конструкторської і техніко-економічної оцінки засобів технологічного оснащення, що застосовуються на підприємствах ЕТ та інших галузей промисловості, а також здібності й уміння самостійно вирішувати конкретні завдання з технологічної підготовки виробництва.

Для виконання роботи студент одержує завдання, в якому зазначено тему, розроблювані питання, вихідні дані за варіантами, зміст графічної і розрахункової частин, а також терміни виконання проекту.

Виконання курсової чи розрахунково-графічної роботи має на увазі наступні напрямки в підготовці студента:

- отримання навичок творчого мислення при вирішенні різних технологічних питань;
- опанування основ стандартизації в області допусків і посадок, взаємозамінності, технічних вимірювань тощо;
- навчання основам роботи зі спеціальною літературою, стандартами, довідниками та іншими джерелами технічної інформації;
- отримання навичок в автоматизації проектно-конструкторських робіт в машинобудуванні, приладобудуванні, тобто розробка графічних та текстових електронних документів: ескізи проробок, креслення збірок та деталювання, електросхеми і т.д.

## **1.2 Зміст курсової роботи і вказівки до її оформлення**

Курсова робота з дисципліни «Автоматизоване проектування електромеханічних систем» є комплексною роботою. Під час виконання курсової роботи студент узагальнює і систематизує теоретичні знання при розробці технологічних процесів, вчиться вирішувати конкретні технологічні завдання, а також повинен визначити способи контролю на всіх етапах за допомогою існуючих технічних засобів. Такий підхід дозволяє розробити технологічний об'єкт, що забезпечує високу продуктивність праці й зниження технологічної собівартості деталі при високій якості.

При обслуговуванні й ремонті транспорту особливе місце займають технічні засоби для виконання робіт, пов'язаних з цими видами діяльності. При цьому технологічні конструкції вимагають оригінального підходу при їх проектуванні, коли повинні бути враховані: простота конструкції при виконанні

певних робіт, можливість її швидкого монтажу й демонтажу, використання засобів механізації і автоматизації, вирішення завдань контролю технологічних параметрів технічними засобами розрахунку режимів обробки деталей, технічне обґрунтування норм часу та ін.

Результати робіт над курсовою роботою повинні бути оформлені у вигляді текстових конструкторських і технологічних документів. Технологічні документи оформляють відповідно до вимог стандартів Єдиної системи технологічної документації (ЕСТД).

***Зразковий план матеріалу курсової роботи:***

1. Титульний аркуш.
2. Завдання на курсовий проект.
3. Анотація (реферат).
4. Пояснювальна записка.
5. Специфікація.
6. Комплект технологічних документів.

***Зміст пояснювальної записки:***

1. Вступ.  
У вступі повинні бути відображені наступні питання:  
а) завдання;  
б) підвищення продуктивності праці;  
в) ефективність і якість;  
г) новітні напрямки розвитку технології машинобудування.
2. Аналіз вихідних даних.  
2.1. Технологічний аналіз деталі.  
2.2. Вибір технологічних баз.  
2.3. Вибір засобів технологічного оснащення.
3. Розрахунок і вибір режимів металообробки.
4. Розрахунок сил затиску.
5. Вибір елементів конструювання.
6. Проектування пристрою (верстатного та ін.).
7. Розрахунок елементів схеми пристрою автоматичного контролю.
8. Побудова електросхеми пристрою автоматичного контролю.
9. Література і нормативно-технічна документація.

***Склад графічної частини проекту:***

10. Ескізне пророблення загального вигляду й елементів технологічного пристрою для металообробного верстата;
11. Креслення загального вигляду пристрою і його електросхема автоматичного контролю технологічних параметрів (формат А1);
12. Креслення деталей пристрою (3-4 деталі).

Перед видачею завдання на курсову роботу відповідно до навчальної робочої програми проводять практичні заняття, на яких детально розглядають зміст і обсяг роботи, послідовність виконання завдання, вимоги до оформлення, перелік використаних літературних джерел і довідкових матеріалів.

Курсова робота складається з пояснювальної записки і графічного матеріалу.

Матеріал розрахунково-пояснювальної записки слід викладати в логічній послідовності, лаконічно. Обсяг записки в цілому повинен складати 20-25 сторінок рукописного тексту чи 15-20 друкованих сторінок (через 1,5 інтервала на аркуші формату А4, шрифт ПК Times New Roman розміром 14).

Загальний вигляд пристрою, його деталювання та електрична схема дослідного пристрою виконують за допомогою САПР - КОМПАС на креслярському папері формату А1 у масштабі, згідно з нормами, вимогами й правилами ЕСКД.

Текст виконують на папері формату А4 (210×297мм) з використанням однієї сторони аркуша. Кожна сторінка повинна мати границі тексту з такими полями: верхнє, нижнє і лівє - не менше 20мм, правє - не менше 10мм.

Розрахунки виконують у середовищі програми MS EXCEL.

Кожен розділ починають з нової сторінки. Заголовок розділу розміщують посередині рядка і пишуть заголовними літерами, всі підпункти починають з абзацного відступу звичайним розміром букв.

Пояснювальну записку оформляють відповідно до вимог ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки».

## 2 ЗМІСТ І ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ

Курсова робота передбачає виконання двох завдань:

- ✓ проектування технологічного пристрою для верстата;
- ✓ розробка електросхеми пристрою автоматичного контролю технологічного процесу (обробки поверхні деталі).

Варіанти завдання відповідають останнім двом цифрам номеру залікової книжки чи номеру в списку прізвищ за журналом академічної групи.

### ***ЗАВДАННЯ 1. Проектування технологічного пристрою для фрезерування шпонкового пазу***

На базі вихідних даних, наведених у табл. 1 і на рис. 1 – 2, запроектувати технологічних пристрій для фрезерування шпонкового пазу в східчастому валу.

Деталь є східчастим валом для передачі крутного моменту, яку виготовляють зі сталі 40Х. Поверхня 1 має діаметр  $D_1$  і допуски по якості Н9. Поверхня 2 має діаметр  $D_2$ , поверхня 3 має діаметр  $D_3$ . На поверхні 1 фрезерується паз довжиною  $l$ , глибиною  $t$  і шириною  $b$ .

Для забезпечення посадки муфти використовують шпонковий паз. Деталь виготовляють гострінням з круглого сортового прокату. Циліндричні поверхні вала обробляють на фрезерному верстаті дисковою фрезою.

Обробку циліндричних поверхонь здійснюють на горизонтально-фрезерному верстаті 6М82М чи вертикально-фрезерному 6М12П (див. Додаток 1), на яких фрезерують шпонкові пази східчастого вала. Для одержання заготовки використовують ножовково-відрізний верстат моделі 872М (див. Додаток 1). Для обробки заготовки застосовують токарно-гвинторізний верстат 1К625 (див. Додаток 1).

Відповідно до карти технологічного процесу, остаточною операцією є шліфування універсальним кругло-шліфувальним верстатом моделі 3Б153 (див. Додаток 1).

У межах вказаного завдання необхідно:

- визначити технологічні бази й здійснити вибір засобів технологічного оснащення фрезерної операції;
- розрахувати режими різання, сили затиску й правильне базування заготовки;
- спроектувати технологічний пристрій для фрезерування шпонкового пазу і креслення навести на аркуші А1;
- навести специфікацію до спроектованого пристрою на аркуші формату А4 і підшити в додаток курсової роботи.



Таблиця 1 – Вихідні дані до першого завдання курсової роботи

№ вар.	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$L$	$b$	$t_1$	$t_2$	$R$
1	60.2	85	55.2	-	80	110	75	-	-	290	18	7	53	-
2	40.2	65	40.2	-	75	90	70	-	-	245	12	5	35	-
3	70.3	95	65.3	-	90	125	85	-	-	315	20	7.5	62.5	-
4	35.1	60	35.1	-	85	80	80	-	-	250	10	5	30	-
5	30.1	45	30.1	-	110	140	100	-	-	345	8	4	26	-
6	45.2	70	40.2	-	75	100	70	-	-	365	14	5.5	39.5	-
7	75.3	100	70.3	-	100	140	95	-	-	330	20	7.5	67	-
8	55.2	80	50.2	-	80	150	75	-	-	300	16	6	49	-
9	30.1	55	30.1	-	70	100	65	-	-	220	8	4	26	-
10	25.1	45	25.1	20	50	85	175	50	20	360	8	4	21	40
11	30.1	50	35.1	27	50	85	180	50	20	365	8	4	26	40
12	35.1	55	30.1	25	50	90	185	60	20	385	10	5	30	40
13	40.2	60	35.1	30	50	110	190	65	20	415	12	5	35	40
14	45.5	75	45.5	40	55	115	195	80	25	445	14	5	39	40
15	50.2	80	50.2	40	60	125	200	75	25	440	16	6	54	40
16	65.2	85	60.2	50	70	135	200	80	25	485	18	7	58	50
17	70.3	90	65.2	55	80	140	200	80	40	500	20	7.5	62.5	50
18	75.3	95	70.3	60	80	140	200	80	30	500	20	7.5	67.5	50
19	55.2	80	55.2	45	60	115	200	75	22	450	16	6	49	40
20	50.2	75	45.2	-	85	100	80	-	-	285	16	6	44	-
21	62	85	55	-	82	112	78	-	-	290	18	7	53	-
22	42	65	45	-	75	90	70	-	-	245	12	5	35	-
23	73	95	65	-	90	125	85	-	-	315	20	7.5	62.5	-
24	35	60	35	-	85	80	80	-	-	250	10	5	30	-
25	45	75	46	40	55	115	195	80	25	445	14	5	39	40
26	52	80	50	40	60	125	200	75	25	440	16	6	54	40
27	65	85	60	50	70	135	200	80	25	485	18	7	58	50
28	73	90	65	55	80	140	200	80	40	500	20	7.5	62.5	50
29	73	95	73	60	80	140	200	80	30	500	20	7.5	67.5	50
30	52	80	55	45	60	115	200	75	22	450	16	6	49	40

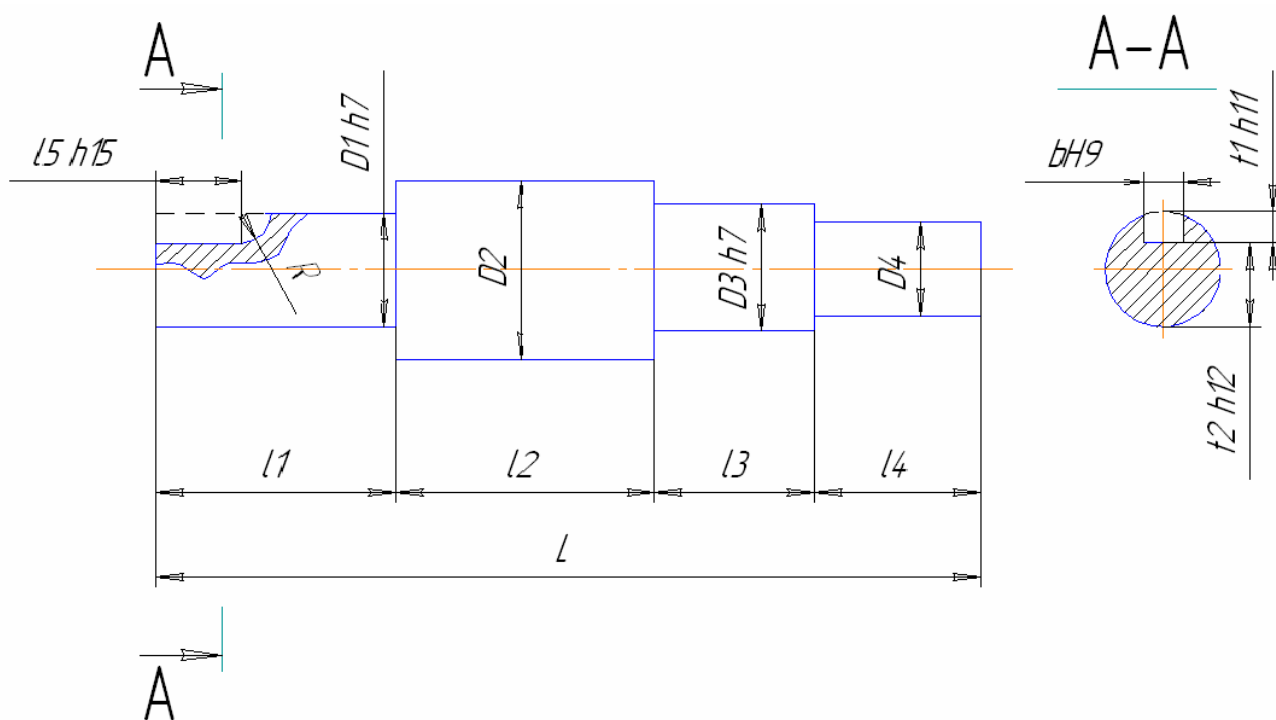


Рис. 1

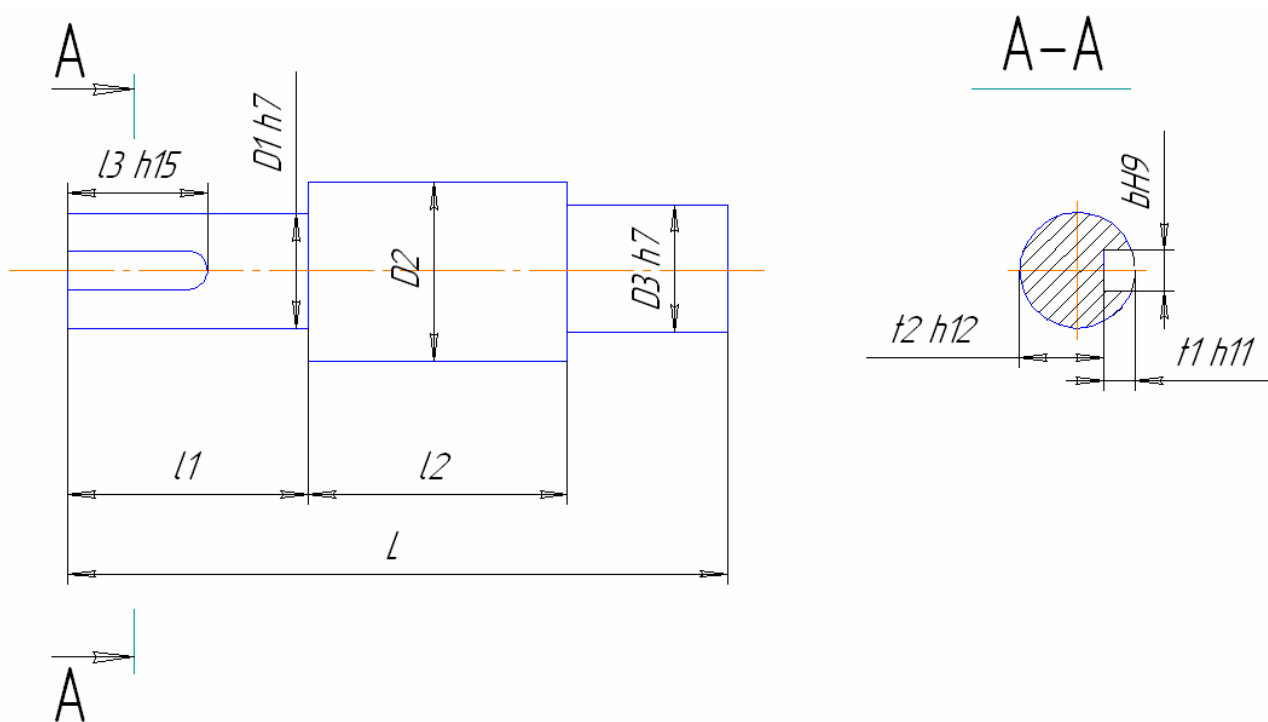


Рис. 2

## ЗАВДАННЯ 2. Розробка електросхеми пристрою автоматичного контролю обробки поверхні деталі

На базі вихідних даних, наведених у табл. 2, необхідно розробити електросхему пристрою автоматичного контролю з наступними параметрами:

- 1) потужність різання фрези при обробці заготовки;
- 2) сила затиску деталі за допомогою спроектованого пристрою (прихвату);
- 3) температура фрези при різанні металу заготовки.

Виконання завдання здійснюють за допомогою, наприклад, програми SinSys v.1.09 (розроблена кафедрою ET) чи ін.

Таблиця 2 – Вихідні дані до другого завдання курсової роботи

№ варіанта	$I_T, 10^{-3} \text{ A}$	$U_{\text{жив}}, \text{ B}$	Датчик температури резистивний (терморезистор)		$R_L, \text{ Ом}$	Термопара, мВ (max)	Датчик тиску резистивний (п'єзорезистор)	
			$R_{T\min}, \text{ Ом}$	$R_{T\max}, \text{ Ом}$			$R_{T\min}, \text{ Ом}$	$R_{T\max}, \text{ Ом}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4	5	100	177,1	2,01	23,7	56	112
2	4	5,1	105	183,2	2,05	27,9	59	124
3	4	5,2	107	185,6	2,06	29,6	55	125
4	4,5	5,3	108	188	2,1	24,8	58	120
5	4,5	5,4	110	191,2	2,2	33,7	54	110
6	4,5	5,5	111	192,4	2,4	32,5	57	114
7	4,5	5,4	112	193,7	2,52	30,9	59	118
8	5	5,3	114	194,4	2,55	31,4	54	115
9	5	5,2	115	195,6	2,57	33,5	53	116
10	5	5,1	116	196,1	2,6	25,7	56	114
11	5	5	118	198,8	2,61	32,2	55	110
12	5	5	119	199,3	2,63	31,8	54	118
13	5,5	6	120	200,3	2,66	30,7	58	117
14	5,5	6,1	121	201,7	2,67	31,8	52	113
15	5,5	6,2	122	202,5	2,7	29,6	53	122
16	5,5	6,3	123	203,6	2,81	28,4	51	111
17	5,5	6,4	124	204,4	2,89	27,7	59	127
18	6	6,5	123	203,3	3,03	24,9	57	123
19	6	6,6	122	200,9	3,4	29,3	58	124
20	6	6,7	121	201,1	3,7	31,6	56	118
21	6	6,8	120	201	3,77	33,9	55	113
22	7	6,9	119	198,9	3,85	34,7	57	115
23	7	6,8	118	197,6	3,9	31,4	58	119
24	7	6,7	117	197,9	4,01	30,0	53	116

Продовження табл. 2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
25	7	6,6	116	195,8	4,12	32,6	54	121
26	7,5	6,5	115	194,9	4,2	33,7	55	123
27	7,5	6,4	114	195,2	4,35	34,9	57	127
28	7,5	6,3	113	194,2	4,5	33,5	59	129
29	7,5	6,2	112	193,6	4,56	31,9	57	124

**Примітка:**  $R_1 = R_2 = 1000 \text{ Ом}$ ,  $R_B = 400 \dots 500 \text{ Ом}$ .

## З МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ

### 3.1 Проектування технологічного пристрою для металообробного верстата (фрезерування шпонкового пазу)

#### 3.1.1 Вибір технологічних баз

У процесі роботи заготівля повинна займати певне однозначне розташування щодо верстата, інструмента. *Базування* – це надання заготівлі чи виробу необхідного положення щодо обраних координат.

Вибір установочних баз є відповідальною роботою, що виконується при проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі.

Від правильного вибору технологічних баз залежать конструкція верстатного пристрою, точність і продуктивність обробки. Вихідними даними для вибору технологічних баз є креслення заготівлі чи деталі, а також умови установки й роботи деталі складальної одиниці (виробу).

При виборі технологічних баз необхідно:

- враховувати можливість їхнього сполучення з конструкторськими базами, при несполучених базах виникає похибка базування і необхідність жорсткості допусків;
- дотримувати принцип сталості бази на всіх основних операціях обробки; для цього часто створюють технологічні бази, що не мають конструктивного призначення (наприклад, центрові гнізда валів);
- забезпечувати гарну стійкість заготівлі на опорах верстатного пристрою.

Для повної орієнтації заготівля повинна бути позбавлена всіх шести ступенів свободи, для часткової орієнтації – трьох, чотирьох чи п'яти.

Порядок призначення баз при повній орієнтації заготівель наступний:

- призначають комплект баз;
- з комплекту баз вибирають установочну чи подвійну направляючу базу, тобто числа ступенів свободи;
- призначають число, вид і місце розташування опор для цієї бази;
- визначають, яких ступенів свободи буде позбавлена заготівля за допомогою цієї бази;
- вибирають число, вид і місце розташування опор для третьої бази комплекту.

*Технологічна база* – база, що використовується для визначення положення заготівлі чи виробу в процесі виготовлення або ремонту. При установці деталі в пристрій за технологічну базу приймають реальну поверхню, що безпосередньо контактує з установочними елементами пристрою.

Технологічна база повинна мати достатні розміри, якомога, кращі точність і параметри шорсткості, не повинна містити шви і сліди ливарної форми, має бути зв'язана розмірами з майбутніми обробленими поверхнями. Не треба використовувати технологічну базу першої операції при виконанні наступних операцій механічної обробки. Технологічна база має бути зв'язана з

оброблюваними поверхнями найкоротшим розмірним ланцюгом. При зміні баз варто використовувати більш точні поверхні. Як технологічну базу слід приймати елементи й поверхні обробленої деталі, щодо яких найбільше точно задане положення більшості інших елементів і поверхонь.

У результаті проведеного аналізу технологічних баз і рекомендацій для обробки деталей вибираємо такі технологічні бази:

- вісь деталі для обробки на токарному і шліфувальному верстатах, для чого використовуємо поверхні центрових отворів;
- поверхні 1 і 3 для обробки шпонкового паза в проектованому пристрої;
- торець 4 для забезпечення точності виконання установки деталі при обробці по довжині шпонкового паза;

Місцем затискного зусилля приймаємо поверхню шийки 2.

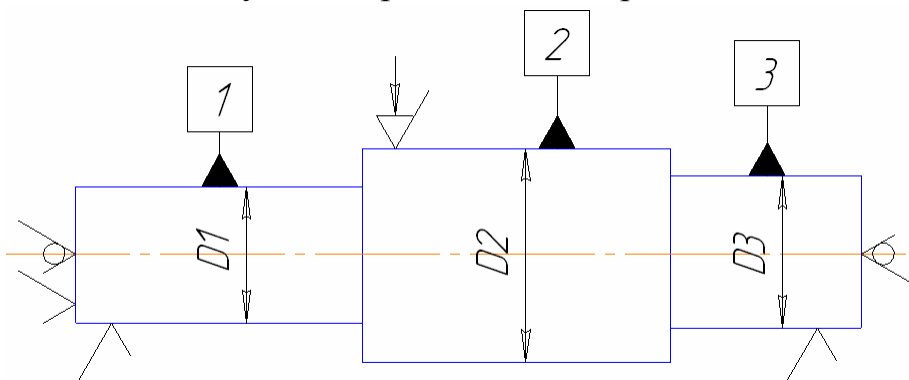
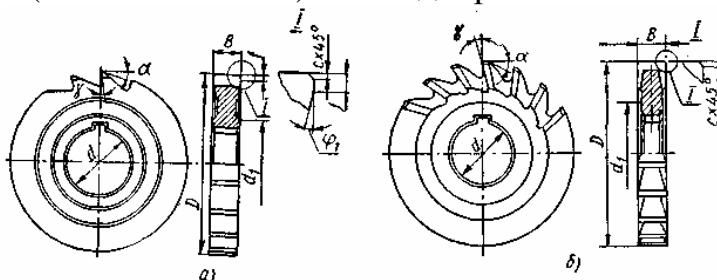


Рис. 3 – Схема розташування технологічних баз

### 3.1.2 Вибір засобів технологічного оснащення фрезерної операції

Як інструмент для обробки шпонкового пазу застосовуємо тристоронню дискову пазову фрезу за ГОСТ 3755-69, виготовлену із швидкорізальної сталі. Кількість зубів  $Z$  (вибір кількості зубів див. табл. 3, 4).

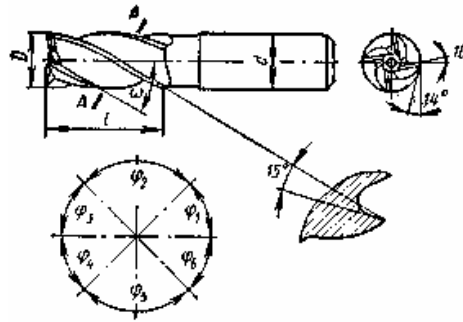
Таблиця 3 – Дискові пазові фрези (ДСТ 3964—69) і тристоронні \* (ГОСТ 3755—69) зі швидкорізальної сталі



D	d	B	f	с	z
			не більш		
50	16	[3; 4] 5; 6; [8]	[1]	0,2 0,3;	14
63	22	[5] 6; 8; (10); (12)		[0,2]	16
80	27	8; 10; 12; (14)	[5]	0,3	18
100	32	10; 12; 14; 16			20

\* Цифри у квадратних дужках – тільки для пазових, у круглих – тільки для тристоронніх, без дужок – для тих і інших.

Таблиця 4 – Кінцеві фрези із швидкорізальної сталі з нерівномірною коловою кулею (ГОСТ 8237—57\*) з циліндричним хвостовиком



$D$ та $d$	$l$	Конус Морзе	2		
			Виконання А із нормальним зубом $\omega = 30^\circ$	Виконання Б із великим зубом $\omega = 45^\circ$	
3	8	-	4	3	
4	10				
5	12		5		
6	16				
8	20				
10					
12	25		4		
14*	32		-		
16					
18*	40			6	
20	45				

\* По можливості не використовувати.

**Примітка.** Значення кутів  $\varphi$  (коловий крок зубців):  $z=3$ ;  $\varphi_1=110^\circ$ ;  $\varphi_2=123^\circ$ ;  $\varphi_3=127^\circ$ ;  $z=4$ ;  $\varphi_1=90^\circ$ ;  $\varphi_2=80^\circ$ ;  $\varphi_3=90^\circ$ ;  $\varphi_4=95^\circ$ ;  $z=5$ ;  $\varphi_1=68^\circ$ ;  $\varphi_2=72^\circ$ ;  $\varphi_3=76^\circ$ ;  $\varphi_4=68^\circ$ ;  $\varphi_5=76^\circ$ ;  $z=6$ ;  $\varphi_1=57^\circ$ ;  $\varphi_2=63^\circ$ ;  $\varphi_3=57^\circ$ ;  $\varphi_4=63^\circ$ ;  $\varphi_5=57^\circ$ ;  $\varphi_6=63^\circ$ .

Як верстатний пристрій, який необхідно спроектувати, приймаємо типову конструкцію, що застосовується для обробки шпонкових пазів у деталей типу тіл обертання. Як базові поверхні використовуємо циліндричні кінці валів. У цьому пристрої установочними елементами приймаємо дві стандартні опорні призми за ГОСТ 12195-66, а як упор для лівого торця на поверхні 4 – постійну опору з плоскою голівкою за ГОСТ 13440-68. Призми й установ кріпимо гвинтами, а для запобігання елементів від зрушення використовуємо циліндричні штифти.

Для затиску деталі застосовується ручний пересувний прихват. До його комплекту входять прихват за ГОСТ 4735-64, шпилька, пружина, опора, а також контргайка, гайка, набір сферичних шайб і шайба з плоскою опорною

поверхнею. Розміри Т-подібних пазів на столі горизонтального фрезерного верстата зазначені на рис. 4.

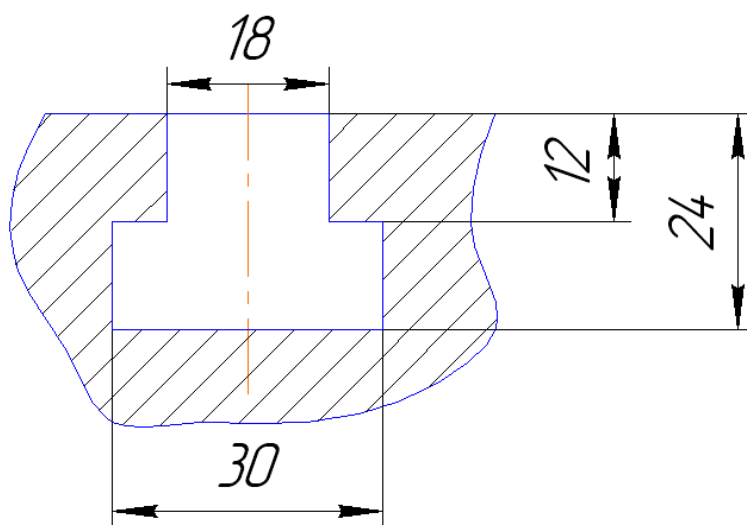


Рис. 4 – Ескіз Т - подібного паза верстата

### 3.1.3 Розрахунок і вибір режимів різання

Відповідно до вихідних даних, як засіб технологічного оснащення приймаємо дискову чи кінцеву фрезу, залежно від оброблюваного паза діаметром  $D$  і числом зубів  $Z$  (див. табл. 2, 3). Паз обробляємо в один прохід на глибину  $t$  (рис. 1, 2). Величину подачі і значення  $S_z$  встановлюємо за довідковими матеріалами (див. табл. 5, 6).

Таблиця 5 – Подачі при чорновому фрезеруванні торцевими, циліндричними й дисковими фрезами із швидкоріжучої сталі

Потужність верстата або фрезерної головки в кВт	Жорсткість системи деталь – пристрій	Фрези цільні з крупним зубом або зі вставними ножами			
		торцеві й дискові		циліндричні	
		Подача на один зуб Sz в мм при обробці			
		сталі	чавунних і мідних сплавів	сталі	чавунних і мідних сплавів
1	2	3	4	5	6
Св. 10	Підвищена	0,20-0,30	0,40-0,60	0,40—0,60	0,60—0,80
	Середня	0,15-0,25	0,30-0,50	0,30—0,40	0,40—0,60
	Знижена	0,10-0,15	0,20-0,30	0,20—0,30	0,25—0,40
5—10	Підвищена	0,12-0,20	0,30-0,50	0,20—0,30	0,25—0,40
	Середня	0,08-0,15	0,20-0,40	0,12—0,20	0,20—0,30
	Знижена	0,06-0,10	0,15-0,25	0,10—0,15	0,12—0,20
До 5	Середня	0,04-0,06	0,15-0,30	0,10—0,15	0,12—0,20
	Знижена	0,04-0,06	0,10-0,20	0,06—0,10	0,10—0,15



Потужність станка або фрезерної головки в кВт	Жорсткість системи деталь – пристосування	Фрези цільні з дрібним зубом			
		торцеві й дискові		циліндричні	
		Подача на один зуб Sz в мм при обробці			
		сталі	чавунних і мідних сплавів	сталі	чавунних і мідних сплавів
5-10	Підвищена	0,08-0,12	0,20-0,35	0,10-0,15	0,12-0,20
	Середня	0,06-0,10	0,15-0,30	0,06-0,10	0,10-0,15
	Знижена	0,04-0,08	0,10-0,20	0,06-0,08	0,08-0,12
До 5	Середня	0,04-0,06	0,12-0,20	0,05-0,08	0,06-0,12
	Знижена		0,08-0,15	0,03-0,06	0,05-0,10

**Примітки:** 1. Великі значення подач брати для меншої глибини і ширини фрезерування, менші — для великих значень глибини й ширини.

2. При фрезеруванні жароміцної сталі подачі брати ті ж, що для сталі, але не вище 0,3 мм/зуб.

**Подача.** Вихідною величиною подачі при чорновому фрезеруванні є величина її на один зуб Sz (табл. 1-3), при чистовому фрезеруванні — на один оборот фрези s, по якій для подальшого використання обчислюється величина

подачі на один зуб  $S_z = \frac{s}{z}$ , де z - число зубів фрези.

Таблиця 6 – Подачі при фрезеруванні площин і уступів твердосплавними кінцевими фрезами

Вид фрези	Діаметр фрези	Подача на один зуб фрези Sz в мм при глибині фрезеруванні t в мм			
		1—3	5	8	12
З коронкою	10—12	0,03—0,025	0,04—0,03	-	
	14—16	0,06—0,04			
З коронкою	18—22	0,08—0,05	0,06—0,04	0,04—0,03	
З гвинтовими пластинками	20—25	0,12—0,07	0,10—0,05	0,10—0,03	0,08—0,05
	30—40	0,18—0,10	0,12—0,08	0,10—0,06	0,10—0,05
	50—60	0,20—0,10	0,16—0,10	0,12—0,08	0,12—0,06

**Примітки:** 1. Верхні межі подач для чорнового фрезерування при малій ширині фрезерування B на потужних верстатах, нижні — при великій ширині фрезерування на верстатах середньої потужності.

2. Наведені значення подач забезпечують одержання обробленої поверхні в межах 5—6-го класу чистоти.

Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot t^{X_v} \cdot S_z^{Y_v} \cdot b^{U_v} \cdot Z^{P_v}} \cdot k_v \quad (\text{мм/хв.}), \quad (1)$$

де  $D$  - діаметр фрезерування;

$t, b$  - відповідно глибина і ширина фрезерування;

$T$  - період стійкості фрези (за довідковими даними для даної операції на дискових та кінцевих фрезах  $T = 120$ ).

$k$  - загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$k_v = k_{M_v} \cdot k_{n_v} \cdot k_{U_v}; \quad (2)$$

$k_{M_v}$  – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу;

$$k_{M_v} = C_M \cdot \left( \frac{75}{\sigma_B} \right)^{n_v}; \quad (3)$$

$C_M$  - коефіцієнт оброблюваності ( $C_M = 1$ );

$\sigma_B$  - межа міцності ( $\sigma_B = 75 \text{ Н / мм}$ );

$n_v$  - показник ступеня ( $n_v = 0,9$ );

$k_{n_v}$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовлі;

$k_{U_v}$  - коефіцієнт, що враховує інструментальний матеріал.

$C_v, q_v, X_v, Y_v, U_v, P_v, m$  - постійні величини, прийняті з довідкових матеріалів (табл.7).

Таблиця 7 – Значення коефіцієнта і показників степені у формулі швидкості різання при фрезеруванні

Тип фрез	Матеріал ріжучої частини	Операція	Параметри різання			Коефіцієнти і показники степені у формулі швидкості різання						
			$B, \text{мм}$	$T, \text{мм}$	$S_z, \text{мм}$	$C_v$	$q_v$	$x_v$	$y_v$	$u_v$	$p_v$	$m$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Обробка конструкційної вуглецевої сталі $\sigma_B=75 \text{ кг/мм}^2$												
Дискові цільні	P18*2	Фрезерування площин, уступів і пазів	-	-	-	68,5	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Кінцеві шпонкові двопері	P18*2	Фрезерування шпонкових пазів	-	-	-	12	0,3	0,3	0,25	0	0	0,26

Визначаємо силу різання:

$$P_Z = \frac{C_P \cdot t^{X_P} \cdot S^{Y_P} \cdot b^{U_P} \cdot Z}{D^{q_P} \cdot n^{W_P}} \cdot k_{M_P}, \text{ Н}, \quad (4)$$

де  $n$  - число обертів фрези за хвилину:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ обер./хв.} \quad (5)$$

За технічними даними число обертів не може бути менше 31,5 обер./хв.

$$k_{M_P} = \left( \frac{\sigma_B}{75} \right)^n \quad (6)$$

де  $n$  - показник ступеня ( $n = 0,75$ );

$C_P, X_P, Y_P, U_P, W_P, q$  - постійні величини, прийняті за довідковими матеріалами (табл.8);

$S$  - подача на один зуб ( $S = S_Z \cdot Z$ ), мм.

Таблиця 8 – Коефіцієнти і показники ступені у формулі колової сили  $P_Z$  при фрезеруванні

Тип фрез	Матеріал ріжучій частини інструмента	Коефіцієнт і показники ступені					
		$C_P$	$x_P$	$y_P$	$u_P$	$\omega_P$	$q_P$
1	2	3	4	5	6	7	8
Обробка конструкційної вуглецевої сталі $\sigma_s = 75 \text{ кг/мм}^2$							
Торцеві	Твердий сплав	825	1,0	0,75	1,1	0,2	1,3
	Швидкорізаль на сталь	82,2	0,95	0,8		0	1,1
Циліндричні	Твердий сплав	101	0,88	0,75			0,87
	Швидкорізаль на сталь	68,2	0,86	0,72			0,86
Кінцеві	Твердий сплав	12,5	0,85	8,75	1,0	-0,13	0,73
	Швидкорізаль на сталь	68,2	0,80	0,72		0	0,86
Дискові, прорізні	Твердий сплав	261	0,9	0,8	1,1	0,1	1,1
	Швидкорізаль на сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0	0,86
Фасонні півкруглі (виуклі і угнуті) й кутові	Швидкорізаль на сталь	47	0,86	0,72	1,0	0	0,86

Визначаємо крутний момент на шпинделі:

$$M = \frac{P_Z \cdot D}{2 \cdot 1000}, H \cdot мм, \quad (7)$$

де D - діаметр фрези, мм

Потужність різання:

$$N = \frac{P_Z \cdot V}{102 \cdot 60}, кВт. \quad (8)$$

Потужність різання порівнюємо з потужністю верстата. Якщо потужність верстата більше потужності різання, то розрахунок зроблений правильно, у зворотному разі слід підібрати більш оптимальні параметри режимів різання.

### *3.1.4 Розрахунок сил затиску*

При конструюванні нового верстатного пристрою силу затиску знаходять з умови рівноваги заготівлі під дією сил затиску, різання, ваги, інерції, тертя, реакцій в опорах. Отримане значення сили затиску перевіряємо з умови точності виконання операції. У разі потреби змінюємо схему установки, режим різання та інші умови виконання операції.

При використанні наявного пристрою із затискним механізмом, що розвиває силу закріплення, розрахунок має перевірочний характер: потрібна сила затиску повинна бути не більше відомої, у противному разі змінюємо режим різання, число проходів та інші умови обробки.

При розрахунках сили затиску слід враховувати пружну характеристику затискного механізму.

При утворенні паза дисковою фрезою виникає горизонтальна зрушуюча сила (рис. 5). Величину її визначаємо залежно від розмірів паза, матеріалу, режимів різання та ін.

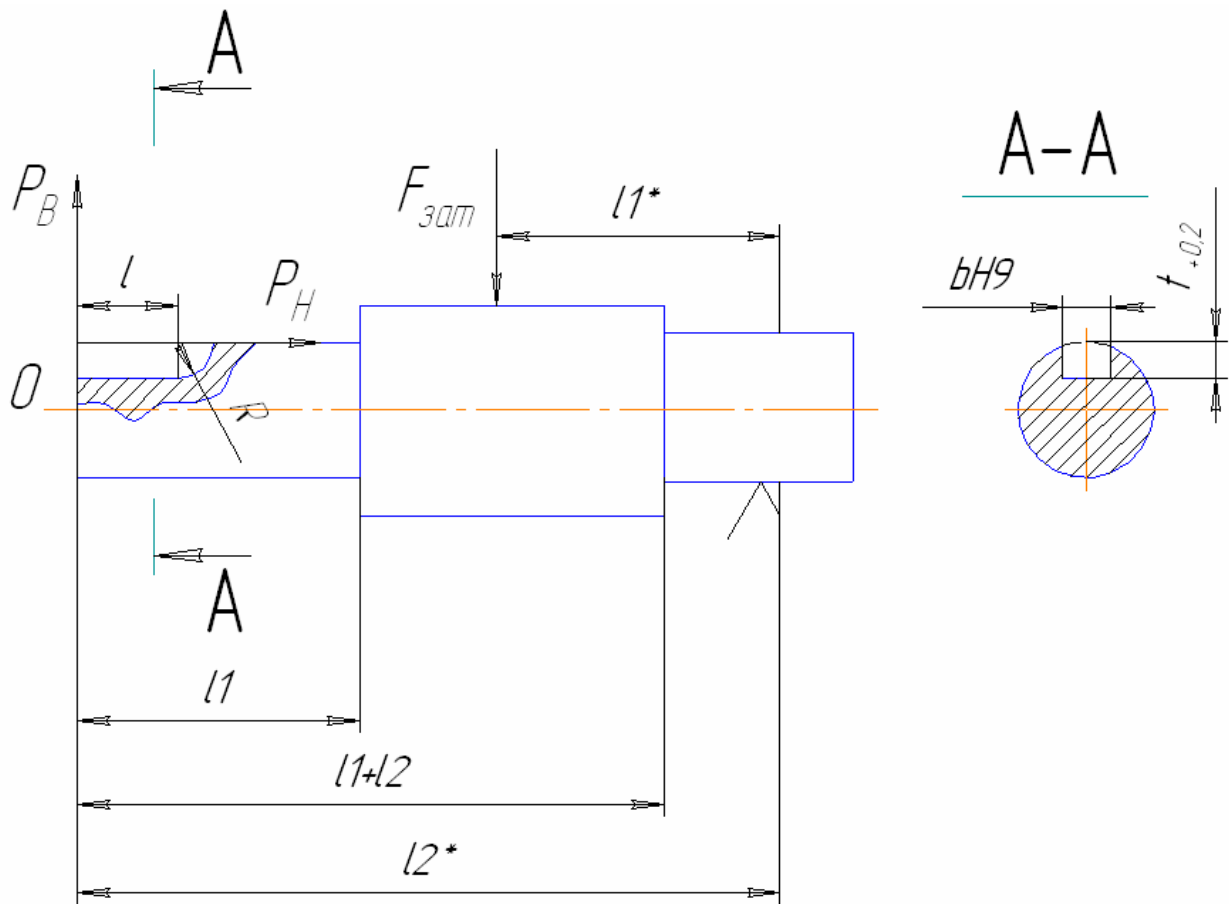


Рис. 5 –Схема для розрахунку сил затиску

Розрахунок надійності закріплення деталі виконуємо в наступному порядку:

1. Визначаємо сили, що діють на заготовлю від різального інструмента. Відповідно до розрахунку режимів різання на заготовлю діє сила  $P_Z$ , Н, що складається з  $P_H$  – горизонтальної складової, яка зрушує заготовлю в осьовому напрямку і  $P_B$  – вертикальної, яка перекидає заготовлю, навколо точки О. Тоді складові сили різання

$$P_H = 1,1 \cdot P_Z; \quad (9)$$

$$P_B = 0,25 \cdot P_Z. \quad (10)$$

Знаходимо сили, що діють на заготовлю від затиску. Прихват затискного пристрою діє на заготовлю з силою  $F_{3AT}$  (рис.6) і викликає в точках торкання заготовлі з призмою появу двох реакцій R. Розглядаючи проекції двох сил на вертикальну вісь, одержуємо:

$$F_{3AT} - 2 \cdot R \cdot \cos 45^\circ = 0, \quad (11)$$

де  $R = F_{3AT} / 2 \cos 45^\circ = 0.707 F_{3AT}.$

2. Складаємо рівняння надійності закріплення для чого розглядаємо окремо дію сил  $P_H$  і  $P_B$ :

а) дія сил  $P_H$  прагне зрушити заготівлю в осьовому напрямку (протидіє силі тертя).

$$\sum T = f(F_{3AT} + 2R); \quad (12)$$

$$f=0.25; \sum T = 0.6 \cdot F_{3AT}^H .$$

Умова надійності має вигляд

$$\begin{aligned} P_H &< \sum T ; \\ P_H &< 0.6 \cdot F_{3AT}^H ; \end{aligned} \quad (13)$$

б) під дією сили  $P_B$  заготівля може повернутися навколо точки О, тому що на неї діє момент сили  $P_B \cdot l_2$ , а протидіє йому момент сили  $F_{3AT} \cdot l_1$ .

Умова надійності має вигляд

$$P_B \cdot l_2^* < F_{3AT}^B \cdot l_1^* . \quad (14)$$

3. Визначаємо коефіцієнт надійності закріплення:

$$K = 1.5 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 , \quad (15)$$

де  $K_1=1$  – коефіцієнт, що враховує сили різання на нерівностях;

$K_2=1,5$  – коефіцієнт, що враховує знос інструмента;

$K_3=1$  – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання;

$K_4=1,3$  – коефіцієнт, що враховує мінливості затиску;

$K_5=1,25$  – коефіцієнт, що враховує зручність розташування затиску;

$K_6=1$  – коефіцієнт, що враховує наявність крутного моменту, який прагне повернути заготівлю, і наявність великих установочних поверхонь.

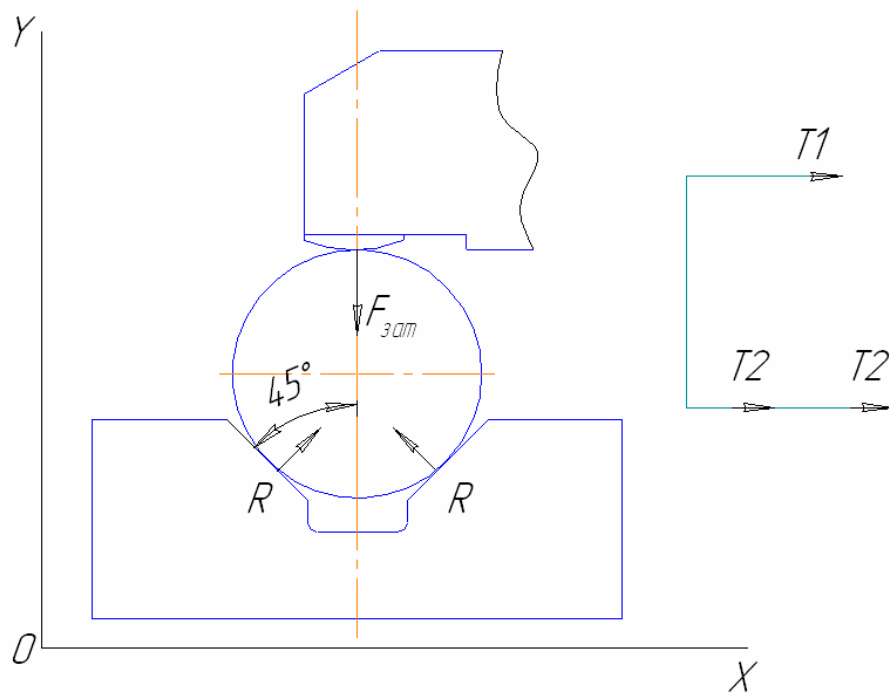


Рис. 6 – Ескіз для розрахунку сил затиску

4. Визначаємо силу затиску для надійного закріплення, маючи у вигляді умови надійності:

$$\begin{aligned} K \cdot P_H &= 0.6 F_{3AT}^H; \\ K \cdot P_B \cdot l_2^* &= F_{3AT}^B \cdot l_1^*, \end{aligned} \quad (16)$$

де  $l_1$  – відстань від крайньої грані призми до додатку зусилля затиску, мм;

$l_2$  – відстань від крайньої грані призми до упору, мм

$$l_1^* = 30 \dots 40 + \frac{l_2}{2}; \quad (17)$$

$$l_2^* = 30 \dots 40 + l_1 + l_2; \quad (18)$$

$$F_{3AT} = F_{3AT}^H + F_{3AT}^B = \frac{1.1 \cdot P_Z \cdot K}{0.6} + \frac{0.25 \cdot P_Z \cdot K \cdot l_2^*}{l_1^*}. \quad (19)$$

Знаходимо силу затягування гайки за формулою

$$W_\Gamma = \frac{F_{3AT} \cdot b}{a \cdot \eta}, \quad (20)$$

де  $\eta=0.95$  – ККД гвинтової пари;

$a, b$  – відстані відповідно від осі упору до осі шпильки і від осі упору до центра діаметра вала ( $a/b=1/2$ , рис. 7).

За силою вибираємо гайку (див. табл. 9).

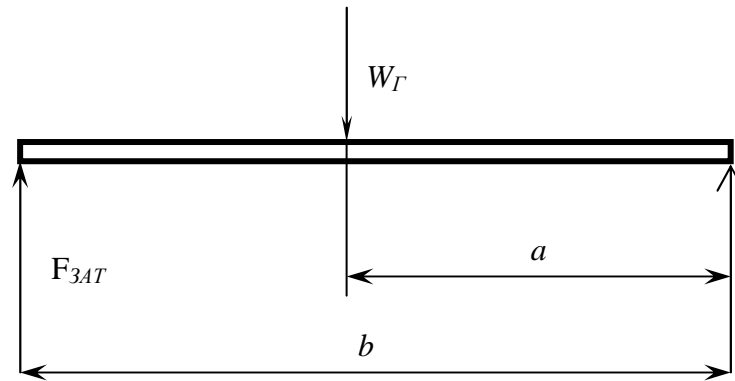


Рис. 7 – Схема для визначення сил затиску

### 3.1.5 Розрахунок правильного базування заготовок

При конструюванні пристрою виконують ряд розрахунків, першим з яких є розрахунок забезпечення правильного базування заготовки. Заготовка базується на двох ступенях різного діаметра. Призма призначена під вал меншого діаметра, має бути розміщена вище призми, яка призначена для вала більшого діаметра на товщину  $A$  прокладки:

$$A = K_1 - K_2 = \frac{d_1}{2 \sin 45^\circ} - \frac{d_3}{2 \sin 45^\circ}, \quad (21)$$

де  $d_1, d_3$  - діаметри першого і третього валів, що встановлюються на призми.

У варіантах, де  $d_1 = d_3$  товщину прокладки прийняти стандартно-мінімальною - 3 мм.

Для опорної призми (рис. 8) відстань  $H$  від основи призми до центру кола визначаємо за формулою

$$H = L + 0,707 \cdot D_3 - 0,5B_1, \quad (22)$$

де  $L, D_3, B_1$  - базові відстані призми (див. рис. 8 і табл. 10).

Розраховуємо відстані  $H_1$  і  $H_3$  для двох опорних призм.



Таблиця 9 – Сила затягування гайок і гвинтів. Розміри, Н

Різьба	Крок Р, мм	Діаметри		Напруження розтягання гвинта $\sigma_p$ , мПа											
		Внутр. $d_1=D_1$	Серед. $d_2=D_2$	40	59	69	78	88	98	108	118	127	138	147	157
М6	1,0	4,917	5,35	880	1050	1230	1400	1580	1760	1940	2100	2200	2460	2640	2820
М8	1,25	6,648	7,188	1560	1880	2190	2500	2800	3130	3440	3760	4070	4390	4700	5000
М10	1,5	8,376	9,026	2450	2940	3430	3920	4400	4900	5390	5880	6370	6860	7350	7840
М12	1,75	10,106	10,863	3520	4230	4930	5640	6350	7050	7760	8460	9170	9870	10580	11280
М14	2,0	11,835	12,701	4800	5760	6700	7680	8600	9600	10560	11500	12400	13400	14400	15300
М16	2,0	13,835	14,701	6270	7500	8780	10000	11280	12500	13700	15000	16300	17500	18800	20000
М18	2,5	15,294	16,376	7900	9500	11100	12700	14200	15800	17400	19000	20600	22200	23800	23400
М20	2,5	17,294	18,376	9800	11760	13700	15600	17600	19600	21500	23500	25400	27400	29400	31300
М22	2,5	19,204	20,376	11800	14200	16600	18900	21300	23700	26000	28400	30800	33200	35500	37900
М24	3,0	20,752	22,051	14100	16900	19700	22500	25400	28200	30700	33800	36600	39500	42300	45100
М27	3,0	23,752	25,051	17800	21400	25000	28600	32100	35700	39200	42800	46400	50000	53500	57000
М30	3,5	26,211	27,727	22000	26400	30500	35200	39600	44100	48500	52900	57300	61700	66100	70500
М33	3,5	29,211	30727	26600	32000	37300	42600	48000	53300	58700	64000	69700	74700	80000	85300
М36	4,0	31,67	33,402	31700	38100	44400	50800	57100	63500	69800	76200	82500	88900	95200	101600
М39	4,0	34,67	36,402	37000	44700	52000	59600	67000	74500	81900	89400	96800	104000	111700	119000
М42	4,5	37,129	30,077	43200	51800	60500	69000	77700	86400	95000	103700	112300	121000	129600	138200

Таблиця 10 – Призми опорні (ГОСТ 12195 – 66). Розміри, мм (до рис. 8)

Позначення за ГОСТ 12195-66*	D <sub>3</sub>	H	L	B	B <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d, (поле допуску Н7)	A	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	l	h <sub>1</sub>	b	Розміри для контролю		Маса, кг (не більше)
														D <sub>к</sub>	L <sub>1</sub> , (поле допуску h6)	
7033-0031	От 5 до 10	16	10	32	8	4,5	4	20	6	7,5	5	5	2	8	15,68	0,032
7033-0032	Св. 10 до 15	20	12	38	14	5,5		26	8	10	6	7	4	12	19,49	0,055
7033-0033	Св. 15 до 20	25	16	48	18	6,6	5	32	9	12	8	6	6	18	28,73	0,113
7033-0034	Св. 20 до 25	25	20	55	24			40				11	8	22	34,56	0,163
7033-0035	Св. 25 до 35	32	25	70	32	9	6	50	12	16	10	14	12	30	45,21	0,323
7033-0036	Св. 35 до 45	40	32	85	42	11	8	63	16	20	12	18	16	40	59,28	0,615
7033-0037	Св. 45 до 60	40	38	100	55			76				22	20	50	7036	0349
7033-0038	Св. 60 до 80	50	45	120	70	13	10	95	22	26	14	28	25	70	94,50	1,467
7033-0039	Св. 80 до 100	55	50	140	85			112	27	30		32		90	116,14	2,08
7033-0040	Св. 100 до 150	70		190	120	17	12	155	34	40	18	45		125	16039	4,968

**Примітка:** 1. D<sub>3</sub>, D<sub>к</sub> - діаметри заготовки й контрольного вала відповідно.

2. B<sub>1</sub> — для довідок.

3. Значення *c* и *r*: 0,6; 1; 1,6.

4. Отвори діаметром *d* і *d*<sub>2</sub>, — під кріпильні гвинти й під контрольні штифти відповідно.

5. Опорні поверхні під кріпильні деталі за ГОСТ 12876—67.

6. Приклад умовного позначення опорної призми для заготовки діаметром

D<sub>3</sub> = 5 — 10 мм:

Призма 7033-0031 ГОСТ 12195—66\*



### Можлива кутова похибка

27

### 3.1.6 Методика проектування пристрою

Після аналізу вихідних даних приступають до виконання креслення загального виду пристрою. Правильність прийнятих конструкторських рішень підтверджують розрахунками по визначенню похибки базування, точності обробки пристрою, надійності закріплення заготовки, міцності деталей пристрою і з метою встановлення економічної ефективності застосування останнього.

Ці види розрахунку доцільно виконувати в такому порядку:

1. Скласти розрахункову схему всіх сил, що діють на заготовку в процесі обробки для найбільш несприятливого випадку, що вимагає найбільших затискних сил.

2. Розглядаючи умови рівноваги заготовки, скласти рівняння проекцій усіх сил і рівняння моментів усіх сил, що діють на заготовку.

3. Скласти рівняння надійності закріплення, увівши коефіцієнт надійності закріплення ( $k$ ), що враховує можливе збільшення сил різання, порівнюючи спочатку з прийнятими в розрахунку.

4. Установити величину затискного зусилля, що забезпечує надійне закріплення заготовки.

*Приклад.* Проектування технологічного пристрою для фрезерування шпонкового пазу на ступінчастому валу в системі КОМАПС наступне:

а) оброблювана деталь — чотириступінчастий вал з розмірами, зазначеними на рис. 9;

б) операція, для якої проектується пристрій, виконується на горизонтально-фрезерному верстаті 6М82М;

в) в операції виконується фрезерування шпонкової канавки шириною 6 - 20 мм з радіусним виходом  $R = 40$  мм. Довжина шпонкової канавки 25 мм, задана вона від лівого торця, діаметр якого 65,2 мм;

г) установочними базами прийняті поверхні шпонок 1 і 3 відповідних діаметрів, обточені й підготовлені до шліфування. Крім цього, установочною базою прийнятий торець, від якого заданий розмір довжини канавки;

д) місцем дії затискного зусилля може бути прийнята поверхня шийки 2;

е) горизонтально-фрезерний верстат моделі 6М82М має такі установочні місця:

розміри прямокутного стола  $L \times B = 1250 \times 320$  мм;

кількість Т - подібних пазів — 3; крок пазів — 70 мм;

розмір верхньої частини паза  $a = 18A_3$ ;  $e = 18$  мм (висота);

розмір нижньої частини паза  $b = 30$  мм;  $f = 14$  мм (висота);

ж) інструмент — тристороння дискова фреза  $b = 20$  мм, діаметр фрези 80 мм.

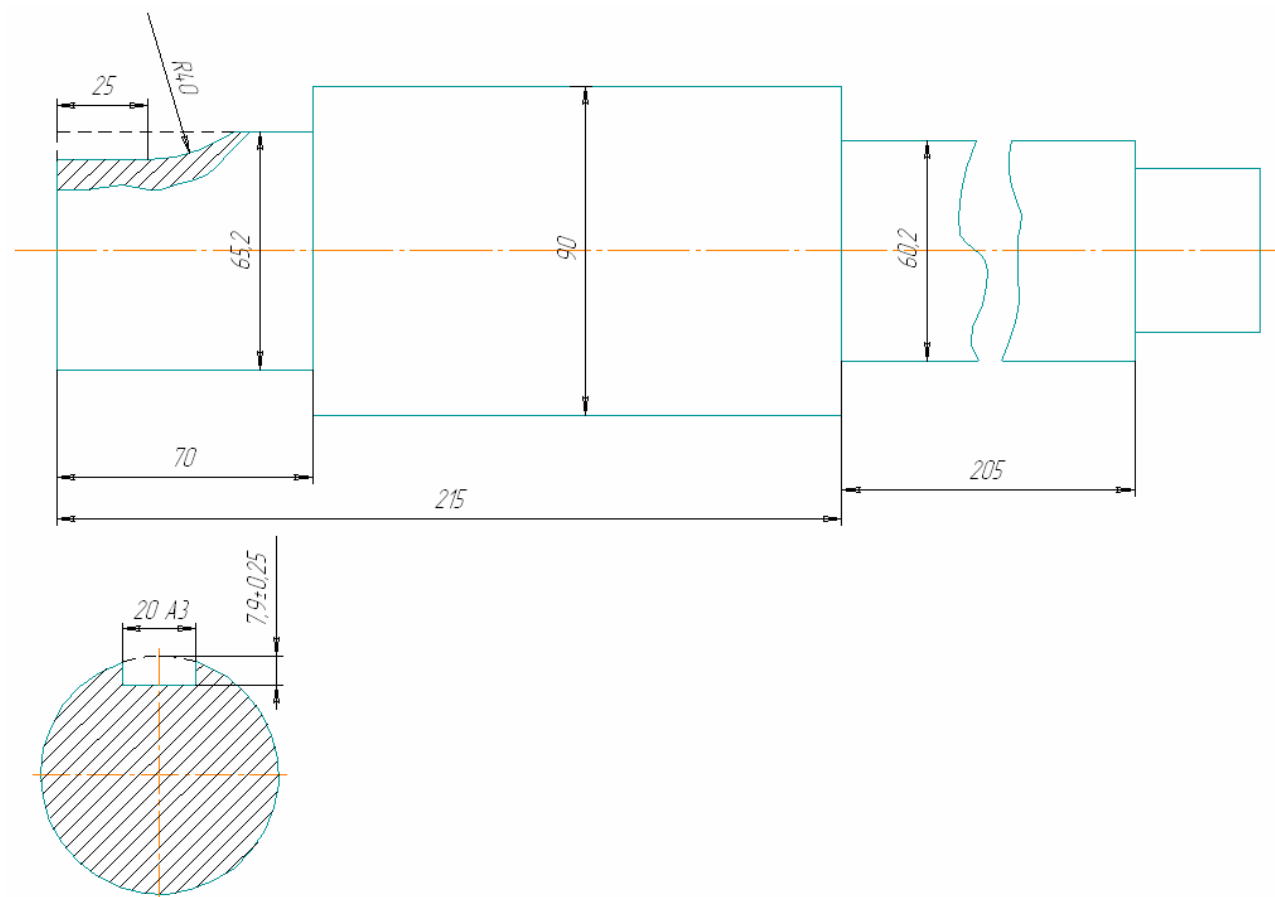


Рис. 9 – Оброблюваний вал

Конструювання пристрою виконуємо в такій послідовності (рис. 10):

а) викреслюємо контур оброблюваної деталі в трьох проекціях, залишаючи достатньо місця для креслення всіх елементів пристрою. Відзначаємо місце фрезерування шпонкової канавки на зображенні деталі;

б) як направлений елемент використовуємо кутовий установ б замість стандартного установка, виконаємо його за одне ціле зі стояком; настроювання пристрою на верстаті робимо за допомогою стандартного плоского щупа товщиною 3 мм;

в) як установочні елементи під шийки 1 і 3 застосовуємо дві опорні призми 7 I типу для установки в них деталей діаметром від 60 до 80 мм (див. рис.8, табл. 9). Зазначимо, що в зв'язку з різними діаметрами базових поверхонь шийок кожену з них установлюємо на різній висоті. Як установочний елемент для орієнтації вала в осьовому напрямку використовуємо постійну опору 22 I типу,  $D H5$  мм;

г) затиск здійснюємо різьбовим відвідним прихватом I типу — деталі 19, 18, 17, 16, 1;

д) корпусом пристрою є плита 7, на якій встановлені й закріплені установ б з опорою 22, дві призми 7 і комплект деталей прихвату. Для виготовлення корпусу можна використовувати стандартну заготовку — плиту розміром  $400 \times 250 \times 30$  мм. Кріплення установка б і призм 7 здійснюємо гвинтами 5 і 12, а для запобігання зрушенню кожену деталь закріплюємо двома штифтами 4 і 8;

е) для центрування пристрою на столі верстата використовують дві шпонки II типу шириною  $18C_3$  по верхній частині паза стола ( $b=18C_3$ );

ж) для кріплення пристрою до столу верстата використовуються чотири болти за ГОСТ 13152—67 до верстатних пазів, оброблених за ГОСТ 1574—62 з комплектом, до складу якого входять ще гайка М16 і шайба.

У результаті виконання цієї частини роботи створено креслення загального виду пристрою. Він доповнюється необхідними розмірами (габаритними; установочними для заготовки; розмірами, що зв'язують пристрій з різальним інструментом і з верстатом, та ін.).

На кресленні записують ряд технічних вимог до пристрою. До креслення загального вигляду пристрою розробляють специфікацію. Її виконують на окремому форматі в точній відповідності з ЕСКД, ГОСТ. Дані для специфікації наведені в табл.1.

Важливо зазначити, що після складання специфікації видно, що з 23 найменувань деталей пристрою тільки 4 найменування (9% від їх загального числа) є оригінальними, а не стандартними, що свідчить про правильний підхід до питань стандартизації і нормалізації при проектуванні пристрою. Дані стандартних деталей пристрою наведені на прикладі специфікації (рис.11, 12).

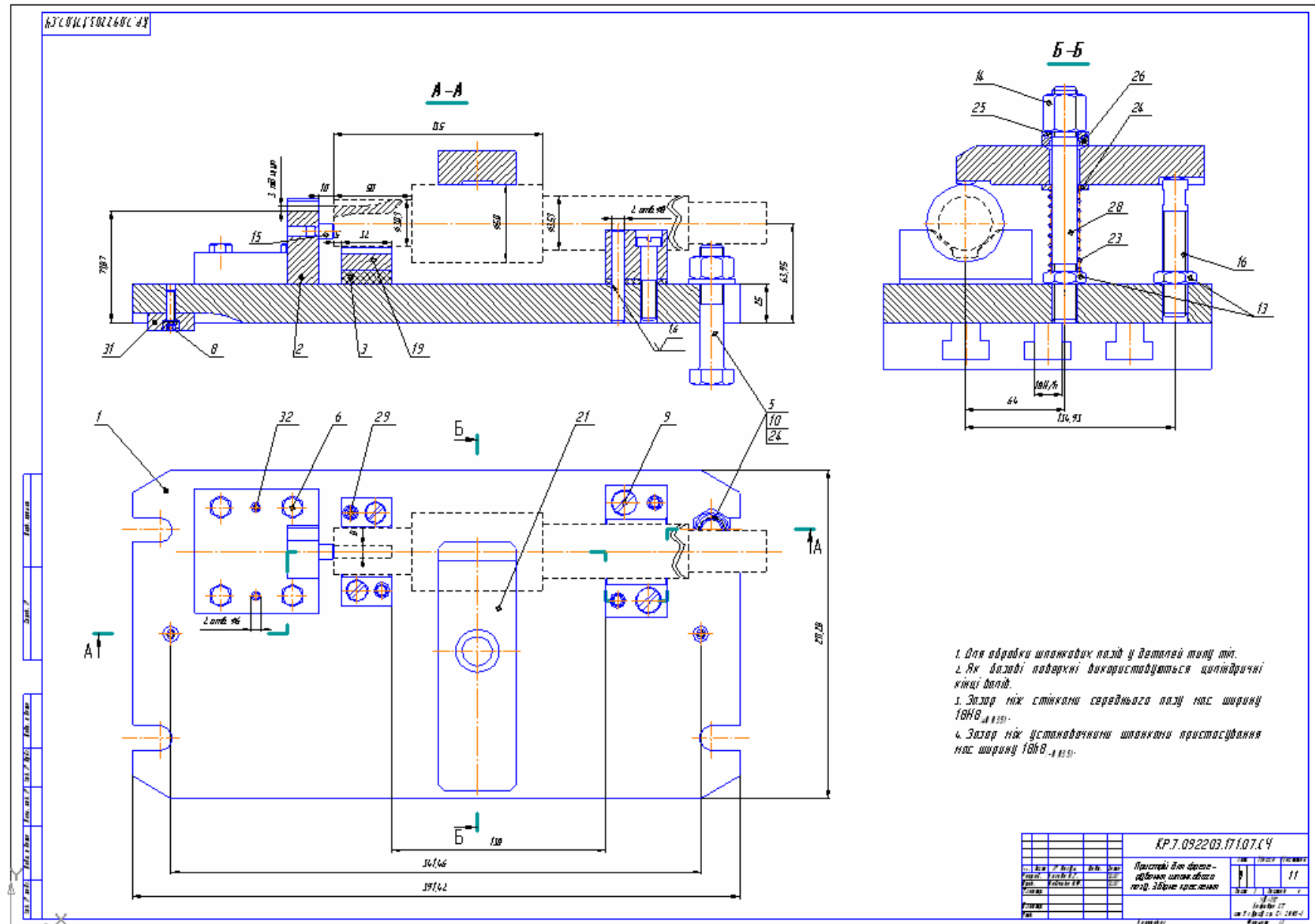


Рис. 10 – Проектований пристрій

[illegible]

Рис. 11 – Приклад специфікації до деталей та вузлів проекту – аркуш 1





### 3.2 Розробка системи автоматичного контролю технологічних параметрів при обробці досліджуваної деталі

Сучасні технологічні процеси майже завжди реалізуються без участі людини за допомогою автоматичних систем контролю, управління і сигналізації. Очевидно, що при їх розробці, проектуванні і реалізації багато уваги приділяється питанням автоматизації технологічних процесів, проектування яких займає особливе місце в діяльності фірм - розробників і фірм - виробників технологічного устаткування різних форм власності.

#### 3.2.1 Опис технологічного процесу металообробки

Металообробний верстат (розд.2) як технологічний об'єкт (ТО) відноситься до складних ТО, в яких при обробці деталей спрацювання різця залежить від механічних і термічних факторів. Механічне спрацювання порівняно з тепловим невелике і ним здебільшого нехтують. Під дією температури метал змінює свою структуру в ріжучій кромці інструмента. Твердість кромки при підвищенні температури може різко змінитися аж до зруйнування інструмента. Розмірну стійкість різця, як правило, оцінюють за *швидкістю* поверхневого спрацювання і *відносним* поверхневим спрацюванням. Для певних матеріалів деталей та інструмента є конкретна оптимальна швидкість різання, при якій буде мінімальне поверхнєве відносне спрацювання. Оптимальна швидкість різання змінюється в межах (10...30) і (300...350) м/хв. відповідно при обробці загартованих сталей твердосплавним інструментом і вуглецевих сталей мінералокерамічним інструментом. Температура робочої поверхні різця підвищується із зростанням швидкості різання. Для кожного різця і матеріалу заготовки є певна температура, за значенням якої стійкість різця швидко знижується. Значення цих температур для різних різців лежить у межах (560...1200) °С. Температура стає основним фактором, який визначає стійкість різця, причому зв'язок між температурою різання і стійкістю закономірна. Іноді невелике зниження температури дає змогу значно збільшити стійкість різця.

Крім швидкості різання на температуру робочої кромки інструмента впливають ще й інші фактори: зміна геометрії різця внаслідок спрацювання; початкове заточування; застосування примусового охолодження. Таке охолодження знижує температуру різання як безпосередньо, так і в результаті диспергуючої дії (утворення і розвиток мікротріщин), мастильної дії, зниження коефіцієнта тертя, створення умов пластичної течії металу, що зрізується. При застосуванні охолодної рідини можна визначити закономірності зміни стійкості інструмента від температури його ріжучої кромки. Використовуючи ці залежності, можна автоматизувати металорізальні верстати для досягнення найвигіднішої продуктивності і найкращого використання інструменту.

При керуванні процесом обробки за температурою ріжучої кромки інструмента треба враховувати, що приріст швидкості різання впливає на температуру інструмента набагато сильніше, ніж збільшення перерізу стружки; збільшення товщини стружки більше впливає порівняно з приростом ширини

металу, що знімається. Залежність температури і розмірного спрацювання від швидкості різання має екстремальний характер. Для кожної пари матеріал інструмент при різних подачах буде своя крива, причому спрацювання зростатиме як при зменшенні, так і при збільшенні швидкості різання. Експериментально доведено, що при підвищенні швидкості різання в півтора рази порівняно з оптимальною розмірна стійкість різця знижується більш ніж у 20 раз, а при зменшенні швидкості різання у два рази — знижується від 6 до 36 разів. Отже для забезпечення високої продуктивності верстатів і ефективного використання інструменту треба автоматично підтримувати оптимальну температуру різання.

### *3.2.2 Опис параметрів і принципових вимірів на технологічному об'єкті*

Вплив різних факторів на процес обробки металевих деталей, розглянутий в розділі 3.3.1, характеризує складний взаємозв'язок різних величин, від якого залежить якісне виготовлення деталі. У зв'язку з цим при даному ТО доцільно розробити автоматичну систему контролю технологічних параметрів, для забезпечення виконання всіх операцій в заданих умовах. При неприпустимих відхиленнях технологічних величин система автоматичного контролю повинна формувати сигнали тривоги або без участі людини сама виконувати зупинку устаткування.

Для проектування автоматичної системи контролю металообробки, наприклад, східчастого вала розглянемо необхідність контролю різних величин, які в сукупності складають систему автоматичного керування фрезеруванням деталей.

У заготовці деталі треба виконати шпонковий паз (рис.1, 2). Автоматизувати процес такої операції можна за допомогою системи, схему якої треба розробити. Для керування процесом треба контролювати кілька параметрів, зокрема:

- 1) міцність різання фрези при обробці заготовки;
- 2) глибину шпонкового пазу вала;
- 3) силу затиску деталі за допомогою спроектованого пристрою (прихвату);
- 4) температуру фрези при різанні металу заготовки.

Здійснення автоматичного контролю цих параметрів виконують за допомогою різних датчиків-перетворювачів.

У загальному вигляді датчик  $D$  (рис. 13) можна зобразити у вигляді чутливого елементу  $ЧЕ$  і перетворювача  $Пр$  чи вимірювальної схеми. Чутливі елементи в системах автоматики і телемеханіки виконують функції „органів контролю технологічних величин”. Вони призначені для перетворення контрольованих параметрів у такий вид сигналу  $x1$ , який зручний для вимірювання, перетворення і передачі на відстані. У перетворювачах для програмних верстатів металообробки, як правило, здійснюється перетворення неелектричних параметрів  $x1$ , в електричні сигнали  $y$ .

Використовуючи досвід розробок аналогічних систем автоматики, які досить повно розглядаються в технічній літературі та патентах, можна зробити висновок, що:

- ✓ потужність різання звичайно визначається непрямым шляхом на базі вимірювання електричних величин;
- ✓ глибини пазів та інші аналогічні величини контролюються фотоприйомні елементами;
- ✓ величини, взаємозв'язані з силовими діями контролюються датчиками тиску;
- ✓ температура механічних деталей і електричних машин контролюються різними за конструкцією термічними датчиками.

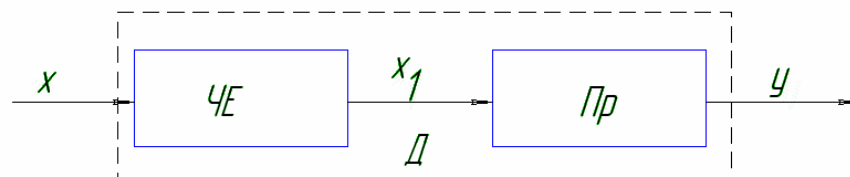


Рис. 13 – Структура датчика

Часто питання використання відомих датчиків і засобів контролю для технологічних об'єктів вимагають ретельнішого опрацювання питання, що забезпечується додатковим фінансуванням науково-дослідних робіт, на базі яких надалі формуються висновки з використання датчиків, що серійно випускаються, або для технічних завдань на виготовлення оригінальних зразків придатних до застосування на конкретному технологічному об'єкті.

### 3.2.3. Короткий опис прийомних елементів і варіантів їх використання для контролю вибраних технологічних параметрів

Сучасна промисловість випускає чималий асортимент датчиків-перетворювачів, придатних для реалізації різних систем автоматики на технологічних об'єктах.

Резистивні датчики часто застосовують для непрямого виміру фізичних параметрів: „вага-опір”, „кут – опір”, „температура – опір”, „тиск – опір”, „світловий потік – опір” і т.п.

1. *Резистивні датчики положення* виконані у вигляді змінного опору, рухомий контакт якого механічно зв'язаний з перетворюючим елементом. Звичайно вони являють собою дровий реостат, повзунок якого переміщується під дією об'єкта контролю (рис. 14,а). Параметри таких датчиків змінюються в широких межах.

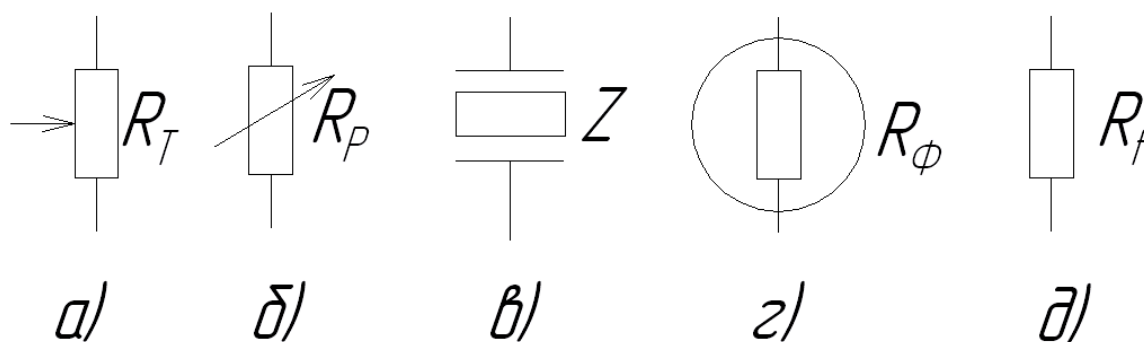


Рис. 14 – Резистивні датчики

2. *Резистивні перетворювачі контактного опору* – призначені для виміру опору між провідними елементами під дією тиску. Такі перетворювачі використовують в тактильних датчиках роботів і маніпуляторів, опір яких змінюється від десятків до тисяч Ом (рис. 14,б).

3. *П'єзоелектричні перетворювачі* - датчики, робота яких заснована на виміру параметрів кварцової пластини, що знаходиться в зоні дії вимірюваного тиску. Вихідна потужність таких датчиків дуже мала, але висока точність виміру досягається за допомогою підсилювачів з великим коефіцієнтом підсилення (рис.14,в). На жаль, при використанні таких датчиків багато уваги приділяється питанню захисту від перешкод, оскільки корисний сигнал має величину значно меншу, ніж фактори «шуму».

4. *Фотометричні датчики* - засновані на використанні фотоелектричного ефекту, тобто вони реагують на зміну світлового потоку (рис. 14,г). Такі датчики знаходять широке застосування в багатьох системах автоматики при контролі переміщень, зазорів та інших величин, зокрема на об'єктах металообробки.

5. *Терморезистори чи термістори* - датчики-перетворювачі температури навколишнього середовища у величину опору (рис.14д). Ці часто мініатюрні датчики використовують в самих різних пристроях для контролю температур в інтервалі від -50 до +150°C.

6. *Термоелектричні перетворювачі чи термопари* (рис. 16) – датчики ЕРС, конструкція яких заснована на використанні двох різних провідників, з'єднання яких являє собою «гарячий спай» і розміщується в зоні контролю, а вільні - «холодні провідники» знаходяться в умовах температури навколишнього середовища. При різних температурах в ланцюгу таких провідників виникає струм під дією ЕРС (термо-ЕРС). Термопари використовують для контролю від 0 до 1000 °C і більше.



Рис. 16 – Термопара

Температуру ріжучої кромки інструменту звичайно вимірюють методом природної термопари, утвореної деталлю, яку обробляють, і різцем (термопара „інструмент — деталь”). При цьому різець ізолюють від різцетримача і виконують струмопровід до обертової деталі. Струмознімач складається з ізольованого від бабки заднього центра, обертового латунного кільця і міднографітових щіток. Від патрона деталь не ізолюють. Електрорушійна сила термопари не залежить від механічної напруженості контакту деталь — інструмент. При зміні температури від 300 до 1600°C термоЕРС змінюється в межах 2...30 мВ.

Термоелектрорушійну силу вимірюють електронними пристроями, що утворюють на базі операційних підсилювачів або іншими засобами вимірювання сигналів постійного струму. ТермоЕРС діє на керуючий пристрій (регулятор), який невинно змінює швидкість обертання електропривода шпинделя верстата при відхиленнях температури різання. Точність підтримування заданої температури різання становить  $\pm(3...5)\%$ . Системи стабілізації температури різання забезпечують сталість спрацювання інструменту незалежно від його якості при одночасному підвищенні продуктивності на (12...15) % і збільшенні розмірної стійкості різців на 50 %.

7. Важливим параметром контролю процесу обробки металу є *потужність різання*. Відома принципова схема датчика потужності різання, яка складається з вимірювача навантаження, виконаного у вигляді трансформатору струму ( $TrC$ ) в ланцюгу двигуна шпинделя, і трансформатора напруги ( $TrH$ ), що підключений також в ланцюг двигуна шпинделя. Вектор сигналу, який знімається з датчиків, дорівнює впливу двох векторів, один з яких вектор напруги, другий – вектор струму. Потужність, що розвивається двигуном шпинделя у процесі обробки, дорівнює

$$P \equiv kIU \equiv N_p, \quad (24)$$

де  $P$  - активна потужність, яку споживає двигун;

$I, U$  - сила струму і напруження, що вимірюють у двигуні;

$k$  – коефіцієнт пропорційності;

$N_p$  - потужність, яку споживають на реалізацію сил різання.

Тому сигнал, який знімається з такого оригінального датчику потужності, пропорційний потужності різання (сигнал холостого ходу двигуна компенсується відповідним сигналом компенсації у пристрої автоматики).

#### 3.2.4. Вибір схем для практичної реалізації системи контролю параметрів

На підставі даних в розд. 3.2.3 можна зробити висновок, що для проектування схеми пристрою автоматичного контролю технологічних операцій досліджуваної деталі (у нашому випадку це східчастий вал) треба скористатися наступними прийомними елементами (датчиками):

1. *Тиску* – для контролю сили затиску деталі шляхом виміру тиску за допомогою перетворювача контактного опору (резистивного датчика тиску).

2. *Міцності різання* – для контролю сили різання фрези з використанням методу побічного виміру електричних параметрів роботи електродвигуна (непрямий параметр визначається шляхом вимірювання величин струму і напруги живлення двигуна верстата).

3. *Температури різання* за допомогою природної термопари, що забезпечує контроль температури фрези, яка обробляє шпонковий паз на східчастому валу.

4. *Температури електродвигуна* верстата за допомогою резистивного датчика температури (термістор).

Варіанти завдання для вищевказаних датчиків наведені в табл. 2.

Очевидно, що всі датчики, прийняті для реалізації проекрованої системи контролю, вимагають різних пристроїв для їх використання. Всі технічні пристрої з цими датчиками, звичайно, матимуть різні вихідні сигнали не придатні для використання у стандартних системах автоматики. Для уніфікації інформаційних сигналів застосовують додаткові методи їх нормалізації за допомогою спеціальних електронних пристроїв.

Для резистивних датчиків використовують мостові вимірювальні схеми (рис. 17). Неврівноважені мости у вихідному стані – при мінімальному значенні контрольованого параметра, коли  $R_T = R_{\min}$ , урівноважені, а вихідний сигнал  $U_B$  дорівнює нулю. Наступні зміни контрольованої величини  $P$  приводять до зміни імпедансу датчика  $R_T$  і вихідного інформаційного сигналу  $U_B$ , який буде відрізнятися від нуля, що відбиває свій тісний взаємозв'язок з контрольованим параметром

$$\begin{aligned} R_T &= f(P), \\ U_B &= f(R_T). \end{aligned} \quad (24)$$

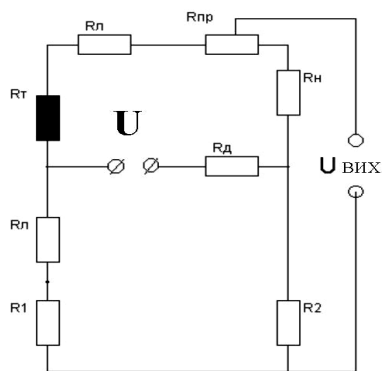


Рис.17 – Схема вимірювального моста для резистивного датчика

Вимірювальний ланцюг (*ВЛ*) з живленням постійним чи змінним струмом застосовують з параметричним перетворювачем (датчиком) для його узгодження з наступним елементом електричної схеми. Вихід *ВЛ* майже завжди з'єднаний із входом *підсилювача*. *ВЛ* служить для зниження впливу на результати вимірів ліній зв'язку, компенсації початкового значення вихідного сигналу датчика, одержання строго лінійної шкали із заданими межами виміру,

визначення знака (+/-) збільшення контрольованої величини, усунення впливу на датчик вхідних ланцюгів підсилювача та ін.

☛ Датчики, в яких вихідною величиною є струм чи напруга, звичайно включають у мостову вимірювальну схему (рис. 17) з напругою живлення  $U_{\min}$ . Основною умовою рівноваги електричного моста є рівність добутків опорів протилежних плечей:

$$R_2(R_T + R_{\text{л}}) = (R_1 + R_{\text{л}}) \cdot (R_H + R_{np}). \quad (26)$$

Рівняння рівноваги моста при нижній межі виміру має вигляд

$$R_2(R_{T \min} + R_{\text{л}} + R_{np}) = (R_1 + R_{\text{л}}) \cdot R_H, \quad (27)$$

Вибір величини  $R_{np}$  дозволяє встановлювати верхню межу шкали вимірюваного параметра. Розрахунок резистора межі виміру  $R_{np}$  виконують з урахуванням інтервалу варіювання величини датчика – перетворювача  $R_T$  за формулою

$$R_{np} = \frac{R_2(R_{T \max} - R_{T \min})}{R_1 + R_2 + R_{\text{л}}}. \quad (28)$$

Величину баластного резистора  $R_1$  знаходять з умови рівності опорів датчика в середній точці діапазону вимірів. Величини  $R_1$  і  $R_2$  звичайно рівні між собою, що забезпечує збільшення чутливості ВЛ (вимірювального ланцюга).

Значення резистора початку шкали  $R_H$  розраховують за формулою

$$R_H = \frac{R_2(R_{T \min} + R_{\text{л}} + R_{np})}{R_1 + R_{\text{л}}}. \quad (29)$$

Комбінація включення настроювальних постійних і змінних резисторів з мінімальними припустимими відхиленнями їхніх значень дозволяє досягнути високої точності результатів виміру контрольованої величини. При цьому максимальна сила струму  $I_{T \max}$  через датчик може бути обрана резистором обмеження струму  $R_{\text{Д}}$  відповідно до залежності

$$I_{T \max} = \frac{U_{\min}}{R_{T \min} + R_{\text{л}} + R_{np} + R_H + R_{\text{Д}}}, \quad (30)$$

$$R_{\text{Д}} = \frac{U_{\min}}{I_{T \max}} - (R_{T \min} + R_{\text{л}} + R_{np} + R_H). \quad (31)$$



Для подальшої обробки величини  $U_B$  її необхідно нормалізувати, що обумовлено технічними вимогами для всієї діючої у світі контрольно-вимірювальної апаратури систем автоматизації технологічних процесів і виробництв.

Уніфікація вимірюваних електричних сигналів за напругою передбачає, що межа зміни  $U_B$  буде від 0 до 10 В або в стандартних одно- і біполярному діапазонах  $\pm 10\text{В}$ ;  $\pm 5\text{В}$ ;  $\pm 2,5\text{В}$ ;  $\pm 1,25\text{В}$  (або для вихідного струму: 0-20, 4-20, 5-25 міліампер).

Формування інформаційних сигналів з нормованим рівнем проводиться за допомогою електронних схем на базі операційних підсилювачів.

Оскільки вихідний сигнал мостової вимірювальної схеми має малий рівень, то його необхідно підсилити і забезпечити формування уніфікованого інформаційного сигналу заданого значення. Для цього використовують підсилювачі, які реалізують на базі операційних напівпровідникових мікросхем.

Підсилювальні пристрої призначені для перетворення вихідного сигналу ВЛ чи датчика ( $10^{-4}$  -  $10^{-5}$  Вт).

Підсилювачі подібного типу, які не інвертують вхідний сигнал, адаптуються з будь-якими джерелами інформаційного сигналу, вихідні опори яких можуть змінюватися в широких межах. Причому прийомні елементи (ПрЕ) пристроїв автоматики можуть коректно перетворювати вихідну інформацію, не вносячи у неї зміни:

$$U_B = f(K_H \cdot p). \quad (32)$$

Операційний підсилювач - це інтегральний пристрій, використовуваний для проектування схем підсилювачів аналогових сигналів (рис.18).

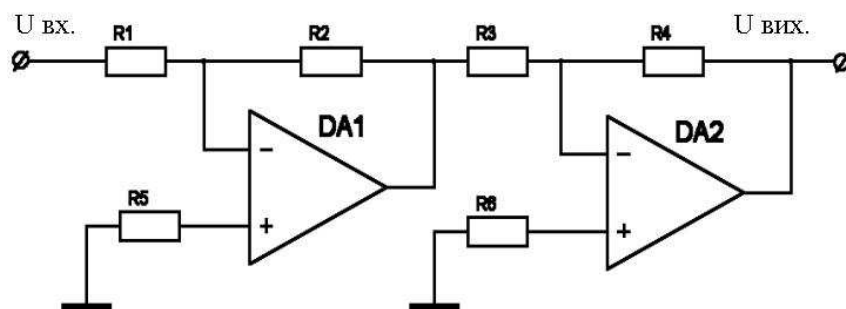


Рис. 18 – Схема двокаскадного підсилювача напруги

При складній внутрішній структурі будь-який операційний підсилювач ( $DA1$ ,  $DA2$ ) має невелику кількість зовнішніх націпних елементів ( $R1$  -  $R6$ ), вибір яких дозволяє досягти бажаного результату. Всі сучасні пристрої автоматики, що формують вихідні сигнали до 10В реалізуються за допомогою спеціальних операційних підсилювачів, які виконують посилення, підсумовування, лінеаризацію, інтегрування, логарифмування та інші дії над вхідними інформаційними сигналами.

Вхідний опір, наприклад підсилювача  $DA1$ , при його узгодженні з джерелом електричного сигналу дорівнює величині  $R1$ . Коефіцієнт підсилення за напругою ( $K_H$ ) істотно залежить від співвідношення  $R1$  и  $R2$ .

Підсилювачі вибирають з номенклатури відповідних їхніх серій мікросхем чи збирають з окремих напівпровідникових елементів. Вибір необхідних компонентів засобів автоматики здійснюють на підставі попередніх розрахунків.

- ✦ Підсилювачі - нормалізатори (рис.18) використовують для термічних датчиків - термопар, які підключаються на вхід підсилювача безпосередньо з відповідним обліком параметрів термопар і підсилювача. Вибір коефіцієнта посилення пристрою виконують аналогічно розглянутій вище умові.
- ✦ Для контролю величин струму і напруги в електричних ланцюгах змінного струму застосовують трансформатори струму і напруги. Прикладом реалізації такої схеми може бути прийнято технічне рішення на рис. 17.

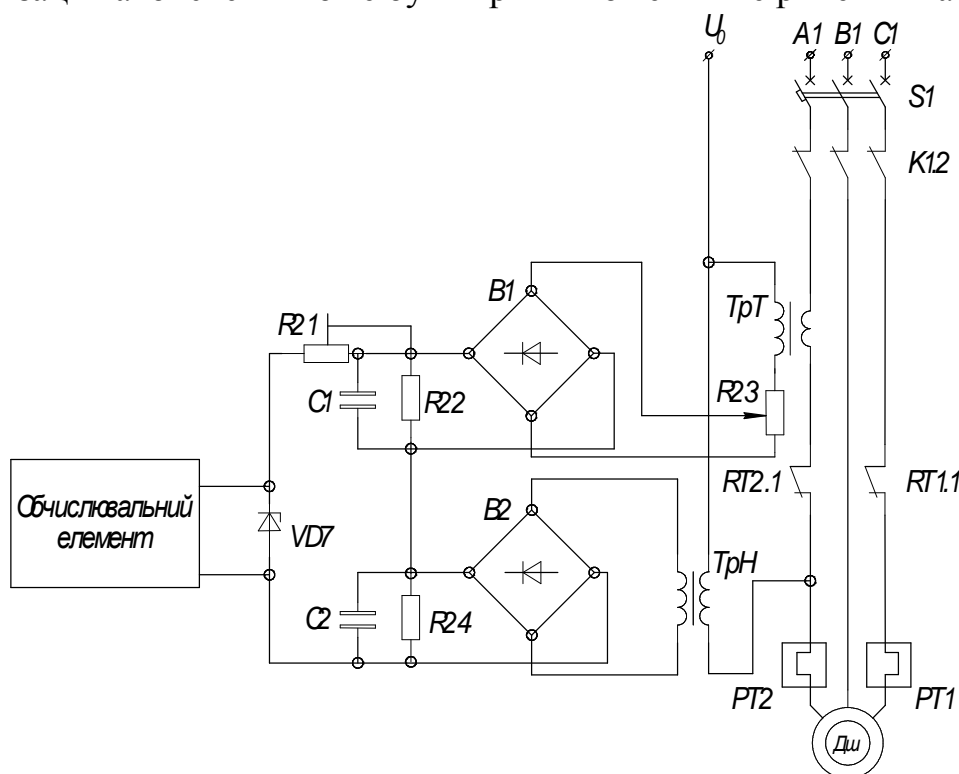


Рис. 17 – Принципова схема непрямого виміру потужності різання

За допомогою випрямлювачів ( $B1$ ,  $B2$ ) сигнали з двох датчиків через фільтри ( $R3 - C1$ ,  $R4 - C2$ ) поступають на вхід вимірювальної схеми ( $HE$ ), яка формує електричну величину пропорційну нелінійній залежності швидкості подачі від сили різання:

$$v_s = CP^{1/a}, \quad (25)$$

де  $v_s$  - швидкість подачі;

$P$  - тангенціальна складова сили різання;

$C, a$  - коефіцієнти, що характеризують матеріал заготовки, інструмент і режим обробки.

Коефіцієнти  $C, a$  встановлюють за допомогою резисторів  $R1, R2$ . Оскільки формовані таким чином електричні величини зручніше всього обробляти за допомогою програмних засобів, то в схемі нерідко слід передбачити аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), який формує кодовану величину, придатну для обробки мікропроцесорним пристроєм автоматики.

- ☛ Коли уніфікований сигнал з підсилювача напруження (ПН) (рис.18) передбачає використання в системі управління, сигналізації чи блокування, то його слід перетворювати за допомогою додаткового підсилювача у величину визначеної потужності. Для вибору активного елементу підсилювача потужності (транзистора, тиристора) використовують нескладний розрахунок, алгоритм якого передбачає:
- Визначення максимальної амплітуди напруги на навантаженні

$$U_H = 0,5E - Uk_{\min}, \quad (28)$$

де  $E$  – напруга джерела живлення (ДЖ);

$Uk_{\min}$  – напруга на виході (колекторі) ПП, що відповідає прямолінійній ділянці статичної характеристики колекторного струму (попередньо приймають 0,8 – 1,5 В).

- Максимальну потужність у навантаженні знаходять за формулою

$$P_H = \frac{U_H^2}{2R_H}, \quad (29)$$

де  $R_H$  – опір навантаження (залежить від застосовуваного ВЕ).

- Максимальний струм колектора розраховують, користуючись наближеною залежністю

$$I_{K \max} \cong \left( \frac{2P_H}{R_H} \right)^{0,5}. \quad (30)$$

- Максимальне значення середнього струму визначають за виразом

$$I_{cp} = \frac{I_{K \max}}{\pi}. \quad (31)$$

- З огляду на коефіцієнт корисної дії (КПД)

$$\eta = 0,78 \left( \frac{1 - 2Uk_{\min}}{E} \right) \quad (32)$$

можна знайти максимальну потужність, що розсіюється на вихідному транзисторі ПП:

$$P_K = P_H \frac{1 - \eta}{2\eta}. \quad (33)$$

Якщо напруга джерела живлення  $E$  не задається, то його можна розрахувати за формулою

$$E = 2 \cdot \left[ (2P_H \cdot R_H)^{0,5} + U_{k_{\min}} \right]. \quad (34)$$

Знайдені таким чином величини  $P_K$ ,  $I_{K_{\max}}$ ,  $I_{cp}$ ,  $E \cong U_{ke}$  – напруга «колектор – емітер» дозволяють вибрати необхідний тип транзистора чи мікросхему для реалізації ПП, навантаженням якого буде конкретний виконавчий елемент.

Розглянутий вище аналіз прийомних елементів, вибір схем для підключення датчиків - перетворювачів, пристроїв для нормалізації інформаційних сигналів і необхідні розрахунки ілюструють володіння проектувальником широким колом знань, без яких неможливо створювати реальні технічні рішення, що базуються на теоретичних питаннях, досвіді створення відомих пристроїв і нових досягнень науки і техніки в самих різних областях.

### 3.2.5. Опис виконання роботи

Оскільки при проектуванні технічних пристроїв виконують різні необхідні розрахунки і використовують довідковий матеріал, то в даний час створюються оригінальні програмні продукти, що скорочують витрати часу на цих етапах проектування. Прикладом такої програми може служити Windows-додаток *SinSys*, розроблений на кафедрі електричного транспорту ХНАМГ. У цій програмі реалізовані всі алгоритми розрахунку, розглянуті вище, що забезпечує реалізацію автоматизованого розрахунку різних величин, які проектувальник використовує при автоматизованому проектуванні системи автоматичного контролю обробки металевих виробів.

Очевидно, що для виконання завдання за вищевказаним описом здійснюється за допомогою програми *SinSys v.1.09*, в якій стенди *ПрЭ-1МР* і *ПрЭ-2УН* та ін. призначені для вивчення, експериментів і розрахунку компонентів системи автоматичного контролю, що розробляється.

Інтерфейси відповідних електронних стендів *ПрЭ-1Мр* і *ПрЭ-2УН* та ін. ілюструють схеми пристроїв відповідно до рис.17, 18. Автоматизація розрахунку елементів схем дозволяє робити експерименти тільки в припустимих межах варіювання параметрів проєктованих пристроїв, що виключає розробку нереальних і не придатних для фізичної реалізації технічних рішень.

Оскільки конструкторська діяльність проектувальників носить творчий характер, то розглянуте завдання автоматизації процесу контролю технологічних параметрів може вирішуватися розробниками інакше, що пов'язане з індивідуальною підготовкою і досвідом.

### Порядок виконання роботи

1. Відкрити електронний стенд *ПрЭ-1Мр*.
2. Ознайомитися з усіма спливаючими поясненнями.
3. Підготувати табл. 11 експериментів відповідно до індивідуального завдання (табл. 2).

Таблиця 11 – Вихідні дані і результати розрахунку мостової схеми

<i>№ експ.</i>	$I_T \cdot 10^{-3}, A$	$U_{\text{п}}, B$	$R_{\text{Tmin}}, OM$	$R_{\text{Tmax}}, OM$	$R_{\text{л}}, OM$	$R_1 = R_2, OM$	$R_{\text{д}}, OM$	$U_{\text{Вmin}}, B$	$U_{\text{Вmax}}, B$	$U_{\text{В}}, B$	$R_{\text{т}}, OM$

4. Зробити досліди і результати розрахунків внести в таблицю експериментів.
5. Відкрити електронний стенд *ПрЭ-2УН*.
6. Ознайомитися з усіма спливаючими поясненнями.
7. Використовуючи результати розрахунку мостової схеми, зробити досліди з підсилювачем напруги (*ПН*) і результати розрахунків внести в таблицю експериментів (табл. 12).

Таблиця 12 – Вихідні дані і результати розрахунку ПН

<i>№ експ.</i>	$R_{\text{т}}, OM$	$U_{\text{В}}, B$	$R_1, OM$	$R_2, OM$	$R_4, OM$	$K_{\text{ycl1}}$	$K_{\text{ycl2}}$	$K_{\text{yc}}$	$U_{\text{Ymin}}, B$	$U_{\text{Ymax}}, B$	$U_{\text{Y}}, B$

8. Побудувати схему пристрою автоматичного контролю на основі вимірювальної схеми і підсилювача напруги для заданих датчиків. При виборі резисторів  $R_2, R_4$  для *ПН* необхідно використовуватись таблицею номіналів резисторів, що випускаються промисловістю (табл. 13). Коли в розрахунку отримано  $R_2 = 430 \text{ кОм}$ , то вибираємо з табл. 13 ряд величин *E24* із допустимим відхилом  $\pm 5\%$  наступним чином:  $R_{2.1} = 390 \text{ кОм}$ ,  $R_{2.2} = 33 \text{ кОм}$ ,  $R_{2.3} = 7,5 \text{ кОм}$  (змінна). На схемі зображуємо  $R_2$  у вигляді трьох послідовно з'єднаних резисторів  $R_{2.1}, R_{2.2}, R_{2.3}$ , позначаючи їх відповідно до порядку нумерації резисторів на схемі.

Таблиця 13 – Ряди номінальних величин опорів резисторів і ємностей конденсаторів загального використання

Ряд величин	Номінальні значення (одиниці, десятки Ом, кОм, МОм, ГОм, пФ, мкФ, Ф)						Допустимі відхили від номінального значення, %
E6	1	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	+/-20
E12	1	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	+/-10
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	+/-10
E24	1	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	+/-5
	1,1	1,6	2,4	3,6	5,1	7,5	+/-5
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	+/-5
	1,3	2	3	4,3	6,2	9,1	+/-5

Приклад розробки пристрою автоматичного контролю технологічних операцій обробки досліджуваної деталі.

№ варіанта	$I_T, 10^{-3} \text{ A}$	$U_{\text{жив}}, \text{ В}$	Датчик резистивний температури (терморезистор)		$R_{\text{л}}, \text{ Ом}$	Термопара, мВ (max)	Датчик резистивний тиску (пьезорезистор)	
			$R_{T\text{min}}, \text{ Ом}$	$R_{T\text{max}}, \text{ Ом}$			$R_{T\text{min}}, \text{ Ом}$	$R_{T\text{max}}, \text{ Ом}$
29	7,5	6,2	112	193,6	4,56	31,9	57	124

$R_1 = R_2 = 1000 \text{ Ом}$ ,  $R_{\text{в}} = 400 \dots 500 \text{ Ом}$ .

1. Розраховуємо мостову схему для резистивного датчика температури за допомогою програми SinSys v.1.09 (рис.20).

2. Результати розрахунку за рис.20 вносимо у таблицю розрахунку мостової схеми (див. табл. 11)

№ експ.	$I_T \cdot 10^{-3}, \text{ A}$	$U_{\text{пв}}, \text{ В}$	$R_{T\text{min}}, \text{ Ом}$	$R_{T\text{max}}, \text{ Ом}$	$R_{\text{л}}, \text{ Ом}$	$R_1 = R_2, \text{ Ом}$	$R_{\text{д}}, \text{ Ом}$	$U_{\text{Вmin}}, \text{ В}$	$U_{\text{Вmax}}, \text{ В}$	$U_{\text{в}}, \text{ В}$	$R_{\text{м}}, \text{ Ом}$
29	0,0075	6,2	112	193,6	4,56	1000	512,48	2,0147	2,3433	0,32856	512,48

Синтез устройства автоматизации - SinSys v.1.09

Вход Приемный элемент Промежуточный элемент Исполнительный элемент Автоматизация Помощь

МПУ ПЭ-1К ПЭ-2Р ПЭ-3Ф ПЭ-1Мр ПЭ-2УН ПЭ-3УМ ПЭ-Мд ПЭ-4Ц ИЭ-1КД САК-1т САК-2

В системах автоматизации часто используются аналоговые ПЭ. Для их подключения к схемам устройств применяют мостовые согласующие ПЭ. Расчет МОСТА предполагает достижение определенных свойств будущего устройства.

**ВВЕДЕМ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:**

Напряжение ИП схемы моста,  $U_{\text{пит.}}, \text{ В}$  ..... 6,2

Величина тока через резистивный датчик,  $I_T, \text{ A}$  ..... 0,0075

Сопротивление датчик  $R_{T\text{max}}, \text{ Ом}$  ..... 193,6

Сопротивление датчика  $R_{T\text{min}}, \text{ Ом}$  ..... 112

Линия связи  $R_{\text{л}}, \text{ Ом}$  ... 4,56  $R_1=R_2, \text{ Ом}$  ... 1000  $R_{\text{вых}}, \text{ Ом}$  ... 400

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:**

Резистор  $R_{\text{д}}$  ..... 512.48 Ом

$U_{\text{вых.min}}$  ..... 2.0147 В

$U_{\text{вых.max}}$  ..... 2.3433 В

Интервал  $U_{\text{вых.}}$  ..... 0.32856 В

Харьков

LOGSystem AutoCOPY

Soft

Сегодня - 13.09.2007 Время (mez) - 11:50:36

ВНИМАТЕЛЬНО ознакомьтесь с экспериментальным стендом, уясните порядок общения, REM-справки ЭЛ-электронная лаборатория

Рис. 20 – Приклад розрахунку резистивного датчика температури

### 3. Зробити дослід з підсилювачем напруги:

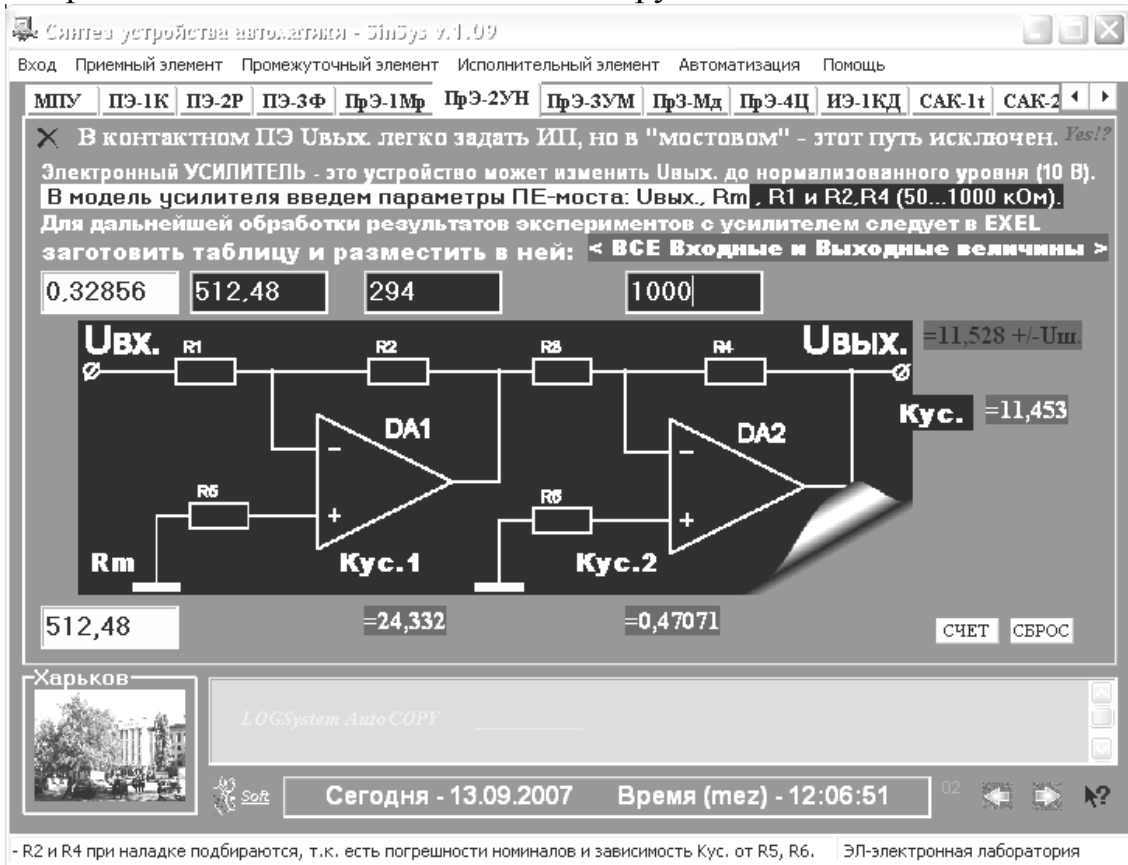


Рис. 21 – Приклад роботи із стендом ПрЭ-2УН

4. Результати розрахунків вносимо в таблицю експериментів (див.табл. 12):

№ експ.	$R_m, \text{Ом}$	$U_B, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_4, \text{Ом}$	$K_{yc1}$	$K_{yc2}$	$K_{yc}$
1		xxx						
...		...						
N		10,000						

5. Аналогічно розраховуємо резистивний датчик тиску і наводимо для нього схему мостову і підсилювача.

6. Розробляємо схему перетворювача «температура - напруження».

7. На основі отриманих даних будуємо схему пристрою автоматичного контролю (рис. 22).

## ВИСНОВКИ

Розроблена система автоматичного контролю технологічних параметрів при обробці східчастого вала забезпечує сигналізацію на перевищення сили різання фрезою, міцності й температури різання і аварійне вимкнення металообробного верстата при недопустимому виході будь-якого з контрольованих параметрів за межі допустимого рівня.



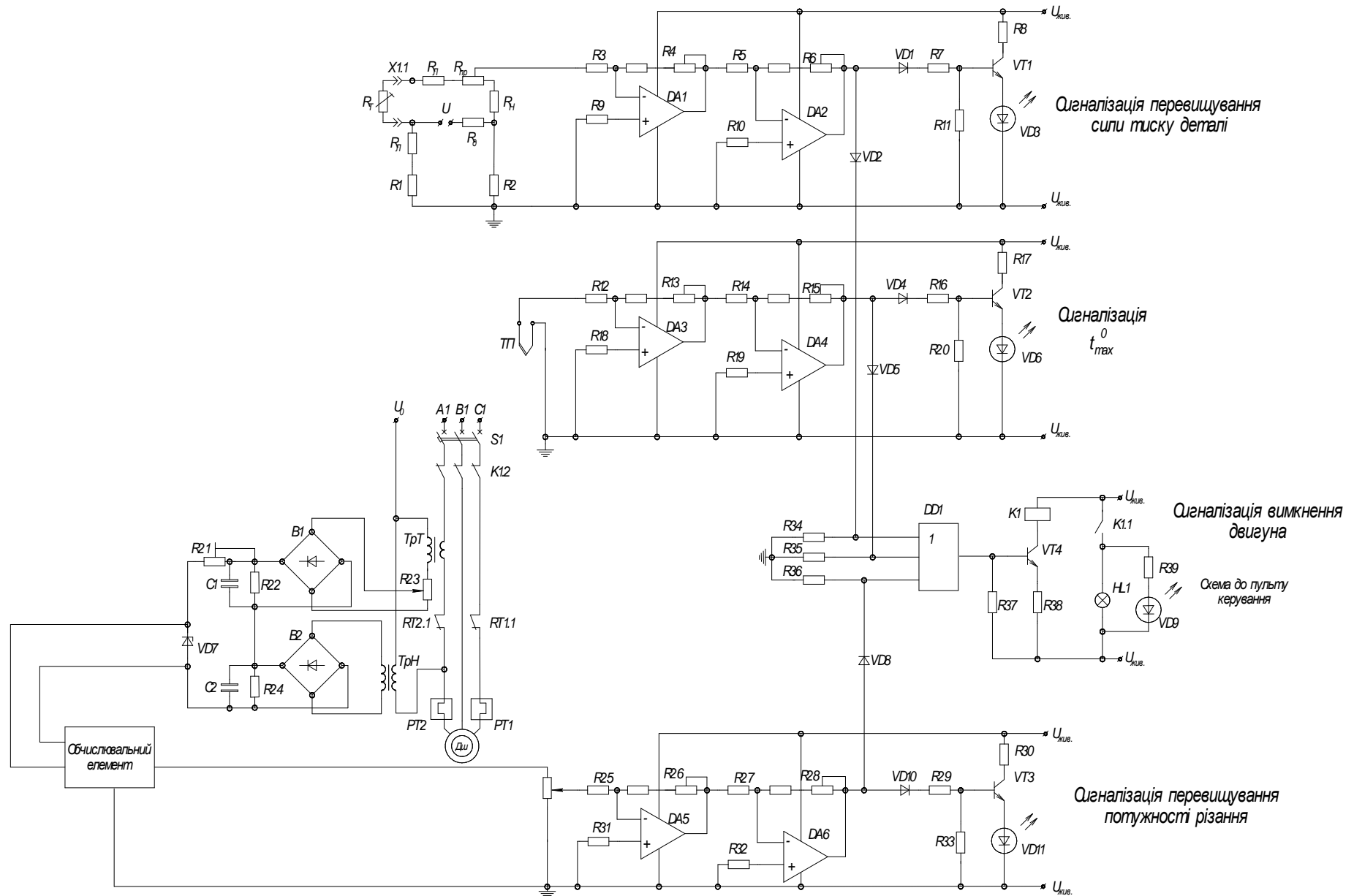


Рис. 22 – Приклад розробленої схеми пристрою автоматичного контролю і сигналізації

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Бабічева О.Ф., Клемешев О.Г. Основи проектування та експлуатації технологічного обладнання електричного транспорту: Конспект лекцій для студентів 5 курсу спеціальності 7.092202 – “Електричний транспорт”. - Харків: ХНАМГ, 2007.-67 с.
2. Методичні вказівки, до розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Основи проектування та експлуатації технологічного обладнання електротранспорту». Частина 1. (для студентів 5 – 6 курсів спеціальності 7.092202 «Електричний транспорт»). Укл.: Бабічева О.Ф., Клемешев О.Г. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 40 с.
3. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Основи проектування та експлуатації технологічного обладнання ЕТ». Частина 2. Проектування верстатних пристроїв. - (для студентів спеціальності 7.092202 «Електричний транспорт»). Укл.: Бабічева О.Ф., Клемешев - Харків: ХНАМГ, 2007. - 38 с.
4. Станочные приспособления. Справочник в 2-х томах./ Под ред. Вардашкина В.О. - М.: Машиностроение, 1984.
5. Терликова Т.Ф. и др. Основы конструирования приспособлений. Уч. пособие для машиностроительных ВУЗов. - М.: Машиностроение, 1980. – 119 с.
6. Горошкин А.К. Приспособление для металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1979.
7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах./ Под ред. Новожиловой А.Г., Малова А.Н. - М.: Машиностроение, 1973.
8. Єсаулов С.М. Методичні вказівки до самостійного вивчення курсу «Мікропроцесорні пристрої» і виконання контрольної та самостійної робіт (для студентів 4 – 5 курсу усіх форм навчання спеціальності 7.092202 - «Електричний транспорт»). – Харків: ЗНАМГ, 2007. – 63с.
9. Єсаулов С.М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Мікропроцесорні пристрої» і виконання контрольної та самостійної робіт (для студентів 4 курсу усіх форм навчання спеціальності 7.092202 - «Електричний транспорт»). – Харків: ХНАМГ, 2006. – 66 с.
10. Єсаулов С.М. *SinSys* – учебная программа для домашнего ПК студента. - [www.tmn.hotmail.ru](http://www.tmn.hotmail.ru), ©2004-2007.

*Навчальне видання*

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до курсової та практичних робіт  
з дисципліни

**АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ  
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ**

*(для студентів 5-6 курсів усіх форм навчання за спеціальностями  
7.05070204, 8.05070204*

*«Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»)*

Укладачі **БАБІЧЕВА** Ольга Федорівна  
**ЄСАУЛОВ** Сергій Михайлович

Відповідальний за випуск *О. Ф. Бабичева*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання: *І. В. Волосожарова*

План 2013, поз.123М

---

Підп. до друку 30.05.2013  
Друк на ризографі.  
Зам.№

Формат 60x84/16  
Ум. друк. арк. 3,0  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4064 від 12. 05. 2011 р.