

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота складається з графічної частини і пояснювальної записки.

Об'єм графічної (ілюстративної) частини кваліфікаційної роботи становить 18 слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає 92 друковані сторінки формату А4 (210×297).

В кваліфікаційній роботі нараховується 20 рисунків та 9 таблиць з даними. Використано 10 літературних джерела.

В кваліфікаційній роботі на основі проведеного аналізу сучасного стану діагностування металорізального обладнання і інструменту обґрунтовано вибір сили різання за діагностичну ознаку стану металорізального інструменту та визначено її інформативність. Детально проаналізовані методи і технічні засоби вимірювання сил різання. На основі даного аналізу було обґрунтовано вибір функціональної схеми системи діагностування металорізального інструменту. Основна увага приділена розробці структурної і принципової електричних схем блоку спряження, проаналізований інтерфейс системи діагностування, створено програмне забезпечення системи, проведено розрахунки продуктивності і точності системи діагностування.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	8
1.1. Аналіз технічних засобів контролю процесу механічної обробки металу .....	8
1.2. Огляд електричних засобів вимірювання сили різання .....	10
1.3. Огляд мікропроцесорних засобів дослідження сили різання .....	22
1.4. Постановка задачі кваліфікаційної роботи.....	27
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	29
2.1. Сила різання, як діагностична ознака процесу механічної обробки ..	29
2.2. Системи контролю стану різального інструменту .....	34
2.3. Методики вимірювання сил різання .....	38
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	42
3.1. Функціональна схема системи діагностування металорізального інструменту .....	42
3.2. Вибір та аналіз конструкції основних компонентів системи діагностування.....	46
3.3. Розробка структурної і принципової електричної схеми блоку спряження .....	49
3.4. Розрахунок продуктивності і точності системи діагностування .....	63
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....	65
5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	72
6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	80
6.1. Аналіз потенційних небезпек виробничого середовища.....	80
6.2. Забезпечення нормальних умов праці .....	82

6.3.Електромагнітний імпульс ядерного вибуху і захист від нього радіоелектронних засобів.....	86
6.4.Шляхи вирішення задачі захисту від ЕМІ.....	88
ВИСНОВКИ.....	91
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	92

## ВСТУП

Основною тенденцією розвитку сучасного машинобудування є перехід від автономного діючого устаткування до гнучких виробничих систем (ГВС). У зв'язку з цим обов'язковим їх елементом повинна бути підсистема діагностування, функція якої зводиться до діагностування стану обладнання та інструменту.

В умовах неавтоматизованого виробництва функції підсистеми виконує оператор, тому результат діагнозу визначається його кваліфікацією, а в ГВС – рівнем “інтелекту” системи.

Створення таких систем базується на концептуальному підході, в основу якого покладений наступний принцип: всі збурення, що впливають на процес обробки металів різанням, призводить, зрештою, до зсувів інструмента і заготовки, які можна представити суперпозицією постійної складової зсуву і окремих гармонік віброзміщень.

Виняток становлять лише збурення, пов'язані із зносом металорізального інструменту і утворення наростів, оскільки похибки, що викликаються цими чинниками, не можуть бути враховані, так як вимірювання проводяться від ріжучої кромки. В даних системах обов'язковий контроль стану металорізального інструменту. При цьому за основну діагностичну ознаку стану інструмента можна використати силу різання.

Виходячи з цього, в роботі розроблена система діагностування металорізального інструмента на базі персональної ЕОМ, яка реалізує вказану діагностичну ознаку.

Основна увага в роботі приділяється вибору і аналізу основних компонентів системи, розробці структурної і функціональної схем блока спряження, аналізу інтерфейсу системи та розробці програмного забезпечення.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз технічних засобів контролю процесу механічної обробки металу

Застосування методу пружної деформації при вимірюванні сил різання в різних варіантах, спричинило до виникнення великої кількості конструкцій динамометрів. За даними літературних джерел [1] найкращі характеристики мають пружні динамометри.

Залежно від характеру зв'язку між різцем і пружним робочим елементом можливі два принципово відмінних варіанти конструкції пружного динамометра. В першому випадку (рис.1.1, а) роль пружного елемента виконує сам різцетримач, або інший елемент верстату, жорстко зв'язаний з корпусом. Пружна деформація вимірюється за допомогою чутливого елемента—давача. Жорсткість такого типу динамометра визначається жорсткістю різцетримача.

Останнім часом даний принцип використовується в системах автоматичного контролю стану різального інструменту металорізального обладнання, оснащеного системами ЧПК. При цьому давачі встановлюються в опорах шпіндельних вузлів та приводів подач верстатів.

В іншому варіанті (рис. 1.1, б) різцетримач з'єднаний з корпусом через шарнір, а робочий елемент виконано у вигляді окремого вузла. Пружна деформація робочого елемента вимірюється давачем. Жорсткість, власне приладу, визначається в даному випадку жорсткістю окремо винесеного пружного елемента.

Обидва варіанти не відрізняються за своїм принципом роботи і доцільність використання того чи іншого варіанту визначається з конструктивних міркувань. Як правило, перший варіант є більш компактним і має вищу жорсткість.

В цілому в пружному динамометрі можна виділити такі конструктивні зміни: вимірювач сили, перетворювач, реєструючий пристрій.

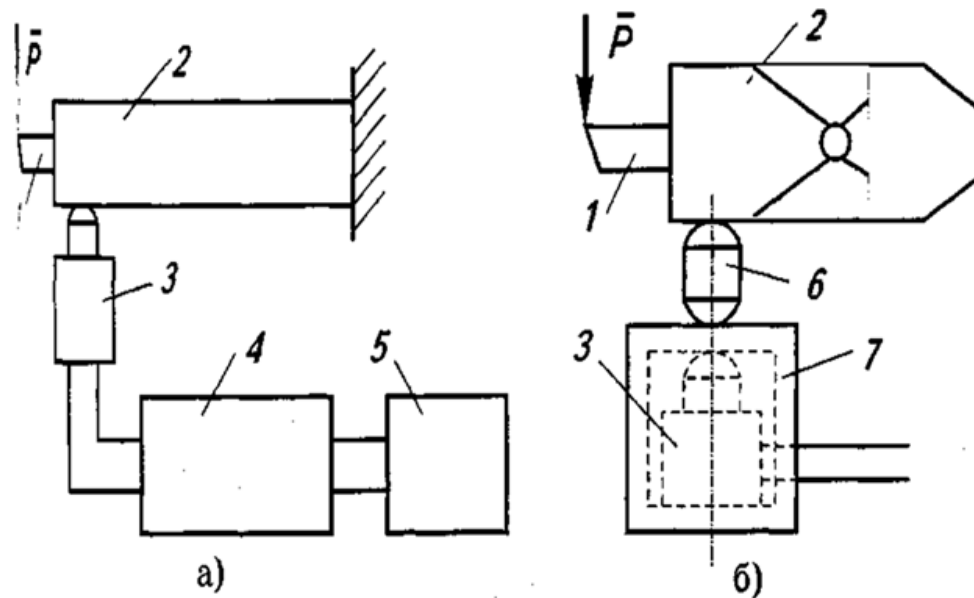


Рис. 1.1 – Принципові схеми динамометрів з пружною (а) і важільно-шарнірною (б) передаючими системами.: 1 - різець; 2 - різцетримач; 3 - давач; 4 - перетворювач; 5 - реєструючий пристрій; 6 – передаючий стержень; 7 – робочий пружний елемент

Вимірювач сили містить в собі корпус, передаючу систему і давач сили. Він призначений для перетворення сили в прийнятний для вимірювання і реєстрації сигнал, пропорційний величині силового впливу.

Корпус служить для кріплення і захисту всіх елементів вимірювача сили. Передаюча система здійснює передачу тиску від різця до чутливого елемента — давача. Давач перетворює пружне переміщення робочого елемента в величину, зручну для безпосереднього відліку.

В динамометрах для вимірювання сили різання використовуються давачи таких типів: механічні, гідравлічні, пневматичні, оптичні, електричні.

Найбільший успіх силовимірювальної техніки був досягнутий із застосуванням електричних способів вимірювання. Цей спосіб найкраще

підходить і для використання в сучасних мікропроцесорних системах керування металорізальними верстатами. Тому в подальшому зупинимося на аналізі технічних засобів цього типу.

## 1.2 Огляд електричних засобів вимірювання сили різання

Електричні способи порівняно з механічними мають наступні переваги:

- простота розподілу місць вимірювання і обробки результатів вимірювання (телеметрія);
- простота підсилення сигналу;
- велика жорсткість вимірювального пристрою;
- висока частота власних коливань;
- добра пристосованість до різних умов вимірювань;
- простота використання результатів вимірювань;
- простота регулюючих пристроїв.

Можливість телеметрії має вирішальне значення в нашому випадку,

оскільки на меті стоїть використання персональної ЕОМ в процесі отримання даних вимірювань в реальному часі і їх обробки. Це також дає можливість здійснювати одночасно реєстрацію величини всіх трьох складових різання.

Простота підсилення сигналу дає можливість при виборі давача не враховувати потужність вихідного сигналу, а виходити тільки з вимог конкретної вимірювальної задачі.

Велика жорсткість вимірювального пристрою є побічним наслідком простоти підсилення, оскільки вихідний сигнал з підвищенням жорсткості знижується.

Висока частота власних коливань електричного давача сили тісно пов'язана з вказаною вище властивістю, оскільки жорсткість і маса коливної частини визначають резонансну частоту. Приєднана маса у електричних давачів за звичайних умов менша ніж у механічних.

Повне використання результатів вимірювань можливе тільки при роботі з електричними сигналами. В тому числі це стосується можливості підключення спеціальних малих керуючих і обчислювальних машин.

Для створення регулюючих пристроїв завжди потрібна ланка регулювання з визначеним "підсиленням" в ній. А переваги сучасної техніки підсилення та обробки електричних сигналів в цьому абсолютно неспростовні.

Порівняно з механічними електричні методи вимірювання сили мають і недоліки:

- вищі затрати на придбання апаратури і експлуатацію;
- складніше обслуговування;
- менша надійність.

Порівняльний аналіз існуючих давачів вказує на істотну перевагу тензорезистивних та п'єзоелектричних давачів над іншими типами давачів для проведення динамічних прецизійних силових вимірювань.

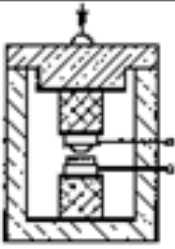
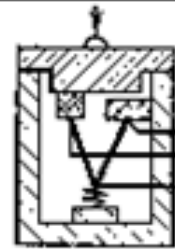
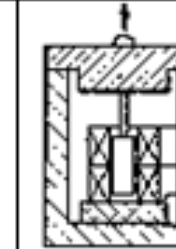
При цьому слід враховувати, що п'єзоелектричні давачи не можуть бути використані для вимірювання статичних зусиль, їхня нижня границя частоти рівна 1000 Гц. Ця умова обмежує застосування п'єзоелектричних давачів для вимірювання зусиль різання, інформативна частотна область яких визначається [2] в межах 0-3000 Гц.

Тензорезистивні давачи відносяться до давачів з дійсним інтегруванням і мають такі переваги як простота конструкції, відносно мала трудомісткість виготовлення, можливість одержання стабільного сигналу, висока точність за рахунок використання елементів з лінійною залежністю напруги від деформації, можливість живлення постійним струмом, а також простота реалізації потрібної сумуючої схеми.



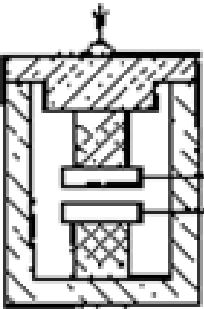
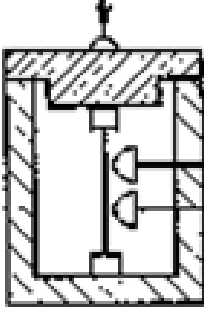
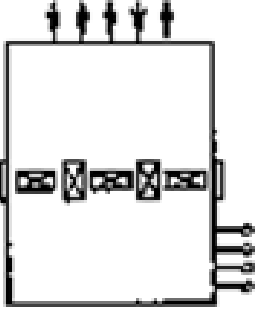
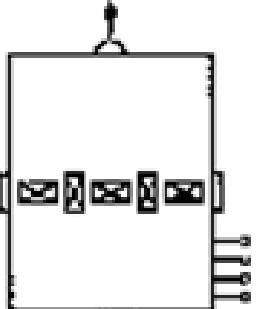
В таблицях 1.1-1.4 приведено огляд найважливіших методів вимірювання сили різання.

Таблиця 1.1 – Огляд найважливіших методів вимірювання сили різання

№	Тип давача		І(параметричні з розділеним пружнотутливим елементом)			
			1а	1б	1в	2
1	Група давачів					
2	Принцип дії		Резистивні			Електромагнітні
			Контактні	Резисторні	З натягнутим провідником	
3	Типова структурна схема					
4	Інтегрування	Уявне	×	×	×	×
		Дійсне				
5	Оціночний клас		Д	А	А	А
6	Номінальний діапазон сили		10Н – 1МН	0.5кН – 5МН	0.1кН – 5МН	0.01кН – 10МН
7	Номінальний вимірювальний хід		0.2 – 1 мм	0.5 – 2 мм	0.05 – 0.2 мм	0.05 – 0.5 мм
8	Нижня границя робочої частоти		0	0	0	0
9	Верхня границя робочої частоти	Без зовнішніх мас	10 – 100Гц <sup>1</sup>	1 – 5Гц <sup>1</sup>	100 – 5000 Гц <sup>2</sup>	100 – 5000 Гц <sup>2</sup>
		З максимальною зовнішньою масою	5 – 10Гц	1 – 5Гц <sup>1</sup>	5 – 20Гц	5 – 20Гц

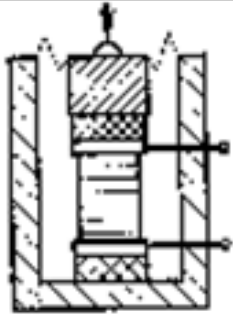
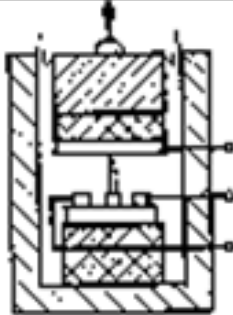
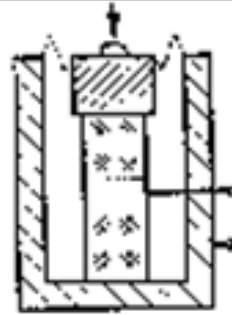
11	Відносна зміна параметра перетворювача	Дуже велика	$\leq 100\%$	0.1 – 0.2%	5 – 20%
12	Досяжний температурний коефіцієнт дрейфа нуля (чутливості)	–	0.02 – 0.05 %-град <sup>-1</sup> (0.02 – 0.05 %-град <sup>-1</sup> )	0.005– 0.02 %-град <sup>-1</sup> (0.005 – 0.02 %-град <sup>-1</sup> )	0.02 – 0.05 %-град <sup>-1</sup> (0.02 – 0.05 %-град <sup>-1</sup> )
13	Похибка лінійності	–	0.25 – 2%	0.1 – 0.5%	0.1 – 1%
14	Досяжний клас точності для діапазону температур приблизно від -10 до +40 °С	0.25 – 1	0.6 – 2.5	0.1 – 0.25	0.25 – 1
15	Основні переваги	Давач і ел. пристрій дешеві, можливе використання при високих температурах	Простий, електрична схема без підсилювача можливе використання при високих температурах	Універсальний давач для найвищої точності, можливе використання при високих температурах	Простий, міцний, специфічна схема інколи може бути без підсилювача
16	Основні недоліки	Переривисті вимірювання	Обмежений термін служби	Чутливість до перевантаження	Підвищення точності вимагає затрат

Таблиця 1.2 – Огляд найважливіших методів вимірювання сили різання

№	I (параметричні з розділеним пружнучутливим елементом)					
	3	4	5а	5б	6а	6б
2	Ємності	3 механічними резонаторними елементами	Тензорезистивні			
			Металічні	Півпровідникові	Металічні	Півпровідникові
3						
4	×	×			×	×
			×	×	×	×
5	A	Г	A	A	A	A
6	0.01Н – 10МН	0.1кН – 5МН	0.1кН – 50МН		0.1кН – 50МН	
7	0.05 – 0.5мм	0.1 – 0.25мм	0.05 – 1мм	0.02 – 0.5мм	0.05 – 1мм	0.02 – 0.5мм
8	0	0	0	0	0	0
9	100 – 5000 Гц <sup>2</sup>	3	100 – 5000 Гц <sup>2</sup>	100 – 5000 Гц <sup>2</sup>	100 – 5000 Гц <sup>2</sup>	100 – 5000 Гц <sup>2</sup>
10	5 – 20Гц	5 – 10Гц	5 – 20Гц	5 – 20Гц	5 – 20Гц	5 – 20Гц
11	5 – 20%	10 – 100%	0.1 – 0.2%	5 – 10%	0.1 – 0.2%	5 – 10%

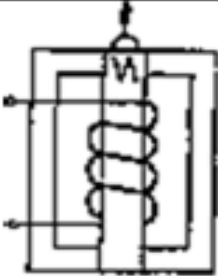
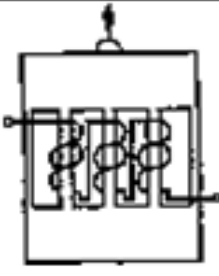

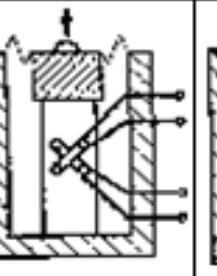
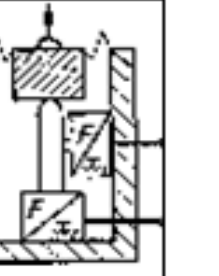
12	0.01 – 0.05 %·град <sup>-1</sup> (0.02 – 0.05 %·град <sup>-1</sup> )	0.005 – 0.02 %·град <sup>-1</sup> (0.002 – 0.01 %·град <sup>-1</sup> )	0.005 – 0.02 %·град <sup>-1</sup> (0.005–0.02 %·град <sup>-1</sup> )	0.01 – 0.04 %·град <sup>-1</sup> (0.01 – 0.04 %·град <sup>-1</sup> )	0.001–0.005 %·град <sup>-1</sup> (0.001– 0.005 %·град <sup>-1</sup> )	0.005– 0.04%·град <sup>-1</sup> (0.005–0.04 %·град <sup>-1</sup> )
13	0.1 – 1%	0.03 – 0.1% <sup>3</sup>	0.1 – 2%	0.2 – 2%	0.01 – 0.1%	0.1 – 0.3%
14	0.25 – 1	0.1 – 0.25	0.25 – 0.6	0.4 – 1	0.025 – 0.06	0.1 – 0.25
15	Простий, нечутливий до магнітних полів, може використо- вуватись при високих температу- рах	Висока точність вимірювань, нечутливість до перешкод із-за частотного вихідного сигналу	Як в колонці ба, але менша висота, вищі номінальні сили	Як в колонці 5а, але більша вихідна потужність, тому простіша специ- фічна схема	Універ- сальний давач для найвищої точності	Як в колонці ба, але більша вихідна потужність тому простіша специфічна схема
16	Необхідна висока не- сучасна частота, практично не може викорис- товуватись на виробництві	Нелінійна характерис- тика, складна конструкція	Специфіч- на схема є дорогою, вищу точність досягнути неможливо	Похибки більші ніж у давача колонки 5а	Специфіч- на схема дорога, вимірю- вання номіналь- них сил менше 0.1кН усклад-	Похибки більші ніж у колонки ба, вимірю- вання но- мінальних сил менше 0.1кН ускладнене

Таблиця 1.3 – Огляд найважливіших методів вимірювання сили різання

№	Тип давача		Щ(генераторні (8, 9) і параметричні з суміщеним пружночутливим елементом)		
			7а	7б	8
1	Група давачів		7а	7б	8
2	Принцип дії		Резистивні		П'єзо-електричні
			З вугільним стовпчиком	З р-п переходом	
3	Типова структурна схема				
4	Інтегрування	Уявне	×	×	×
		Дійсне	×		×
5	Оціночний клас		А	А	Б
6	Номінальний діапазон сили		1Н – 10МН	1мН – 0.1Н	1кН – 0.5МН
7	Номінальний вимірювальний хід		0.05 – 0.2 мм	$1 \cdot 10^{-3}$ мм	0.005 – 0.05 мм
8	Нижня границя робочої частоти		0	0	$10^{-3}$ Гц
9	Верхня границя робочої частоти	Без зовнішніх мас	1 – 10 кГц	>10 кГц	1 – 100 кГц
10	робочої частоти	З максимальною зовнішньою масою	5 – 20 Гц	>100 Гц	10 – 50 Гц

11	Відносна зміна параметра перетворювача	Дуже велика	1100%	10 – 100%
12	Досяжний температурний коефіцієнт дрейфу нуля (чутливості)	0.1–0.5 %-град <sup>-1</sup> <sup>7</sup>	2–20 %-град <sup>-1</sup> <sup>8</sup>	– (0.02 %-град <sup>-1</sup> )
13	Похибка лінійності	2 – 30%	0.5 – 2%	0.01 – 1%
14	Досяжний клас точності для діапазону температур від –10 до +40 °С	≥10	>10	≤1
15	Основні переваги	Міцний давач з простою специфічною схемою, часто без підсилювача	Для самих малих динамічних сил	Для динамічних сил і високих температур, статично не градується
16	Основні недоліки	Великі похибки, може використовуватись як індикатор сили	Великі похибки, практично не може використовуватись для квазістатичних вимірювань	Практично не може використовуватись для квазістатичних вимірювань, вимагає високого опору ізоляції

Таблиця 1.4 – Огляд найважливіших методів вимірювання сили різання

№	II(генераторні (8, 9) і параметричні з суміщеним пружночутливим елементом)				III
	9	10а	10б	10в	11
2	Генераторні магніто-пружні	Магнітопружні параметричні			Компенсаційні (з силовим врівноваженням)
		Із зміною магнітної проникності	Анізотропні		
3					
4	×	×		×	×
		×	×	×	
5	Б	А	А	А	В
6	1кН – 0.1МН	1кН – 5МН	0.3кН – 50кН	0.5кН – 1МН	0.1мН – 10Н
7	0.005–0.05мм	0.02 – 0.1мм	0.02 – 0.1мм	0.03 – 0.2мм	0.1 – 1мм
8	1 – 10 кГц	0	0	0	0
9	1 – 10 кГц	>1000 Гц	>1000 Гц	>1000 Гц	10 – 100 Гц
10	20 – 50 Гц	5 – 20 Гц	5 – 20 Гц	5 – 20 Гц	5 – 10 Гц
11	–	20 – 50%	10 – 20%	10 – 20%	–
12	<sup>8</sup>	0.02 – 0.05%-град <sup>1</sup> (0.02 – 0.05%-град <sup>1</sup> )	0.01 – 0.05%-град <sup>1</sup> (0.01 – 0.05%-град <sup>1</sup> )	0.003 – 0.01%-град <sup>1</sup> (0.003 – 0.01%-град <sup>1</sup> )	≥0.001 %-град <sup>1</sup> <sup>7</sup>
1	9	10а	10б	10в	11
13	<sup>8</sup>	1 – 5% <sup>9</sup>	0.1 – 2% <sup>9</sup>	0.05 – 0.5% <sup>9</sup>	≥0.01%
14	25 – 10 <sup>8</sup>	1 – 2.5 <sup>9</sup>	0.4 – 2.5 <sup>9</sup>	0.1 – 0.6 <sup>9</sup>	0.025 – 0.06
15	Міцний, добре	Простий,	Як в колонці	Як в колонці	Для дуже

	підходить для динамічних сил	висока вихідна потужність, ніяких складностей з ізоляцією	10а, менше похибки, дуже мала висота	10а, але похибки значно менші (як у середнього тензорезисторного давача)	точних вимірювань малих сил (до 10Н)
16	Квазістатично не градується, великі похибки	Велика похибка лінійності, чутливість до механічного перевантаження	Великі затрати для одержання високої точності, але специфічна схема без підсилювача	Як в колонці 10б	Дорога специфічна схема, недостатньо високі динамічні характеристики

1 Зумовлено перетворюючим органом.

2 Зумовлено пружним елементом.

3 Залежить від власної частоти коливання струни.

4 Верхня гранична частота додатково обмежується значенням несучої частоти.

5 Відхилення від теоритичної градуєвальної характеристики.

7 Загальна зміна градуєвальної характеристики.

8 Достовірні дані відсутні.

9 Включаючи і специфічну схему.

Кожний силовимірювальний комплекс складається із одного або декількох давачів сили, вмонтованих допоміжних пристроїв, специфічної електричної схеми, яка залежить від типу давача та методу вимірювання, стандартної



апаратури. Специфічна схема і стандартна апаратура утворюють разом електровимірювальну апаратуру.

Тому при виборі засобів дослідження сили різання потрібно вирішити наступні питання:

1. Який давач сили буде використовуватись у вимірювальній системі?
2. Які параметри та конструкція специфічної схеми?
3. Які параметри та конструкція стандартної апаратури?

Частково відповідь на перше запитання вже одержана нами вище — найбільш доцільним за даними літературних джерел є використання електричних тензорезисторних давачів сили (ТДС). Оскільки розробка конструкції давача не являється метою даного дослідження, то вибір потрібно зробити серед розроблених вже конструкцій.

Аналіз вказує на наявність надзвичайно широкої номенклатури ТДС [1, 19], в т. ч. для вимірювання зусиль різання. Але більшість ТДС для контролю сили різання є спеціальними і виготовленими, як правило, власними силами в одиничному екземплярі.

Тому найбільш поширене дослідження силових залежностей отримав ТДС конструкції ВНДІІ, який випускається серійно в декількох модифікаціях під загальною назвою "Універсальний динамометр УДМ". Отже використання в даному дослідженні динамометра УДМ-600 є виправданим і актуальним.

Параметри та конструкція специфічної схеми визначатимуться конкретними конструктивними особливостями динамометра УДМ-600 і будуть розглянуті в наступному розділі. Це питання детально розглядається в спеціальній літературі [17]. Вирішення та аналізу потребує тільки одне принципове питання — яким струмом буде здійснюватись живлення тензорезисторного вимірювального моста.

На цей рахунок пропонується [1] два варіанти — живлення постійним або змінним струмом.

При живленні постійним струмом не обмежується частота коливання вимірюваного зусилля, на точність вимірювань не впливає індуктивне та ємнісне навантаження вимірювальної апаратури, вихідна величина має ту ж частоту, що і сила. Недоліком є перешкоди від термо е.р.с. і дрейф нуля підсилювача.

При живленні моста змінним струмом на проведення вимірювань не впливає дрейф нуля підсилювача і термо е.р.с., можливий дуже великий коефіцієнт підсилення. Недоліки: відносно низька верхня межа частоти і вплив на вимірювальне коло змін реактивних опорів, вихідна напруга має іншу частоту ніж вимірювана сила.

Враховуючи рекомендації та сучасні тенденції розвитку тензометрії а також конкретні вимоги до розроблюваної вимірювальної системи приймаємо більш доцільним живлення тензометричного моста постійним струмом.

Відкритим залишається питання вибору стандартної апаратури. До стандартної апаратури відносять показуючі та реєструючі прилади. Існує велика кількість серійних приладів такого типу, як аналогових так і цифрових.

В комплект універсального динамометра УДМ входить така стандартна апаратура:

- щит приладів, що являє собою комплект із чотирьох стрілкових приладів, призначених для показів величини зусилля різання по кожному з чотирьох вимірювальних каналів;

- світлопроменевий осцилограф, призначений для реєстрації зусиль різання в процесі механічної обробки.

Конкретні моделі приладів можуть бути різними, але всі вони є морально і фізично застарілими, мають низькі частотні та динамічні характеристики, не відповідають вимогам комплексної автоматизації процесу силових досліджень, потребують великих затрат ручної праці. В кінцевому рахунку це спричинює до низької точності вимірювання змінних за величиною та частотою зусиль різання при значних витратах робочого часу дослідників.

Таким чином, стандартна апаратура, яка пропонується для використання в комплекті з динамометром УДМ не відповідає вимогам ефективності досліджень і потребує заміни.

На сучасному рівні розвитку науки та техніки єдиним засобом підвищення ефективності досліджень, в т. ч. досліджень зусиль різання, є впровадження і використання на практиці досягнень електронно-обчислювальної техніки та технології.

### **1.3 Огляд мікропроцесорних засобів дослідження сили різання**

Специфіка впровадження електронно-обчислювальної техніки полягає в тому, що це потребує комплексного вирішення декількох взаємозв'язаних задач:

- забезпечення технічними засобами на базі ЕОМ;
- забезпечення програмними засобами спеціального та загального призначення;
- забезпечення зв'язку між окремими компонентами системи на фізичному та логічному рівнях.

Оскільки всі ці заходи мають на меті з'єднати окремі компоненти системи в єдине ціле для підвищення ефективності процесу одержання кінцевого результату — теоретичної моделі об'єкту, на основі експериментальних даних про зусилля різання, то доцільно вести мову про розробку автоматизованої системи наукових досліджень (АСНД) силових характеристик при різанні.

Якщо говорити про АСНД як засіб підвищення ефективності наукових досліджень, то потрібно визначити, що саме входить до складу АСНД та яке її функціональне призначення.

АСНД — це програмно-апаратний комплекс на базі засобів обчислювальної техніки. АСНД являє собою людино-машинну систему, яка вирішує задачі теоретичного моделювання досліджуваного об'єкту, планування, реалізації,

контролю і керування експериментом, обробки експериментальних даних і порівняння з теоретичними результатами.

Типова структурна схема АСНД і зв'язок між її окремими елементами зображені на рис. 1.3. При цьому на АСНД покладені функції моделювання об'єкта, настройки і перевірки працездатності експериментальної установки, забезпечення програмного керування ходом експеримента, збору, індикації, реєстрації і зберігання експериментальних даних, оформлення звітної документації в алфавітно-цифровому і графічному вигляді.

Аналіз літературних даних вказує на широке впровадження серійно виготовлених мікропроцесорних вимірювальних систем в різних галузях господарства розвинутих західних країн [19], в т. ч. для вимірювання сили [21]. Це відбувається шляхом створення спеціальних мікропроцесорних пристроїв [19], або шляхом розробки пристроїв та електронних модулів, що узгоджуються з персональною ЕОМ [21].

Розвиток вітчизняної техніки сьогодні також орієнтується на більш широке використання вимірювальних систем на базі мікропроцесорів [18], в т. ч. в технологічних системах механічної обробки [18]. Але серійні вітчизняні розробки орієнтувалися, до останнього часу, на використання в комплекті з вітчизняною електронно-обчислювальною технікою, що за своїми технічними характеристиками і забезпеченістю програмними засобами значно поступається розробкам розвинутих західних країн.

На даний час склалось таке положення, що обчислювальна техніка вітчизняних розробок для наукових та дослідницьких робіт практично не використовується. На ринку персональних ЕОМ панівне місце займають, так звані, ІВМ-сумісні комп'ютери. Вітчизняна промисловість також переорієнтовується на випуск персональних ЕОМ такого класу.

Стан справ на ринку мікропроцесорних вимірювальних засобів, з дуже малою часткою сучасних вітчизняних розробок, ще раз вказує на доцільність вирішення поставленої задачі. При цьому, враховуючи нинішні реалії науково-дослідницької роботи, більш доцільним буде шлях створення АСНД на базі

наявних офісних персональних ЕОМ, додатково оснащених спеціальними пристроями збору інформації з метою розширення їх функціональних можливостей.

Цей шлях вимагає менших коштів, ніж придбання спеціальних ЕОМ промислового виконання, які є необхідними для використання в системах керування технологічним обладнанням на виробництві.

Тому для аналізу далі будемо розглядати тільки засоби, призначені для використання в системах збору та обробки аналогової інформації на базі ІВМ-сумісних персональних ЕОМ.

З метою реалізації можливості збору аналогової інформації персональні комп'ютери оснащуються додатковими електронними модулями. Ці модулі виготовляються у вигляді електронної плати, розміщаються всередині комп'ютера і з'єднуються з мікропроцесором через системний інтерфейс ЕОМ.

Приведені в літературі конструкції є принципово однаковими і можуть розглядатися одночасно. До складу модуля входять схеми: вимірювальний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), програмований таймер-лічильник, паралельний інтерфейс.

Перевагою цих систем є їх універсальність і широкий набір можливостей, які надаються користувачеві.

Але, в той же час, універсальність пристрою призводить до ускладнення його конструкції. Модулі призначені для роботи з нормованими аналоговими і дискретними сигналами, а тому для підключення давачів вимагають додаткових зовнішніх узгоджуючих пристроїв.

Включення модуля безпосередньо в системну шину комп'ютера дозволяє виготовити модуль у вигляді одної електронної плати, без корпусу та автономного живлення, але вимагає при цьому додаткових технічних навиків від користувача, або залучення спеціального технічного персоналу, для встановлення в комп'ютер.

При помилковій або некваліфікованій роботі з системною шиною можливий вихід з ладу материнської плати комп'ютера. Недоліком даної конструкції є також наявність гальванічного зв'язку по сигнальних лініях та лініях живлення між елементами комп'ютера та вимірювальної схеми. При роботі з виробничим обладнанням в умовах перешкод високого рівня можливий вихід з ладу персональної ЕОМ.

Крім того конструкція модуля не дозволяє синхронного зчитування аналогової інформації з декількох каналів. Сигнали з різних каналів зчитуються шляхом послідовного перебору, що вносить додаткову динамічну похибку вимірювання при аналізі нестационарних процесів по декількох каналах одночасно.

Спеціальна автоматизована інформаційна система дослідження інструментальних матеріалів на базі ПЕОМ IBM PC/AT була розроблена і виготовлена в інституті надтвердих матеріалів (ІНМ) АН України. Система призначена для автоматизації досліджень працездатності ріжучих пластин із полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНМ), дослідження процесу різання за параметрами сигналу акустичної емісії, складових сили різання і температури в зоні різання.

В якості первинного перетворювача в каналах вимірювання сили різання використовується силовий давач універсального динамометра УДМ-100.

Характерними особливостями даної конструкції є реалізація більшості вузлів системи у вигляді окремих зовнішніх блоків і використання стандартної серійної вимірювальної апаратури. Для зв'язку зовнішніх пристроїв з ПЕОМ використовується внутрішній блок інтерфейсу оригінальної конструкції.

Таблиця 1.5 – Основні інтерфейси загального призначення для підключення зовнішніх пристроїв.

Категорія	Імпортний	Вітчизняний	Область використання
Паралельний двоточковий підключення	BS441 Centronics	ИРПР ИРПР-М	ПВВ алфавітно-цифрової інформації, пристрої локального і міжсистемного зв'язку
Послідовний двоточковий підключення	CL (Current Loop) RS-232C (нуль-модем)	ИРПС Стик С2 (нуль-модем)	ПВВ алфавітно-цифрової інформації, пристрої дистанційного міжсистемного зв'язку, КНМЛ, НГМД, локальні мережі
Послідовний багатоточковий підключення	RS-422, RS-423, RS-485	Стик С2_ИС	Теж саме

Недоліком приведеної конструкції є те, що в ній не використовуються для зв'язку з зовнішніми вимірювальними приладами можливості стандартних інтерфейсів: інтерфейсів загального призначення, якими оснащуються ПЕОМ (таблиця 1.2); інтерфейсу зв'язку з приладами IEEE-488 (інші назви — МЭК-625, КОП), якими оснащуються сучасні вимірювальні прилади.

При такій частоті передачі, яка прийнята в системі, це було б доцільно і оправдано з точки зору уніфікації і спрощення конструкції. Використання обладнання, не призначеного для роботи в автоматизованих вимірювальних системах, ускладнює конструкцію системи в цілому і вимагає додаткових затрат на розробку і виготовлення спеціальних інтерфейсів.

З точки зору використання даної розробки для дослідження зусиль різання, вона не може бути рекомендована для широкого використання в силу обмеженості її можливостей. Інформаційна система використовується для

дослідження роботи металорізального інструменту, виготовленого із ПНМ, при точінні в умовах відсутності інтенсивних динамічних навантажень.

За літературними даними інформативний частотний діапазон сили різання лежить в межах до 3 кГц, тому дослідження силових залежностей при інших видах обробки в умовах високих динамічних навантажень потребує підвищення частоти опитування каналів, розширення діапазону амплітуди вимірюваних зусиль, введення додаткового каналу для вимірювання крутного моменту.

Дана конструкція також не забезпечує синхронізації в часі даних, зчитаних по різних інформаційних каналах, що вносить додаткову похибку вимірювань при визначенні сумарної сили різання за значеннями окремих складових.

#### **1.4 Постановка задачі кваліфікаційної роботи**

З проведеного аналізу видно, що сьогодні для діагностування металорізального обладнання (інструменту) та контролю механічної обробки металу використовуються, здебільшого, застарілі технічні засоби та методи, які мають низьку роздільну здатність, вимагають великих затрат часу при проведенні досліджень, не використовують сучасні інформаційні технології та техніку і, як наслідок, є малоефективними.

В той же час, в машинобудуванні все ширше впроваджується сучасне металорізальне обладнання, оснащене адаптивними комп'ютерними та мікропроцесорними системами керування, яке вимагає нових підходів в підготовці фахівців, нових теоретично і практично обґрунтованих даних про параметри процесу обробки різанням, їх номінальні та критичні значення.

Однією із основних і найбільш інформативних діагностичних ознак стану металорізального інструменту та контролю процесу механічної обробки, яка широко використовується для адаптивного керування, залишається сила різання. Існуючі на даний момент технічні можливості та інформаційні технології дозволяють дослідження сили різання перевести на якісно новий рівень,



отримати нові дані для практичного використання при проектуванні металорізального обладнання та інструменту.

У зв'язку з цим в роботі необхідно виділити задачу розробки технічних засобів системи діагностування металорізального інструменту.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Сила різання, як діагностична ознака процесу механічної обробки

При обробці металів різанням між інструментом і оброблюваною деталлю виникає сила взаємодії, яку називають силою різання. Ця сила є результатом глибокої пластичної деформації металу, що перетворюється на стружку, а також тертя між інструментом і оброблюваною деталлю.

Метою огляду, який проводиться в даному розділі, є визначення доцільності вибору сили різання як об'єкту наукового дослідження, а також короткий опис самого об'єкту.

При вимірюванні сили різання користуються проекціями вектора сили на осі координат. На рис. 2.1 вказано загально-прийняте розміщення осей координат для випадку токарної обробки.

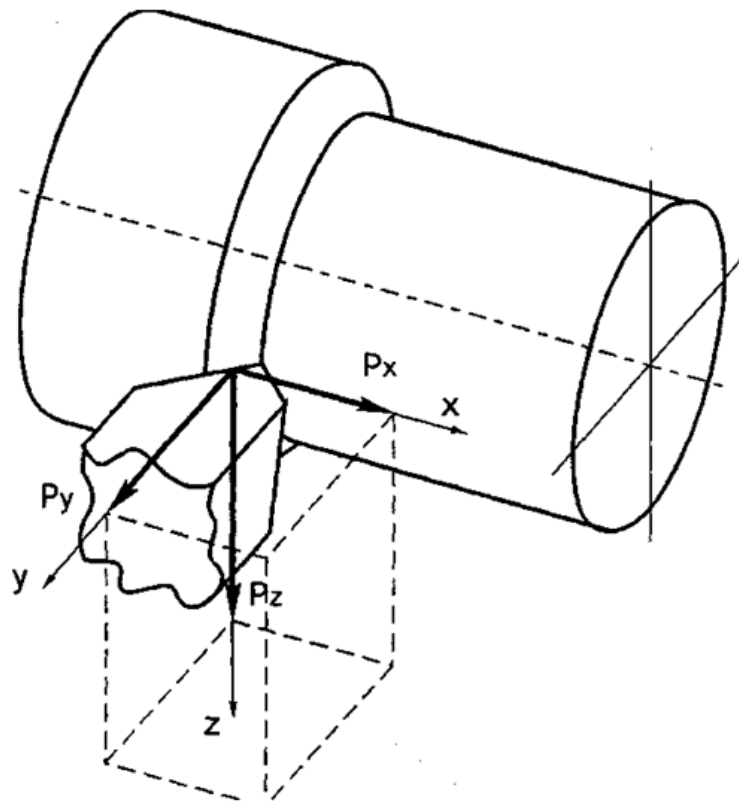


Рис. 2.1 – Складові сили різання при точінні

Вісь  $X$  — направлена вздовж осі оброблюваної деталі, вісь  $Y$  — по радіусу деталі паралельно до основної площини різця, вісь  $Z$  — по дотичній до поверхні різання і перпендикулярно до основної площини. При такому виборі осей кожна складова сили різання приймає певний технологічний зміст.

Складова  $P_Z$  називається головною складовою сили різання і звичайно є найбільшою за величиною. Вона створює крутний момент на шпінделі і навантажує головний привід верстату.

Оскільки  $P_Z$  співпадає з напрямом вектора швидкості різання, то вона ж визначає майже повністю потужність, що витрачається на різання. Складова  $P_X$ , яка називається осьовою складовою або силою подачі, навантажує механізм подачі верстату і створює осьове навантаження на опори шпінделя.

Накінець, третя складова сили різання  $P_y$ , яка називається радіальною складовою або силою відштовхування, визначає силу відтиску супорта і разом з  $P_Z$  - поперечний згин оброблюваної деталі.

Величина і напрям сили різання залежать від міцності і твердості оброблюваного металу, розмірів і форми поперечного січення зрізуваного шару, ступеня деформації металу в стружці. Ступінь деформації, в свою чергу, визначається цілим рядом факторів: геометрією передньої поверхні інструмента, швидкістю різання, наявністю змащення (чи охолодження), матеріалом інструменту і т.д.

За величиною значення сили різання може коливатися в надзвичайно широких межах — від долей Ньютона при тонкій обробці до сотень Ньютон при чорновій обробці на важких верстатах.

Сили різання визначають не тільки навантаження системи ВПД, але і температуру в зоні різання, стійкість різального інструменту, точність обробки, продуктивність і необхідну потужність обладнання.

Орієнтація вектора сили різання відносно верстату, інструменту і оброблюваної деталі також може суттєво змінюватись. Особливо сильно на

напрям сили різання впливає геометрія різальної частини інструменту і співвідношення між глибиною різання і подачею. Тому для зручності оперують проєкціями вектора сили різання на осі координат: тангенційною складовою  $P_z$ , радіальною складовою  $P_y$  і дотичною складовою  $P_x$ .

Знання величини сили різання і її складових є необхідним в багатьох випадках. Це вимагається при проєктуванні металорізальних верстатів [10, 11], при конструюванні пристроїв, при розробці конструкцій різального інструменту [12, 13]. В цьому випадку сила різання визна-чає геометричні розміри робочих елементів обладнання і інструменту з умови забезпечення заданої міцності і жорсткості.

За даними про силу різання при проєктуванні вибирається потужність і робочі зусилля приводів верстатів та пристроїв. Сила різання використовується в проєктних розрахунках динамічних характеристик металорізального обладнання. Сила різання є одним із параметрів оптимізації при визначенні геометрії різальної частини металорізального інструменту.

Сила різання є вихідною величиною при визначенні похибок обробки [10], пов'язаних із деформаціями заготовки, інструменту і відповідних вузлів верстату.

Точність є найважливішою характеристикою сучасного машинобудування. Для правильного вибору режимів різання необхідно враховувати динамічні явища, які виникають в техноло гічній системі, і всі інші фактори, що впливають на точність обробки. Суттєвий недолік має методика визначення режимів різання при умові, що сили різання і жорсткість системи ВПД постійні. Насправді при різанні металів всі механічні характеристики технологічної системи змінні.

Пружні відтиски оброблюваних деталей також змінні, і їх екстремальні значення виявляться значно більшими, ніж при статичному розгляді системи ВПД.

Вибір режимів різання за існуючими довідниками не гарантує одержання заданої точності обробки. Це пояснюється тим, що рекомендовані режими різання часто визначаються в лабораторних умовах без врахування впливу на них технологічних і динамічних факторів обробки:

- технологічної жорсткості системи ВПД;
- деформації інструменту, деталі і місць їх кріплення;
- власних частот супорта, оброблюваної деталі і інструменту;
- маси оброблюваної деталі;
- співвідношення власних частот вібрації оброблюваної деталі, інструмента і супорта;
- чергування чорнової і чистової обробки; частоти вводу інструмента в роботу;
- вібростійкості технологічних схем обробки і т. д.

Всі похибки обробки можна розділити на похибки статичної і динамічної настройки системи ВПД. Перша група похибок в основному залежить від стану і якості засобів виробництва, а друга залежить від якості оброблюваного матеріалу і інструментів, припусків на обробку, зміни сил різання із-за пластичних деформацій при зніманні стружки, теплових явищ, жорсткості технологічної системи ВПД.

Жорсткість технологічної системи ВПД, як здатність протистояти дії сил, що прагнуть її деформувати, має велике значення в технології машинобудування.

Від жорсткості технологічної системи залежить якість і продуктивність обробки різанням. Але до цього часу всі розрахунки в технології машинобудування основані на статичному визначенні жорсткості.

Суттєвий недолік даного методу полягає в тому, що прикладання тільки постійного навантаження до окремих вузлів верстату в неробочому стані не

відображає дійсного стану системи, на яку в робочому режимі діють динамічні навантаження, що змінюються в певних межах від  $P_{min}$  до  $P_{max}$ .

Суттєві значення мають зазори і стики в з'єднаннях механізмів, які при статичному прикладанні навантаження показують один ефект, а при динамічному впливі – інший [14].

В ЕНІМС розроблено комплект обладнання для визначення АФЧХ верстату, який вимірює тензометричними і індуктивними датчиками збурюючу силу і викликані нею відносні переміщення елементів пружної системи в напрямі, який відповідає нормалі до оброблюваної поверхні. Запис результатів здійснюється за допомогою двокоординатного самописця [15].

Цей метод використовується в найпростіших випадках, оскільки сила різання має різноманітну направленість, що підвищує трудомісткість досліджень.

Ще одним явищем, яке впливає на якість обробки різанням, стійкість інструменту і надійність обладнання, є вібрація. Технологічна система вібрує з більшою чи меншою інтенсивністю майже в усіх випадках обробки металів різанням.

Всі коливні процеси в технологічній системі ЗШД можна розділити на дві основні групи: не пов'язані з процесом різання (група 1) і викликані безпосередньо процесом різання (група 2).

До групи 2 відносяться: вимушені коливання, викликані змінним січенням стружки і особливостями процесу стружкоутворення; автоколивання, які виникають при відсутності яких-небудь зовнішніх збурюючих сил [16].

Дослідженнями, які були проведені для виявлення природи автоколивань встановлено їх пряму залежність від сил різання, які під час процесу різання металу характеризуються змінними напрямом та величиною [2, 10, 15]. Нарешті, точне визначення сили різання обов'язкове в багатьох експериментально-теоретичних дослідженнях процесу різання — при вивченні процесу

стружкоутворення [9, 13, 14, 16], дослідженні динаміки зношування інструменту [12] і т.д.

Широке використання сила різання, як характеристика процесу механічної обробки, отримала в адаптивних системах керування металорізальним обладнанням [17], технологічними роботами [18] та ін. В результаті автоматичного контролю стану і заміни різального інструменту, що вийшов з ладу, стає можливим підвищити надійність процесу металообробки (визначити правильність протікання процесу металообробки, покращити якість оброблених деталей, здійснити автоматичне відновлення працездатності верстату при відмовах різального інструменту); скоротити кількість бракованих деталей; зменшити витрати різального інструменту; захистити механізми і вузли верстату від поломки і передчасної втрати точності; підвищити режими обробки.

## **2.2 Системи контролю стану різального інструменту**

Аналіз затрат на операціях механічної обробки показує, що впровадження системи автоматичного контролю стану різального інструменту забезпечує їх зниження до 40% .

В процесі обробки різальний інструмент зношується, в результаті чого змінюється його геометрія [17]. При збільшенні зносу різального інструменту будуть змінюватись і окремі складові сили різання і, відповідно, буде мінюватись навантаження на різальному інструменті.

Зношування інструмента відбувається в процесі різання внаслідок дії ряду факторів в зоні контакту різального інструмента з оброблюваною деталлю і з стружкою. Розрізняють наступні види зношування — абразивний, адгезійний, окислювальний, крихке і пластичне руйнування.

Досвід показує, що при роботі різального інструменту, зазвичай, діє декілька механізмів, причому початок їх дії зсунутий в часі, а інтенсивність змінюється в залежності від режиму роботи інструмента. Із збільшенням зносу

обов'язково відбувається зміна геометрії різальної кромки, що, виходячи із теоретичних передумов, повинно викликати зміни в часі окремих компонентів зусилля різання.

Як показують експерименти, розрахункові значення складових сили різання при обробці звичайних конструкційних сталей (у випадку різання інструментом зі зносом по задній поверхні 0,5—0,6 мм) потрібно збільшувати приблизно на 30-60% ( $P_x$ ), 20-60% ( $P_y$ ), і 2-20% ( $P_z$ ) [17].

Приведені залежності покладені в основу систем адаптивного керування металорізальним обладнанням. Теоретичні залежності не враховують всіх можливих змін умов роботи різального інструменту в реальних умовах виробництва, коли має місце коливання твердості матеріалу заготовки, неоднорідність припуску, випадкові збої в подачі змашувально-охолоджуючої рідини і ін., що в сукупності може давати значні зміни складових сили різання. Тому практична реалізація контролю зміни зусиль різання здійснюється з використанням різноманітних датчиків, які монтуються в традиційні вузли верстату.

На заводі "Герман Матерн" (Німеччина) розроблений пристрій комплексного вимірювання параметрів підшипників кочення. Конструкція підшипникового вузла дозволяє за допомогою півпровідникових тензодатчиків контролювати статичне і динамічне навантаження в опорі.

Система автоматичного контролю фірми "Promess" (Німеччина) здійснює контроль зміни сили різання шляхом вимірювання деформацій зовнішнього кільця підшипника в опорах шпіндельних вузлів токарних, фрезерних та ін. верстатів.

Фірмою "Sandik" (Швеція) використовується система контролю, яка вимірює зусилля в приводах подачі.

Фірмою "Krupp Vidia" (Німеччина) розроблена система контролю моделі Відатронік, яка випускається у виконаннях CCS (контроль перевантаження верстату), VCS (контроль перевантаження верстату і поломки інструменту),



WCS (контроль перевантаження верстату і зношення інструменту), BCS/WCS (контроль перевантаження верстату, поломки і зношення інструменту) [19].

За оцінками спеціалістів фірми, придбання системи контролю CCS окуповується навіть у разі виникнення одного випадку зіткнення рухомих частин верстату.

Контроль стану інструменту в системі BCS заснований на вимірюванні зусиль різання в період експлуатації різця. При цьому контролюється: знаходження контрольованого сигналу в межах допуску; відповідність фактичного зусилля заданому для кожного конкретного положення різального інструменту; динаміки зміни контрольованого сигналу.

На базі датчиків фірми "Kistler" (Швейцарія) розроблені системи контролю стану інструмента і процесів обробки "Tool Monitor System" і "Process Monitor System", в яких використовуються п'єзоелектричні датчики в вигляді вимірювальних пластин, вимірювальних кілець і ін [17]. За даними розробників, дані датчики встановлюються на токарних, розточних, фрезерних верстатах і оброблюючих центрах.

Система контролю стану різального інструменту моделі WZL автоматично формує сигнал про поломку інструмента на протязі декількох мілісекунд на основі даних про сили різання. При цьому забезпечується зупинка приводу подачі на протязі одного оберту шпінделя.

Факт виходу з ладу інструменту фіксується у випадку стрибкоподібного виходу значення зусилля різання за верхню або нижню допустиму границю.

На машинобудівному факультеті Токійського університету і в лабораторії технологічного проектування фірми "Komatsu" (Японія) розроблені два типи динамометрів, які монтуються на шпінделі верстату.

Динамометр оптичного типу і динамометр з тензометричними датчиками визначають осьову складову сили різання і крутний момент на шпінделі і передають інформацію за допомогою двох частотно-модульованих телеметричних пристроїв [20].

Методи контролю стану різального інструменту за зміною складових сили різання вважають найбільш досконалим, але при цьому проблема полягає у визначенні границь зміни сили різання при різних порушеннях працездатності.

Аналогічно, величина сили різання і її напрям, зокрема величина радіальної складової сили різання, визначаються як джерела інформації про точність обробки обробки і як регульований фактор в адаптивній системі контролю точності обробки різанням.

Значна кількість авторів в своїх роботах вважає силу різання одним із головних параметрів обробки різанням, що формує багато характеристик цього процесу.

Сила різання  $P$  визначається за величиною, напрямом і характером зміни багатьма параметрами процесу механічної обробки: швидкістю різання  $v$ , глибиною різання  $t$ , подачею  $S$ , міцністю і твердістю оброблюваного матеріалу, тертям в зоні контакту і іншими характеристиками.

Коливання цих параметрів викликають зміну сили різання  $\delta P$ , яка викликає появу вимушених коливань пружної оброблюючої системи.

В процесі роботи встановлюється квазіперіодичний динамічний коливний процес, оскільки в основну його гармоніку постійно вносяться аперіодичні збурюючі сили від зміни величин параметрів процесу  $\delta t$ ,  $\delta \sigma_B$ ,  $\delta f_T$  і ін.

В ході обробки сила  $P$  постійно росте і призводить до втрати якості процесу. Ріст можливий до досягнення силою значення  $P$ .

Являючись похідною від прийнятих вхідних параметрів, сила різання відноситься до числа основних вихідних параметрів процесу механічної обробки і одночасно сама визначає всі вихідні параметри процесу. Значення складових сили різання визначаються, звичайно, на основі залежностей отриманих експериментальним шляхом.

Наприклад, формула для розрахунку значення головної складової сили різання при точінні у встановленому режимі має вигляд [4].

$$P_z = C_{p1} t^{xp} s^{yp} v^{zp} .$$

Розрахунок складових  $P_x$  і  $P_y$  здійснюється аналогічно.

В той же час, не потрібно забувати, що ці емпіричні залежності отримані досить давно, коли рівень технічних засобів знаходився незрівняно нижче нинішнього, тому в багатьох випадках результати розрахунків вже не задовільняють потреб виробництва.

Отже, аналіз вказує, що різання металів залишається основним видом одержання деталей машин і приладів, особливо при високих вимогах до їхньої точності. При цьому дослідження процесів, які відбуваються при обробці різанням, повинні забезпечити потреби виробництва, оснащеного високоточним і високопродуктивним обладнанням, що керується адаптивними мікропроцесорними системами керування.

Сила різання є найбільш інформативним параметром процесу механічної обробки, який широко використовується в найрізноманітніших аспектах дослідження та контролю процесу обробки матеріалів різанням.

В зв'язку з цим, роботи направлені на підвищення ефективності досліджень зусиль різання, їх вимірювання та реєстрації на сьогодні залишаються актуальними, а вибір сили різання в якості діагностичної ознаки стану металорізального інструменту є достатньо обґрунтованим.

### **2.3 Методики вимірювання сил різання**

Вказана вище система розкладу сили різання на її складові в деякій мірі визначає і методи вимірювання, історія розвитку яких досить тривала і бере свій початок з дослідів Кокіля при свердлінні (1848 р.) і дослідів Тіме при струганні (1870 р.).

Кількість різновидів і конструкцій вимірювальних засобів надзвичайно велика, але в кінцевому рахунку може бути зведена до п'яти методів вимірювань:

- метод зрівноважування;
- метод гальмування;
- метод затраченої потужності;
- метод пластичної деформації взірця;
- метод пружної деформації.

Використання зусиль різання в якості комплексного показника роботи технологічної системи ВПД (верстат-пристрій-інструмент-деталь), в т. ч. в адаптивних ситемах керування [19], викликає потребу в таких методах та технічних засобах, які дозволяють проводити вимірювання сили різання з достатньою точністю в режимі реального часу з передачею результатів загальній системі керування верстатом [19].

Враховуючи сказане, аналіз методів та засобів вимірювання будемо проводити за такими основними критеріями:

- точність;
- придатність для автоматичної роботи в реальному режимі часу.

Метод зрівноважування, при якому вимірювана сила порівнюється з відомою протилежно напрямленою силою в момент рівноваги, тобто коли прискорення рівне нулю, є єдиним прямим і найточнішим методом вимірювання сили різання. Точність даного методу обмежується тільки тертям в опорах вимірювального пристрою.

В "чистому" вигляді цей метод придатний тільки для вимірювання крутного моменту при обробці отворів. Низька точність результатів не оправдовує використання цього методу при точінні, фрезеруванні, струганні [1]. Крім того недоліком метода врівноважування є громіздкість вимірювального пристрою і незручність вимірювань, а також непридатність для використання в автоматичному режимі роботи.

В методі гальмування вимірювання проводиться в два етапи. Спочатку здійснюється власне різання і реєстрація за допомогою електровимірювальних приладів потужності або сили струму, що споживаються з мережі електродвигуном. Потім замість оброблюваної деталі на шпінделі закріплюється тормоз з силовимірювальним пристроєм.

Без зміни швидкості обертання шпінделя тормоз навантажується до того часу, поки покази вимірювального приладу, ввімкненого в коло живлення двигуна, не будуть відповідати показам в момент різання. Після цього за показами силовимірювального приладу визначається крутний момент при гальмуванні, від якого вираховується величина сили різання.

Неточність даного методу зумовлена зміною характеру навантаження шпінделя в робочому режимі і при гальмуванні [1]. Крім цього метод потребує громіздкий вимірювальний пристрій і не піддається автоматизації.

Метод затраченої потужності полягає у визначенні сили різання за величиною затрат потужності в процесі обробки. Цей метод отримав поширення за рахунок своєї простоти і доступності. За затраченою потужністю  $N_{\Sigma}$ , Вт, визначають ефективну потужність  $N_e$ , Вт, а потім силу різання за формулою

$$N_e = N_{\Sigma} \cdot \eta_d \cdot \eta_v = \frac{P_z V}{60} \quad (2.1)$$

де  $\eta_d$  – коефіцієнт корисної дії двигуна,

$\eta_v$  – коефіцієнт корисної дії верстата,

$P_z$  - головна складова сили різання,

$V$  - швидкість різання, м/хв.

Недолік методу — його досить низька точність. Причиною є невизначеність коефіцієнтів корисної дії  $\eta_d$  і  $\eta_v$ . Крім того даний метод не дозволяє визначити інші складові сили різання. Метод дозволяє використання в автоматичних системах.

Метод пластичної деформації взірця допускає, що середнє значення сили різання може бути визначене за ступенем пластичної деформації еталону.

Але в реальних умовах динамічного навантаження результати не будуть відповідати статичному навантаженню на твердомірі. Додаткові ускладнення вносить нелінійність навантажувальних характеристик пристрою. Крім того одночасне вимірювання, трьох складових сили різання в даному пристрої неможливе, внаслідок неминучих при цьому спотворень відбитків. Метод не можливо використати в автоматичних системах.

Метод пружної деформації приймає за міру сили різання викликану нею величину пружної, а не пластичної деформації. Оскільки сила тут визначається не шляхом порівняння з іншою силою, а за викликаним нею побічним наслідком — пружною деформацією, то принципово метод пружної деформації залишається менш точним ніж метод врівноважування. Але цей недолік проявляє себе тільки тоді, як порушується лінійність зв'язку між силою і деформацією.

Це явище спостерігається при високих частотах коливання сили різання, та низькій жорсткості пружної ланки динамометра, коли деформація стає функцією не тільки сили, але й частоти її зміни. Ці особливості повинні враховуватись при розробці конкретних вимірювальних систем [1].

Аналіз літературних джерел [1, 2, 12, 19] показав, що метод пружної деформації сьогодні є найбільш поширеним.

Використання цього методу робить можливим:

- не лише визначати середнє значення сили, але і фіксувати її зміни в часі;
- одночасно вимірювати декілька складових сили різання;
- виконувати вимірювальні пристрої у вигляді компактних і зручних для обслуговування динамометрів;
- в широких межах регулювати чутливість динамометрів;
- досягти лінійності навантажувальних характеристик динамометрів.

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Функціональна схема системи діагностування металорізального інструменту

На основі проведеного попереднього аналізу була сформульована задача – розробити систему діагностування стану металорізального інструменту, яка включає комплекс апаратних і програмних засобів для вимірювання і аналізу діагностичної ознаки зусиль, що виникають в процесі обробки різанням.

Система діагностування створена на базі універсального динамометра УДМ, використовуючи вже існуючий силовий датчик і повністю замінивши електронно-вимірювальну апаратуру. Для побудови системи було використано 4-х компонентний силовий датчик УДМ-600, який забезпечує перетворення миттєвих значень сил різання і крутного моменту в діапазоні від 0 до 500 Гц з похибкою не більше 10%. Більш детальний конструктивний опис приводиться нижче. Потрібно також враховувати, що за даними попередніх дослідників інформативний частотний діапазон зміни сил різання лежить в межах 0-3 кГц.

Приймаючи за основу попередній досвід, прийняті вже рішення сформулюємо вимоги до конструкції і функціональних можливостей системи:

- базова ЕОМ — персональний IBM-сумісний комп'ютер;
- вимірювання трьох складових сили різання і крутного моменту;
- вимірювання зусиль різання, зміна яких відбувається з частотою 0 – 500Гц, в режимі реального часу;
- можливість розширення верхньої межі частотного діапазону до 3кГц;
- зберігання та вивід інформації в числовому та графічному вигляді;
- забезпечення можливості математичного моделювання процесу різання на основі одержаних експериментальних даних.

Для реалізації поставлених завдань було вирішено систему діагностування виконати у вигляді мікропроцесорної обчислювальної системи. Аналогова частина забезпечує прийом аналогових досліджуваних сигналів по кожному з 4-х каналів, приведення їх до нормалізованого вигляду і ввід в аналого-цифровий перетворювач. Подальша обробка сигналів здійснюється в цифровому вигляді.

Організація у вигляді мікропроцесорної системи є найбільш доцільною за сучасних умов розвитку техніки і забезпечує простоту компоновки та експлуатації, зручність в користуванні, точність та швидкість обробки результатів досліджень, можливість функціонального розширення за рахунок розробки додаткового програмного забезпечення.

Конструктивно система складається з трьох окремих частин з'єднаних між собою електричними кабелями. До її складу входять: датчик силовимірний універсального динамометра УДМ-600 (ДС); IBM-сумісний персональний комп'ютер класу АТ 486 або вище (ПК); електронний блок спряження (БС).

ДС призначений для перетворення зусиль різання і крутного моменту в пропорційні їм електричні сигнали.

ПК виконує: керування процесом вимірювання; прийом миттєвих числових значень зусиль різання в реальному часі; зберігання їх; числову обробку результатів вимірювання; виведення результатів в графічному або числовому вигляді на екран або тверду копію; розрахунки математичних моделей; оформлення документації та вивід її на друк. Орієнтація на використання в якості мікропроцесорного контролера автоматизованого комплексу персонального IBM-сумісного комп'ютера класу АТ 486, виправдана тим, що комп'ютери даного типу ще дуже поширені в Україні. В той же час програмне забезпечення, розроблене для цих машин, може без змін використовуватись на більш сучасних комп'ютерах типу.

БС забезпечує стикування ПК з ДС і виконаний у вигляді окремого зовнішнього блоку. Перевага такого конструктивного рішення в тому, що зовнішній блок може бути під'єднаний до будь-якого комп'ютера без його



розкривання на місці проведення досліджень і не потребує для цього спеціальних навичок.

Для зв'язку БС з ПК вирішено використати стандартний паралельний інтерфейс "Centronics", яким, поряд із послідовним інтерфейсом RS-232, оснащується кожний ПК. Недоліком такого з'єднання є порівняно невелика віддаль передачі інформації, рекомендована довжина кабеля до 3-х метрів. Але у порівнянні з інтерфейсом RS-232, "Centronics" має набагато простішу електронну схему, простіший в експлуатації і, головне, забезпечує значно більшу швидкість передачі даних.

На БС в запропонованій схемі організації вимірювальної системи покладено виконання наступних функцій:

- \* прийом аналогових сигналів по кожному з 4-х каналів від первинних перетворювачів;
- \* приведення сигналів до нормалізованого вигляду;
- \* комутація аналогових сигналів на вході АЦП;
- \* аналогово-цифрове перетворення сигналу;
- \* подача цифрового коду на вхід комп'ютера;
- \* прийом і передача керуючих сигналів комп'ютера.

Рис. 3.1 зображає функціональний зв'язок між окремими елементами системи. В ДС містяться чотири первинних тензорезисторних перетворювачі зусилля різання в електричні сигнали.

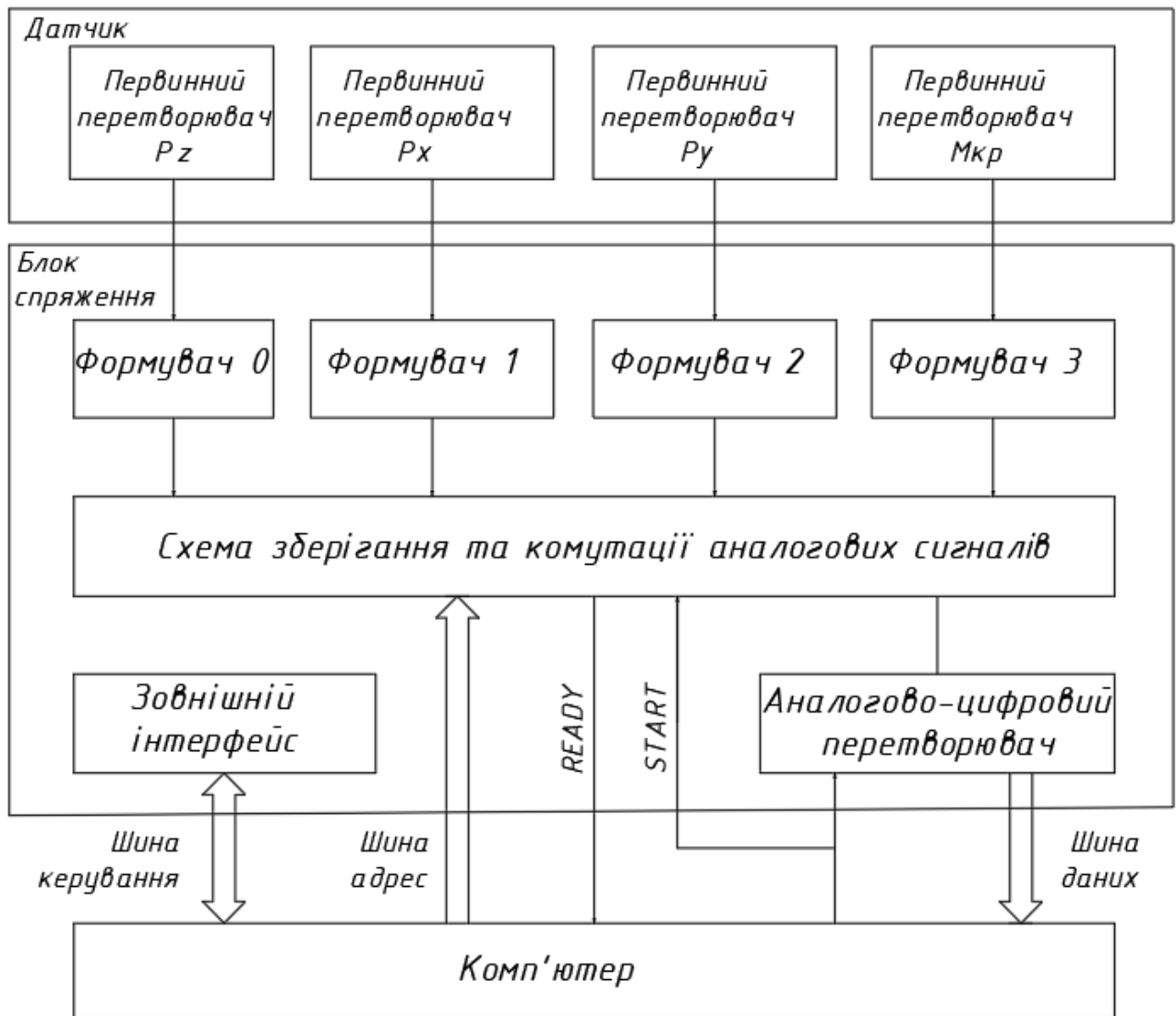


Рис. 3.1 – Функціональна схема системи комплексу дослідження стану металорізного інструменту

Кожний перетворювач приєднаний до окремого каналу БС. Сигнали з ДС, які поступили на входи БС нормалізуються, тобто підсилюються і приводяться до напруги  $-5...+5$  В, в спеціальних схемах формування аналогових сигналів. Нормалізовані аналогові сигнали подаються на входи схеми зберігання та комутації аналогової сигналів. Комутатор здійснює вибір і приєднання відповідного каналу до входу АЦП за командою з комп'ютера. АЦП перетворює цей сигнал в цифрову форму і передає його на входи інтерфейса "Centronics".

Схема зберігання забезпечує зберігання аналогових сигналів у всіх чотирьох каналах одночасно до повного завершення одного вимірювального циклу. З входів інтерфейсу "Centronics" інформація зчитується в пам'ять комп'ютера або виводиться на екран у графічному вигляді. Входи і виходи інтерфейсу використовуються також для вводу і виводу керуючих дискретних сигналів, що дозволяє виконувати за допомогою БС деякі функції автоматичного регулювання або керування.

### **3.2 Вибір та аналіз конструкції основних компонентів системи діагностування**

Із трьох окремих блоків два є серійними виробами і ніяким переробкам не підлягають, їхні конструктивні особливості розглядаються виключно для розробки третьої складової частини системи — блока спряження.

*Універсальний динамометр УДМ конструкції ВНДІІ.* Динамометр призначений для вимірювання сил різання при різних видах обробки металу. За допомогою динамометра можна одночасно вимірювати три взаємно перпендикулярні сили  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  і крутний момент  $M$ .

Позначення сил, вимірюваних динамометром, співпадає з позначенням сил при точінні. Покази динамометра за силами  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  не залежать від того, в якій точці буде прикладена сила різання.

В комплект динамометра входять такі пристрої:

- силувимірний датчик;
- різцетримач для токарного різця;
- столик для кріплення заготовки;
- тензометричний підсилювач 4АНЧ22;
- щит приладів;

- світлопроменевий осцилограф;

- з'єднувальні кабелі;

Силувимірний давач конструкції ВНДІІ [1] є прикладом електричного пружного динамометра з великим попереднім натягом, випускається серійно і часто використовується в наукових дослідженнях. Різцетримач розміщений на 16 пружних опорах (схема на рис. 3.2.). Кожна опора складається з тонкостінної втулки і двох ніжок. Ніжки утворюють два пружних шарніри. Така конструкція опори забезпечує велику жорсткість в напрямі її осі і малу жорсткість в напрямі, перпендикулярному до осі (відношення жорсткостей приблизно 100:1).

Завдяки цьому опори в силиви-мірному датчику сприймають навантаження тільки в одному напрямі — вздовж осі опори. Кожна опора має попередній натяг, величина якого приблизно на 10% перевищує половину допустимого навантаження опори.

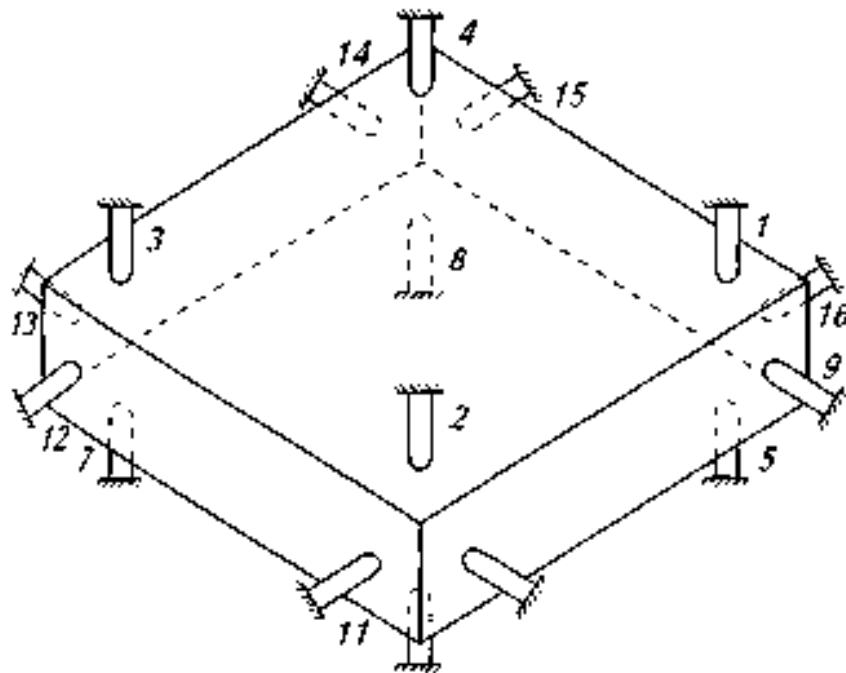


Рис. 3.2 – Схема розміщення давачів динамометра УДМ

На втулки опор наклеєні дротяні тензорезистори з базою 10 мм і номінальним опором 100 Ом кожний. На опори, осі яких розміщені вертикально, наклеєно по одному тензорезистору, які об'єднані в схему вимірювання сили  $P_z$ . На опори, осі яких розміщені горизонтально, наклеєно по два тензорезистори: перші тензорезистори об'єднані в схему вимірювання сил  $P_y$  і  $P_x$ , другі — в схему вимірювання  $-M_{кр}$ . Тензорезистори включаються в вимірювальні схеми (рис. 2.3) таким чином, щоб сигнал на виході являв собою алгебраїчну суму реакцій в опорах. При такому включенні тензорезисторів покази динамометра не залежать від точки прикладання сили.

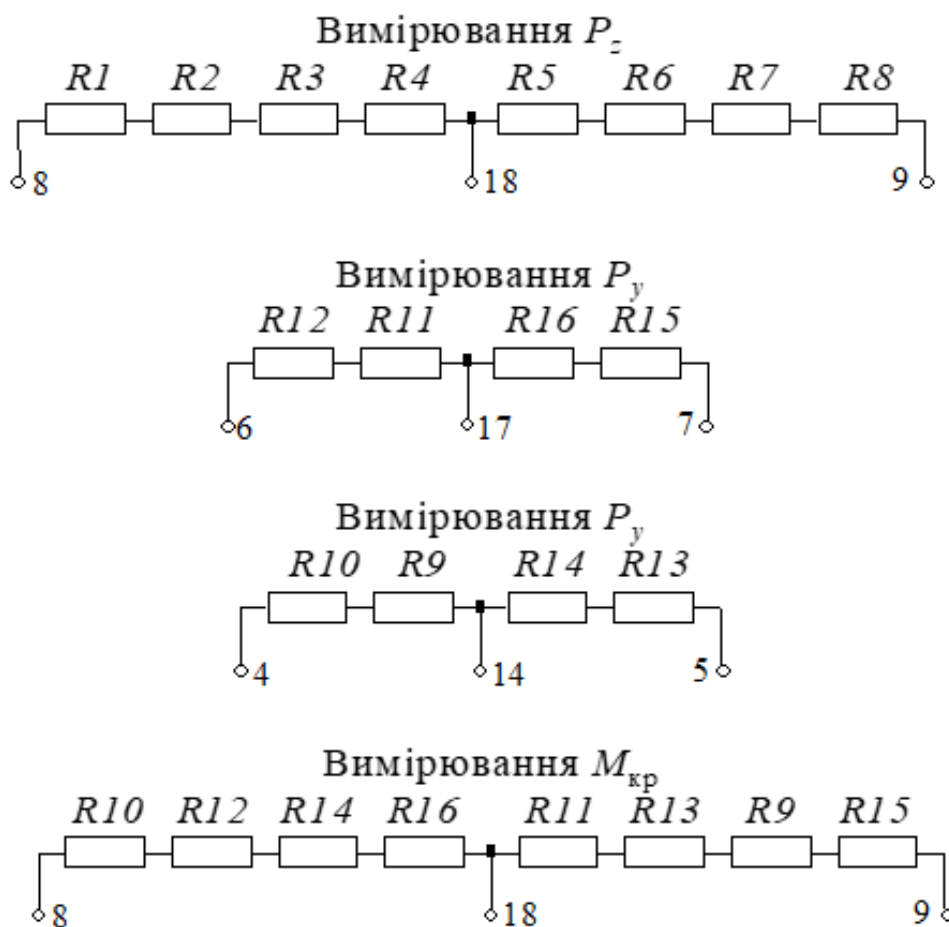


Рис. 3.3 – Схема з'єднань силовимірного датчика УДМ

Отже, аналіз конструкції показує, що в силовимірному датчику розміщуються чотири вимірювальні схеми, які являють собою половини

вимірювальних мостів. Сумарний номінальний опір одного плеча в схемі вимірювання  $P_z$  і  $M_{кр}$  становить 400 Ом, а в схемах вимірювання  $P_y$  і  $P_x$  - 200 Ом.

### 3.3 Розробка структурної і принципової електричної схеми блоку спряження

Сьогодні існує надзвичайно велика кількість приладів контролю, призначених для роботи з тензометричними датчиками. Зважаючи на те, що питання підключення тензодатчиків є достатньо глибоко пророблене, процес вибору структурної схеми зводиться до конструктивного підбору і адаптації відомих схемних рішень до наших конкретних умов.

Оскільки сигнали на виходах тензорезисторів є дуже малими, то найбільш придатним є включення тензодатчика в мостову схему. Первинні перетворювачі в силовимірному датчику складають тензометричний півміст. Для з'єднання в мостову схему в блоці спряження встановлюються додаткові постійні резистори R1...R8.

Для функціонування електронної вимірювальної схеми необхідно подати на неї електричну напругу. Є два можливих варіанти: перший — підключення до системи живлення комп'ютера, другий — автономне живлення.

Перший варіант дозволяє спростити загальну конструкцію блоку спряження за рахунок відсутності блока живлення. Недоліки даного варіанту: додаткове навантаження на блок живлення комп'ютера, яке при підключенні 4-х тензометричних мостів буде досить значним; відсутність гальванічної розв'язки між комп'ютером і вимірювальною системою, яка працює в умовах механічного і електричного контакту з корпусом металорізного обладнання.

Організація автономного живлення знімає додаткове навантаження з блока живлення комп'ютера, дозволяє гальванічно розв'язати живлення вимірювальної системи і комп'ютера, але потребує додаткових затрат на виготовлення.

Другий варіант є більш прийнятним для розроблюваної системи, як надійніший і безпечніший в експлуатації. В конструкції блока живлення передбачається наявність джерела опорної напруги ДОН для живлення вимірювальних мостових схем силовимірного датчика.

Структурні схеми вимірювальних систем та їх елементів достатньо розроблені і приведені в спеціальній літературі. Типовими є схеми приведені на рис. 3.4. На основі структурної схеми, рис. 3.4а, виконаний серійний модуль вводу-виводу аналогових сигналів ЕС 1841.0100 та інші аналогічні розробки.

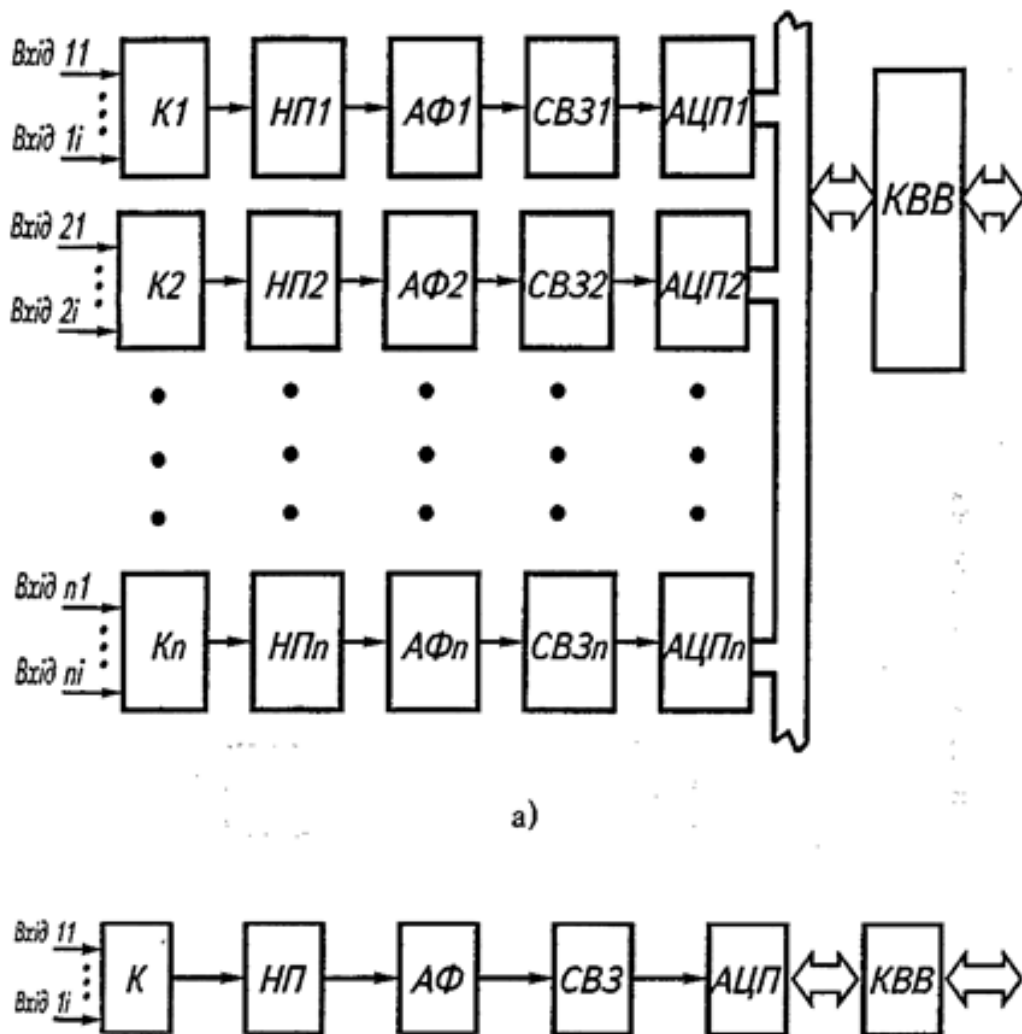


Рис. 3.4 – Типові структурні схеми модуля вводу аналогових сигналів:

- а) багатоканальна система при наявності декількох паралельних АЦП;
- б) багатоканальна система з одним АЦП.

К – комутатор аналогових сигналів; НП – нормуючий підсилювач;

АФ – аналоговий фільтр; СВЗ – схема вибірки і зберігання;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач; КВВ– контролер вводу-виводу

Використання декількох АЦП, які виконують перетворення одночасно для декількох каналів, забезпечує високу швидкодію вимірювальної системи, але при цьому значно ускладнюється її конструкція і підвищується вартість.

Суттєвий недолік схеми, приведеної на рис. 2.46, полягає в тому, що тільки прийом інформації з декількох каналів здійснюється послідовним перемиканням їх за допомогою комутатора К, то отримані залежності будуть зсунуті одна відносно іншої на сумарний час одного вимірювання. При визначенні динамічної результуючої сили різання, як суми трьох її складових, виникає додаткова похибка вимірювання.

Для розробленої конструкції блока спряження за основу прийнята приведена типова схема, рис. 3.4 б, з деякими змінами (див. рис. 3.5).

Електричні сигнали (полярність сигналу залежить від напрямку дії сили) пропорційні складовим  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  і крутному моменту  $M_{кр}$  з тензометричних мостових схем поступають на диференційні підсилювачі ПД1 -ПД4, які виконують попереднє підсилення сигналів, далі на нормуючі підсилювачі НП1 - НП4, які електричні сигнали приводять до рівня  $-5...+5$  В. Сформовані сигнали поступають на входи схем вибірки і зберігання СВ31 - СВ34.

Елементи ПД1, ПІ і СВ31 складають аналоговий канал з номером 0. Решта елементів складають аналогічні аналогові канали з номерами 1, 2, 3.

Аналого-цифровий перетворювач АЦП здійснює перетворення аналогового сигналу напругою  $-5...+5$  В на вході в двійковий код на виході. Підключення відповідного аналогового каналу на вхід АЦП здійснюється комутатором аналогових сигналів КАС. Для узгодження вхідного опору АЦП і вихідного опору КАС передбачений повторювач ПІ. Схема вводу-виводу СВВ здійснює прийом і передачу цифрової інформації між інтерфейсом комп'ютера і елементами блоку спряження.



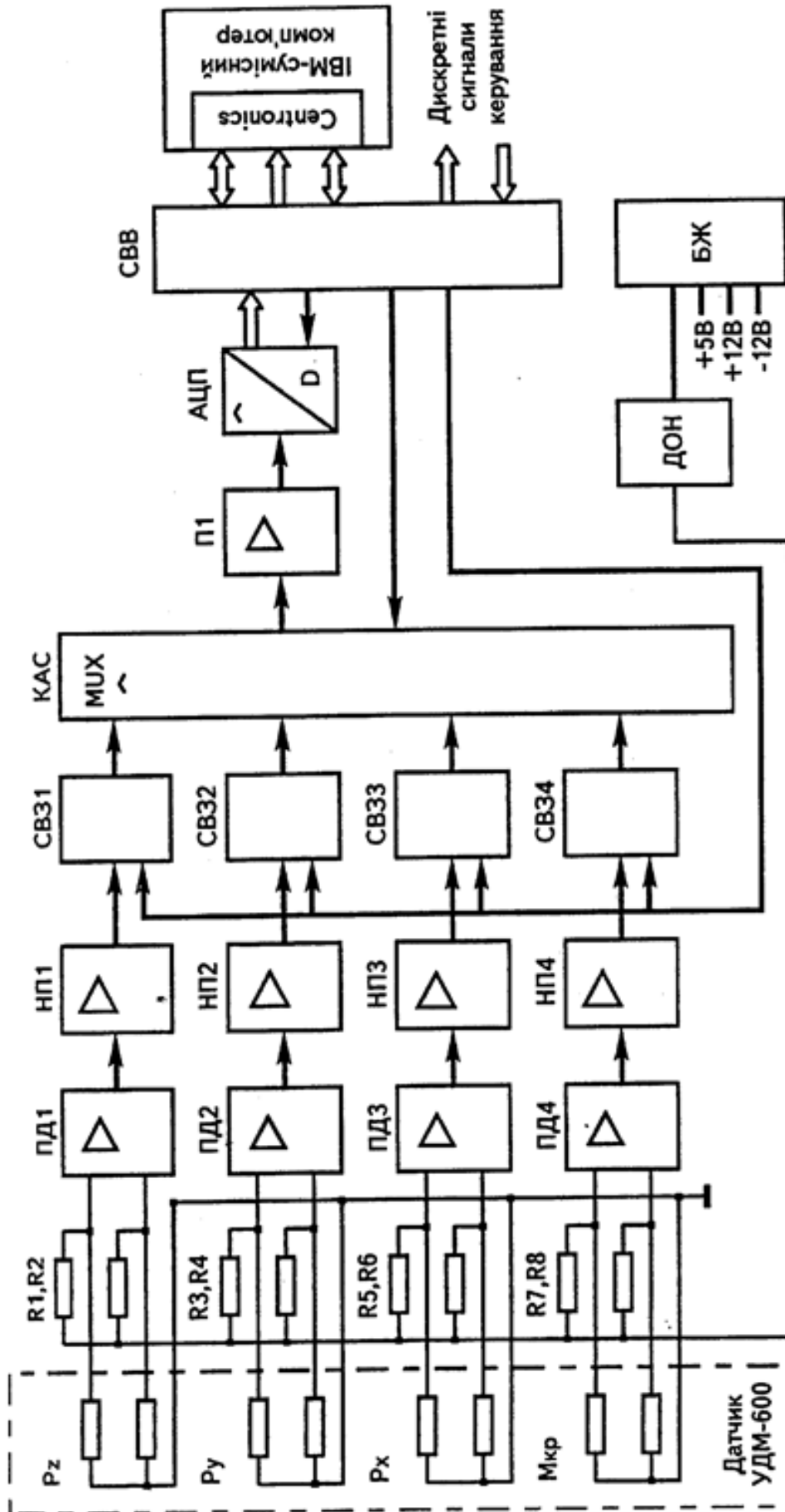


Рис. 3.5. Типова схема блоку спряження

Легко бачити, що запропонована нами структурна схема блока спряження відрізняється від типової відносним положенням комутатора аналогових сигналів КАС, який розміщений безпосередньо перед АЦП і, як результат, наявністю окремих вимірювальних каналів для кожної складової сили різання.

Чотири окремих аналогових канали дозволяють здійснювати їх індивідуальну настройку для кожної складової (встановлення нуля і коефіцієнту підсилення) з метою одержання оптимальних режимів роботи блока спряження. Цим зменшується похибка квантування сигналів. За рахунок наявних в кожному каналі схем вибірки і зберігання СВВ1-СВВ4 захоплення сигналів відбувається у всіх вимірювальних каналах одночасно і режим зберігання продовжується до завершення повного вимірювального циклу, який включає в себе перетворення значення напруги в цифрову форму по всіх підключених каналах. Цим забезпечується зменшення динамічної похибки при визначенні рівнодійної складових сили різання.

Вибір конкретного схемного рішення здійснювався нами з міркувань простоти конструкції, низької вартості і достатності для забезпечення задовільних робочих характеристик комплексу.

Включення тензочувливих елементів силовимірного датчика УДМ в вимірювальний місток Уітстона (рис. 3.6) є задане самою конструкцією датчика і за рекомендаціями – найбільш доцільне.

Вихідна напруга такої схеми (рис. 2.6,а):

$$u = \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot U_s \quad (3.1)$$

Залежність опору окремого тензорезистора описується рівнянням

$$R_v = R_0 \left( 1 + \frac{\Delta R_v}{R_0} \right) = R_0 (1 + K \varepsilon_v); \quad v = 1, \dots, 4 \quad (3.2)$$

де  $R_v$  – опір тензорезистора при нульовому навантаженні;

$\varepsilon_v$  – відносна деформація (для дротяних тензорезисторів номінальні значення становлять біля 0,1%);

$K$ - коефіцієнт тензочутливості (для дротяних тензорезисторів  $K = 2$ ).

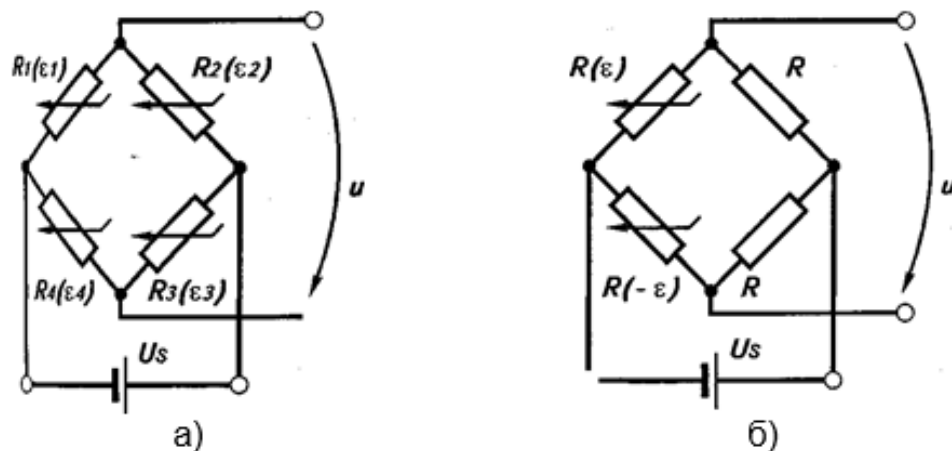


Рис. 3.6 – Міст Уїтстона як сумуюча схема для давачів з тензорезисторами

а – принципова схема; б – принципова схема підключення давача УДМ

Принципова схема включення датчика УДМ відповідає рис.2.6,б

Визначення орієнтовних параметрів мостових схем в каналах вимірювання складових сили різання проводимо розрахунковим шляхом.

Розрахунок вимірювальної схеми для  $P_x$  ( $P_y$ ):

1. Номінальний опір тензорезисторів в схемі (див. рис.2.3,2.4), Ом

$$R_0 = R_9 = R_{10} = R_{13} = R_{14} = 100$$

2.. Опір плечей вимірювального моста (схема на рис. 2.66), Ом:

$$R = 2R_0; \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} R(\varepsilon) &= R_9(\varepsilon_9) + R_{10}(\varepsilon_{10}) = R_0(1 + K\varepsilon_9) + R_0(1 + K\varepsilon_{10}) = \\ &= R_0(2 + K(\varepsilon_9 + \varepsilon_{10})) \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} R(-\varepsilon) &= R_{13}(\varepsilon_{13}) + R_{14}(\varepsilon_{14}) = R_0(1 + K\varepsilon_{13}) + R_0(1 + K\varepsilon_{14}) = \\ &= R_0(2 + K(\varepsilon_{13} + \varepsilon_{14})) \end{aligned} \quad (3.5)$$

3. Напряга на виході схеми, В:

$$\begin{aligned} u &= \left( \frac{R(\varepsilon)}{R(\varepsilon) + R} - \frac{R(-\varepsilon)}{R(-\varepsilon) + R} \right) \cdot U_s = \\ &= \left( \frac{R_0(2 + K(\varepsilon_9 + \varepsilon_{10}))}{R_0(2 + K(\varepsilon_9 + \varepsilon_{10})) + 2R_0} - \frac{R_0(2 + K(\varepsilon_{13} + \varepsilon_{14}))}{R_0(2 + K(\varepsilon_{13} + \varepsilon_{14})) + 2R_0} \right) \end{aligned} \quad (3.6)$$

Враховуючи, що конструкцією датчика забезпечуються залежності  $\varepsilon_9 = -\varepsilon_{14}$  і  $\varepsilon_{10} = -\varepsilon_{13}$ , буде справедлива рівність

$$\varepsilon_9 + \varepsilon_{10} = -(\varepsilon_{13} + \varepsilon_{14}) = \varepsilon \quad (3.7)$$

Тоді з формули (2.6) отримаємо:

$$u = \left( \frac{2 + K\varepsilon}{4 + K\varepsilon} - \frac{2 - K\varepsilon}{4 - K\varepsilon} \right) \cdot U_s = \frac{4K\varepsilon}{16 - K^2\varepsilon^2} U_s \quad (3.8)$$

Для розрахунків при малих значеннях деформації може бути використана спрощена формула

$$u = \frac{K\varepsilon}{4} U_s \quad (3.9)$$

Одержана залежність (2.9) справедлива також і для вимірювальної схеми при умові, що

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 = -(\varepsilon_5 + \varepsilon_6 + \varepsilon_7 + \varepsilon_8) \quad (3.10)$$

Оцінимо величину вхідних сигналів, які поступають від датчика на вході інцидентних підсилювачів. Номінальне значення деформації в процесі вимірювань для кожного тензорезистора приймаємо  $\varepsilon_N = 5 \cdot 10^{-4}$ , оскільки кожна опора динамометра має попередній натяг, рівний приблизно половині максимально допустимого для опори навантаження.

Для каналів вимірювання  $P_x$  і  $P_y$  при напрузі живлення моста  $U_s = 5$  В максимальне можливе значення корисного сигналу на вході електронної схеми рівне:

$$u_{\max} = \frac{2K\varepsilon_N}{4} U_s = \frac{2 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{4} \cdot 5 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ В} \quad (3.11)$$

Аналогічно для каналів вимірювання  $P_z$  і  $M_{\text{кр}}$ :

$$u_{\max} = \frac{2K\varepsilon_N}{4} U_s = \frac{4 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{4} \cdot 5 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ В} \quad (3.12)$$

За результатами проведених розрахунків коефіцієнти підсилення електронної схеми повинні бути: в каналах  $P_x$  і  $P_y$  —  $K_U > 2000$ , в каналах  $P_z$  і  $M_{\text{кр}}$  —  $K_U > 2000$ . Отримані значення вираховані для максимально допустимих значень деформації тензодатчиків і тому дають тільки орієнтовні уявлення про необхідні параметри електронної схеми. Конкретні робочі параметри конструкції уточнювались в процесі проектування експериментальним шляхом.

З метою забезпечення такого великого коефіцієнту підсилення було вирішено використати операційні підсилювачі (ОП). Для зменшення температурного дрейфу підсилення сигналу здійснюється за двокаскадною

схемою. Перший каскад являє собою диференційний підсилювач з порівняно невеликим коефіцієнтом підсилення і забезпечує попереднє підсилення сигналу.

Література пропонує декілька типових схем диференційних підсилювачів різного рівня складності (рис. 3.7).

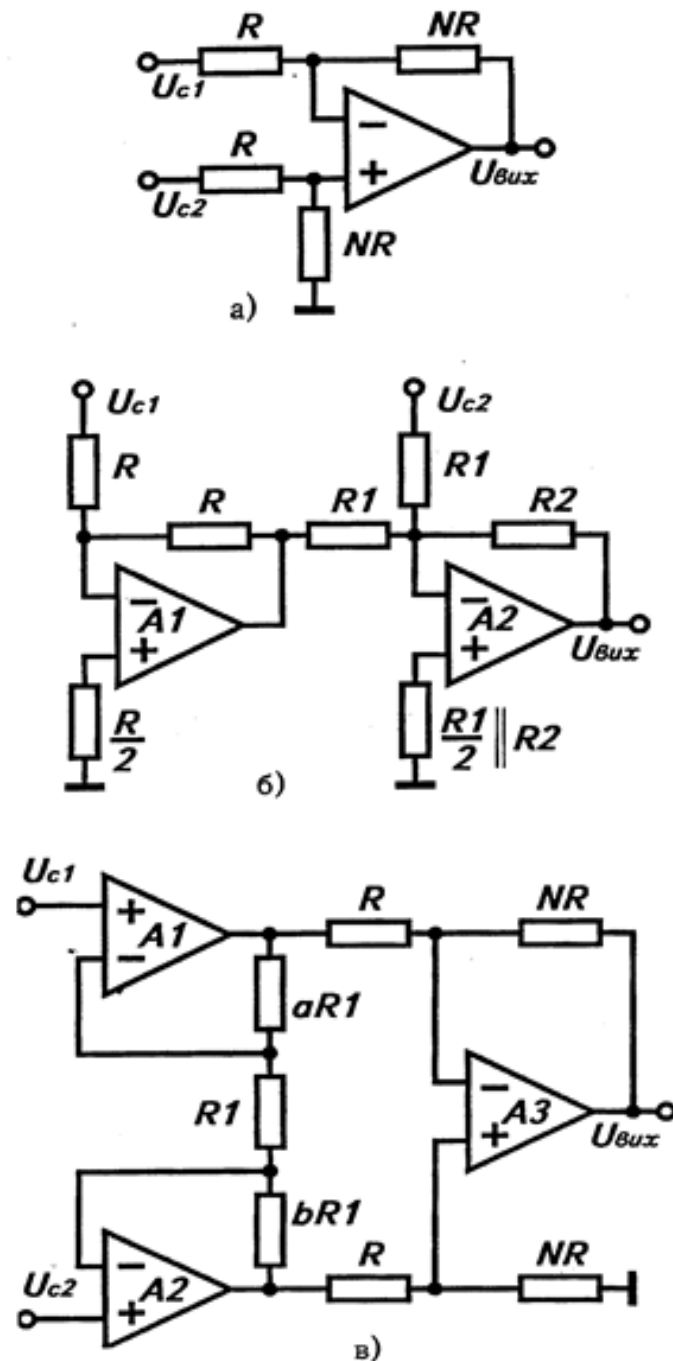


Рис. 3.7 – Типові варіанти диференційного включення операційних підсилювачів

Найпростіший диференційний підсилювач рис. 3.7,а має низький вхідний опір, який визначається опором включених на вході резисторів. Тому при роботі від високочастотного сигналу виникають похибки, пов'язані з перерозподілом вхідного сигналу.

Схема рис. 3.7,б являє собою вимірювальний підсилювач з двома диференційними входами, але з одним виходом. Похибка, пов'язана з ослабленням синфазного сигналу, в такій схемі практично знищується, але всі інші похибки підсилювачів додаються. Якість схеми залежить від характеристик підсилювачів, підбору резисторів і величини синфазного сигналу.

Схема рис. 3.7, в являє собою інструментальний підсилювач і характеризується надвисоким вхідним опором. Але при цьому має підвищення рівня напруги зміщення на виході схеми і збільшення похибки, пов'язаної з дрейфом параметрів, за рахунок того, що вхідні підсилювачі мають одиничне підсилення.

Отже, схемні рішення рис. 3.7,б, в за своїми характеристиками є дещо кращі від схеми рис. 3.7,а. Але ці схеми є конструктивно складнішими, а якісний результат може бути досягнутий тільки при наявності високоточних і узгоджених між собою комплектуючих, що підвищує вартість конструкції та її виготовлення.

Оскільки перед нами стоїть завдання обробки низькочастотного сигналу, який поступає з низькоомного вимірювального моста, то схема рис. 3.7,а на одному ОП буде достатньою для потреб технічних вимірювань, при цьому вона є проста і може бути виготовлена з наявних комплектуючих загального призначення. Аналогічне схемне рішення використане для вимірювання зусиль різання в роботі [18].

Диференційний підсилювач блока спряження виконаний за схемою рис. 3.8, яка є рекомендованою для підключення до збалансованої низькоомної мостової резистивної схеми, у джерела живлення якої є заземле на точка. Вихідна напруга ОП в цій схемі

$$U_{\text{вих}} = \frac{(U_{c2} - U_{c1})R_{oc}}{R_1} \quad (3.13)$$

З метою забезпечення кращих характеристик схеми вирішено використати ОП 140УД14, який є універсальним підсилювачем, але при цьому характеризується високим показником зниження синфазного сигналу і порівняно низьким тепловим коефіцієнтом дрейфу. Повна технічна характеристика ОП приведена в додатку 1.

На основі попередніх розрахунків і подальших експериментальних даних коефіцієнт підсилення даного каскаду прийнятий рівним

$$K_{oc1} = \frac{R_{oc}}{R_1} = \frac{68 \text{ кОм}}{1,5 \text{ кОм}} = 45,3 \quad (3.14)$$

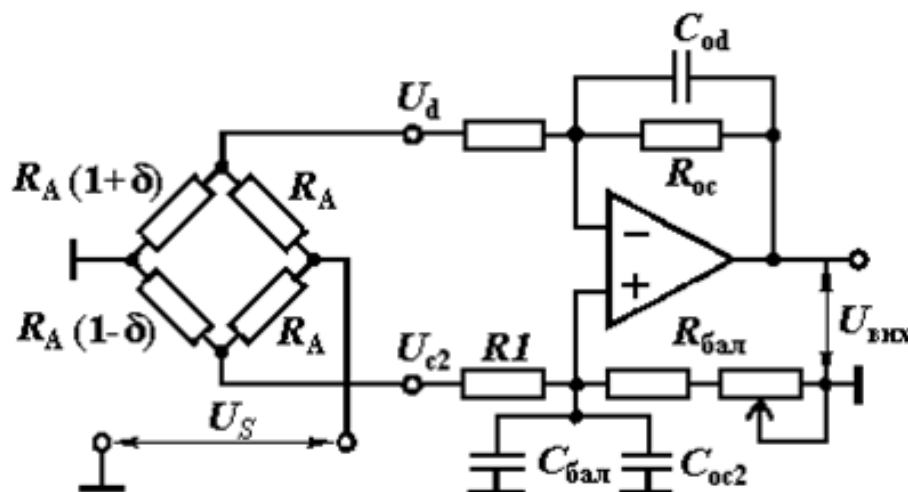


Рис. 3.8 – Принципова схема підключення ОП до низькоомного заземленого моста

Другий каскад підсилення зібраний за рекомендованою типовою схемою рис. 3.9 і являє собою інвертуючий підсилювач постійного струму з регульованим коефіцієнтом підсилення. Вихідна напруга такої схеми визначається залежністю



$$U_{\text{вих}} = -U_c \frac{R_{\text{oc}}}{R_1} \quad (3.15)$$

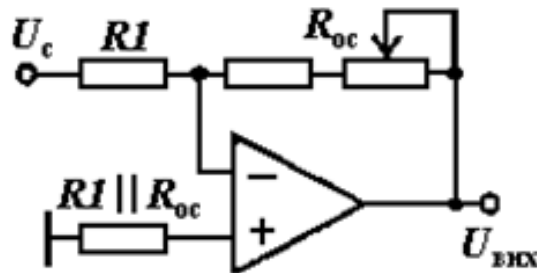


Рисунок 3.9 – Схема інвертуючого включення ОП з регулюванням коефіцієнту підсилення

Використаний в конструкції блока спряження ОП 140УД6 також є універсальним ОП підвищеної точності, не потребує зовнішніх ланок частотної корекції, що спрощує конструкцію в цілому.

Коефіцієнт підсилення цього каскаду є змінним і прийнятою конструкцією забезпечується на рівні

$$K_{\text{oc2}} = \frac{R_{jc}}{R_1} = \frac{120 \dots 340 \text{кОм}}{165 \text{кОм}} = 80 \dots 22666,7 \quad (3.16)$$

Інші елементи, які входять до складу аналогової частини, є стандартними інтегральними мікросхемами і використовуються в типовому включенні. Дані елементи не приймають участі в перетвореннях сигналів, вони мають коефіцієнт підсилення рівний 1, а виконують функції комутації і узгодження сигналів.

Схема вибірки і зберігання аналогового сигналу зібрана на спеціалізованій мікросхемі 1100СК2 [26] в типовому включенні. В якості комутатора використовується мікросхема 590КН2 [26]. Для узгодження високоомного виходу комутатора з низькоомним входом АЦП між ними передбачено встановлення ОП 140УД6, включеного за схемою повторювана. Основні технічні характеристики деяких мікросхем приведені в додатку 1.

Отже, конструкція аналогового каналу забезпечує сумарний коефіцієнт підсилення вхідного сигналу

$$K_{oc\Sigma} = K_{oc1} \cdot K_{oc2} = 45,3 \cdot (80 \dots 226,7) = 3624 \dots 10270. \quad (3.17)$$

При таких параметрах за формулами (3.11) і (3.12) забезпечується вимірювання відносних деформацій опор силового датчика в діапазонах: для складових  $P_x$  і  $P_y$ .

$$\Delta E_N = (0 \div 2,8 \cdot 10^{-4}) \dots (0 \div 9,7 \cdot 10^{-5}),$$

для складової  $P_Z$  і крутного моменту  $M_{кр}$

$$\Delta E_N = (0 \div 1,4 \cdot 10^{-4}) \dots (0 \div 4,9 \cdot 10^{-5}).$$

Якщо врахувати, що встановлений в конструкції 10-ти розрядний АЦП (детальний опис далі за текстом) забезпечує 1024 рівні квантування вхідного сигналу, то ціна поділки вимірювання відносної деформації, в залежності від коефіцієнту підсилення, становить:

для складових  $P_x$  і  $P_y$ .

$$\delta E_N \approx 2,8 \cdot 10^{-7} \dots 9,7 \cdot 10^{-7}$$

для складової  $P_Z$  і крутного моменту  $M_{кр}$

$$\delta E_N \approx 1,4 \cdot 10^{-7} \dots 4,9 \cdot 10^{-8}$$

Основним елементом блока спряження є АЦП. Головним чином, вибором цього елемента визначаються основні характеристики — швидкодія і точність вимірювальної системи в цілому.

Для спрощення конструкції приладу було вирішено використати один із серійних АЦП в інтегральному виконанні. Номенклатура АЦП, які випускаються вітчизняною промисловістю, досить обмежена. За способом перетворення розрізняють АЦП подвійного інтегрування, послідовного наближення і паралельної дії.

АЦП подвійної дії характеризуються високою точністю і стійкістю до і перешкод, але мають великий час перетворення [26]. Для вимірювання зидкозмінних процесів в динамічних системах АЦП даного типу не прийнятні. Найменший час перетворення у АЦП паралельної дії.

Для мікросхеми 1107ПВ4 він становить 30нс. Але точність перетворення нижча, оскільки АЦП 8-розрядний. АЦП даного типу можуть використовуватись для вимірювання сигналів частотою до 7 МГц. Такі АЦП досить складні у виготовленні тому мають велику вартість.

Проміжне положення займають АЦП послідовного наближення, їхня швидкодія досягає 1 мкс/слово при точності дискретизації  $1/2^{10}$  (мікросхема 1108ПВ1 А).

За своїми параметрами АЦП послідовного наближення цілком задовольняють вимогам, які поставлені нами до конструкції блока спряження. Найкраще підходять для наших потреб мікросхеми 1108ПВ1А і 1113ПВ1А. В конструкції нами використано АЦП 1113ПВ1А. Ця схема являє собою 10-ти розрядний АЦП послідовного наближення з часом перетворення не більше 30 мкс і містить внутрішнє джерело опорної напруги і тактовий генератор, що значно спрощує конструкцію приладу, підвищує його точність і надійність.

За паспортними даними похибка перетворення даного АЦП не перевищує 0,1%. АЦП рекомендується до використання в мікропроцесорних системах.

Схема вводу-виводу (СВВ) являє собою цифрову електронну схему, яка виконує функції зберігання результату останнього перетворення в паралельному 8-ми розрядному регістрі 555ІР22, передачу даних до комп'ютера через паралельний інтерфейс за допомогою логічних елементів 555ЛА8, ввід і вивід сигналів керування.

Команда на запис даних в регістр забезпечується одновібратором на мікросхемі 155АП, який виробляє один повний імпульс довжиною 1 мкс по спаду сигналу готовності даних з виходу мікросхеми 1113ПВ1А.

СВВ сигналів керування роботою блока спряження збирається на елементах логіки 555ЛА8, 555ЛА4, 555ЛА3 і забезпечує передачу керуючих сигналів із комп'ютера до елементів блока спряження, передачу сигнала готовності від АЦП, ввід-вивід цифрових сигналів керування зовнішнім обладнанням, узгодження та буферизацію сигналів керування.

### 3.4 Розрахунок продуктивності і точності системи діагностування

Продуктивність системи розраховується шляхом оцінки повного часу, затраченого на один вимірювальний цикл. Загальні витрати часу на керування процесом залежать від кількості підключених вимірювальних каналів.

Час  $t_{\text{ацп}}$ , який витрачається системою на аналого-цифрове перетворення, визначається за часовою діаграмою зображеною на рис. 3.10. Він становить 32 мкс. Затримка, пов'язана з виконанням команди виводу (OUT) для запуску перетворення і команди вводу (IN) для визначення готовності даних, розраховується для комп'ютера класу PC/AT (процесор 80286, тактова частота 6,8 МГц, тривалість команд 3 такти).

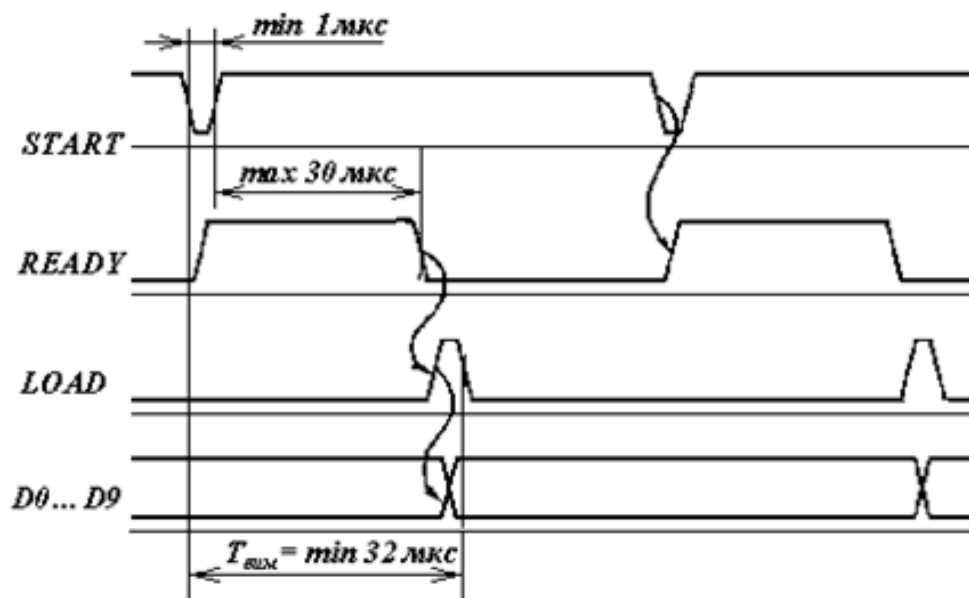


Рис. 3.10 – Часова діаграма роботи АЦП блока спряження

Бюджет часу для вводу по одному каналу

Час вибірки СВЗ (при  $C_{зб} = 100$  пФ)

Час апертурної затримки СВЗ

Час аналого-цифрового перетворення

Час виконання команд OUT і IN

Повний час одного вимірювального циклу

Максимальна продуктивність 2631 цикл/с

Бюджет часу для вводу по чотирьох каналах

Час вибірки СВЗ(при  $C_{зб} = 100$  пФ) 5 мкс

Час апертурної затримки СВЗ 0,1 мкс

Час 4-х перемикань аналогового комутатора 2 мкс

Час 4-х аналого-цифрових перетворень 128 мкс

Час виконання 4-х команд OUT і IN 3,6 мкс

Повний час одного вимірювального циклу 138,7 мкс

Максимальна продуктивність 7209 цикл/с

Одержані числа відображають, виключно, апаратні витрати часу і не враховують витрати часу керуючої програми.

**Розрахунок точності.** Для розрахунку точності системи використовується перелік основних джерел похибок, починаючи від аналогового входу до цифрового виходу.

#### Бюджет похибок

Невизначеність напруги СВЗ 0,1%

Похибка спаду напруги СВЗ 0,01%

Невизначеність квантування АЦП 0,2%

Похибка лінійності АЦП 0,2%

Повна похибка 0,51%

## 4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Сьогодні програмне забезпечення є складовою частиною багатьох апаратно-програмних комплексів, систем діагностування, будь якого технологічного обладнання, зокрема технологічних трубопроводів енергетичних установок, надійність яких є однією з найважливіших задач паливно-енергетичного комплексу.

Для будь-якої системи (обладнання, виробу) характеризується періодичними інтервалами експлуатації, коли вона виконує свої функції, і інтервалами, коли з певних внутрішніх причин цього не може зробити. Поняття надійності виникло з необхідності оцінки рівня довіри до системи і її здатності працювати протягом необхідного часу з встановленою якістю.

Більшість відмов електронної апаратури мають випадковий характер і обумовлені різними факторами, такими як вологість, температура, вібрація, недосконалість технологічних процесів, неоднорідність матеріалів і т.д. Оскільки передбачити появу і ступінь впливу цих факторів на процес нормального функціонування можливо тільки з певною вірогідністю, теорія надійності використовує математичний апарат теорії ймовірності.

Ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  протягом заданого інтервалу часу  $t$  є основним кількісним критерієм для оцінки надійності пристроїв. Надійність об'єднує безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережаність. Причинами ненадійності систем можуть бути недоліки схемних рішень та неправильний підбір елементів.

Ці причини враховуються ще на етапі проектування, тому важливо проводити оцінку надійності систем під час їх розробки. Завданням розрахунку надійності обладнання є визначення показників, що характеризують його безвідмовність та ремонтпридатність. Загальний процес розрахунку має наступні етапи:

- Визначення критеріїв та видів відмов обладнання
- Визначення показників надійності, які підлягають оцінці.
- Аналіз функціонування системи.
- Отримання математичної моделі.
- Розробка загальної математичної моделі, що зв'язує показники надійності з характеристиками надійності елементів.
- Підбір даних за показниками надійності.
- Вибір відповідних даних для врахування у розрахунках.
- Виконання розрахунку та аналіз результатів:

Аналіз отриманих результатів з метою визначення надійності системи. Цей процес допомагає забезпечити високу надійність системи та виявити можливі ризики та проблеми ще на етапі проектування.

Так, справді, склад перерахованих етапів у значній мірі залежить від вибраних критеріїв відмов та показників надійності. При розробці технічних засобів особливо важливо визначити такі показники надійності, як середнє напрацювання на відмову та ймовірність безвідмовної роботи протягом встановленого часу.

У випадку розробки системи управління, ключовим є визначення коефіцієнта готовності чи простою системи. Для багатофункціональних систем часто достатньо проаналізувати надійність основних функцій. Дані для розрахунку показників надійності елементів зазвичай вибирають за паспортними даними або з довідників.

Згідно з рекомендаціями для кваліфікаційної роботи, розрахунок показників надійності доцільно здійснювати для одного з основних за функціональним призначенням вузлів. Обираючи такий вузол (вузол детального проектування), важливо, щоб він був не занадто складним, але мав автономність, легко виділявся з системи і мав завершені властивості та характеристики. У даному випадку в якості вузла детального проектування обрано аналого-

цифровий перетворювач, який розглядається як прилад, що проектується в даному розділі.

У загальному випадку визначення ймовірності безвідмовної роботи для будь-якого часового інтервалу може бути складним завданням. Однак для складної апаратури, яка включає в себе багато різних елементів, часто достатньо знати величину середнього напрацювання на відмову, позначену як

$$T_0 = \frac{\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n}{n}.$$

Інтенсивність відмови характеризує середню кількість відмов в одиницю часу і вимірюється у відмовах на годину. Для розроблюваного вузла детального проектування (ВДП), важливими видами відмов можуть бути:

- Відмови типу "неспрацювання": Спостерігаються при надходженні одного з керуючих сигналів.
- Відмови типу "хибне спрацювання": Виникають при відсутності активних рівнів керуючих сигналів.

Ці види відмов можуть бути характерними для таких схем. Вивчення інтенсивності відмови та середнього напрацювання на відмову є важливими етапами при аналізі надійності технічних засобів.

Визначення інтенсивності відмов елементів в нормальних умовах їх функціонування виконується за допомогою спеціальних таблиць характеристик, які можна знайти у відповідних джерелах (див. таблицю 4.1). При розрахунку надійності пристрою в цілому найчастіше розглядають випадок, коли окремі елементи, ланки і каскади структурної (логічної) схеми для виконання своїх функцій включаються послідовно з частковим коректуванням шляхів передачі сигналів.

У даному випадку структурна (логічна) схема, яка базується на аналізі функціонування вузла детального проектування (ВДП), не включає резервних елементів.



Таблиця 4.1 - Значення інтенсивностей відмов елементів і пристрою

Найменування і тип елементу	К-ть елем., шт	Номін. інтенс. відмови $\times 10^{-6}$ , 1/год	Поправочні коефіцієнти							Інтенс. відмови групи ел-тів, $\lambda \times 10^{-6}$ , 1/год
			$k_T$	$k_D$	$k_{\text{воп}}$	$k_H$	$k_{\text{рез}}$	$k_A$	$k_O$	
Аналогова МС	7	0,008	1,5	1	1,5	1	1	2	1	0,252
Цифрова МС	1	0,07	1,5	1	1,5	1	1	2	1	0,315
Резистор постійний	11	0,05	1,5	1	1,5	1	1	2	1	2,475
Конденсатор постійний	6	0,005	1,5	1	1,5	1	1	2	1	0,135
Плата (гетинакс)	2	0,01	1,5	1	1,5	1	1	2	1	0,09
Пайка	154	0,01	1,5	1	1,5	1	1	2	1	6,93
Загальна інтенсивність відмови пристрою $\lambda_{\Sigma} \times 10^{-6}$ , 1/год										10,197

Отже, якщо припустити статистичну незалежність і випадковість відмов елементів, від яких залежить роботоздатність ВДП, то загальна ймовірність безвідмовної роботи може бути визначена за допомогою виразу:

$$P_{\text{заг}}(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t).$$

Відповідно,

$$\lambda_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

де  $P_i$  – безвідмовна робота певних елементів;

$\lambda_i$  – інтенсивність відмови для кожного елемента.

Цей вираз ґрунтується на припущенні, що відмови елементів відбуваються незалежно одна від одної, що є типовим для багатьох систем.

Урахування впливу різних факторів на надійність радіоапаратури виконується за допомогою поправочних коефіцієнтів. Найпоширеніший та практичний метод передбачає використання поправочних коефіцієнтів за наступним виразом:

$$\lambda_i = \lambda_{\text{ном}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_m,$$

де  $\lambda_{\text{ном}}$  – номінальне (паспортне) значення для нормальних умов роботи;  
 $k_i$  – поправочні коефіцієнти на  $m$ -тий дестабілізуючий фактор (див. таблицю 5.1).

За допомогою цих поправочних коефіцієнтів можна урахувати вплив різноманітних факторів на надійність радіоапаратури та здійснювати оцінку її роботи в різних умовах експлуатації.

Розрахунок очікуваної надійності апаратури включає наступні етапи:

- Розробка структурної (логічної) схеми пристрою та ідентифікація елементів, відмова яких може спричинити відмову всього пристрою.
- Створення таблиці умов і режимів роботи для елементів та визначення їх результуючої інтенсивності відмов.
- Використання значень інтенсивності відмов, отриманих з таблиці 5.1, для розрахунку сумарної інтенсивності відмов пристрою.

Розрахунок середнього напрацювання на відмову за допомогою відповідної формули.

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{10,197} \cdot 10^6 = 98068,59 \text{ год}$$

Врахування якості апаратури, де ймовірність безвідмовної роботи в інтервалі заданого часу визначається за відповідною формулою.

$$P(t) = \frac{\frac{1}{\lambda_{\Sigma}}}{T_p + \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}} \cdot e^{-t \cdot \lambda_{\Sigma}},$$

Цей процес дозволяє оцінити надійність та якість роботи апаратури за різних умов експлуатації.

Приймаючи  $T_p=24$  години, отримуємо залежність ймовірності безвідмовної роботи пристрою від часу (див. рисунок 4.1).

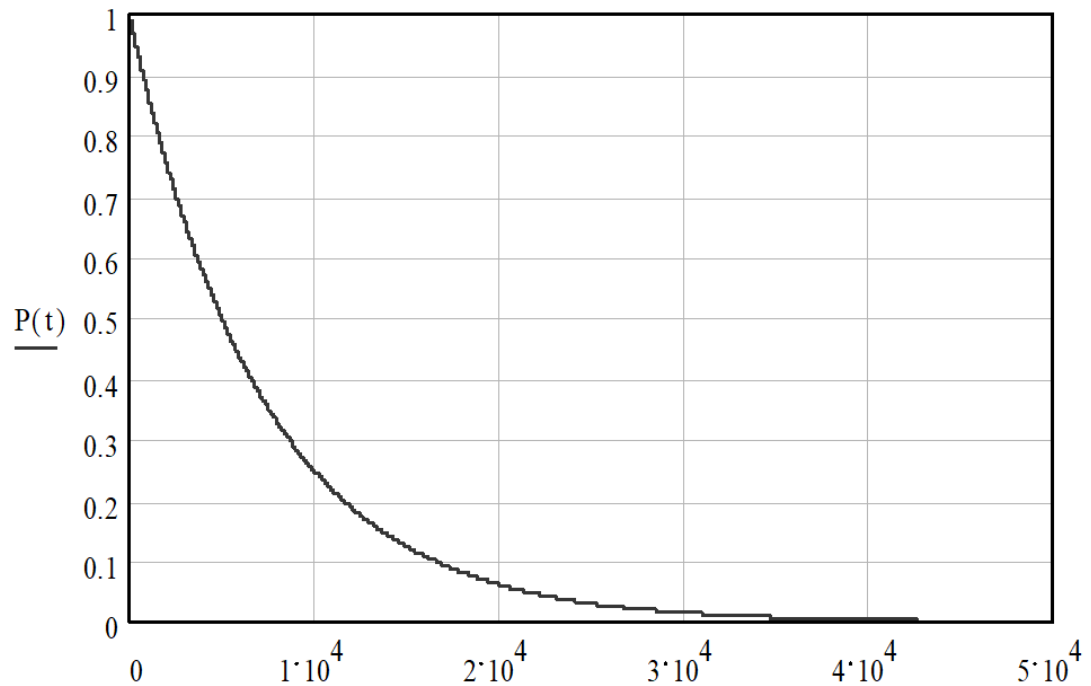


Рис. 4.1 - Ймовірність безвідмовної роботи пристрою

Підставивши обчислені значення у формулу

$$Q(t) = 1 - P(t)$$

отримаємо графік ймовірності виникнення відмов протягом часу  $t$ , який подано нижче (див. рисунок 4.2).

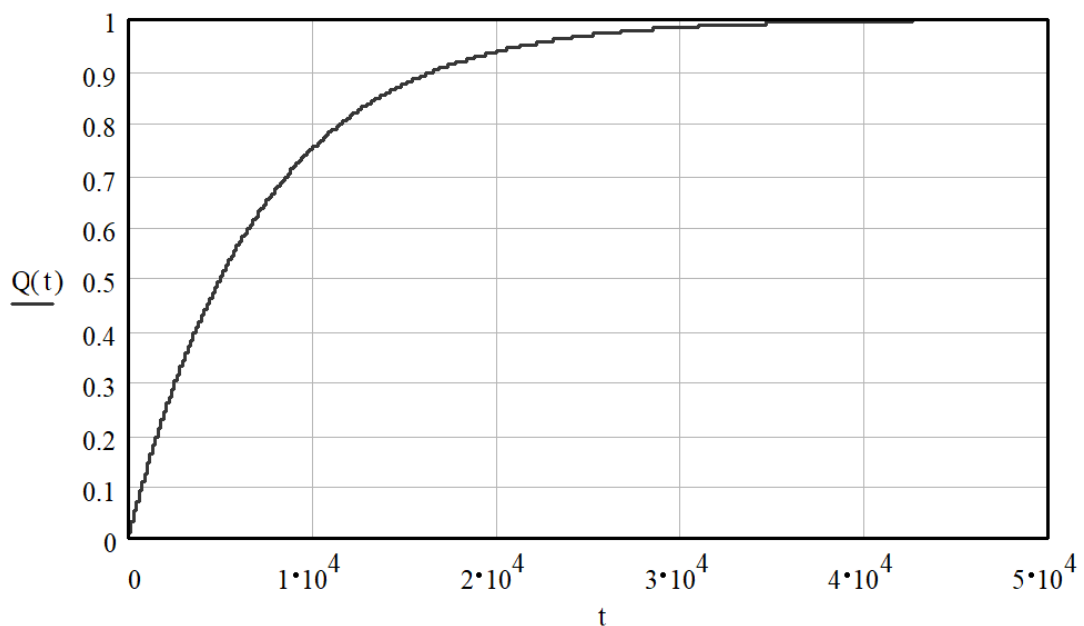


Рис. 4.2 – Ймовірність відмови пристрою

Отримані для даного вузла детального проекту (ВДП) показники надійності відповідають вимогам до відповідних показників усієї системи, яка розробляється. Таким чином, можна зробити висновок, що з точки зору теорії надійності і технічної діагностики цей ВДП відповідає своєму функціональному призначенню.

## 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Одним із основних компонентів будь-якої комп'ютерної системи є програмне забезпечення (ПЗ). Без ПЗ неможливе функціонування вимірювальної системи взагалі і тільки наявність якісного ПЗ дозволяє в повній мірі реалізувати її потенційні можливості. При використанні даного автоматизованого комплексу нами використовується ПЗ спеціальне, яке забезпечує роботу з блоком спряження і файлами результатів вимірювань, і загального вжитку, яке використовується для математичного моделювання і оформлення звітної документації.

Основу спеціального ПЗ складають керуюча програма асп\_1 для роботи безпосередньо з блоком спряження в режимі вимірювання і програма роботи з файлами даних асп\_2. Поділ на дві окремі програми обумовлений бажанням зменшити об'єм керуючої програми, оскільки решта вільної пам'яті може бути використана для вводу даних вимірювань. Програми розроблені за допомогою програмного пакету Borland C++ з використанням елементів програмування мов C і Assembler. Вибір цих засобів програмування дозволяє досягти максимальної ефективності розроблених програм за рахунок поєднання можливостей високого і низького рівнів програмування.

Керуюча програма асп\_1 має два режими роботи:

- режим вимірювання, який забезпечує вибір і настройку вимірювальних каналів, керування блоком спряження в режимі вимірювання, вивід результатів на екран монітора без запам'ятовування, вивід результатів в файл;
- режим перегляду, який дає можливість виводу на екран в графічному вигляді одержаних експериментальних даних.

Блок-схема головної функції програми асп\_1 зображена на рис. 5.1. Як видно, її основним призначенням є організація зв'язку між окремими частинами програми і об'єднання їх в один виконавчий модуль.

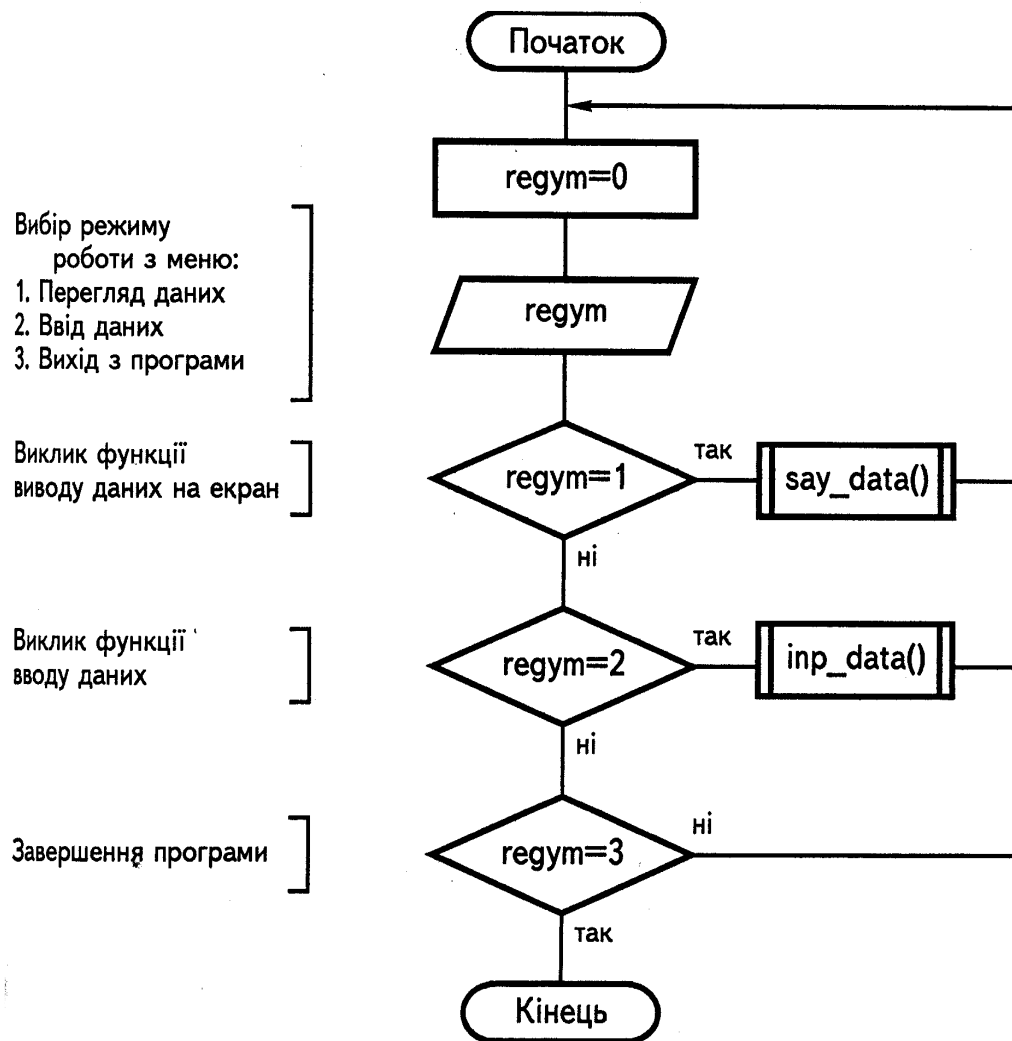


Рис. 5.1 – Блок-схема головної функції програми asr\_1

Для перегляду на екрані монітора даних з файлу викликається функція `say_data()` (блок-схема на рис. 5.2), операції, пов'язані з вводом даних від блока спряження, виконуються функцією `inp_data()` (блок-схема на рис. 5.3).

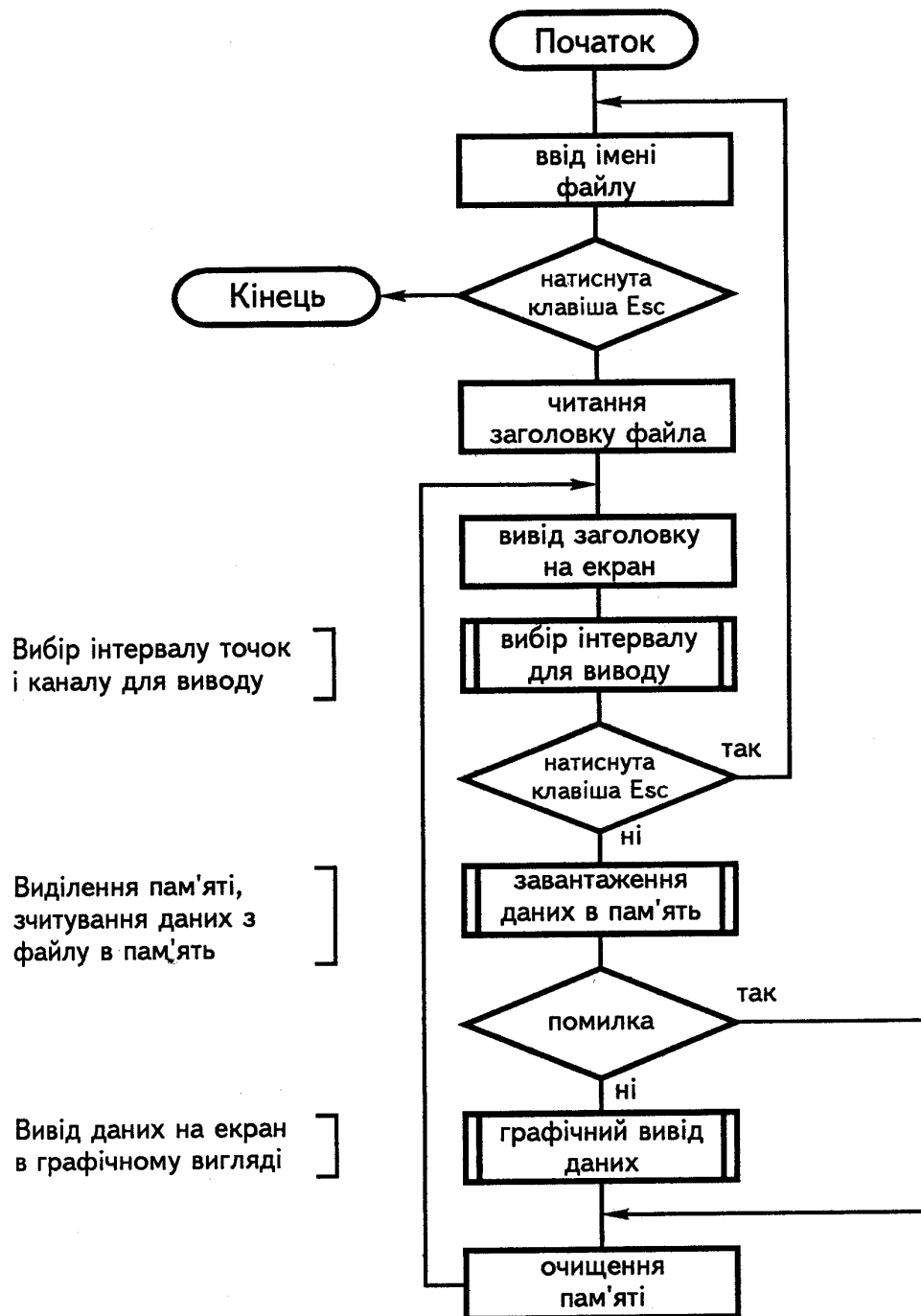


Рис.5.2 – Блок-схема функції say\_data() програми asr\_1

Функція say\_data() дає можливість в ході експерименту переглянути на екрані в графічному вигляді результати вимірювання по вибраному каналу у вибраному інтервалі точок.

В функції inp\_data() реалізуються три режими роботи:

- настройка системи;

- ввід аналогової інформації з записом в файл — функція `read_data_to_file()` (блок-схема на рис. 5.4);

- ввід аналогової інформації з графічним виводом на екран без збереження — функція `read_data_to_screen()` (блок-схема на рис. 5.5).

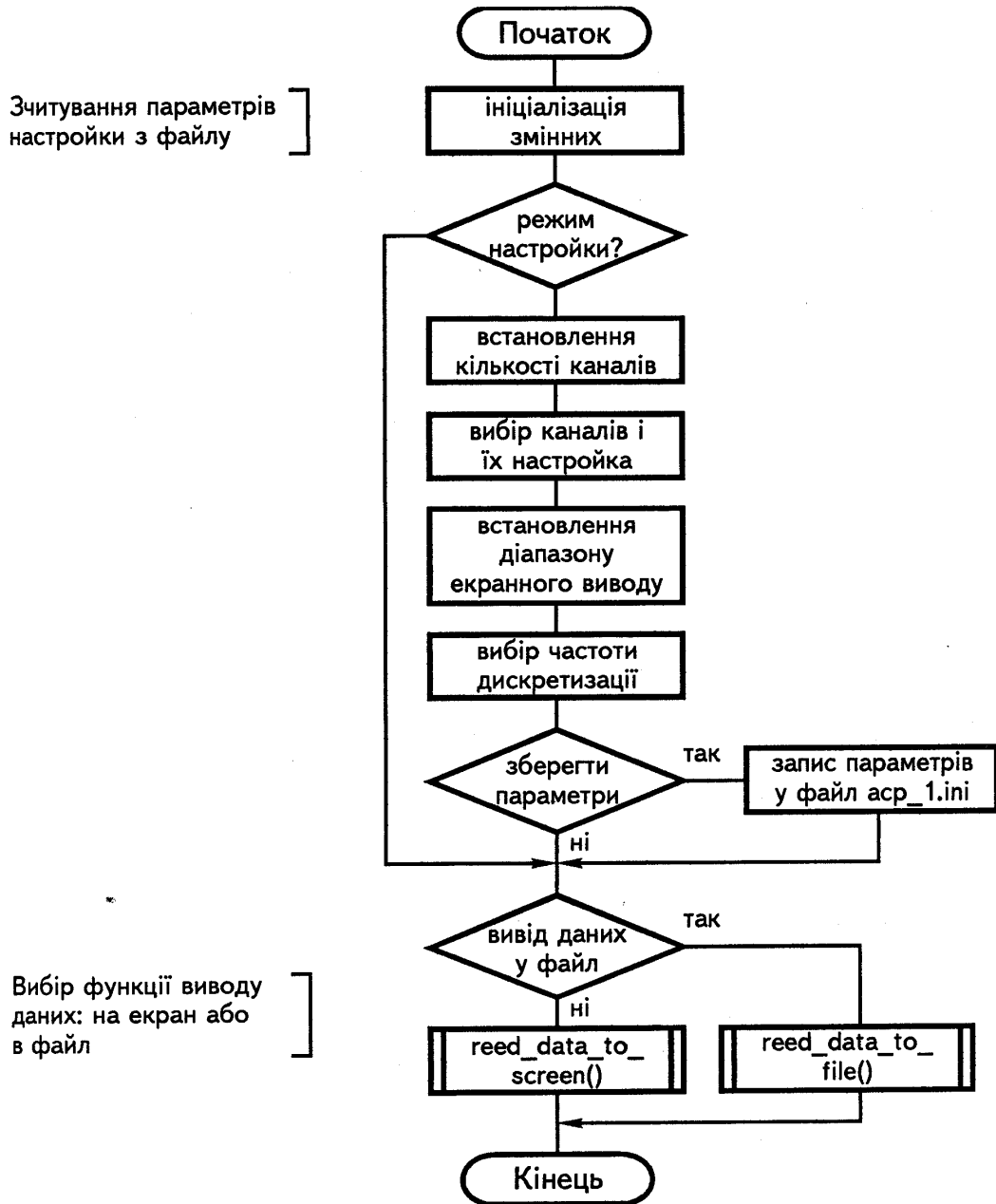


Рис. 5.3 – Блок-схема функції `inr_data()` програми `asr_1`



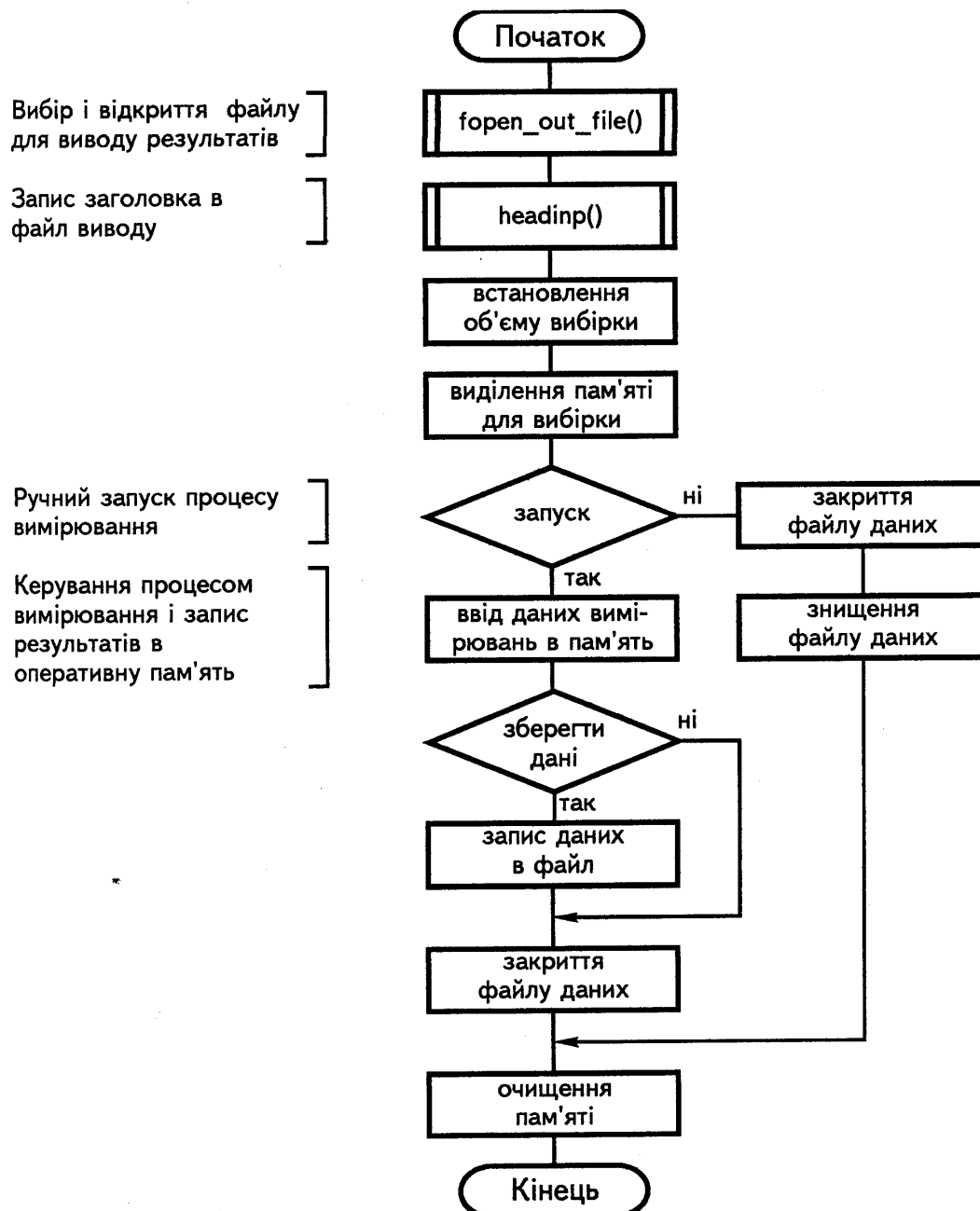


Рис. 5.4 – Блок-схема функції `read_data_to_file()` програми `asr_1`

В режимі настройки встановлюються параметри вимірювальної системи:

- кількість каналів, з яких буде проводитись зчитування інформації;
- номери задіяних в експерименті каналів, тобто, вибір складових сили різання для вимірювання;
- рівень нуля кожного каналу;
- необхідна частота дискретизації;

- діапазон екранного виводу, тобто, встановлення масштабу амплітуди при виводі на екран.

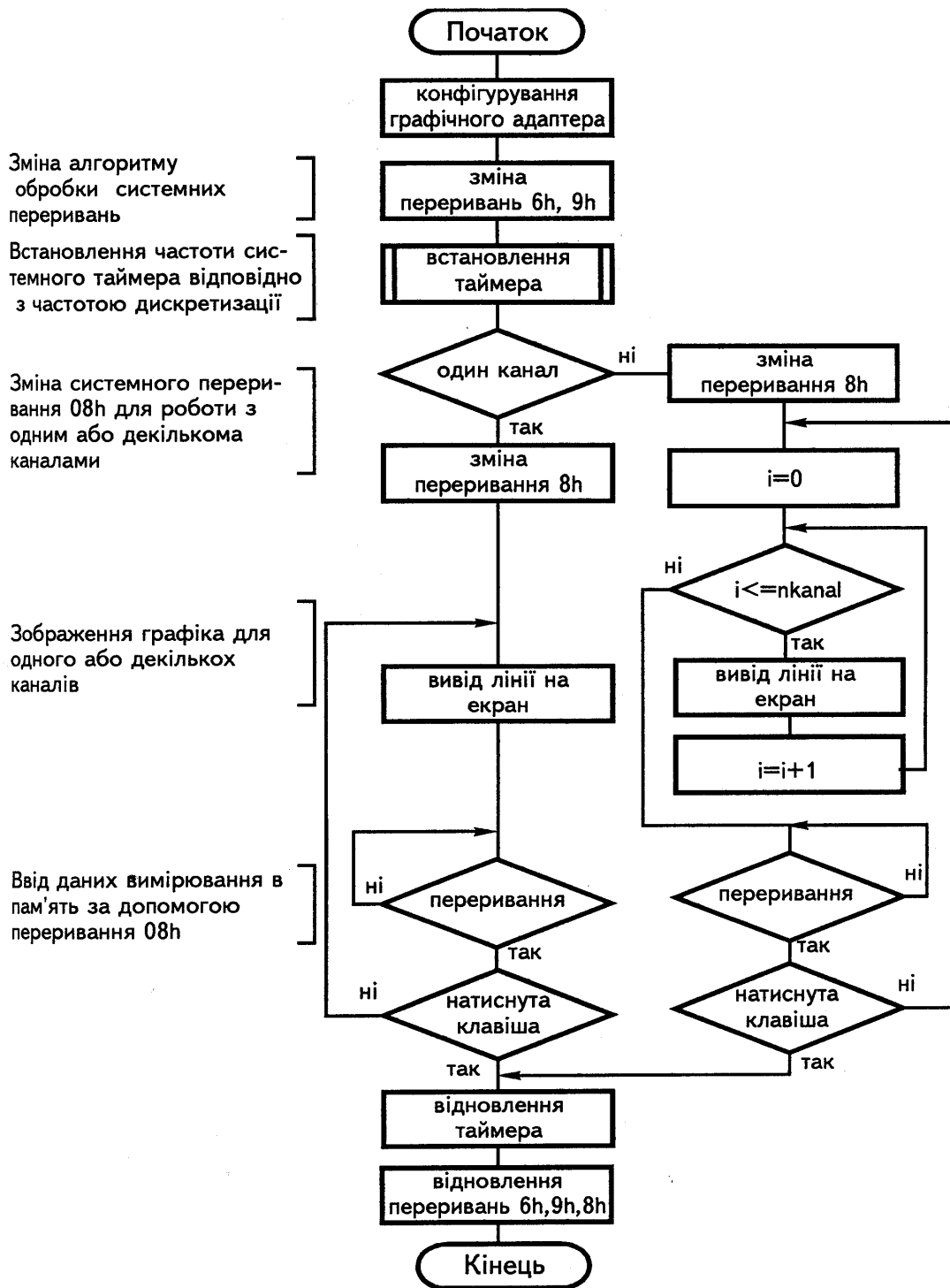


Рис. 5.5 – Блок-схема функції read\_data\_to\_screen програми asr\_1

Встановлені параметри зберігаються в спеціальному файлі asr\_1.ini і використовуються для початкової ініціалізації змінних при повторному запуску програми.

Для виконання операцій, пов'язаних з керуванням роботою блока спряження, використаний механізм переривань комп'ютера (див. рис. 4.6). Програмне переривання  $8h$  ( $h$  — признак шістнадцяткового числа) — програма обробки апаратного переривання від таймера  $IRQ\ 0$  — доповнено командами включення/виключення СВЗ, переключення комутатора на заданий канал, запуску перетворення АЦП, контролю готовності даних на виході АЦП, зчитування результатів в пам'ять комп'ютера. Всі операції обміну між комп'ютером і блоком спряження відбуваються через порти адаптера принтера (для  $LPT1$  — порти  $378h$ ,  $379h$ ,  $37Ah$ ).

Програма обробки переривання  $8h$  має два різних варіанти для випадків роботи з одним каналом і з декількома каналами. При необхідності вимірювання по одному інформаційному каналу його номер задається апаратно двома тумблерами на передній панелі корпусу блока спряження. Відпадає необхідність програмування комутатора аналогових сигналів, тому програмний модуль є коротшим і більш ефективним.

Програмуванням системного таймера встановлюється потрібна частота появи апаратного переривання  $IRQ\ 0$ , тобто задається потрібна частота дискретизації.

Програмні переривання  $6h$  і  $9h$  виконують обробку апаратного переривід клавіатури  $IRQ\ 1$ . Доповнення цих переривання дозволяє припинити процес вимірювання натиском клавіші на клавіатурі.

Програмування переривань здійснено з використанням мови програму-Assembler, що дає можливість добитися максимальної ефективності програмного коду.

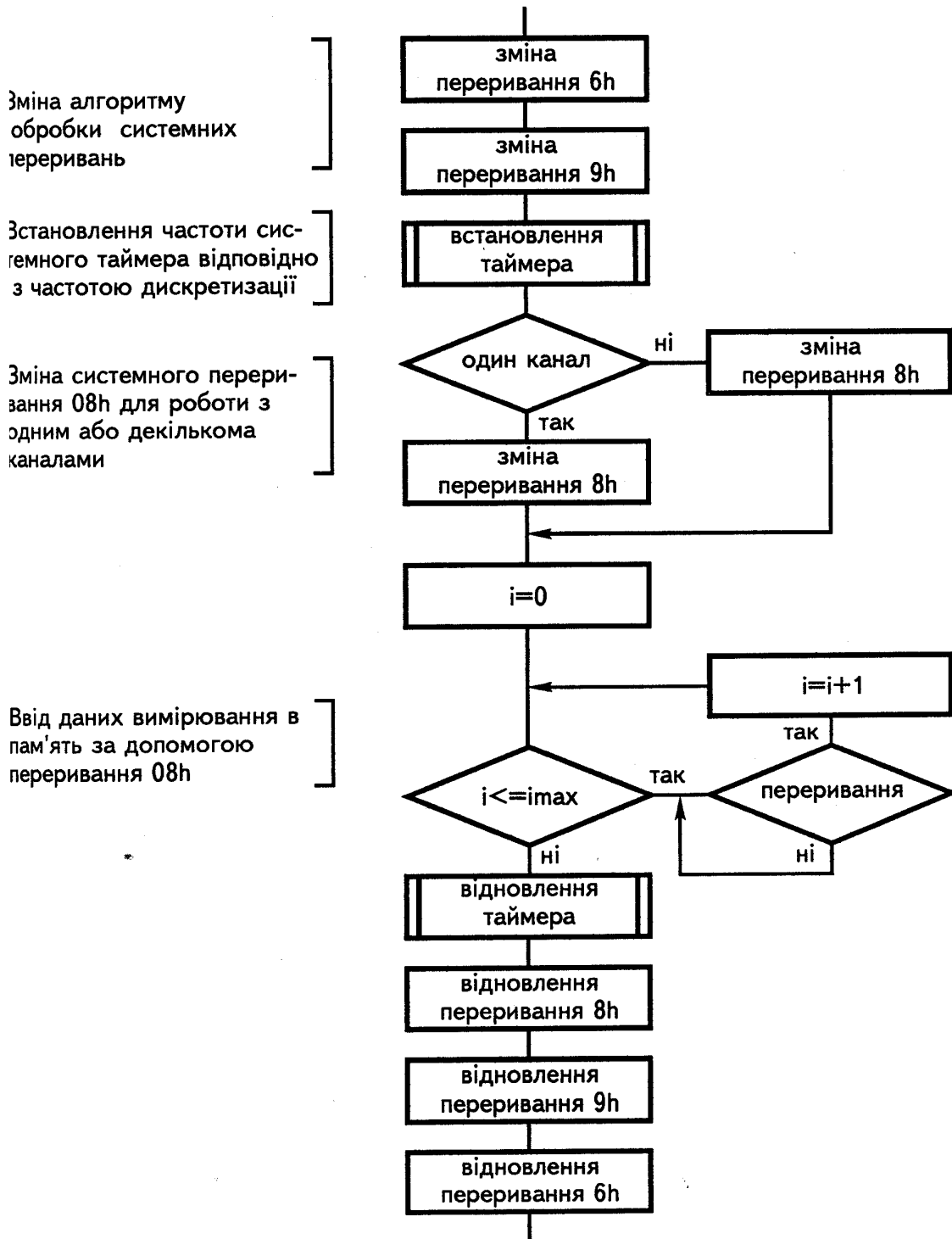


Рис. 5.6 – Блок-схема фрагменту функції read\_data\_to\_file ( )

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.1 Аналіз потенційних небезпек виробничого середовища

Спроекована система вимірювання зусилля діючого на металорізальний інструмент та параметрів вібрації призначена, в основному, для експлуатації в двох режимах (умовах) роботи:

- а) експериментальні дослідження діагностованого об'єкта металорізального верстата, накопичення даних для подальшого аналізу та обробки ;
- б) лабораторні дослідження даних, накопичених в процесі експериментальних досліджень неперервно працюючого металорізального обладнання.

При обробці даних в умовах лабораторій та обчислювальних центрів, працівники забезпечуються необхідними виробничими та санітарно-побутовими приміщеннями. До працівників шкідливих професій можна віднести інженерів-програмістів та операторів ЕОМ. Враховуючи специфіку їх роботи, будуть наведені вимоги та рекомендації стосовно режиму праці та відпочинку, освітленості та вентиляції приміщень, тощо.

В процесі дослідження технічного стану та діагностування металорізального обладнання існує потенційна небезпека враження електричним струмом. Так як пристрої системи вимірювання працюють з малими напругами, то найбільшу небезпеку створюють електричні трансформатори для живлення ЗЕД– трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором та потужністю від 10 до 15 кВт. В даному випадку, двигун живиться від промислової мережі напруги 380 В із глухо заземленою нейтраллю.

Основними причинами враження працюючих електричним струмом є:

- пошкодження ізоляції проводки, поява напруги на корпусах електрообладнання при відсутності захисного заземлення, занулення чи відключення.
- випадкове торкання струмопровідних частин, які знаходяться під напругою;

- поява напруги на відключених струмопровідних частинах, де працюють люди, внаслідок помилкового ввімкнення ;
- поява крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання на землю.

Основними заходами захисту від враження електричним струмом є:

- забезпечення недоступності струмопровідних частин для випадкового торкання ;
- гальванічне розділення мереж високої та низької напруг ;
- застосування подвійної ізоляції ;
- вирівнювання потенціалу ;
- захисне заземлення, занулення, захисне відключення.

Персонал, який обслуговує електроустановки повинен мати кваліфікаційну групу не нижче 3-1 (установки напругою до 1000 В), знати експлуатаційні інструкції та особливості обладнання. Для захисту від враження електричним струмом практикують заземлення та занулення корпусів електрообладнання, зокрема – трансформаторів.

Метеорологічні умови на робочому місці визначаються передусім клімато-географічними особливостями місцевості. Шкідливі виробничі фактори: підвищена або понижена температура в робочій зоні, підвищений або понижений барометричний тиск, підвищена або понижена вологість повітря, тощо.

Отже, на основі даних, зібраних під час переддипломної практики та з літературних джерел, для конкретних виробничих умов, визначено та проаналізовано основні потенційні небезпеки та шкідливості. Ці дані об'єднано і узагальнено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Потенційно небезпечні виробничі фактори

Виробничий об'єкт	Небезпечний фактор (технологічна операція)	Фактичне значення	Нормативне значення (безпечна величина)	Характер дії на людину
ЕОМ (зокрема – ВДТ)	Рентгенівське випромінювання, ультрафіолетове випромінювання, інфрачервоне випромінювання, електростатичне поле, яскравість	9 – 12 мкР/год 0,02 Вт/м <sup>2</sup> 4,0 Вт/м <sup>2</sup> 15 кВ/м 80 кД/м <sup>2</sup>	75,0 мкР/год 0,01 Вт/м <sup>2</sup> 100,0 Вт/м <sup>2</sup> 20-60 кВ/м Від 35 кД/м <sup>2</sup> до 60 кД/м <sup>2</sup>	Загальна втома, головний біль  Різь в очах

## 6.2 Забезпечення нормальних умов праці

Забезпечення здорових і безпечних умов праці у виробничій сфері досягається при проектуванні, за рахунок дотримання діючих нормативних документів, а для існуючих об'єктів – шляхом порівняння фактичних значень з нормативними і при виявленні відхилень розробкою та впровадженням заходів зі створення умов праці згідно вимог нормативних документів [29]. При аналізі умов праці визначається забезпеченість працівників санітарно-побутовими приміщеннями. Отримані дані заносяться до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Номенклатура санітарно-побутових приміщень

Виробниче приміщення, кількість працівників	Назва санітарно-побутового приміщення	Норма площі на 1 працівника, м <sup>2</sup>	Необхідна площа, м <sup>2</sup>	Фактична площа, м <sup>2</sup>	Висновок
Обчислювальний центр, 2 – 5 чол. (загальна площа всіх приміщень – 40 м <sup>2</sup> )	Гардероб	0,82	4,1	5	Наявні площі в основному задовільняють санітарним вимогам
	Приміщення для прийняття їжі	0,25	1,25	2	
	Умивальники	0,15	0,75	1	
	Робоче приміщення	7	35	32	

Спроекована система передбачає наявність комп'ютерної техніки та відповідного обслуговуючого персоналу (операторів ПЕОМ та інженерів-програмістів). Проте, використання ПЕОМ обумовлює наявність шкідливого впливу ЕМВ (електромагнітного випромінювання), зокрема – від ВДТ. Ступінь дії ЕМВ на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності дії, розмірів опроміненої поверхні тіла, тривалості і режиму опромінення, характеру випромінювання (безперервне чи модульоване) та індивідуальних особливостей організму. Довготривала хронічна дія ЕМВ невеликої інтенсивності, яка не викликає теплового ефекту, приводить до різних нервових та серцево-судинних розладів (головного болю, втомленості, порушення сну, болей в області серця і т.п.). Також робота оператора ЕОМ, який обслуговує комп'ютерну техніку, може призвести до кістково-м'язових захворювань (вимушена поза), порушень зорового аналізатора (погіршення зору), хвороб, пов'язаних зі стресовими ситуаціями та нервово-емоційними перевантаженнями, захворювань шкіри, шлунку (гастрити, виразки), тощо.

Оператор ПЕОМ займається сидячою роботою в вимушеній позі, при великій рухливості кистей рук. Наслідками сидячої роботи можуть стати біль в області спинного поясу, остеохондроз та сколіоз. Також ця робота потребує



напруження зору, а значить приводить до болю в очах, а через напруження зору і до головних болей. Втома при тривалій роботі з ВДТ має наступні прояви: загальна втома, сонливість, млявість, важкість у голові, головний біль, втома м'язів рук, різь в очах, розпливчатість меж.

Рекомендовано дотримуватись вимог “Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень” № 4088-86 для категорії робіт 1а - 1б. Характеристики метеорологічних умов у виробничих приміщеннях наводяться у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Нормативні характеристики метеорологічних умов у виробничих приміщеннях

Виробниче приміщення	Категорія важкості фізичних робіт	Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Обчислювальний центр	1а – 1б	теплий холодн.	+ 21 + 19	55 – 65	не більше 0,2

Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку у приміщеннях, де працюють математики-програмісти та оператори ЕОМ, не повинні перевищувати 50 дБА, в лабораторіях, де складаються алгоритми і ведеться робота з документацією, - 60 дБ А, у машинному залі – 65 дБ А, а на робочих місцях у приміщеннях, де розташовані шумні агрегати обчислювальних машин, рекомендується забезпечити рівень шуму не більше 75 дБ А.

При роботі з ВДТ слід, наскільки можливо, зменшити засліпленість від прямого та відбитого блищання, відмежуватися від постійної пульсації зображення, які посилюють загальну і зорову втому. Необхідно забезпечити як кількісні, так і якісні параметри освітлення.

При виборі приміщення обчислювального центру необхідно врахувати, що вікна дають відблиски на екранах ВДТ і викликають значну засліпленість в операторів, особливо літом та в сонячні дні. Для розміщення ВДТ найбільш придатні приміщення з однобічним розміщенням світлових отворів, які обов'язково повинні бути обладнані сонцезахисними пристроями: шторами,

жалюзі, тощо. Площа засклення не повинна перевищувати 25 % від площі стіни з вікнами. Для мінімізації засвічування від сонячних променів екранів ВДТ, бажано, щоб вікна були орієнтовані на північ (північний захід, північний схід). Стеля, стіни, поверхні столів, шаф та одяг персоналу повинні мати невисокі коефіцієнти віддзеркалення : робочого столу та клавіатури – 0,2- 0,5; стелі – 0,6- 0,7; стін – 0,2- 0,5; підлоги – 0,1- 0,2; шаф та стелажів – 0,25-0,35. Всі оздоблювальні матеріали повинні бути матовими.

Робочі місця з ВДТ доцільно розміщувати в глибині приміщення. При використанні в загальному освітленні світильників прямого світла, ВДТ слід розташувати рядами, паралельними до стіни з вікнами. Розташування ВДТ, при якому працюючий повернений обличчям або спиною до вікон, неприпустиме для будь-якого способу реалізації загального освітлення. Необхідно розраховувати, що робочі місця (РМ) з ВДТ вимагають 4,6 – 7 м<sup>2</sup> площі на одне РМ, бо при середній площі устаткування 0,8 x 1,2 м<sup>2</sup> навколо нього має залишатися вільний простір не менше 1м з кожного боку.

Для польових досліджень метеорологічні умови не відповідають нормам, тому пропонується в холодний період року на робочих місцях застосовувати спеціальний, більш утеплений одяг, а також використовувати електричний підігрів повітря.

Для нормалізації мікроклімату в приміщенні обчислювального центру використовується один з різновидів кондиціонування – комфортне кондиціонування, метою якого є створення в приміщеннях повітряного середовища, котре сприяє підвищенню продуктивності праці та зниженню захворювань. В даному випадку для приміщення обчислювального центру використовуються автономні, місцеві кондиціонери повного кондиціонування повітря. Можливість використання кондиціонерів для оздоровлення мікроклімату приміщення зумовлена тим, що робота з комп'ютерною технікою не пов'язана з виділенням пилу та шкідливих речовин, які необхідно видаляти з робочої зони приміщення.

### **6.3. Електромагнітний імпульс ядерного вибуху і захист від нього радіоелектронних засобів**

На початку 90-х років у США стала зароджуватися концепція, відповідно до якої збройні сили країни повинні мати не тільки ядерні і звичайні озброєння, але і спеціальні засоби, що забезпечують ефективну участь у локальних конфліктах без нанесення супротивнику зайвих втрат у живій силі і матеріальних цінностях.

До цієї спеціальної зброї американські військові фахівці в першу чергу відносять:

- засоби створення електромагнітного імпульсу (ЕМІ);
- генератори інфразвуку;
- хімічні склади і біологічні рецептури, здатні змінювати структуру базових матеріалів основних елементів бойової техніки;
- речовини, що виводять з ладу змащення і гумові вироби;
- лазери.

Найбільш близькі до прийняття на озброєння різні типи лазерів для осліплення особового складу, хімічні засоби для його знерухомилення, генератори ЕМІ, що негативно впливають на роботу електронної техніки.

Генератори ЕМІ (супер ЕМІ), як показують теоретичні роботи і проведені за кордоном експерименти, можна ефективно використовувати для виводу з ладу електронної й електротехнічної апаратури, для стирання інформації в банках даних і псування ЕОМ.

За допомогою ЗНСД на основі генераторів ЕМІ можливий вивід з ладу ЕОМ, ключових радіо й електротехнічних засобів, систем електронного запалювання й інших автомобільних агрегатів, чи підірвавши інактивація мінних полів. Вплив цієї зброї досить вибірково і політично цілком прийнятний, однак потрібна точна доставка його в райони поразення.

Незважаючи на визнання військово-політичним керівництвом США і НАТО неможливості перемоги в ядерній війні, різні аспекти вражаючого дії ядерної зброї продовжують широко обговорюватися. Так, в одному з розглянутих іноземними фахівцями сценаріїв початкового періоду ядерної війни особливе місце приділяється потенційної можливості висновку з ладу радіоелектронної техніки в результаті впливу на неї ЕМІ.

Вважається, що підірвавши на висоті близько 400 км тільки одних боєприпасів потужністю більш 10 Мт приведе до такого порушення функціонування радіоелектронних засобів у великому районі, при якому час їхнього відновлення перевищить припустимі терміни для вживання відповідних заходів.

По розрахунках американських експертів, оптимальною точкою підриву ядерних боєприпасів для поразки ЕМІ радіоелектронних засобів майже на всій території США була би точка в космосі з епіцентром у районі географічного центра країни, що знаходиться в штаті Небраска.

Теоретичні дослідження і результати фізичних експериментів показують, що ЕМІ ядерного вибуху може привести не тільки до виходу з ладу напівпровідникових електронних пристроїв, але і до руйнування металевих провідників кабелів наземних споруд. Крім того, можлива поразка апаратури, що знаходяться на низьких орбітах.

Для генерації ЕМІ ядерні боєприпаси можуть підриватися в космічному просторі, що не приводить до виникнення ударної хвилі і випаданню радіоактивних опадів. Тому в закордонній пресі виголошуються наступні думки про "неядерний характер" такого бойового застосування ядерної зброї і про те, що удар з використанням ЕМІ не обов'язково приведе до загальної ядерної війни.

Небезпека цих заяв очевидна, тому що одночасно деякі закордонні фахівці не виключають можливість масової поразки за допомогою ЕМІ і живої сили. У всякому разі цілком очевидно, що наводимі під впливом ЕМІ в металевих

елементах техніки струми і напруги будуть смертельно небезпечні для особового складу.

#### **6.4. Шляхи вирішення задачі захисту від ЕМІ**

Ідеальним захистом від ЕМІ було б повне закрите приміщення металевим екраном, в якому розміщена радіоелектронна апаратура. Разом з тим ясно, що практично забезпечити такий захист в ряді випадків неможливо, тому що для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричний зв'язок із зовнішніми пристроями.

Тому, використовуються менш надійні засоби захисту, такі як струмопровідні сітки чи плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для воздухозабірників і вентиляційних отворів та контактні пружинні прокладки, розташовувані по периметру дверей і люків.

Більш складною технічною проблемою вважається захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різні кабельні вводи. Радикальним вирішенням даної проблеми міг би стати перехід від електричних мереж зв'язку до практично не підданих впливу ЕМІ волоконно-оптичних.

Однак заміна напівпровідникових приладів у всьому спектрі виконуваних ними функцій електронно-оптичними пристроями можливо тільки у віддаленому майбутньому. Тому в даний час як засоби захисту кабельних вводів найбільше широко використовуються фільтри, в тому числі волоконні, а також іскрові розрядники, металоокисні варистори і високошвидкісні зенеровські діоди.

Усі ці засоби мають як переваги, так і недоліки. Так, ємнісно-індуктивні фільтри досить ефективні для захисту від ЕМІ малої інтенсивності, а волоконні фільтри захищають у відносно вузькому діапазоні надвисоких частот. Іскрові розрядники володіють значною інерційністю й, в основному, придатні для

захисту від перевантажень, що виникають під впливом напруг і струмів, що наводяться в обшиваці літака, кожусі апаратури й екрануванні кабеля.

Металлоокисні варистори являють собою напівпровідникові прилади, що різко підвищують свою провідність при високій напрузі. Однак, при застосуванні цих приладів, як засобу захисту від ЕМІ, варто враховувати їхню недостатньо високу швидкодію і погіршення характеристик при кількарізовому впливі навантажень.

Ці недоліки відсутні у високошвидкісних зенеровських діодах, дія яких базується на різкій лавиноподібній зміні опору від відносно високого значення практично до нуля при перевищенні прикладеної до них напруги визначеної граничної величини. Крім того, на відміну від варисторів, характеристики зенеровських діодів після багаторізових впливів високих напруг і переключень режимів не погіршуються.

Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту від ЕМІ кабельних введів є створення таких роз'ємів, в конструкції яких передбачені спеціальні міри, що забезпечують формування елементів фільтрів і установку вмонтованих зенеровських діодів. Подібне вирішення сприяє одержанню дуже малих значень ємності й індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, що мають незначну тривалість і, отже, потужну високочастотну складову. Використання роз'ємів подібної конструкції дозволить вирішити проблему обмеження масо-габаритних характеристик пристрою захисту.

Складність вирішення задачі захисту від ЕМІ і висока вартість розроблених для цих цілей засобів і методів змушують піти на перших порах по шляху їхнього вибіркового застосування в особливо важливих системах зброї і військової техніки. Першими цілеспрямованими роботами в даному напрямку були програми захисту від ЕМІ стратегічної зброї.

Такий же шлях обраний і для захисту систем, що мають велику довжину керування і зв'язку. Однак, основним методом вирішення даної даної проблеми закордонні фахівці вважають створення так званих розподілених мереж зв'язку

(типу "Гвен"), перші елементи яких уже розгорнуті на континентальній частині США.

Сучасний стан проблеми ЕМІ можна оцінити в такий спосіб. Досить добре досліджені теоретично і підтверджені експериментально механізми генерації ЕМІ і параметри його вражаючої дії.

Розроблено стандарти захищеності апаратури і відомі ефективні засоби захисту. Однак, для досягнення достатньої впевненості в надійності захисту систем і засобів від ЕМІ необхідно провести випробовування за допомогою імітатора. Що стосується повномасштабних випробовувань систем зв'язку і керування, то ця задача навряд чи буде вирішена в доступному для огляду майбутньому.

В даний час у деяких західних країнах ведуться роботи з генерації імпульсів електромагнітного випромінювання магнітодинамічними пристроями, а також високовольтними розрядами. Тому питання захищеності від впливу ЕМІ будуть залишатися в центрі уваги фахівців при будь-якому результаті переговорів про ядерне роззброювання.

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі на основі проведеного огляду сучасного стану контролю металорізального обладнання встановлено, що однією із діагностичних ознак процесу механічної обробки металу та стану металорізального інструменту може бути сила різання.

На основі проведеного аналізу методів і технічних засобів вимірювання сили різання встановлено, що вони не відповідають таким вимогам, як точність і придатність до автоматичної роботи в режимі реального часу у зв'язку з чим необхідна розробка системи контролю, яка буде задовільняти вказаним вимогам.

Розроблена функціональна схема системи контролю металорізального обладнання на базі 4-х компонентного силового давача УДМ-600, який забезпечує перетворення миттєвих значень сил різання і крутного моменту в діапазоні від 0 до 500 Гц з похибкою не більше 10%. Система виконана у вигляді мікропроцесорної обчислювальної системи, в якій аналогова частина забезпечує прийом аналогових сигналів на кожному з 4-х каналів, приведення їх до нормалізованого виду і ввід в АЦП, а подальша обробка проводиться в цифровому вигляді.

Розроблена структурна і принципова електричні схеми блоку спряження. За рахунок наявних в кожному каналі схем вибірки і зберігання захоплення сигналів відбувається у всіх вимірювальних каналах одночасно і режим зберігання продовжується до завершення певного вимірювального циклу, який включає в себе перетворення значення напруги в цифрову форму по всіх підключених каналах.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні рекомендації з виконання, оформлення та захисту кваліфікаційних робіт магістрів спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / ТНТУ ім. І. Пулюя; уклад. А.Г. Микитишин, М.М. Митник. – Тернопіль: ТНТУ, 2022. – 80 с.
2. Автоматичне управління процесами обробки металів різанням / Колодій О.С., Кюрчев С.В., Сушко О.В., Ковальов О.О. Мелітополь: ТОВ «Люкс», 2020. 136 с.
3. Бочков В.М. Разрабунок та конструювання металорізальних верстатів/В. М. Бочков, Р. І. Сілін, О. В. Гаврильченко ; ред. Р. І. Сілін. – 2008.
4. Румбешта В.А. Принципы и основные закономерности разработки систем диагностирования и управления процессом механической обработки. / Дис. на соиск. степени д.т.н. Киев, 1994.
5. Остафьев В.А., Стабин И.П., Румбешта В.А., Усачев П.А. и др. Физические основы процесса резания металлов. / Под ред. Остафьева В.А. – К.: Высшая школа, 1976. – 136 с.
6. Ладанюк А. П Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматизации в пищевой промышленности [Текст] : учебник / В. Г. Трегуб, А. П. Ладанюк, Л. Н. Плужников. - Москва : Агропромиздат, 1991. - 352 с. : ил. - (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). - ISBN 5-10-001082-7
7. І.Т. Стрепко, О.В. Тимченко, Б.В. Дурняк. Проектування систем керування на однокристальних мікро-ЕОМ. – К.: Фенікс, 1998.
8. Житецький В.Ц. Основи охорони праці.- Львів: Афіша, 2000.- 350 с.
9. Пістун І.П., “Безпека життєдіяльності” – Суми: Університетська книга, 2000, - 302с.
10. Депутат О.П., Коваленко І.В., Мужик І.С. Цивільна оборона. Навчальний посібник / За ред. Полковника В.С.Франчука. – Львів : Афіша, 2000. – 336с.