

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

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництва

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення автоматизованої системи для діагностування  
граничного зношення різального інструменту

Виконав: студент VI курсу, групи КАМ-61  
спеціальності 151 «Автоматизація  
та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

Музика В.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Шмигельський Д.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Козбур І.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Чихіра І.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2023

## АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі розглядається питання створення системи контролю стану різального інструменту та розроблення програмного забезпечення на основі використання основних положень вібраційно-акустичної діагностики машин. При цьому розглядається класифікація і основні тенденції розвитку системи діагностування, методи вібраційного прогнозування точності та методи отримання вібраційно-діагностичної інформації.

Наводиться методологія вібраційної діагностики причин відмов по точності обробки і алгоритмів її реалізації, а також алгоритми діагностування граничного зношення різального інструменту, зокрема, багатолезових інструментів.

На основі використання сучасних пакетів прикладних програмних продуктів розроблено програмне забезпечення для реалізації вказаних алгоритмів. Приводиться розрахунок показників надійності програмного забезпечення, який показав його високу надійність і ефективність.

## ЗМІСТ

<b>АНОТАЦІЯ</b> .....	4
<b>ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ</b> .....	7
<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b> .....	10
1.1 Класифікація і основні тенденції розвитку систем діагностування.....	10
1.2 Методи отримання вібраційно-метричної інформації.....	13
1.3 Постановка завдання на кваліфікаційну роботу .....	16
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	18
2.1 Методика розрахунку АФЧХ пружної системи робочого простору верстата.....	18
2.2 Розрахунок масивів модальних параметрів замінюючої динамічної моделі .....	24
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b> .....	29
3.1 Методика отримання вібраційно-метричної інформації.....	29
3.2 Методологія вібраційної діагностики причин відмов по точності обробки .....	41
3.3 Вібраційна діагностика граничного зношення металорізального інструменту .....	49
3.4 Вібраційна діагностика зношення багатолезових інструментів .....	58
3.5 Розрахунок надійності програмного забезпечення.....	62
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b> .....	69
Вібро-прогнозування точності обробки.....	69
<b>5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b> .....	74
<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> .....	84

6.1	Заходи з охорони праці .....	84
6.2	Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	96
	ВИСНОВКИ.....	103
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	105

## **ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ**

ГВС – гнучкі виробничі системи

САК – системи активного контролю

САУ – системи адаптивного контролю

СКУТ – системи комплексного управління точністю

ЧПУ – числове програмне управління

КВМ – координатно-вимірювальні машини

АФЧХ – амплітудно-фазо-частотна характеристика

ПС – пружна система

РП – робочий простір верстата

САП – система автоматизації програмування

ДЗЗ – давач зворотнього зв'язку

## ВСТУП

В структурі загального спеціального програмного забезпечення гнучких виробничих систем (ГВС) обов'язковим елементом є підсистема забезпечення надійності функціонування ГВС, яка повинна виконувати:

- 1) контроль за виконанням обладнанням команд;
- 2) компенсацію випадкових збоїв обладнання;
- 3) аналіз працездатності обладнання;
- 4) контроль і компенсацію зміни розміру інструменту і систематичних похибок обладнання;
- 5) тестування обладнання.

Перераховані функції можуть бути зведені до двох основних задач: діагностування стану обладнання, інструменту і причин виникнення відмов по точності; компенсації виникаючих похибок або усунення причин відмов по точності обробки.

Оскільки на процеси обробки матеріалів різанням впливає велика кількість різних за тривалістю і характером впливу збурень, прямий контроль яких практично неможливий і які в поточний момент часу поєднуються випадковим чином, розв'язок цих двох задач є складною проблемою.

В роботі розглядаються системи діагностування на основі вібраційно-метричної інформації, яка характеризує відносне миттєве положення інструменту і заготовки при обробці різанням.

В роботі аналізується динаміка процесу формоутворення поверхні деталі, на підставі чого пропонуються передавальні функції, що зв'язують параметри точності обробки і відносних вібраційних зміщень інструменту і заготовки, а також розглядаються методи отримання вібраційно-

метричної інформації і розробки інформаційного і програмного забезпечення контролю вібраційної діагностики причин відмов по точності обробки на основі вібраційно-метричної інформації.

Розглянуті також приклади практичної реалізації систем діагностування стосовно фрезерних і шліфувальних верстатів.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Класифікація і основні тенденції розвитку систем діагностування

Системи діагностування можуть бути автономними чи бути складовою частиною системи автоматичного управління точністю. Такі системи можуть діагностувати:

- 1) зношення різального інструменту;
- 2) стан процесу різання;
- 3) відмови по точності обробки;
- 4) функціональні відмови.

Відмови інструменту є найчастішими і в ГВС визначають можливість їх експлуатації. Запропоновано велику кількість способів діагностування зношення інструменту, що базуються на ідентифікації зношення з силовими параметрами, термо-ЕРС, високочастотній емісії і т. д., які не володіють достатньою точністю і вимагають навчання діагностичної системи при переході до нових режимів обробки, що в умовах ГВС є доволі складно.

Тому проблема діагностування інструмента залишається відкритою і її розв'язок повинен базуватися на способах ідентифікації зношення з такими фізичними параметрами, які інваріантно характеризують його при змінних умовах обробки.

Під "діагностикою стану процесу різання" розуміють прогнозування окремих параметрів точності обробки якості поверхневого шару за результатами кореляційного аналізу спектру вібраційно-акустичної емісії інструменту. Проте такий аналіз є достатньо складним і не завжди відповідає вимогам точності прогнозу.



В майбутньому системи прогнозування точності обробки в процесі різання стануть обов'язковою частиною систем управління, базуючись, мабуть, на інформації, яка отримується безпосередньо в процесі різання, зокрема, вібраційно-метричної. На підставі цієї інформації можна також діагностувати причину відмов по точності обробки, ідентифікуючи частотні спектри збурень, що впливають на процес різання, і передбачуваної похибки обробки.

Системи діагностування функціональних відмов є особливо важливими для обладнання ГВС. Принцип роботи систем діагностування заключається в тому, що інформація з датчиків, які контролюють стан елементів верстата, потрапляючи в обчислювальний пристрій, який згідно наперед розробленим таблицям відповідності, здійснює оперативне діагностування причини відмови.

Проте зважаючи на велику кількість каналів інформації такі системи можуть володіти невисокою надійністю, тому представляється перспективним напрям, який передбачає скорочення каналів інформації і, в ідеалі, здійснює діагностування за результатами аналізу лише одного узагальненого параметру, наприклад, вібраційного.

Всі системи управління точністю за способом організації управління можна поділити на системи: активного контролю (САК), адаптивного управління (САУ), комплексного управління точністю (СКУТ).

САК – традиційні системи управління, що використовуються, в основному, у верстатах шліфувальної групи. Вони виконують всю сукупність операцій, необхідних для порівняння дійсного розміру деталі із заданим і по їх результатах управляють технологічним процесом. Проте в даний час САК мають обмежене використання, оскільки дозволяють управляти лише розмірною точністю деталі, що, як правило, є недостатнім.

Більш широке застосування знаходять САУ, особливо у зв'язку з розвитком мікропроцесорних систем ЧПУ типу CNC, які дозволяють вирішувати задачі алгоритмічно. Вони забезпечують інваріантність процесу різання до збурень, що впливають на нього і, тим самим, підвищують точність і продуктивність обробки. Але на процес різання впливають різні по тривалості і характеру протікання збурення, поєднання яких у даний момент часу носить випадковий характер.

Оскільки в САУ управління певною групою збурень здійснюється по каналу, який має своє джерело інформації, комплексне управління точністю вимагає створення багатоканальних САУ, які володіють невисокою надійністю і складні в управлінні.

Тому створення СКУТ на основі багатоканальних САУ не представляється перспективним. В серійному виробництві при виготовленні деталей, що мають просторово-складні поверхні, в якості джерела інформації для СКУТ використовують координатно-вимірювальні машини (КВМ) з ЧПУ.

Коли поверхні деталей задані аналітичними залежностями, при достатній швидкодії ЕОМ, обслуговуючої КВМ і СКУТ, створюються передумови управління точністю в масштабі реального часу (як у систем із запізнюванням). Проте в більшості випадків таке управління неможливе, оскільки затримка в часі велика.

Крім того, ускладнюється розробка стратегії управління, оскільки КВМ не несе інформацію про причину виникнення відмови, що приводить до появи відповідної похибки, а компенсувати її без усунення причини відмови часто не представляється можливим.

Для простих по конфігурації деталей вживання КВМ недоцільне, так само як і для малих серій заготовок, тоді як її поєднання з іншими вимірювальними пристроями всередині однієї системи управління

представляється проблематичним. В зв'язку з цим СКУТ на базі КВМ навряд чи знайдуть використання при створенні ГВС.

Більш перспективні способи управління, в яких в якості інформаційної основи СКУТ використовуються такі узагальнені параметри, як постійна часу різання, термо-ЕРС, а також вібраційно-метрична інформація.

Перевага останнього виду інформації полягає в тому, що вона пов'язана з збуреннями випадково, а з параметрами точності, оскільки визначає їх строго однозначно, детерміновано.

Розглядається частотний діапазон вібраційних зміщень, який приводить до виникнення лише перерахованих похибок, який звичайно не виходить за 300 Гц, тоді як вібраційне зміщення більш високої частоти служать причиною появи похибок у вигляді шорсткості поверхні.

Високочастотний діапазон не розглядається, оскільки утворення шорсткості поверхні запропонованою моделлю не описується. Це пов'язано з тим, що відносні вібраційні зміщення між інструментом і заготівкою високої частоти лише опосередковано є причиною появи шорсткості, оскільки прямою причиною її виникнення є контактні фізико-хімічні явища, що мають місце при різанні.

## **1.2 Методи отримання вібраційно-метричної інформації**

Вимірювання миттєвого положення інструменту відносно заготівки зазвичай неможливе через відсутність можливості установки контрольної апаратури в зоні різання, у зв'язку з чим отримання прямої інформації про відносні вібраційні зміщення інструменту і заготівки є неможливим. Тому виникає необхідність в отриманні непрямой – подібної інформації, методи вимірювання якої достатньо відпрацьовані в установленому якісному і

кількісному взаємозв'язку параметрів цієї інформації з параметрами вібраційних зміщень інструменту відносно заготовки.

В якості непрямой інформації може бути використана сила різання  $P$ , яка згідно динамічної моделі верстата пов'язана з вібраційними зміщеннями інструменту відносно заготовки  $y = PW_y$  або через функцію передачі технологічної системи.

Отримання інформації про відносні вібраційні зміщення інструмента і заготовки шляхом вимірювання сили різання вимагає: розробки методів вимірювання сили різання; знаходження  $W_y$  (АФЧХ верстата); формалізації запису  $W_y$  з метою розміщення її в пам'яті обчислювального пристрою системи управління.

Методи вимірювання сили різання і експериментального визначення  $W_y$  добре відомі, тоді як підхід до розв'язку останньої задачі пропонується в даній роботі. Це пов'язано з тим, що відомі методи формалізації запису динамічних характеристик не забезпечують достатньо точної кількісної адекватності розрахованих з їх допомогою і одержаних експериментально параметрів вібраційних зміщень інструмента відносно заготовки.

Основною передумовою, на якій базується пропонований метод формалізації, є положення про те, що з точки зору точності природа виникнення збурень, що впливають на процес обробки, не має значення, оскільки точність обробки визначається лише відносними зсувами інструменту і заготовки в зоні різання, до яких і зводяться всі збурення.

Опис АФЧХ в робочому просторі верстата дозволяє також вирішувати задачі оптимізації цього простору, а також оцінки технологічних можливостей верстата з урахуванням зміни характеристик цього простору. Річ у тому, що бувають ситуації, коли згідно технічного паспорту верстата на ньому є можливість обробки заготовки певного розміру з певним припуском і точністю.

Проте в реальних умовах заготівка на верстаті розміщується, але зняти з неї граничний припуск вдається лише в обмеженій частині РП, а якщо говорити про точність, то вона може забезпечуватися ще в більш малій області.

Щоб цього уникнути необхідно ще на стадії проектування або створення дослідного зразка розрахувати можливості верстата по точності і продуктивності, для чого і буде необхідний запропонований метод формалізації АФЧХ з урахуванням її зміни в РП. Ця ж інформація буде необхідна також і для управління динамічною характеристикою верстата. Запропонований підхід може бути поширений не лише на несучу систему верстата. Зокрема, він використовується, і для опису систем управління для оцінки їх точності.

Особливе місце формалізації запису динамічних характеристик верстатів зможе зайняти в системах автоматизації програмування (САП) при розрахунку режимів різання. В даний час динамічна характерно типу верстата (виключаючи, можливо тільки вузол шпинделя) при розрахунку режимів різання не враховується.

Проте збіги частоти обертання гвинта або шпинделя, а також частоти врізання зубів інструменту в заготівку з численними власними частотами може приводити до зниження продуктивності і точності обробки. Рекомендувати вже сьогодні закладати в пам'ять САП динамічну характеристику верстата може бути поки і передчасно, але робота в цьому напрямі повинна проводитися оскільки із зростанням швидкості різання і точності обробки така процедура стане неминучою.

Крім того, для деяких унікальних випадків обробки, коли необхідне отримання високоточних, великогабаритних або важкооброблюваних деталей режими різання повинні вибиратися з урахуванням динамічної характеристики.

Більш того, динамічна характеристика технологічної системи повинна враховуватися і при розробці технологічного процесу обробки різанням, оскільки вона, в значній мірі, визначатиме технологічне наслідування, а значить і послідовність операцій обробки, число робочих ходів, склад обладнання і т.д.

Вона також повинна враховуватися і при проектуванні пристроїв розширюючих їх технологічні можливості або забезпечуючих задані технічні умови експлуатації. Наприклад, без знання динамічної характеристики не можна формулювати вимоги до пристроїв балансування верстата: давачів зворотного зв'язку, дискретності системи ЧПУ і т.д.

Формалізована динамічна характеристика технологічної системи повинна являтися обов'язковим елементом математичного забезпечення конструкторського і технологічного САПР.

### **1.3 Постановка завдання на кваліфікаційну роботу**

Аналізуючи вібраційно-метричну інформацію з точки зору можливості її використання для оцінки стану металорізального обладнання були виявлені основні тенденції розвитку систем його діагностування та методи отримання вібраційно-метричної інформації.

Встановлено, що для вирішення питання діагностування металорізального обладнання необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити методологічні засади отримання вібраційно-метричної інформації з металорізального обладнання;
- обґрунтувати методологію вібраційної діагностики причин відмов по точності обробки і розробити алгоритм їх діагностування;

- розробити алгоритм вібраційного діагностування граничного зношення металорізального інструменту і програмне забезпечення для його реалізації;
- розробити алгоритм вібраційного діагностування зношення багатолезових інструментів і програмне забезпечення для його реалізації;
- визначити показники надійності розробленого програмного забезпечення системи контролю стану металорізального обладнання.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Методика розрахунку АФЧХ пружної системи робочого простору верстата

Щоб розрахувати параметри АФЧХ пружної системи (ПС), можна скористатись методом розкладання розв'язку рівняння руху складної динамічної системи по власним формам коливань, так званим модальним розкладом. Суть методу полягає в такому перетворенні змінних, коли одночасно приводяться до головних осей матриці інерційних, дисипативних коефіцієнтів і коефіцієнтів жорсткості. Наслідком цього є розчленування початкової системи на  $n$  незалежних рівнянь:

$$m_j \ddot{q}_j + h_j \dot{q}_j + C_j q_j = P \sin \omega \tau, \quad (2.1)$$

де  $m_j$ ;  $h_j$ ;  $C_j$  — відповідно інерційні, дисипативні і жорсткісні коефіцієнти  $j$ -ї одномасової системи;

$P$  — амплітуда збурюючої сили на частоті  $\omega$  коливань;

$n$  — число власних форм коливань;

$q$  — розв'язок незалежного рівняння;

$\tau$  — час.

Кожне рівняння (2.1) описує поведінку системи з одним ступенем вільності (рис. 2.1), і його розв'язок, який відповідає сталим коливанням, має вигляд:

$$q_j = PA_j \sin(\omega \tau + \varphi_j),$$

де



$$A_j = \left[ (h_j \omega_j)^2 + (C_j - m_j \omega_j^2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2.2)$$

динамічна піддатливість  $j$ -ї системи на частоті  $\omega_j$ ;

$\omega_j$  – власна частота  $j$ -ї системи;

$\varphi_j = \frac{\arctg h_j \omega_j}{C_j - m_j \omega_j^2}$  – фаза коливань  $j$ -ї гармоніки.

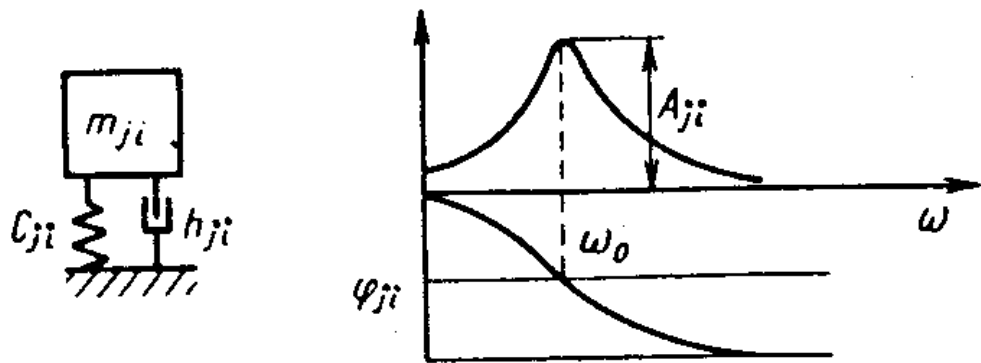


Рисунок 2.1 – Схема динамічної системи

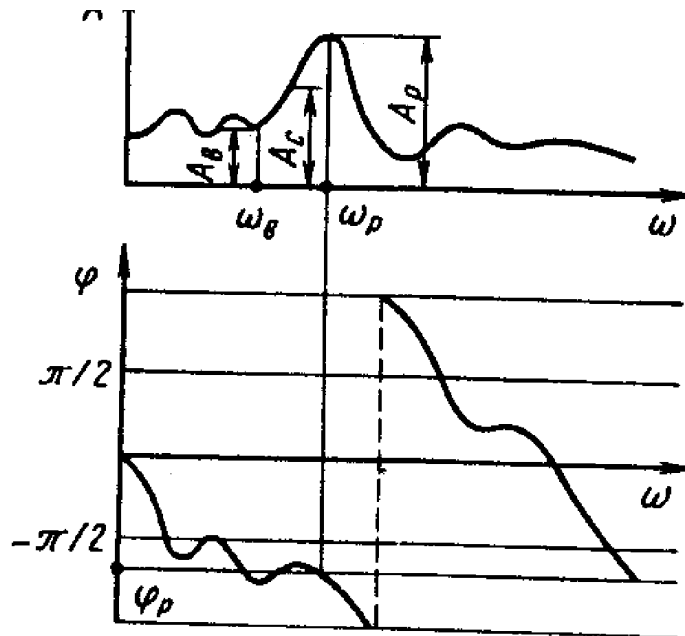


Рисунок 2.2 – Схема вибору даних для розрахунку модальних параметрів

Загальний розв'язок вихідної системи рівнянь:

$$q = P\sqrt{a^2 + b^2}; \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{a}{b},$$

$$\text{де } a = \sum_{j=1}^n A_j \sin \varphi_j; \quad b = \sum_{j=1}^n A_j \cos \varphi_j.$$

У зв'язку з тим, що головні нормальні координати не завжди мають у верстаті реальні аналоги, для розв'язку поставленої задачі вимагається підібрати такі групи одномасових систем по осях координат верстата, сумарна АФЧХ ПС яких адекватна, із заданою точністю, експериментальній АФЧХ ПС в будь-якій точці робочого простору верстата (РП). Адекватність встановлюється по всім параметрам динамічної характеристики, амплітудам, частотам і фазам вібраційних зміщень ПС.

Враховуючи, що виміряні амплітуди і фази вібраційних зміщень ПС при визначенні АФЧХ є розв'язками рівнянь руху реальної динамічної системи при дії одиничної сили, модифікуємо метод модального розкладу з тим, щоб по відомому розв'язку одержати шукані коефіцієнти рівнянь руху. Для розрахунку параметрів допоміжної динамічної системи [коефіцієнтів рівняння (9)], які назвемо модальними параметрами, виділимо з експериментальних АФЧХ по координатним осям верстата власні форми коливань, кількість яких визначена числом резонансних частот.

Відповідно до рисунку 2.2 для кожної власної форми коливань знайдемо наступні параметри: резонансну податливість  $A_p$  і частоту  $w_p$ ; податливість  $A_b$  і частоту  $w_b$  впадини; податливість  $A_c$  на частоті  $(w_p + w_b)/2$ ; фазу коливань  $\varphi_p$  на резонансній частоті.

Підставивши в рівняння (2.2) значення податливості, фази і частоти для кожної форми коливань і ввівши додаткові параметри, які враховують безперервність динамічної характеристики і уточнюючі значення параметрів по амплітуді  $A_d$  і фазі  $\varphi_d$  одержимо систему рівнянь:

$$A_{pi} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n a_j \sin \varphi_{pj}\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^n a_j \cos \varphi_{pj}\right)^2};$$

$$A_{vi} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n b_j \sin \varphi_{vj}\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^n b_j \cos \varphi_{vj}\right)^2};$$

$$A_{ci} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n d_j \sin \varphi_{dj}\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^n d_j \cos \varphi_{dj}\right)^2};$$

$$\varphi_i = \arctg \frac{\left(\sum_{j=1}^n a_j \sin \varphi_{pj}\right)}{\left(\sum_{j=1}^n a_j \cos \varphi_{pj}\right)};$$

де, враховуючи, що  $\omega_i = 2\pi \sqrt{\frac{C_j}{m_j}}$ ,

$$a_j = \frac{1}{\sqrt{(n_j \omega_{pj})^2 + C_j^2 \left(1 - \frac{\omega_{pj}^2}{\omega_j^2}\right)^2}} + A_{oi};$$

$$b_j = \frac{1}{\sqrt{(n_j \omega_{ej})^2 + C_j^2 \left(1 - \frac{\omega_{ej}^2}{\omega_j^2}\right)^2}} + A_{oj};$$

$$d_j = \frac{1}{\sqrt{(n_j \omega_{cj})^2 + C_j^2 \left(1 - \frac{\omega_{cj}^2}{\omega_j^2}\right)^2}} + A_{dj};$$

$$\varphi_{pj} = \arctg \left[ \frac{h_j \omega_{pj}}{C_j \left(1 - \frac{\omega_{pj}^2}{\omega_j^2}\right)} \right] + \varphi_{dj};$$

$$\varphi_{ej} = \arctg \left[ \frac{h_j \omega_{ej}}{C_j \left(1 - \frac{\omega_{ej}^2}{\omega_j^2}\right)} \right] + \varphi_{dj};$$

$$i=1,2,3,\dots,n; j=1,2,3,\dots,n.$$

Оскільки чотири модальні параметри  $j$ -ї одномасової системи з власною частотою  $\omega_j$  відомі, сумісний розв'язок рівнянь дозволяє визначити інші модальні параметри:  $h_j$ ,  $C_j$ ,  $m_j$ ,  $A_{dj}$ ,  $\varphi_{dj}$ .

Необхідну точність розрахунків дає розв'язок даної системи нелінійних рівнянь ітераційним методом. Початкові значення модальних параметрів виразів:

$$A_{di}^o = \frac{A_{pi}(A_{ci} - A_{bi}) - A_{bi}(A_{pi} - A_{bi})}{A_{bi} - A_{di}};$$

$$h_j^o = \frac{1}{(A_{pi} + A_{bi})\omega_{pi}};$$

$$C_{pi}^o = \frac{\sqrt{\frac{1}{(A_{bi} + A_{di})^2} - (h_j^o \omega_{bi})^2}}{1 - \frac{\omega_{bi}^2}{\omega_{pi}}};$$

$$\varphi_{di} = \varphi_{pi} + \frac{\pi}{2}.$$

Кількість ітерацій залежить від необхідної точності обчислень. Одержані значення параметрів точно описують АФЧХ верстата в визначеній точці РП.

Разом з тим, зміна АФЧХ призводить до появи координатної нелінійності в технологічній системі, що вимагає розрахунку модальних параметрів для будь-якої точки РП.

При експериментальних дослідженнях залежності АФЧХ фрезерних і багатоопераційних верстатів від координат РП було помічено, що параметри названих залежностей не мають точок розриву. Це дозволяє вимірювати АФЧХ в обмеженому числі точок РП і апроксимувати залежності модальних параметрів АФЧХ ПС однокоординатного РП раціональними функціями, для чого необхідно розрахувати модальні параметри в деяких точках РП. Кількість експериментальних точок вимірювання АФЧХ верстата залежить від необхідної точності апроксимації, тобто виду функціональної залежності (на практиці можна обмежитися дев'ятьма точками в одній площині вимірювань).

## 2.2 Розрахунок масивів модальних параметрів замінюючої динамічної моделі

У результаті вимірювання АФЧХ ВПС в РП, розрахунку модальних параметрів для прийнятих точок РП і отримання функціональних залежностей модальних параметрів від координат РП вимірювана АФЧХ ВПС може бути описана функціями, які умовно можна назвати модальними поверхнями:

$$\begin{aligned} M_1 &= h_i(x; y; z); \quad M_2 = c_i(x; y; z); \quad M_3 = m_i(x; y; z); \\ M_4 &= A_i(x; y; z); \quad M_5 = \varphi_i(x; y; z). \end{aligned} \quad (2.3)$$

Для розрахунку модальних поверхонь розроблена програма розрахунку "МОД", реалізована на мові СІ. Як початкові дані у програму вводяться матриці параметрів експериментально одержаної АФЧХ уздовж будь-якої осі координат верстата в деякій точці РП, координати точки РП і ступінь полінома, якими апроксимуються залежності модальних параметрів від координат РП верстата.

Рівняння  $l$ -ї модальної поверхні при цьому має вигляд:

$$M_l = f(x; y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x^{i-1} y^{j-1}, \quad (2.4)$$

де  $x, y$  - координати РП;

$a_{ij}$  - матриця коефіцієнтів полінома;

$m$  - степінь полінома, що апроксимує експериментальну криву.

Розрахунок масивів модальних параметрів замінюючої динамічної моделі для кожної з основних форм коливань пружної системи здійснюється за допомогою підпрограми "SPID". Підпрограма вирішує

систему нелінійних рівнянь з початковими умовами ітераційним методом із заданою точністю, яка перевіряється відхиленням амплітуд і фаз АФЧХ замінюючої динамічної системи від відповідних параметрів реальної системи.

Коефіцієнти степеневого многочлена, що описує зміну модальних параметрів для кожної форми коливань при зміні координат, РП, розраховують методом найменших квадратів за допомогою підпрограми "МНК". У такому ж порядку розраховують матриці коефіцієнтів многочлена для напрямку і уздовж іншої осі координат.

Розраховані модальні параметри можуть бути використані для визначення деформацій допоміжної динамічної системи під дією довільної сили.

Для розрахунку цих деформацій, які відповідають деформаціям реальної пружної системи діюча сила повинна бути представлена в частотному вигляді. Тоді сумарна статична деформація по осях координат рівна сумі статичних деформацій одномасових систем під дією постійної складової  $P$ :

$$x_0 = x_{01} + x_{02} + \dots + x_{0n} = P_{0x} \sum_{j=1}^n \frac{1}{C_{x_j}};$$
$$y_0 = y_{01} + y_{02} + \dots + y_{0n} = P_{0y} \sum_{j=1}^n \frac{1}{C_{y_j}}.$$

Амплітуда вібраційних зміщень на частоті буде рівна векторній сумі амплітуд коливань одномасових систем, а фаза визначена фазами коливань одномасових систем.

Деформація ВПС в системі координат верстата:

$$x(\tau) = x_0 + \sum_{i=1}^m x_i \sin(\omega_{i\tau} + \varphi_{xi});$$

$$y(\tau) = y_0 + \sum_{i=1}^m y_i \sin(\omega_{i\tau} + \varphi_{yi});$$

З урахуванням модальних параметрів амплітуда і фаза вібраційних зміщень  $i$ -ї одномасової системи на  $j$ -й частоті:

$$A_i = P_i \left[ \frac{1}{\sqrt{(M_{1i}\omega_i)^2 + M_{2i}^2 \left(1 - \frac{\omega_i^2}{M_{3i}}\right)^2}} + M_{4i} \right];$$

$$\varphi_i = \arctg \left[ \frac{M_{1i}\omega_i}{M_{2i} \left(1 - \frac{\omega_i^2}{M_{3i}}\right)^2} + M_{5i} \right].$$

Сумарна деформація ВПС, яка і визначає величину відносних вібраційних зміщень між інструментом і заготівкою на  $j$ -й частоті, являється векторною сумою елементарних деформацій  $A_{ij} = \sum_{i=1}^n \overline{A_j}$ .

Таким чином, зберігши в пам'яті системи управління інформацію про АФЧХ ВПС, записану у вигляді  $l$ -модальної поверхні (2.4) і вимірюючи силу різання можна отримувати повну інформацію про амплітуду і частоту вібраційних зміщень в будь-якому частотному діапазоні.

Оскільки в даний час отримання інформації про силові параметри за допомогою, наприклад, динамометричних підшипників вузлів



шпинделів верстатів достатньо добре відпрацьовано, можна вважати, що отримання вібраційно-метричної інформації є цілком реальною задачею. Адекватність запропонованого опису реальним АФЧХ неодноразово була підтверджена численними експериментальними перевірками на багатоцільових верстатах.

Проте в умовах ГВС відбувається часта зміна оснащення і заготівок, що приводить до зміни динамічних характеристик пружної системи.

В зв'язку з цим інформація, яка закладається в пам'ять СКУТ, повинна складатися з інваріантної і адаптивної. Інваріантна частина припускає наявність інформації про пружну систему верстата з урахуванням її зміни в РП при обробці комплексної деталі з комплексним оснащенням, тоді як адаптивна частина припускає наявність інформації про зміни названої пружної системи при включенні в роботу того або іншого оснащення або заготівки.

Інваріантна частина повинна бути самоорганізуючим алгоритмом, який перебудовується залежно від введених в нього систематизованих для окремих видів обробки табличних даних, якими можна описати відмінність реальних заготівки і оснащення від комплексних. При цьому треба також врахувати те що в теперішній час методики визначення АФЧХ не забезпечують достатньо високої точності.

В зв'язку з цим вібраційно-метрична інформація, одержана пропонованим методом, може нести в собі похибку, яка доходить до 30 - 40 % що необхідно враховувати при проектуванні систем управління. Тому пропонований метод отримання віброметричної інформації не можна вважати всеосяжним.

Мабуть, він стане перспективним в майбутньому, коли будуть відпрацьовані точні методи вимірювання сил різання і АФЧХ пружних систем верстатів і технологічних систем, тоді як сьогодні, по можливості,

слід використовувати методи прямого отримання вібраційно-метричної інформації.

Оскільки АФЧХ пружних систем і процесу різання, які теж можуть бути формалізовані запропонованими методами, є випадковими величинами, це необхідне враховувати і при операціях з передавальними функціями, оскільки дисперсія похідної випадкових величин може виявитися такою великою, що зведе нанівець переваги розглянутих методів підвищення точності.

В зв'язку з цим, перш ніж приступити до проектування системи управління або розробки методі проектування і оцінки точності необхідно оцінити дисперсію похідної, що входить в даний закон управління передавальної функції, що є випадковими.

В залежностях, які аналізуються нижче, такими функціями є  $W_p$  і  $W_y$ , тоді як інші функції — детерміновані.

Запропонований підхід до формалізації АФЧХ технологічної системи, крім розв'язку задачі отримання вібраційно-метричної інформації може бути використаний і в інших цілях. Зокрема він може знайти вживання для опису різних об'єктів при рішенні задач проектування і управління.

Наприклад, при проектуванні несучих систем металорізальних верстатів формалізація запису їх динамічних характеристик може бути використана для оптимізації конструктивних параметрів по різних критеріях, включаючи і точність обробки, на основі розглянутого вище достатнього критерію якості технологічної системи. При цьому повинна бути вирішена задача ідентифікації знайдених розрахунком параметрів, що характеризують окремі форми коливань з конструктивними параметрами відповідних вузлів і елементів верстата.

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Методика отримання вібраційно-метричної інформації

При безцентровому шліфуванні немає можливості вимірювання поточних миттєвих значень діаметру і відхилень довжини заготовки, як при обробці в центрах. Ця інформація може бути одержана розрахунковим шляхом при відомих миттєвих поточних значеннях радіусів шліфувального і ведучого кругів.

Це дає можливість визначення миттєвої конфігурації зони обробки при допущенні, що деформація і зношення опорного ножа неспіврозмірно малі в порівнянні із зношенням і деформаціями кругів і шліфувальної бабки. Діаметри кругів значно більші діаметру заготовки, ярмо створює передумови для установки контактних давачів (рис. 3.1,а), вимірюючих миттєві значення радіусів шліфувального і ведучого кругів, як це зроблено, наприклад, на верстаті ME 297C1.

За основну систему координат при розрахунку поточного миттєвого радіусу заготовки приймають таку, біля якої положення осей інваріантне до варіантів налагодження і збурюючих дій. Цій умові задовольняє система координат, вісь  $Z$  якої співпадає з осями гойдання шліфувальної бабки. Осі  $Z'$ ,  $Z''$  і  $Z'''$  допоміжних систем координат  $X', O', Y', Z', X'', O'', Y'', Z''$  і  $X''', O''', Z'''$ ,  $Y'''$  співпадають відповідно з осями шліфувального круга, ведучого круга і стовпа деталей.

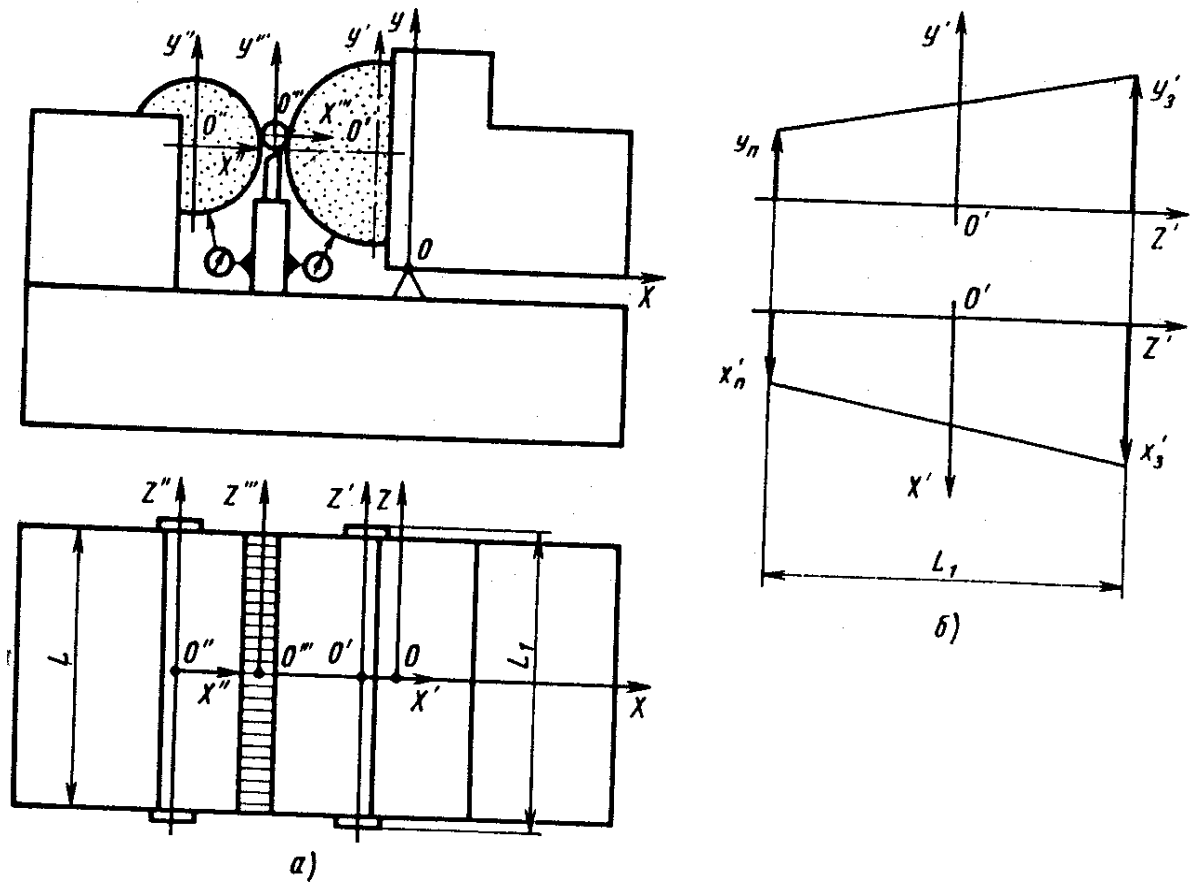


Рисунок 3.1 – Основна і допоміжні системи координат (а) і схеми зсуву осі  $Z'$  в допоміжній системі координат (б)

Миттєві поточні координати точок осей кругів уздовж зони обробки можна визначити, вимірюючи зсув осей  $Z'$  і  $Z''$  в передніх і задніх опорах в допоміжних системах координат, вважаючи, що самі осі є абсолютно жорсткими (рис. 3.1, б):

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1^0 + \Delta x'; & y_1 &= y_1^0 + \Delta y'; \\ x_2 &= x_{21}^0 + \Delta x''; & y_{21} &= y_2^0 + \Delta y''; \end{aligned}$$

де  $x_1^0, y_1^0, x_2^0, y_2^0$  – початкові значення координат точок  $O'$  і  $O''$ ;  $\Delta x', \Delta y', \Delta x'', \Delta y''$  – проекція миттєвих зміщень точок осей  $Z'$  і  $Z''$  на осі координат:

$$\Delta x' = \frac{x'_3 - x'_n}{L_1} z + \frac{x'_3 + x'_n}{2};$$

$$\Delta y' = \frac{y'_3 - y'_n}{L_1} z + \frac{y'_3 + y'_n}{2},$$

де  $L$  — відстань між опорами;

$x'_n, y'_n, x'_3, y'_3$  — проєкції на осі координат миттєвих величин зсуву осі шліфувального круга відповідно в передніх і задніх опорах.

При визначенні положення точки осі ведучого круга уздовж зони обробки, необхідно врахувати початкові кути нахилу осі ведучого круга  $a_x$  і  $a_y$ , до осей  $X$  і  $Y$  відповідно.

Ці кути можуть бути визначені, виходячи із заданих умов обробки, тобто є первинними параметрами налагодження. Щоб забезпечувався постійний контакт ведучого круга із заготівкою, ведучому кругу надають форму гіперболоїда обертання.

Параметри гіперболоїда є розрахунковою величиною висоти  $h$  точки дотику середнього ведучого круга і заготівки над лінією центрів ведучого і шліфувального кругів і величинами  $h_1$  і  $h_2$  настройки пристрою правки.

Кут схрещування  $\alpha$  траєкторії правки і осі ведучого круга залежить від необхідної швидкості подовжнього руху подачі  $v_{\text{спр}}$  (рис. 3.2, а).

Рівняння гіперболоїда в допоміжній системі координат має вигляд

$$\left(\frac{x''}{a}\right)^2 + \left(\frac{y''}{2}\right)^2 - \left(\frac{z''}{2}\right)^2 = 1, \quad (3.1)$$

де  $a$  та  $c$  - параметри гіперболоїда (рис. 3.2,б);

$$a = \sqrt{R_2^2 - h_1^2}; \quad c = \frac{a}{\operatorname{tg} \alpha}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{h_1 - h_2}{L}. \quad (3.2)$$

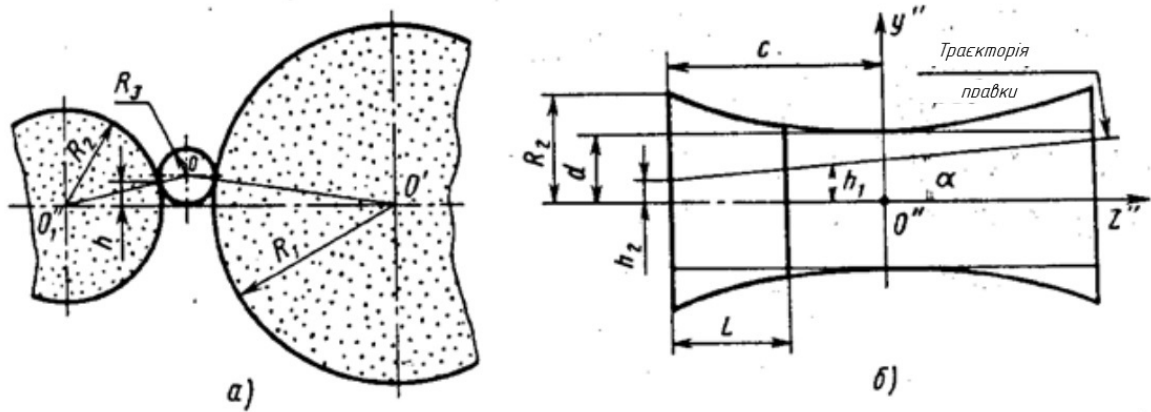


Рисунок 3.2 – Форма ведучого круга з параметрами налагодження

При налагодженні верстата за допомогою повороту бабки ведучого круга в площинах  $X''O''Z''$  і  $Y''O''Z''$  на кути  $\alpha_x$  і  $\alpha_y$  добиваються, щоб прямолінійна твірна гіперболоїда паралель площині опорного ножа.

Ці кути можна знайти використовуючи задані параметри налагодження (рис. 3.3, а, б):

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{2AF}{L}; \quad \operatorname{tg} \alpha_y = \frac{2AE}{L};$$

$$AF = \frac{AD - BD}{2} \sin \beta = \frac{h_1 - h_2}{2} \sin \beta;$$

$$AE = \frac{AD - BD}{2} \cos \beta = \frac{h_1 - h_2}{2} \cos \beta,$$

де  $\beta$  - кут повороту твірної гіперболоїда, визначається з рівнянь:

$$tg\beta = \frac{CD - \frac{h}{\cos\beta}}{a} = \frac{\frac{h_1 + h_2}{2} - \frac{h}{\cos\beta}}{a}; \quad (3.3)$$

$$(a^2 - h^2)tg^2\beta - a(h_1 + h_2)tg\beta + \frac{(h_1 + h_2)^2}{2} - h^2 = 0.$$

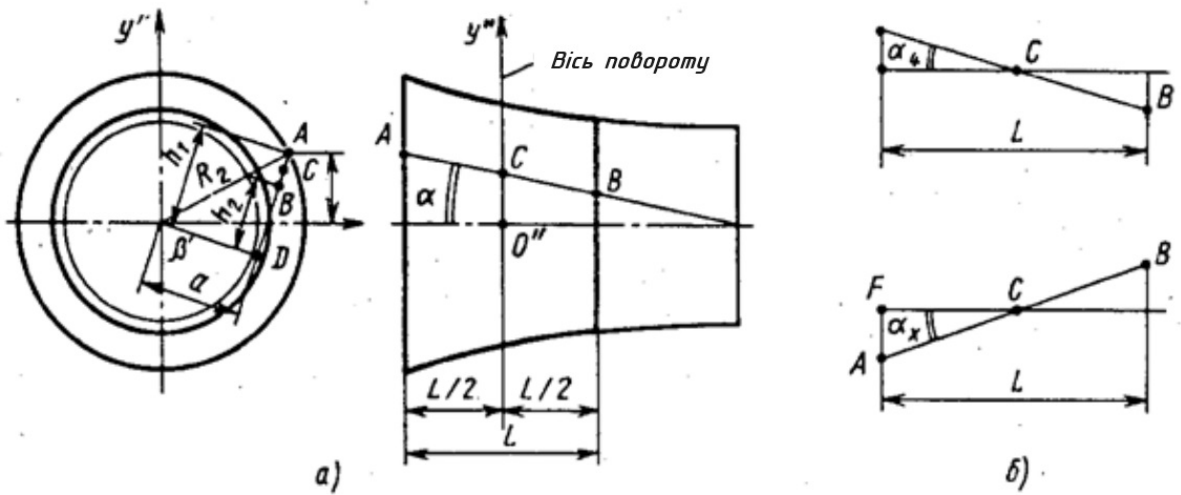


Рисунок 3.3 – Схема налагодження прямолінійної твірної гіперболоїда обертання

Розв'язуючи рівняння (3.3) відносно  $tg\beta$ , отримаємо

$$\beta = \arctg \left[ \frac{a(h_1 + h_2)}{2(a^2 - h^2)} - h \sqrt{\frac{(h_1 + h_2)^2}{4(a^2 - h^2)^2}} \right].$$

З урахуванням (3.2) маємо:

$$tg\alpha_x = tg\alpha \sin \beta; \quad tg\alpha_y = tg\alpha \cos \beta.$$

Координати похідної точки осі  $Z''$  з урахуванням повороту бабки:

$$x_2 = x_2^0 + \Delta x'' \cos \alpha_x + \Delta y'' \sin \alpha_x \sin \alpha_y + z \operatorname{tg} \alpha_x;$$

$$y_2 = y_2^0 + \Delta y'' \cos \alpha_y + z \operatorname{tg} \alpha_y,$$

де  $\Delta x''$ ,  $\Delta y''$  – проєкції миттєвого приросту координат точки осі  $Z''$ :

$$\Delta x'' = \frac{x_3'' - x_n''}{L_1} z + \frac{x_3'' + x_n''}{2};$$

$$\Delta y'' = \frac{y_3'' - y_n''}{L_1} z + \frac{y_3'' + y_n''}{2}.$$

Виражаючи старі координати гіперболоїда через нові, отримаємо:

$$x'' = (x_1 + x_2) \cos \alpha_x + (y_1 + y_2) \sin \alpha_x \sin \alpha_y + z \cos \alpha_y \sin \alpha_x;$$

$$y'' = (y_1 + y_2) \cos \alpha_y - z \sin \alpha_y;$$

$$z'' = -(x_1 + x_2) \sin 2\alpha_x + (y_1 + y_2) \cos \alpha_x \sin \alpha_y + z \cos 2\alpha_x \cos \alpha_y - \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Позначивши:

$$a_1 = \cos \alpha_x; \quad c_1 = \cos \alpha_x \sin \alpha_y;$$

$$a_2 = \sin \alpha_x \sin \alpha_y; \quad c_2 = \sin \alpha_x;$$

$$a_3 = \sin \alpha_x \cos \alpha_y; \quad c_3 = \cos \alpha_x \cos \alpha_y;$$

$$b_1 = \cos \alpha_y; \quad c_4 = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha},$$

$$b_2 = \sin \alpha_y;$$

отримаємо рівняння гіперболоїда в основній системі координат:



$$\frac{[a_1(x_1 + x_2) + a_2(y_1 + y_2) + a_3z]^2}{a^2} + \frac{[b_1(y_1 + y_2) - b_2z]^2}{a^2} - \frac{[c_1(y_1 + y_2) - c_2(x_1 + x_2) + c_3z + c_4]}{c^2} = 1$$

Положення осі заготовки в просторі  $(x_3, y_3)$  і її радіус  $R_3$  в будь-якому перетині площиною, перпендикулярної осі, однозначно визначені координатами осі шліфувального круга  $(x_1, y_1)$ , положенням площини опорного ножа координатами осі провідного круга  $(x_2, y_2)$ , радіусом шліфувального круга  $R_1$  і в даному перетині і замкнутій кривій другого порядку  $\varphi(x, y)$ , одержуваної в перетині гіперболоїда. Рівняння кривої  $\varphi(x, y)$  має вигляд:

$$\begin{aligned} & [a_1(x + x_2) + a_2(y + y_2) + a_3z]^2 + [b_1(y + y_2) - b_2z]^2 = \\ & = tg^2\alpha \{ b + [c_1(y + y_2) - c_2(x + x_2) + c_3z + c_4]^2 \} \end{aligned}$$

Або після перетворень:

$$Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0,$$

де

$$\begin{aligned} A &= a_1^2 + c_2^2 t^2; \quad B = a_1 a_2 - c_1 c_2 t^2; \quad C = a_2^2 b_1^2 + c_1^2 t^2; \\ D &= a_1^2 x_2 + a_1 a_2 y_2 + a_1 a_3 z + c_2^2 t^2 x_2 - c_1 c_2 t^2 y_2 - c_2 t^2 (c_3 z + c_4); \\ E &= a_2^2 y_2 + a_1 a_2 x_2 + a_2 a_3 z + b_1^2 y_2 - b_1 b_2 z + c_1^2 t^2 y_2 - c_1 c_2 t^2 x_2 + c_1 (c_3 z + c_4) t^2; \\ F &= (a_1^2 - c_2^2 t^2) x_2^2 + (a_2^2 - c_1^2 t^2) y_2^2 + 2(a_1 a_2 + c_1 c_2 t^2) x_2 y_2 + 2(a_2 a_3 - b_1 b_2) y_2 z + \\ & \quad + 2a_1 a_3 x_2 z + (a_2^3 + b_2^2) z^2 - (c_3 z + c_4)^2 t^2 - 2(c_3 z + c_4)(c_1 y_2 - c_2 x_2) t^2 - a^2; \\ t &= tg\alpha; \quad a = \sqrt{R_2^2 - h_1^2}. \end{aligned}$$

Дослідження рівняння (34) показало, що крива  $f(x,y)$  є еліпсом. Для визначення його параметрів перетворимо це рівняння до канонічного вигляду. Координати центру  $S(x_0, y_0)$  (рис. 3.4) визначаються з системи рівнянь:

$$Ax_0 + By_0 + D = 0; \quad Dx_0 + Cy_0 + E = 0,$$

розв'язавши яку, отримаємо

$$y_0 = \frac{A \cdot E - D^2}{B \cdot D - A \cdot C}; \quad x_0 = \frac{C \cdot D - B \cdot E}{B \cdot D - A \cdot C}.$$

При переносі початку координат в точку  $S$

$$\tilde{A}x^2 - 2B\tilde{x}\tilde{y} + \tilde{C}y^2 + \tilde{F} = 0,$$

де  $\tilde{F} = Dx_0 + Ey_0 + F$ .

При повороті осей координат на кут  $\gamma$

$$D_1x_2''^2 + D_2y_2''^2 + F = 0, \tag{3.4}$$

де

$$D_1 = \frac{A + 2Btg\gamma + Ctg^2\gamma}{1 + tg^2\gamma};$$

$$D_2 = \frac{Atg^2\gamma - 2Btg\gamma + C}{1 + tg^2\gamma};$$

$$tg\gamma = W \pm \sqrt{W^2 + 1}; \quad W = \frac{C - A}{2B}.$$

Рівняння (3.4) можна перетворити до канонічного виду:

$$\frac{x_2''}{P^2} + \frac{y_2''}{Q^2} = 1 \quad (3.5)$$

де  $P$  і  $Q$  – півосі еліпса  $\left( P^2 = -\frac{\tilde{F}}{D_1}; Q^2 = \frac{F}{D_2} \right)$ .

Враховуючи, що  $l=Q^2 \cdot P^2$  – половина відстані між фокусами еліпса, знайдемо координати фокусів еліпса:

$$x_4 = x_0 + l \sin \gamma; \quad y_4 = y_0 + l \cos \gamma;$$

$$x_5 = x_0 - l \sin \gamma; \quad y_5 = y_0 - l \cos \gamma.$$

Миттєве положення заготовки і її розмір в якому-небудь перетині визначено координатами заготовки  $O_0(x_3; y_3)$ , координатами точки дотику  $M(x_6; y_6)$  з ведучим кругом і її радіусом  $R_3$ . Радіус шліфувального круга в цьому ж перетині може бути визначено як функцію від координати  $Z$ :

$$R_1' = R_1 - \left( Z + \frac{L}{2} \right) \operatorname{tg} \epsilon,$$

де  $\operatorname{tg} \epsilon = \frac{\delta_{\text{п}}}{2L}$  ( $\delta_{\text{п}}$  – припуск на обробку).

Для знаходження невідомих складемо рівняння, що описують миттєвий стан системи в деякому перетині. Відстань від центру перетину заготовки  $O_3$  до точки  $M$  її дотику з ведучим кругом рівна радіусу:

$$\sqrt{(x_3 - x_6)^2 + (y_3 - y_6)^2} = R_3 \quad (3.6)$$

Відстань між центрами заготовки і шліфувального круга рівна сумі радіусів  $R_1$  і  $R_3$ :

$$\sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2} = R_1 + R_3. \quad (3.7)$$

Відстань від центру перерізу заготовки  $O_3$  до площини ножа рівна радіусу  $R_3$ :

$$-x_3 \sin \lambda + y_3 \cos \lambda - m = R_3 \quad (3.8)$$

Сума фокальних радіусів перетинів ведучого круга  $F_1M$  та  $F_2M$  великої напівосі еліпса (38) :

$$\sqrt{(x_4 - x_6)^2 + (y_4 - y_6)^2} + \sqrt{(x_5 - x_6)^2 + (y_5 - y_6)^2} = 2Q. \quad (3.9)$$

Дотична до еліпса в точці  $M$  перпендикулярна радіусу  $R_3$ . Кутовий коефіцієнт радіусу заготовки, проведеного в точку  $M$ :

$$K_1 = \frac{y_3 - y_6}{x_3 - x_6}.$$

Рівняння дотичної до еліпса, проведеної через точку  $M$ :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x}(x - x_0) - \frac{\partial \varphi}{\partial y}(y - y_0) = 0,$$

де

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = 2Ax_6 + 2By_6 + 2D;$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} = 2Cy_6 + Bx_6 + 2E.$$

Тоді

$$(Cy_6 + Bx_6 + E)y = -(Ax_6 + 2By_6 + D) + Ax_6 + 2Bx_6y_6 + Dx_6 + Cy_6^2 + Ey_6$$

Кутовий коефіцієнт дотичної

$$K_2 = -\frac{Ax_6 + By_6 + D}{Cy_6 + Bx_6 + E}.$$

Враховуючи, що умова перпендикулярності прямих має вигляд

$$K_1 = -\frac{1}{K_2}$$

одержимо умову перпендикулярності радіусу  $O_3M$  і дотичної до еліпса в точці  $M$ :

$$\frac{y_3 - y_6}{x_3 - x_6} = -\frac{Cy_6 + Bx_6 + E}{Ax_6 + By_6 + D}.$$

Для розв'язку системи рівнянь (3.6) і (3.9) методом простої ітерації перетворюємо її до вигляду:

$$\begin{aligned}
R_3 &= \sqrt{(x_3 - x_6)^2 + (y_3 - y_6)^2}; \\
x_3 &= R_3 + R_1 + x_3 - \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2}; \\
y_3 &= R_3 + x_3 \sin \lambda + (1 - \cos \lambda) y_3 + m; \\
x_6 &= 2Q + x_6 - \sqrt{(x_4 - x_6)^2 + (y_4 - y_6)^2} - \sqrt{(x_5 - x_6)^2 + (y_5 - y_6)^2}; \\
y_6 &= (Cy_6 + Bx_6 + E)(x_3 - x_6) - (Ax_6 + By_6 + D)(y_3 - y_6) + y_6.
\end{aligned} \tag{3.10}$$

Ітераційна формула розв'язку системи (3.10) має вигляд:

$$x_i^{(k)} = \varphi_i(x_1^{(k-1)}; x_2^{(k-1)}; x_3^{(k-1)}; \dots; x_n^{(k-1)}),$$

де  $i=1,2,3,\dots,n$ ;  $k=1,2,3,\dots,n$ .

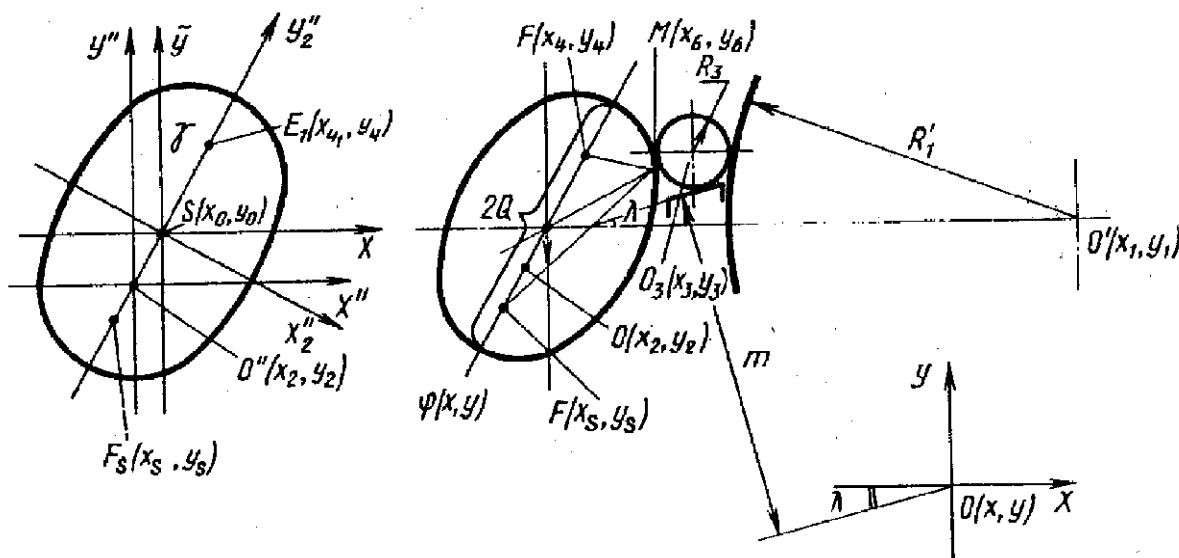


Рисунок 3.4 – Схема миттєвого положення заготівки в перерізі зони обробки

Початкові значення  $R_3^0, x_3^0, y_3^0, x_6^0, y_6^0$  можна знайти, приймаючи  $\Delta x' = \Delta y' = \Delta x'' = \Delta y'' = 0$  при  $Z=0$ .

Так само, як і для методу отримання вібраційно-метричної інформації при обробці в центрах вона повинна бути представлена в частотному вигляді.

Зв'язок вимірювальної системи з ЕОМ для реалізації програми здійснюється інтерфейсним пристроєм. Загальний алгоритм прогнозування точності безцентрового шліфування аналогічний показаному на рис. 1.3.

### **3.2 Методологія вібраційної діагностики причин відмов по точності обробки**

Оскільки металорізальне обладнання, що використовується в ГВС, експлуатується в умовах "малолюдної" технології, воно повинне відрізнятися інваріантністю до зовнішніх збурень, що може бути забезпечене лише шляхом автоматичного управління точністю.

Таке управління може будуватися лише на підналагодженні, пов'язаній із зміною взаємного положення інструменту і заготовки в просторі, оскільки при наявності досить великої кількості збурень (дисбаланс і засмічення шліфувального круга, биття шпинделя або ходового гвинта, циклічна похибка давача зворотного зв'язку і т. д.) такий метод управління не призводить до підвищення точності.

Разом з тим будь-який метод управління, направлений на усунення відмови по точності обробки, припускає виявлення його причини, що може бути досягнуте лише в результаті діагностики цих причин.

Основними методами діагностики технічного стану різних пристроїв є методи теорії розпізнавання, які мають ряд і недоліків, що обмежують їх практичне вживання, що, в першу чергу, пов'язано з проведенням великих "навчальних" експериментальних досліджень для

визначення діагностичних ознак. В ГВС, де об'єкт виробництва є швидкозмінним, такий підхід неможливий.

Тому практичний інтерес представляють функціональні методи, що дозволяють визначити необхідні діагностичні ознаки розрахунковим шляхом на базі заздалегідь побудованих динамічних моделей, причому метою діагностики якраз і є визначення параметрів такої моделі.

Збурення, які впливають на систему, що призводять до відмов, в загальному випадку можуть призводити до зміни динамічних характеристик системи, тому в загальному вигляді лінійна модель, параметри якої необхідно діагностувати, може бути запису у вигляді

$$\ddot{y} + G\dot{y} + [P_0 + P_1(\tau)]y = \bar{\varphi}(\tau), \quad (3.11)$$

де  $G, P_0$  – постійні матриці;

$P_1(\tau)$  – змінна матриця;

$y$  – вектор відносних вібраційних зміщень;

$\bar{\varphi}(\tau)$  – вектор збурень.

Для однозначного визначення параметрів змінної матриці і вектора збурень необхідно, щоб число частот вимірюваних параметрів було не менше розмірності матриці і щоб в спектрі збурень  $\varphi(\tau)$  для будь-якої вимірювальної частоти була відсутня парна частота, тобто одна і та ж похибка не викликала різними причинами.

На підставі розглянутого в попередньому розділі способу вібропрогнозування точності задача вібраційної діагностики технологічних відмов може бути спрощена за допомогою наступних міркувань.

Як правило, число збурень, що призводять до появи технологічних відмов, є обмеженим. Зокрема, це підтверджується багаторічним дослідженням технологічної надійності фрезерних верстатів з ЧПУ,



результати якого показали, що 91% відмов по точності обробки, викликається сімома основними причинами (рис. 3.5).

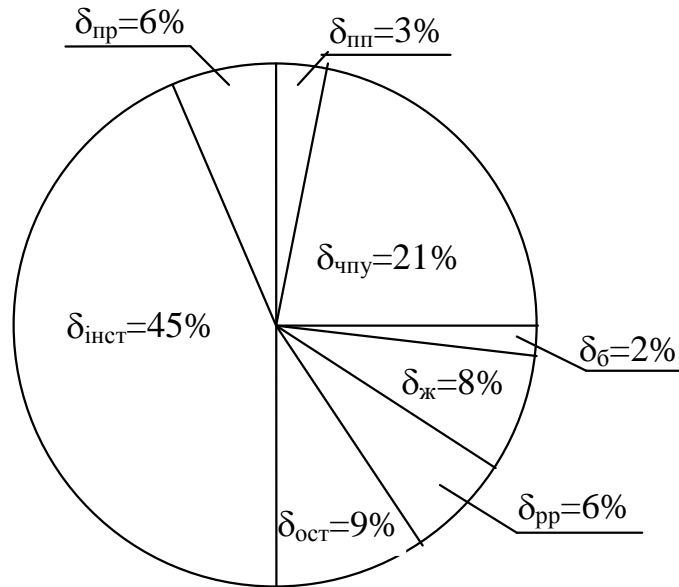


Рисунок 3.5 – Похибки фрезерних верстатів з ЧПУ:

$\delta_{\text{инст}}$  – інструментна;  $\delta_{\text{пр}}$  – приводу;  $\delta_{\text{пп}}$  – програмування;  $\delta_{\text{чпу}}$  – давачів з ЧПУ;  $\delta_{\text{б}}$  – базування;  $\delta_{\text{ж}}$  – через малу жорсткість заготовки;  $\delta_{\text{рр}}$  – через неправильно вибрані режими різання;  $\delta_{\text{ост}}$  – інші причини

Це дозволяє на підставі апіорної інформації незалежно від матеріалу і типорозміру заготовки і інструменту сформувати для даного типу верстата масив причин технологічних відмов.

Відносні вібраційні зміщення між інструментом і заготовкою можуть бути розділені на частотні діапазони залежно від виду утворюваної ними похибки. Це дозволяє розділити по відповідних частотних діапазонах і виявлені в результаті апіорної інформації причини відмов по точності обробки, що полегшує задачу ідентифікації причини відмов по точності обробки з їх діагностичними ознаками.

Подібний підхід виключає можливість діагностики причин відмов, пов'язаних з різними процесами зношення.

Таким чином для діагностування причин відмов по точності обробки необхідно вирішити наступні задачі (рис. 3.6):

1. На підставі апріорної інформації сформувати масив причин відмов по точності обробки  $\varphi(\tau)$ .
2. Розділити причини відмов по точності обробки по частотних діапазонах.
3. Відповідно до частотних діапазонів конкретного виду обробки сформувати сталі  $G$ ,  $P_0$  і змінну матриці  $P_1$  для однотипних вібраційних зміщень між інструментом і заготівкою.
4. Провести логічний аналіз діагностичних ознак.
5. Виявити причину технологічної відмови.

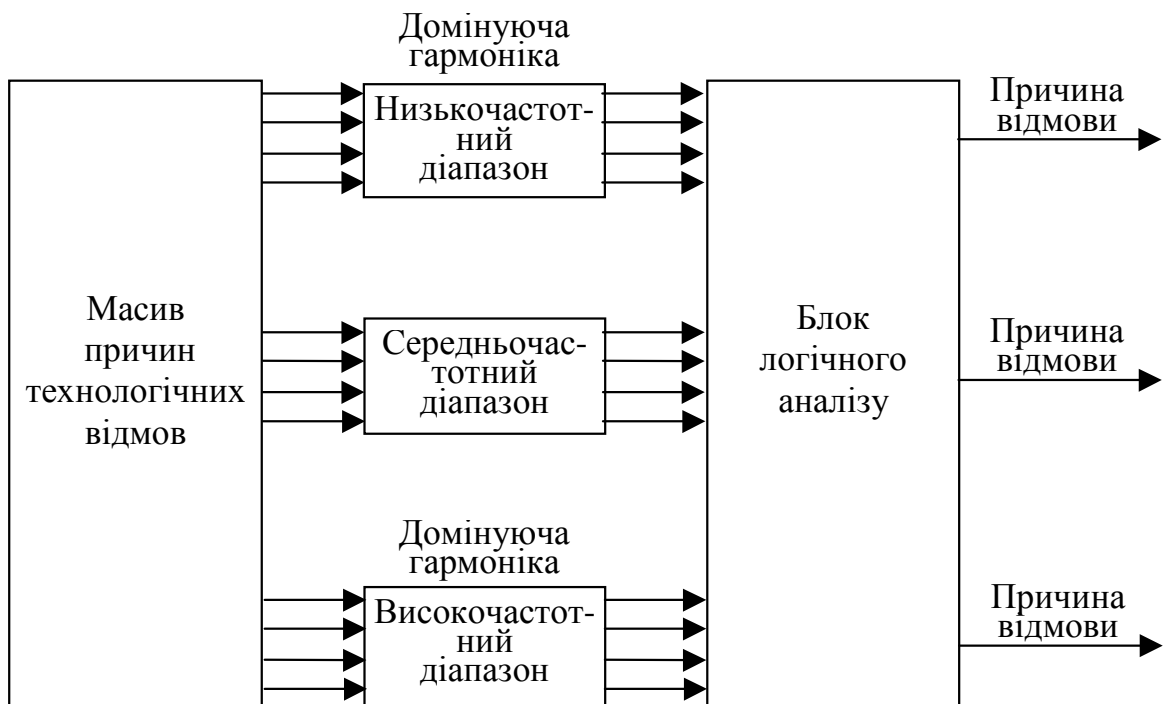


Рисунок 3.6 – Методологія вібраційної діагностики причин відмов по точності обробки

Зміст цих задач пояснимо на прикладі. Припустимо, що домінуючими причинами відмов по точності обробки

круглошліфувального верстата з ЧПУ являються: 1) похибки в складанні програми; 2) похибки ходового гвинта; 3) похибки давача зворотного зв'язку (ДЗЗ) по положенню; 4) зношування шліфувального круга; 5) дисбаланс шліфувального круга; 6) биття шпинделя; 7) неправильно вибрані режими різання; мала жорсткість заготовки; 9) зазори приводу.

Квантування причин виникнення похибок по частотних діапазонах може бути проведено таким чином. До статичних низькочастотних збурень, які призводять до появи розмірної похибки, відносять: 1) похибки програми; 2) зазори приводу 3) похибки ходового гвинта; 4) похибки форми уздовж управляючої лінії поверхні деталі або уздовж лінії твірної поверхні.

Таким чином, якщо утворюється похибка певного вигляду, пошук причини, що викликала її, проводиться в певному діапазоні шляхом ідентифікації частоти збурень з домінуючою частотою, що викликала похибку даного частотного діапазону.

Оскільки в кожному частотному діапазоні є обмежене число збурень, ця процедура не викликає особливих труднощів. Проте вони з'являються тоді, коли порушується умова однозначності матриці вхідних значень згідно рівняння (3.1) і може виявитися, що домінуюча частота відносних віброзсувів між інструментом і заготовкою, твірна похибка ідентифікується з двома або більш причинами, що мають ту ж частоту збурень.

Наприклад, якщо при шліфуванні на деталі виникли дві похибки, що виходять за допуск, — похибка форми уздовж направляючої у вигляді бочкоподібності і похибка форми уздовж твірної у вигляді багатогранності, то гармоніки, що викликають ці похибки, мають відповідно частоти 0,5 і 32 Гц. Перша частота відповідає частоті обертання ходового гвинта поздовжньої подачі, а друга — частоті обертання шліфувального круга.

Проте, це ще не дає однозначної відповіді про причину відмови. Річ у тому, що низькочастотні похибки можуть викликатися як похибки кроку ходового гвинта і похибки давача зворотного зв'язку, тоді як похибка поперечної геометрії деталі — дисбалансом шліфувального круга, його затупленістю і неврівноваженістю шпинделя. Формальні методи ідентифікування дозволяють оцінити яка з причин відмов є домінуючою, і для розв'язку цієї задачі необхідний логічний аналіз або інші методи розпізнавання.

Алгоритм вібраційної діагностики причин відмов по точності обробки в значній степені повторює алгоритм вібро-прогнозування точності. Так само, і в алгоритмі вібро-прогнозування, миттєва інформація про вібраційні зміщення інструменту відносно заготівки розкладається в гармонійний ряд (рис. 3.7) і поступає на цифрові фільтри.

Відмінність цього алгоритму полягає в тому, що в кожному частотному діапазоні він містить блок обчислень частоти  $\omega_{max}$ , домінуючої в діапазоні. Вихід з цього блоку пов'язаний з програмою звертання в пам'ять по схемі I, тобто звернення до програми має місце якщо похибка обробки перевищує допустиму.

Коли це має місце, домінуюча частота порівнюється з частотою збурень, що зберігається в пам'яті і тим самим діагностується причина виникнення відмови. Одержана інформація може виводитися на індикаційне табло та поступає в систему управління точністю для усунення причини відмови.

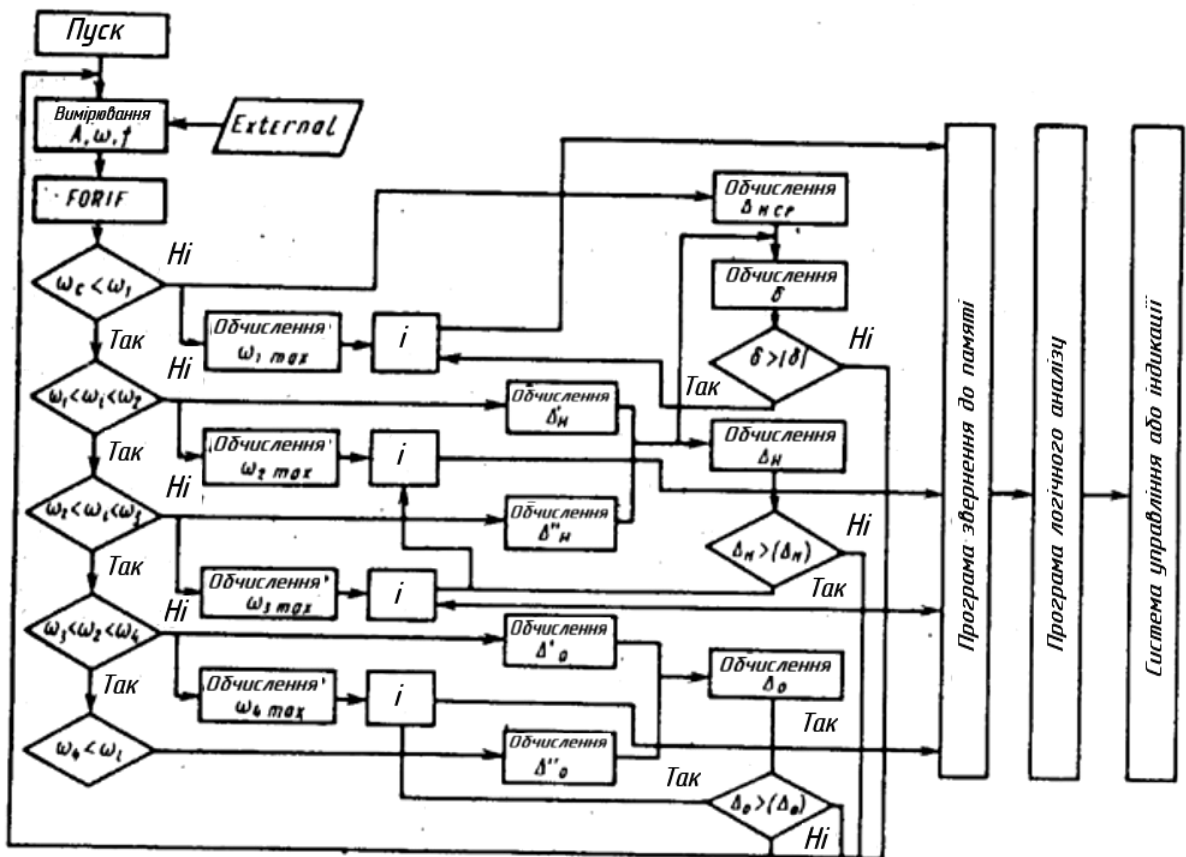


Рисунок 3.7 – Алгоритм вібраційної діагностики причин відмов по точності обробки

Межі частотних діапазонів є плаваючими і змінюються із зміною режимів різання. Проте інформація про зміну режимів різання записана в програмі верстата і може бути з неї заведена на цифрові фільтри, що програмно реалізують виділення сигналу в заданому частотному діапазоні, так і на переналагоджувані смугові фільтри при апаратному вирішенні задачі.

Так само, як і для алгоритму вібро-прогнозування, тут є справедливим зауваження про те, що для конкретного виду обробки названий алгоритм може дещо змінювати структуру. Крім того, приведений алгоритм вирішує комплекс задач по визначенню практично всіх збурень, що впливають на процес обробки.

Узагалі можна не розглядати весь частотний спектр відносних вібраційних зміщень інструменту і заготовки, а обмежитися тими діапазонами, в яких апріорно припускається настання відмови, що спрощує описаний алгоритм вібраційної діагностики.

В цьому випадку часто буває доцільно реалізувати його як аналогову систему.

Функції діагностики можуть здійснюватися за однією з двох програм, кожна з яких найбільшою мірою відповідає цілям, задачам і можливостям конкретного виробництва:

- програма управління точністю обробки за допомогою системи комплексного управління;
- програма приймального контролю, яка може бути реалізована двояко.

У першому випадку передбачається проведення 100% контролю. Система діагностики видає в цьому випадку безперервну інформацію на підставі якої формується висновок про придатність продукції.

В другому випадку контроль здійснюється вибірково через визначені задані програмою проміжки часу, так що в кожній партії оброблених деталей формується контрольована вибірка визначеного розміру. При контролі наступних партій об'єм вибірки коректується за наслідками попередніх вимірювань.

Переважаючими чинниками, які визначають точність обробки, є стан інструменту, зовнішні збурюючі чинники і технологічна спадковість.

Похибки програмування окремих вузлів верстата є зовнішніми збурюючими чинниками, що впливають на технологічну систему, тоді як похибки, викликані термічними і пружними деформаціями, є наслідком зовнішніх збурень.

Що стосується похибок програмування, то вони, як правило, пов'язані з неправильним вибором режимів різання, що призводять до різкого зниження точності.

За наслідками діагностики можна зробити висновок про те, що підвищення точності обробки може бути досягнуто за рахунок:

- контролю стану металорізального інструменту;
- стабілізації збурювальних факторів, які впливають на технологічну систему;
- управління технологічною спадковістю.

У разі об'єднання верстатів в ГВС при такому низькому рівні надійності по точності обробки, їх експлуатація стає практично неможливою. В зв'язку з цим одним з основних показників, що визначають якість функціонування верстата в умовах ГВС є його надійність по точності обробки, або інваріантність до збурень, яка може бути частково підвищена технологічними і конструкторськими методами, але її повне забезпечення може бути досягнуте тільки шляхом автоматичного управління, що базується на діагностиці причин відмов по точності обробки.

### **3.3 Вібраційна діагностика граничного зношення металорізального інструменту**

При експлуатації ГВС, у зв'язку з відсутністю операторів, актуальною є задача діагностики стану металорізального інструменту з метою його заміни або підналагодження, викликаній зміною статичної настройки, яка пов'язана із зношенням інструменту.

Існуючі методи діагностики стану інструменту в ГВС базуються, як правило, на обмацуванні його різальної поверхні між циклами обробки

[14] або примусовій заміні інструменту через розрахунковий період часу, знайдений на основі апріорної інформації [15].

Проте ці методи недостатньо ефективні, оскільки призводять до того, що неповного використання інструменту і зниження продуктивності обробки за рахунок збільшення позациклових втрат. Це диктує необхідність розробки нового підходу до розв'язку цієї задачі, який, зокрема, може базуватися на моделі технологічної системи обробки матеріалів різанням.

Відносні вібраційні зміщення інструменту і заготовки ( $y(\omega)$ ) можна представити двома складовими, з яких  $y_e(\omega)$  визначає закономірність зміни амплітуди цих вібраційних зміщень у міру зношення інструмента. Тоді опис моделі технологічної системи згідно виразу можна представити як

$$\delta_e(\omega) = W_\delta \{W_i W_p [\delta_i(\omega) + y_e(\omega)] + f(\omega)\}$$

або, якщо зв'язати збурення, викликані зношенням, не з точністю, а з відносними вібраційними зміщеннями

$$y_e(\omega) = \frac{y(\omega)(1 + W_i W_p W_y) - W_y [W_i W_p \delta_i(\omega) + f(\omega)]}{W_i W_p W_y}.$$

З аналізу цієї залежності видно, що для окремої гармоніки амплітуда вібраційних зміщень інструменту щодо заготовки, викликана зношенням, складається з складових: сумарної амплітуди відносних вібраційних зміщень, а також амплітуд вібраційних зміщень, які викликані початковою похибкою і збуреннями.

Вібраційні зміщення, які викликані цими причинами, наприклад, коливаннями твердості заготовки, приводячи до зміни лише рівня настройки, не змінюючи загальну закономірність, тоді як періодичні



збурення, такі, як похибка крокового гвинта або давача зворотного зв'язку, биття вузла шпинделя і шліфувального круга і т. д., виявляються в строго певних частотних діапазонах не роблячи впливу на весь спектр вібраційних зміщень.

Враховуючи, що вираз  $(1+W_yW_iW_p)$  для однієї гармоніки вібраційних зміщень є лінійним, можна стверджувати, що закономірність зміни сумарної амплітуди відносних вібраційних зміщень між інструментом і заготівкою якісно адекватна закономірності цих віброзсувів, що викликаються зношенням інструменту.

Це дозволяє запропонувати метод діагностики граничного зношення інструмента, що використовує ідентифікацію огинаючої амплітудних значень відносних вібраційних зміщень і кривою зношення інструменту. Суть його полягає в тому, що початок граничного зношення визначається по зміні знаку огинаючої амплітудних значень відносних вібраційних зміщень між інструментом і заготівкою, що базується на наступних міркуваннях.

У процесі різання зношення інструменту може відбуватися як по його задній, так і по передній поверхнях. Проте більшість фахівців схильна вважати, що всі інструменти зношуються тільки по задній поверхні або по передній і задній поверхнях.

Зношення тільки передньої поверхні не є характерним і має місце при роботі з інструментами з швидкорізальних сталей з швидкостями різання, не допустимими їх теплостійкістю. Тому надалі буде розглядатися зношення тільки по задній або одночасно по передній і задній поверхнях. Обидва ці випадки призводять до зміни розміру леза інструмента, що характеризує його розмірний зношення.

Зношення змінюється в часі за певним законом. Якщо інструмент зношується по передній і задній поверхнях, що є найхарактернішим випадком, то крива зношення складається з трьох більш або менш виразно

виражених ділянок (рис. 3.8,*a*). Ділянка *AO* з інтенсивним наростанням площини зношення відповідає періоду приробітку інструменту. Ділянка *AB* характеризує період нормального зношення.

При досягненні певної величини зношення починає різко зростати, що і показує крива зношення. Ця ділянка кривої відповідає періоду катастрофічного зношення. В цей період зношення наростає так швидко, що якщо не припинити різання, він досягне неприпустимих значень і це позначиться на точності обробки якості поверхневого шару, виключить можливість переточувань і т.д. Таким чином, точка *B* на кривій зношення характеризує момент припинення різання з метою зміни інструмента.

По мірі зношення інструменту відбувається і зміна сили різання, причому у кожному конкретному випадку величина цієї зміни різна, але якісно, і це неодноразово перевірено, огинаюча послідовних амплітудних значень сили різання (рис. 3.8, б) буде повністю ідентична кривій зношення.

Інші збурюючі чинники, такі, як зміна припуску або твердості заготовки, - що призводять до зміни зношення, не надають впливи на зміну цієї закономірності, оскільки призводять лише до зсуву огинаючої від номіналу, тобто зсуву статичної настройки, але не міняють її характеру.

Якщо побудувати огинаючу амплітудних значень сили різання, то за її точкою перегину можна судити про момент настання граничного зношення. Але сила різання строго пропорційна відносним віброприскоренням між інструментом і заготовкою, що дозволяє ідентифікувати огинаючу амплітудних значень відносних вібраційних зміщень між інструментом і заготовкою з кривою зношення інструмента, що повністю узгоджується з висновком про пропорційність між  $y(\omega)$  і  $y_e(\omega)$ .

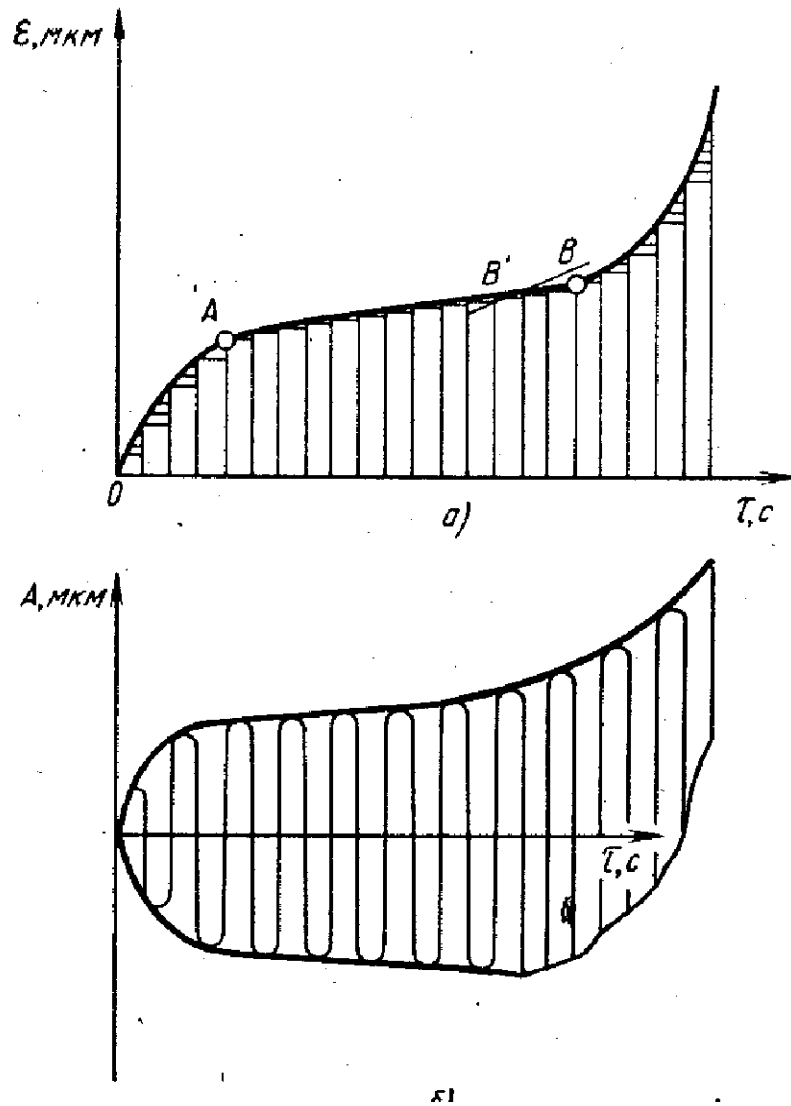


Рисунок 3.8 – Крива зношування металорізального інструменту (а) і огинаюча амплітудних значень відносних вібраційних зміщень інструменту і заготовки у міру зношування інструменту (б)

Схема пристрою, що реалізовує цей спосіб, показана на рис. 3.9, а. Інформація на пристрій поступає від п'єзоелектричних давачів 1 і 2, вимірюючих віброприскорення і з'єднаних за схемою давача відносних коливань і встановлених відповідно на інструменті і заготовці або в місцях, максимально наближених до них.

У якості давача використовувався прецизійний давач КД35, слабочутливий до зовнішніх перешкод. Використовується як давач прискорення без опорної точки. Напрямок його максимальної чутливості

співпадає з напрямом власної осі, а орієнтація в полі тяжіння не має значення.

Сигнали з датчиків поступають на узгоджуючі підсилювачі 3 і 4, призначені для підсилення вхідного сигналу по потужності і узгодження його з характеристиками наступних елементів ланцюга. Далі сигнал із одного з датчиків інвертується в інверторі 5, і потім обидва сигнали з датчиків підсумовуються в суматорі 6, на виході якого утворюється сигнал про відносні віброприскорення між інструментом і заготівкою. Він поступає в аналізатор спектру 7, де з його допомогою з сигналу виділяється гармонійна складова, відповідна швидкості різання, тобто частоті обертання інструменту або заготівки, а для багатолезових інструментів частота урізування зубів в заготівку.

Аналізатор спектру переналагоджується від системи ЧПУ верстата відповідно до програми обробки, тому при зміні режимів різання на виході аналізатора спектру завжди буде гармонійна складова спектру відповідна цьому режиму.

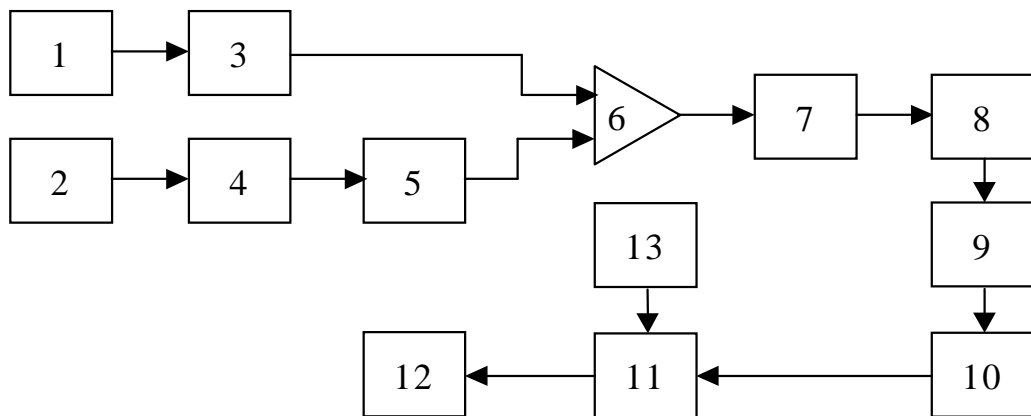
Для побудови огинаючої амплітудних значень відносних вібраційних зміщень спочатку необхідно одержати інформацію про ці віброприскорення. З цією метою сигнал подається в пристрій 8 перетворення віброприскорення у вібраційні зміщення.

Схема цього пристрою показана на рис. 3.9, б і базується на подвійному інтегруванні одержаного сигналу, який після цього додатково підсилюється.

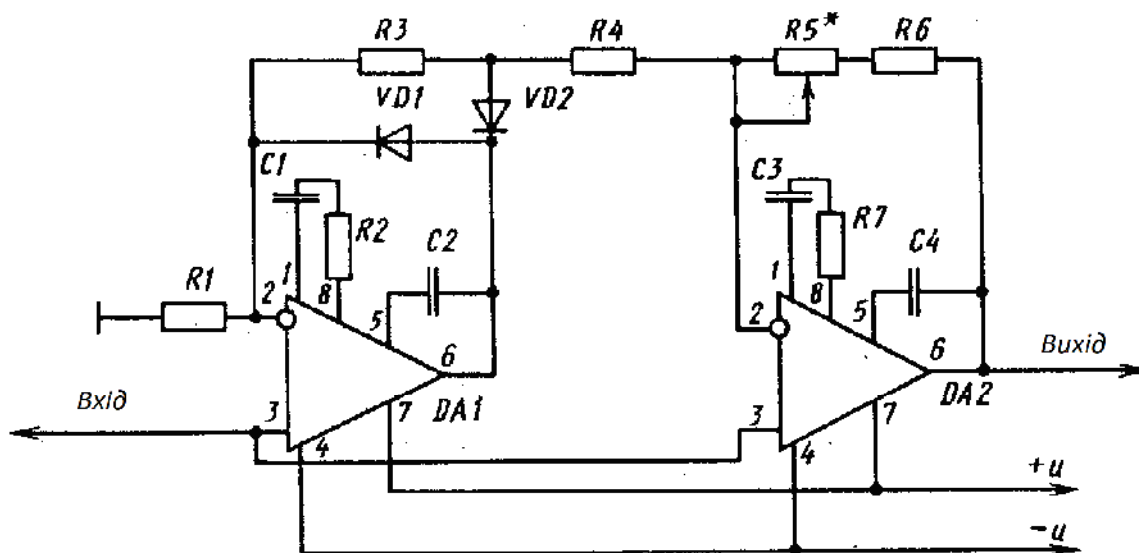
Перетворений сигнал поступає на детектор 9, на виході якого він змінюється в часі, пропорційно швидкості затуплення інструменту, тобто відповідно до кривої його зношення.

Наступна задача, яку вирішує система діагности граничного зношення інструменту, полягає в знаходженні точки перегину огинаючої і може бути знайдена з наступних міркувань.

Якщо огинаючу тактувати прямокутними імпульсами, так як це показано на рис. 3.8, а, то на ділянці  $OA$  (див. Рисунок 3.8, а) кривої зношення приріст висоти цих імпульсів сповільнюватиметься, на ділянці  $AB$  буде залишатися майже незмінним, а на ділянці за точкою  $B$  різко зростати. Таким чином, якщо тактувати прирости прямокутних імпульсів, то стежачи за їх кількістю, можна визначити точку перегину огинаючої, яка матиме місце там, де число імпульсів тактуючих приростів почне збільшуватися.

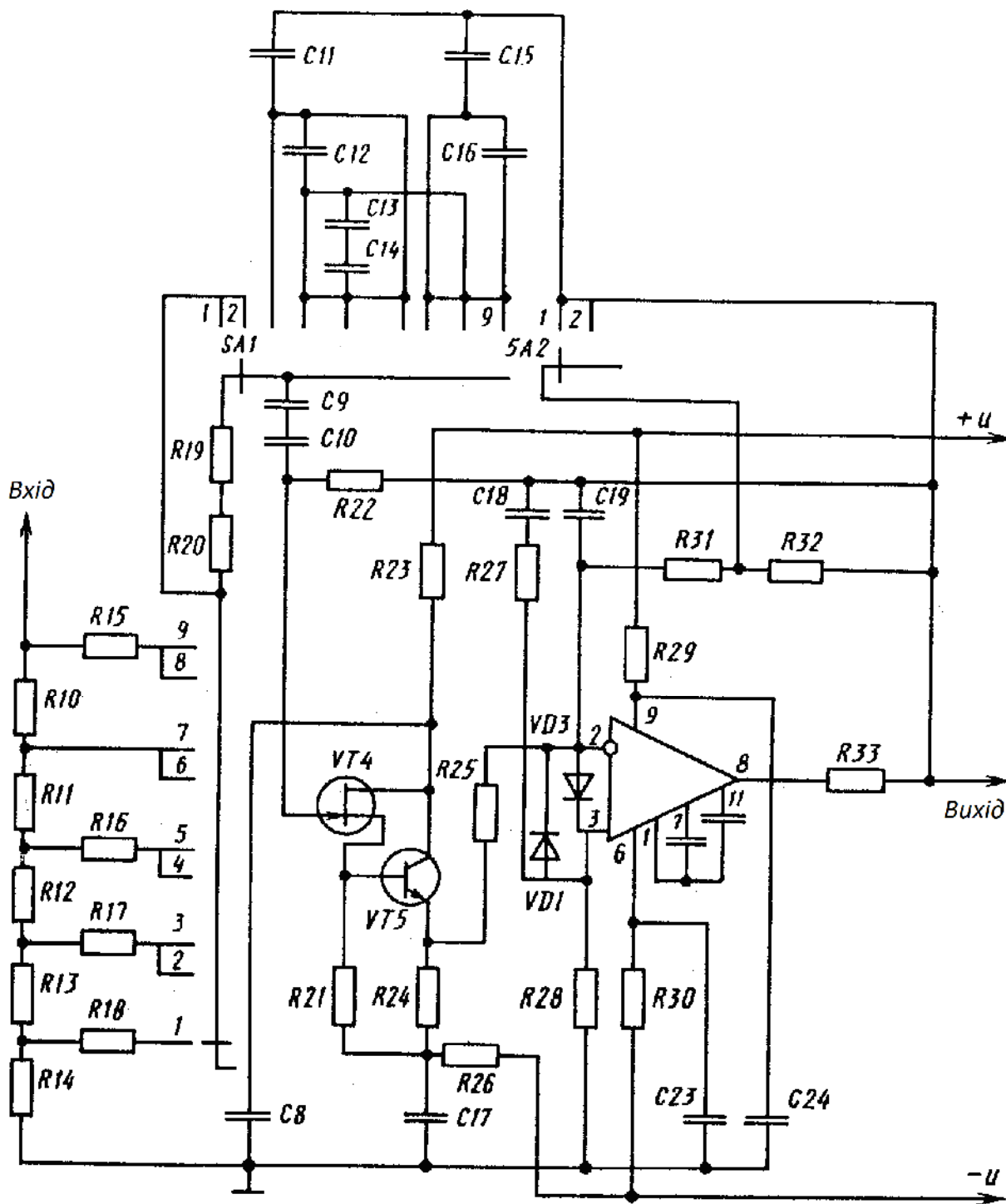


а)



б)

Рисунок 3.9 – Схеми пристрою вібраційної діагностики граничного зношення інструменту (а) та перетворювача вібраційного прискорення (б).



В)

Рисунок 3.9, в – Схема пристрою детектора.

Для реалізації описаного підходу сигнал з детектора поступає на аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 10, на виході якого утворюються прямокутні імпульси сталої частоти але різної амплітуди, відповідні ординаті огинаючої у даний момент часу. Приріст оцінюється за допомогою реверсивного лічильника 11, роботою, якого управляє тактовий генератор 13.

При експлуатації крім зношення інструменту досить часто відбувається і його поломка, що характерно для твердосплавного інструменту.

В зв'язку з цим з реверсивного лічильника сигнал подається на компаратор 12, який при збільшенні числа імпульсів характеризуючих прирости, або у разі перебільшення ним певного порогового значення, відповідного до поломки інструменту, мало місце до настання граничного зношення, що виробляє сигнал управління релейною автоматикою верстата даючи команду на зміну або правку інструменту.

Пристрій може бути реалізований і в іншій модифікації. Якщо верстат оснащений динамометричним столом або шпинделем, вони можуть використовуватися як давач сили, сигнал з якого в подальшому підлягає тій же обробці, що і в розглянутому пристрої.

Такий пристрій точніший і в ньому простіше організувати обробку інформації, зате перший є більш оперативним, оскільки п'єзодавачі можуть бути закріплені практично де завгодно. Обидва пристрої конструктивно являють собою плату, що стикується із стандартними шафами пристроїв ЧПУ.

Необхідно відмітити, що відповідно до запропонованого методу інструмент виводиться з роботи до настання граничного зношення, оскільки точка перегину кривої В' не співпадає з точкою В. Проте численні експерименти, проведені для твердосплавних кінцевих фрез і різців, показали, що стійкість інструменту при цьому значно перевищує

рекомендації, пов'язані з примусовою зміною інструменту. Останнє дозволило підприємствам, що використовують такі пристрої, одержати економію інструменту.

### **3.4 Вібраційна діагностика зношення багатолезових інструментів**

Спосіб вібраційної діагностики стану металорізального інструменту базується на якісній і кількісній ідентифікації зношення тими параметрами вібраційних зміщень, які несуть про нього інформацію. Процес різання завжди супроводжується вимушеними коливаннями, викликаними різними причинами, наприклад, упродовженням зубів багатолезових інструментів в заготівку.

Доки лезо окремого зуба інструменту є гостро заточеним вимушені коливання, викликані його входженням в заготівку, близькі до гармонійних. Проте у міру зношення зуба профіль гармоніки спотворюється. Якщо величину цього спотворення оцінити кількісно то по ній можна судити і про зношення різального леза інструменту.

Таку оцінку можна здійснити наступним чином: півперіоди вимушених коливань багатолезового інструменту можна представити у виді прямокутних імпульсів певної шпаруватості. По мірі зношення лез окремих зубів інструменту і викликаного ними спотворення гармонік вимушених коливань мінятиметься також і шпаруватість відображаючих коливання прямокутних імпульсів, що буде кількісно характеризувати розмірний зношення інструменту.

При цьому немає необхідності розглядати весь спектр вимушених коливань, а проаналізувати лише шпаруватість імпульсів, що відповідають частоті урізування зубів інструменту в заготівку.



Пристрій, що реалізує цей спосіб обробки працює таким чином. Коливання інструменту вимірюються датчиком 1 (рис. 3.10) і поступають на узгоджуючий підсилювач 2 з регульованим коефіцієнтом підсилення. До виходу підсилювача підключають смуговий фільтр 3 з коефіцієнтом передачі, орієнтовно рівним одиниці, і необхідною добротністю.

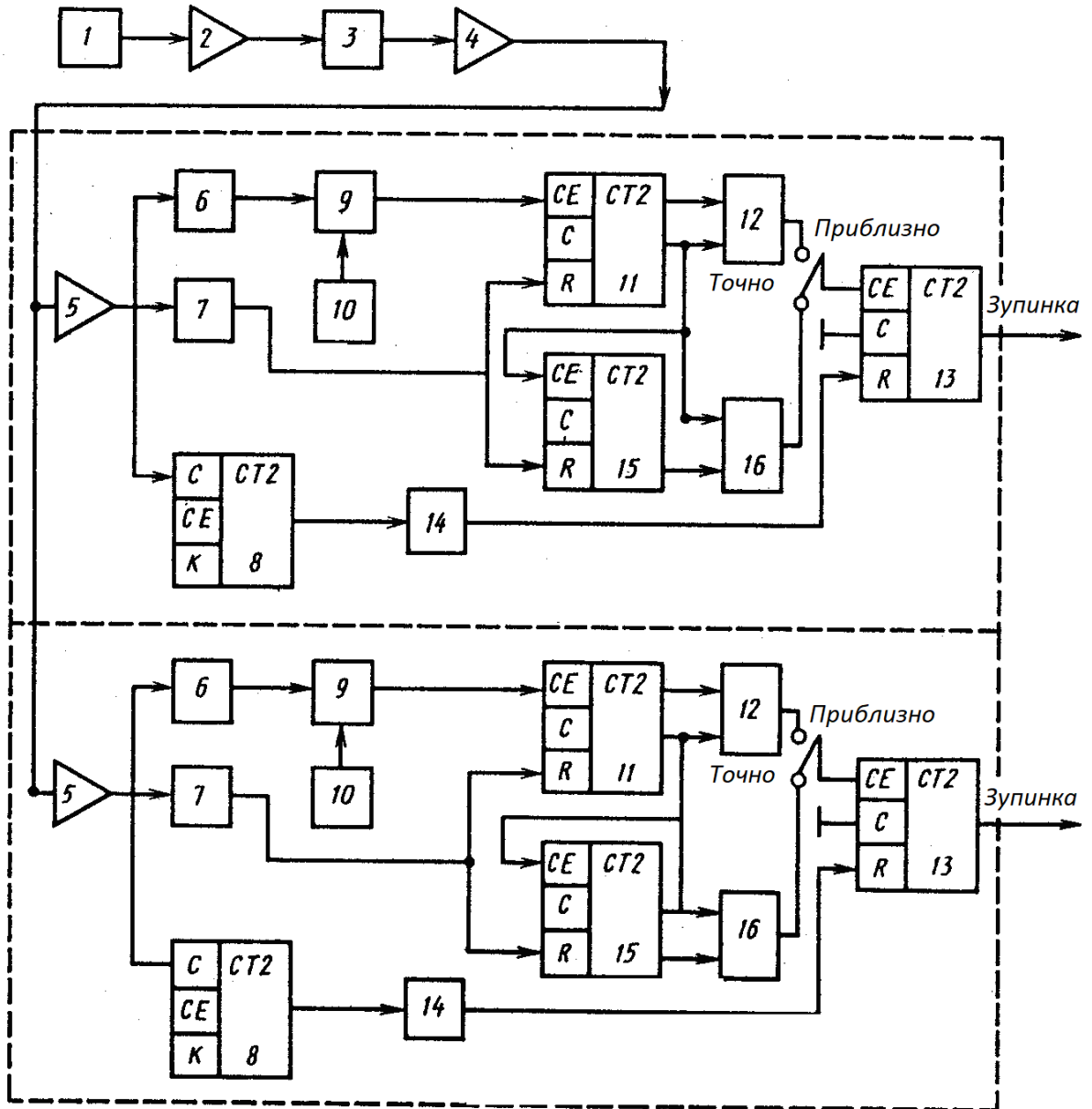


Рисунок 3.10 – Схема пристрою для вібраційної діагностики розмірного зношення багатолезових інструментів

Цей фільтр виділяє квазігармонічну складову, відповідну частоті зрізувань зубів. Фільтр перенастроюваний, переналагодження якого здійснюється від програми ЧПУ верстата, оскільки інформація про зміну частоти обертання фрези записана в ній. Відфільтрований сигнал поступає в підсилювач 4 з автоматичним регулюванням підсилення (АРП).

Амплітуда вимірюваних коливань може мінятися в широких границях залежно від глибини і ширини різання, твердості оброблюваного матеріалу, швидкості різання, подачі на зуб і т.д. Автоматичне регулювання підсилення якраз і необхідна для нормування рівня сигналу і підтримки його незалежно від умов різання постійним.

Нормований сигнал з виходу підсилювача 4 поступає на формувач 5 імпульсів, на виході якого виходять прямокутні імпульси, що відповідають півперіоду коливань зубцевої частоти. Вони мають постійну амплітуду, але різну шпаруватість проходження імпульсів, яка характеризує розмірний зношення інструменту.

Прямокутні імпульси поступають одночасно на інвертор 6, перший диференціюючий блок 7 і лічильник 8 імпульсів. З інвертування сигнал йде на схему збігу 9, на другий вхід якої поступають сигнали заданої шпаруватості від тактового генератора 10. Кількість тактових імпульсів, що вкладаються в одному імпульсі коливань, заноситься в пам'ять лічильника П.

Його включення в роботу здійснюється блоком 7, який виробляє імпульси обнулення по передньому фронту досліджуваного прямокутного імпульсу.

Інформація про число тактів в одному досліджуваному імпульсі поступає на схему збігу 12, а звідти в лічильник 13. Цей лічильник необхідний для уникнення помилкового спрацьовування. Він видає команду на зупинку або підналагодження верстата, якщо інформація про

величину зношення зуба підтвердиться на двох (або в будь-якій вибраній кількості) подальших обробках інструмента.

Це досягається за рахунок лічильника 8, який прораховує кількість тактів, необхідних для двох обертів інструменту, і через другий диференціюючий блок 14, видає імпульс на обнулення, що вмикає лічильник 13. В схемі пристрою передбачений ще лічильник тактів 15 і схема збігу 16. За їх допомогою можна отримати більш точну інформацію про розташування зуба в діапазоні розмірного і граничного зношення інструмента.

Пристрій може працювати в двох режимах за визначенням граничного і розмірного зношення. В першому випадку здійснюється груба оцінка шпаруватості досліджуваного імпульсу, для чого потрібна невелика кількість тактових імпульсів. У другому випадку число таких імпульсів може стати на порядок більшим, і підрахунок їх повинен проводитися значно точніше, оскільки кожний імпульс відповідає певній величині рівномірного зношення, що і здійснюється лічильником імпульсів 15 і схемою співпадання 6.

Оскільки будь-який вид обробки різанням завжди супроводжується вимушеними коливаннями на частоті обертання інструменту або заготовки, що відповідає швидкості різання, можливе створення пристрою використовуючого аналогічний принцип і для діагностики зношення однолезого інструменту.

Пристрої для діагностики граничного і розмірного зношення можна впроваджувати на вертикально-фрезерних і багатоопераційних верстатах з ЧПУ. Це дозволить підвищити продуктивність обробки за рахунок зменшення браку, викликаного поломкою інструменту або його роботою із зношенням вище граничного, а також скорочення часу на його зміну (збільшення стійкості інструмента).

### 3.5 Розрахунок надійності програмного забезпечення

Програмне забезпечення є складовою частиною багатьох апаратно-програмних комплексів систем діагностування будь-якого технологічного обладнання.

Надійність є складною властивістю, яка об'єднує безвідмовність, довговічність, ремонтоздатність і зберезуваність. Ці характеристики закладаються ще на стадії проектування, тому важливо робити оцінку надійності систем під час їх проектування.

До кількісних характеристик надійності належать:

- імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  - ймовірність того, що в заданому інтервалі часу в технічному об'єкті чи елементі не виникне відказ (подія, яка характеризує порушення працездатності);

- частота відмов  $a(t)$  представляє собою густину розподілу часу безвідмовної роботи, або похідну від ймовірності безвідмовної роботи;

- інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  представляє собою умовну густину розподілу часу безвідмовної роботи для моменту часу  $t$ , при умові, що до нього відмови технічного об'єкту не було;

- середнє напрацювання на відмову  $T$  (середній час безвідмовної роботи) представляє собою математичне сподівання напрацювання до першої відмови;

- параметр потоку відмов  $\omega(t)$  - математичне сподівання числа відмов за одиницю часу, починаючи з моменту часу  $t$ .

Програмне забезпечення характеризується випадковим характером помилок та випадковим характером комбінацій вхідних даних, що викликає їх появу і дає можливість говорити про системні відмови, що викликані помилками програмного забезпечення, як про випадкові події. Це дозволяє використати для їх аналізу ті ж методи, що і для аналізу

апаратних відмов. Отже, відмови, викликані помилками програмного забезпечення, мають достатньо суттєві відмінні риси, що обумовило створення спеціальних методів аналізу надійності програмного забезпечення.

Джерелом помилок програмного забезпечення є логічні помилки в проєкті чи його недосконалість, неправильне кодування, помилки при компонуванні.

Повна перевірка програми на наявність в ній помилок можлива лише після об'єднання її частин, коли зміни і виправлення в програмі пов'язані із значними затратами часу і засобів. Можливі також ситуації, коли безпомилково працююча програма, що застосовується до нової задачі і на інших вихідних даних, дає неприйнятні по точності і часу обчислення результати. Крім вище перерахованих є ще ряд факторів, що призводять до появи помилок у програмі.

По складності програми можна поділити на декілька типів. Довжина стандартних програм для обчислення елементарних функцій не перевищує сотні команд. Ці програми перевіряються дуже ретельно, але іноді в них виявляються помилки, звичайно при специфічних значеннях аргументу.

Найбільш складними є програми керування в реальному масштабі часу, що реалізуються на мультипроцесорних обчислювальних машинах і містять сотні тисяч команд. Повна перевірка таких програм в процесі відлагодження неможлива. Функціонування програм може бути повністю оцінено лише в процесі застосування. Помилки програм звичайно виявляються тільки при дії визначених вхідних сигналів, які в даному випадку відіграють роль роботи програми.

При розгляді множини значень вхідних сигналів помилки програм можуть вважатися випадковими. Випадковий характер помилок програмного забезпечення та випадковий характер комбінацій вхідних

даних, що викликає їх появу, дає можливість говорити про системні відкази, що викликані помилками програмного забезпечення, як про випадкові події. Це дозволяє використати для їх аналізу ті ж методи, що і для аналізу апаратних відмов. Отже, відмови викликані помилками програмного забезпечення, мають достатньо суттєві відмінні риси, що обумовило створення спеціальних методів аналізу надійності програмного забезпечення.

Щоб застосувати до оцінки надійності програм математичний апарат теорії надійності, розглядають відмови програми – події, що містяться в переході до невірної роботи або зупинці програми. Після появи відмови програмісти досліджують програму з метою пошуку (локалізації) помилки і вдосконалення програми.

В даний час відсутні стандартні методи розрахунку надійності програмного забезпечення, тому для аналізу надійності програмного забезпечення використовують експериментально-аналітичні методи прогнозування надійності програмного забезпечення за результатами випробовувань, що базуються на тих чи інших припущеннях. Найпростішою з них є модель Шумана.

Для прогнозування надійності програмного забезпечення в цій моделі використовуються дані про кількість помилок, що були виправлені в процесі компонування програм в систему програмного забезпечення і відлагодження програм.

За цими даними обчислюються параметри моделі надійності, яка може бути використана для прогнозування показника надійності в процесі використання програмного забезпечення.

Вважається, що при послідовних прогонах програми набори вхідних даних є випадковими і вибираються у відповідності із законом розподілу, який відповідає реальним умовам функціонування.

Модель побудована на наступних припущеннях:

- в початковий момент компонування програм в систему програмного забезпечення в них міститься  $E_0$  помилок; в процесі коректування нові помилки не вносяться;
- загальне число  $I$  машинних команд в програмах стає;
- інтенсивність відмов програми  $\lambda$  пропорційна кількості помилок, що залишилися в ній після відлагодження на протязі часу  $\tau$ , тобто

$$\lambda = C\varepsilon(\tau) = [E_0 / I - \varepsilon_C(\tau)]C, \quad (3.1)$$

де  $\varepsilon_C(\tau)$  – відношення кількості помилок, що усунені впродовж часу відлагодження  $\tau$ , до загального числа команд на машинній мові.

Таким чином, в моделі розрізняють два значення часу: час відлагодження  $\tau$  (як правило становить декілька місяців) і час роботи програми  $t$  – сумарне напрацювання програми (як правило становить декілька годин). Час відлагодження містить витрати на виявлення помилок за допомогою тестів, контрольні перевірки і т.п. Час правильного функціонування при цьому не враховується.

Таким чином, значення інтенсивності відмов  $\lambda$  вважається сталим впродовж всього часу функціонування  $(0, t)$ .

Відповідно до прийнятих припущень для фіксованого  $\tau$  ймовірність відсутності помилок програми впродовж часу напрацювання  $(0, t)$  визначається співвідношенням

$$p(t, \tau) = \exp\{-\lambda t\}. \quad (3.2)$$

Середнє напрацювання програми до відмови

$$m_t = 1/\lambda. \quad (3.3)$$

Для практичного використання вищенаведених формул необхідно оцінити  $C$  і  $E_0$  по експериментальним даним. Для цього використаємо метод моментів.

Застосовуючи метод моментів і розглядаючи два періоди відлагодження програми  $\tau_1 < \tau_2$ , отримаємо наступні співвідношення:

$$E_0^* = \frac{I[\gamma \varepsilon_C(\tau_1) - \varepsilon_C(\tau_2)]}{\gamma - 1},$$

$$\gamma = \frac{T_1 n_2}{T_2 n_1}, \quad (3.4)$$

$$C^* = \frac{n_1}{T_1 [E_0 / I - \varepsilon_C(\tau_1)]},$$

де  $n_1$  і  $n_2$  – кількість помилок в програмному забезпеченні, виявлених відповідно в періодах  $\tau_1$  і  $\tau_2$ ;

$T_1$  і  $T_2$  – тривалості роботи системи, що відповідають  $\tau_1$  і  $\tau_2$ .

Застосуємо вище наведені міркування для розрахунку показників надійності програми.

Розроблена програма містить близько трьох тисяч команд, тому  $I = 2500$ .

Для оцінки надійності програми було обрано два періоди тестування, на яких:

$$T_1 = 90 \text{ год}, T_2 = 100 \text{ год};$$

$$n_1 = 10, n_2 = 5.$$

Тому

$$\varepsilon_C(\tau_1) = 10 / 2500 = 0,004,$$



$$\varepsilon_c(\tau_2) = 5/2500 = 0,002.$$

Врахувавши отримані значення, знайдемо:

$$\gamma = \frac{90 \cdot 10}{100 \cdot 5} = 1,8,$$
$$E_0^* = \frac{2500[1,8 \cdot 0,004 - 0,002]}{1,8 - 1} = 16,25.$$

Звідси знаходимо коефіцієнт  $C^*$ :

$$C^* = \frac{10}{90[16,25/2500 - 0,004]} = 44,5.$$

За період тестування в програмі усунуто  $n = n_1 + n_2$  помилок, тому

$$n = 10 + 5 = 15;$$
$$\varepsilon_c(\tau) = 15/2500 = 0,006.$$

Інтенсивність відмови програми:

$$\lambda = 44,5(16,25/2500 - 0,006) = 22,25 \cdot 10^{-3}.$$

Середнє напрацювання програми до відмови:

$$m_t = 1/22,25 \cdot 10^{-3} = 44,94 \text{ (год)}.$$

Ймовірність відсутності помилок програми впродовж часу напрацювання  $(0, t)$ :

$$p(t, \tau) = \exp\{-22,25 \cdot t\}.$$

Таким чином, розроблена програма має прийнятні показники надійності, що має позитивний вплив і на надійність проектованої системи в цілому.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### Вібро-прогнозування точності обробки

Оскільки відносні зсуви між інструментом і заготівкою можна представити як суперпозицію постійної складової і суми гармонік вібраційних зміщень, а похибки форми деталі також суперпозицією окремих гармонік виникає можливість ідентифікації між собою відповідних гармонік кожного з цих масивів з метою прогнозування точності за наслідками аналізу відносних вібраційних зміщень між інструментом і заготівкою.

Такий підхід вібро-прогнозування відноситься до методів прогнозування з детермінованими основами. Відповідно, якщо для досліджуваної технологічної системи визначені основні закономірності зміни параметрів, які характеризують технічний стан, такий стан прогнозованого параметра  $Z(t)$  визначається моделлю:

$$Z(t) = \sum_{i=1}^n a_i f_i(\tau) + \eta(\tau),$$

де  $f_i(\tau)$  — лінійно-детерміновані незалежні функції;

$a_i$  — вимірювані стрибкоподібно у випадкові моменти часу коефіцієнти;

$\eta(\tau)$  — стаціонарний випадковий процес з нульовим математичним очікуванням.

Якщо звернутися до залежності, що характеризує функцію передачі процесу формоутворення, можна остаточно записати, що прогнозована похибка обробки на основі вібраційно-метричної формації

$$\delta(\omega) = \sum_{i=1}^n a_i f(A_i, \omega_i, \varphi_i) + \eta(\omega), \quad (4.1)$$

де  $a_j = 1$ , якщо  $w_i \in [w_{max}; w_{min}]$  ;

$a_i = 0$ , якщо  $w_i \in ]w_{max}; w_{min}[$  ;

$\eta(w)$  – стаціонарний випадковий процес, що характеризує похибку вимірювання.

При цьому для знаходження похибки необхідно знати: 1) граничні частоти  $w_n, w_{\Gamma1}, w_0, w_{\Gamma2}$ ; залежності  $\Delta_n(w)$ ;  $\Delta_0(w)$  і  $\delta(w)$  у відповідних частотних діапазонах.

Аналіз залежності (4.1) показує, що для визначення характеру і величини похибки обробки необхідно:

- виміряти вібраційні зміщення інструменту відносно заготівки;
- представити одержану інформацію у вигляді гармонійного ряду;
- здійснити квантування гармонік по частотних діапазонах відповідно до значення граничних частот;
- розрахувати похибки, що виникають в кожному частотному діапазоні;
- згідно залежності розрахувати сумарні похибки  $\Delta_n$ ;  $\Delta_0$  і  $\delta$ ;
- порівняти набуті значення з допустимими на обробку і, у разі перевищення похибок значень, допуску вивести інформацію на екран дисплея або ввести її в систему діагностування відмов по точності обробки.

Представлення інформації у вигляді гармонійного ряду отримуємо шляхом розкладання її в ряд Фур'є з періодами, кратними подвоєним періодам формоутворення напрямної  $\tau_n$  або твірної  $\tau_0$ .

Для чисельного аналізу Фур'є заданої періодичної функції в математичному забезпеченні ПЕОМ є підпрограма FORIF, яка обчислює число коефіцієнтів ряду Фур'є апроксимуючого задану періодичну функцію.

Для обчислення в заданих точках звертання до підпрограми повинно здійснюватися з допомогою оператора External.

Описана процедура представлена на рис. 4.1 у вигляді узагальненого алгоритму вібро-прогнозування точності обробки матеріалів різання.

Відповідно до нього вібраційно-метрична інформація з датчиків відносних вібраційних зміщень між інструментом і заготовкою представлена в цифровому вигляді, поступає в блок для гармонійного аналізу, після чого поступає в систему цифрових фільтрів.

Гармоніки вібраційних зміщень частота яких менше  $\omega_1$ , поступають у блоки розрахунку похибок форми уздовж напрямної лінії поверхні  $\Delta_{н.ф}$  і розмірної похибки  $\delta$ , гармоніки похибки з частотою  $\omega_1 < \omega_i < \omega_3$  поступають в блок розрахунку похибки форми направляючої у вигляді хвилястості  $\Delta_n$ .

Тут виділено два діапазони частот і два розрахункових блоки. Перший з цих частотних діапазонів характеризується границями  $\omega_1 < \omega_i < \omega_2$  і включає вібраційні зміщення, що приводять до появи похибки форми у вигляді хвилястості з урахуванням перерізання хвиль, а другий — межами  $\omega_2 < \omega_i < \omega_3$ , вібраційні зміщення в якому не викликають явища самоперерізання хвиль.

Гармоніки, що мають частоту вищу  $\omega_3$ , призводять до появи похибки форми уздовж твірної лінії поверхні деталі  $\Delta_0$ . Вони також повинні бути розділені на два діапазони, один з яких з межами  $\omega_3 < \omega_i < \omega_4$  характерний вібраційними зміщеннями, що призводять до явища самоперерізання хвиль, а інший  $\omega_4 < \omega_i$  — без самоперерізання.

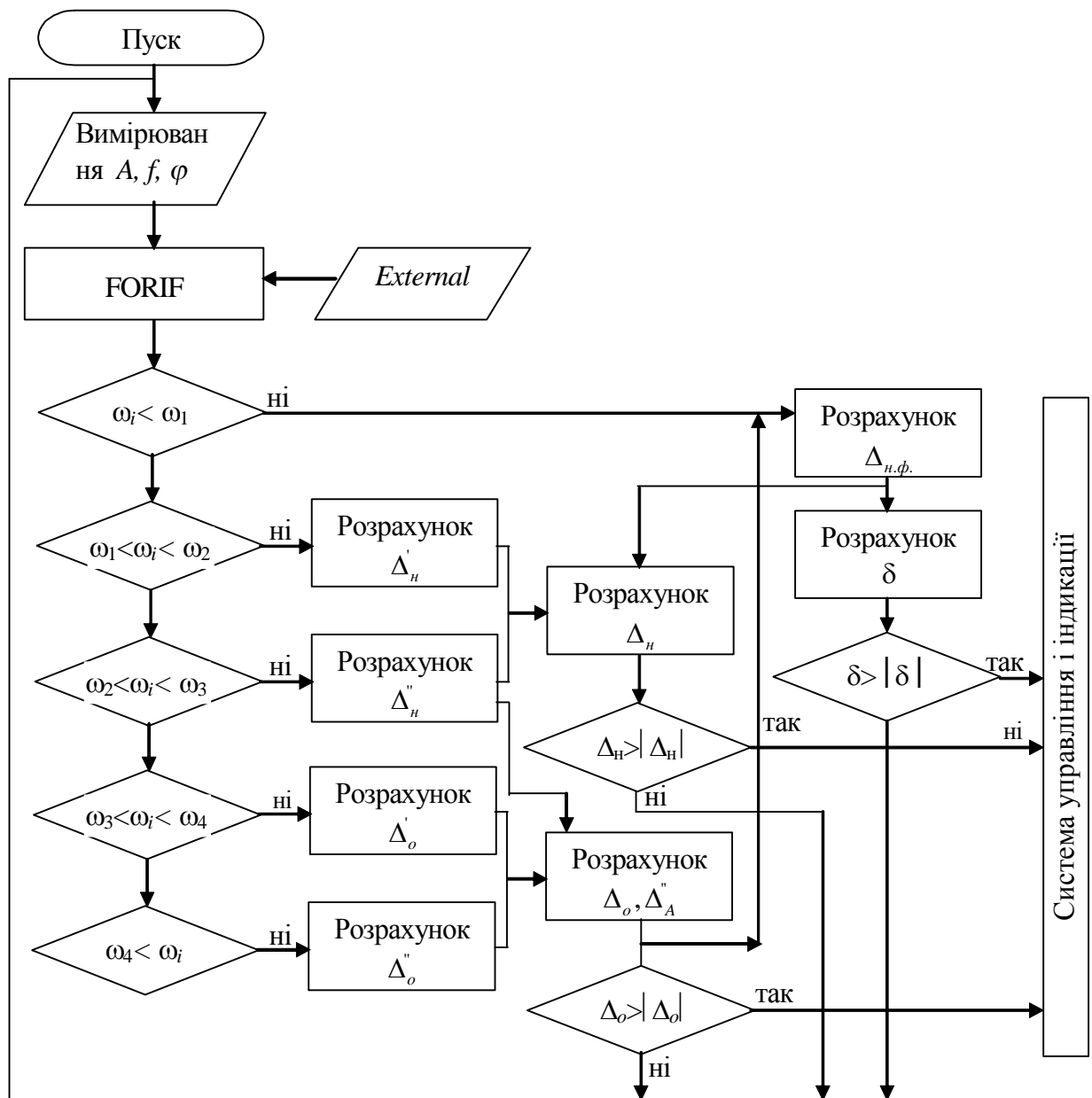


Рисунок 4.1 – Алгоритм вібро-прогнозування точності обробки.

( $\Delta_H$  — похибка форми уздовж няпрямної лінії у вигляді хвилястості без перерізаня хвиль;  $\Delta_H'''$  - те ж з перерізанням хвиль;  $\Delta_H$  - похибка форми уздовж напрямної;  $\Delta_o''$  похибка форми уздовж твірної у вигляді огранки без перерізаня хвиль;  $\Delta_o'''$  — те ж з перерізанням хвиль;  $\Delta_o$  — похибка форми уздовж твірної;  $|\delta|, |\Delta_o|, |\Delta_H|$  - допуски відповідно на розмір, похибки форми уздовж твірної і напрямної;  $\Delta_{H,\phi}$  - додаткова похибка форми уздовж твірної)

Приведений алгоритм складений у відповідності до загальної динамічної характеристики процесу формоутворення, тому для конкретних видів обробки його необхідно уточнювати.

Практичний інтерес представляє підхід до вібропрогнозування оснований на коливаннях сили різання. Якщо в математичній моделі технологічної системи

$$P(\omega) = W_i W_p y(\omega),$$

то після перетворень

$$\delta(\omega) = \frac{P(\omega) W_\phi}{W_i W_p}.$$

Ця залежність є інформаційною основою для прогнозування точності обробки за наслідками поточного значення сили резонансу. При цьому в пам'яті ПЕОМ, що реалізовує алгоритм прогнозування, повинна берегтися інформація про динамічні характеристики ВПС технологічної системи і процесу формоутворення, а також вводиться поточна інформація про миттєві значення сили і режимів різання.

## 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### **Розробка програмного забезпечення системи діагностування**

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 спеціальне ПЗ, яке забезпечує роботу з блоком спряження і файлами результатів вимірювань, та прикладне ПЗ, яке використовується для математичного моделювання і оформлення звітної документації.

Основу спеціального ПЗ складають керуюча програма `аср_1` для роботи безпосередньо з блоком спряження в режимі вимірювання і програма роботи з файлами даних `аср_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 нами за допомогою програмного пакету C++ з використанням елементів `Assembler`. Вибір цих засобів програмування дозволяє досягти максимальної ефективності розроблюваних програм за рахунок поєднання можливостей високого і низького рівнів програмування.



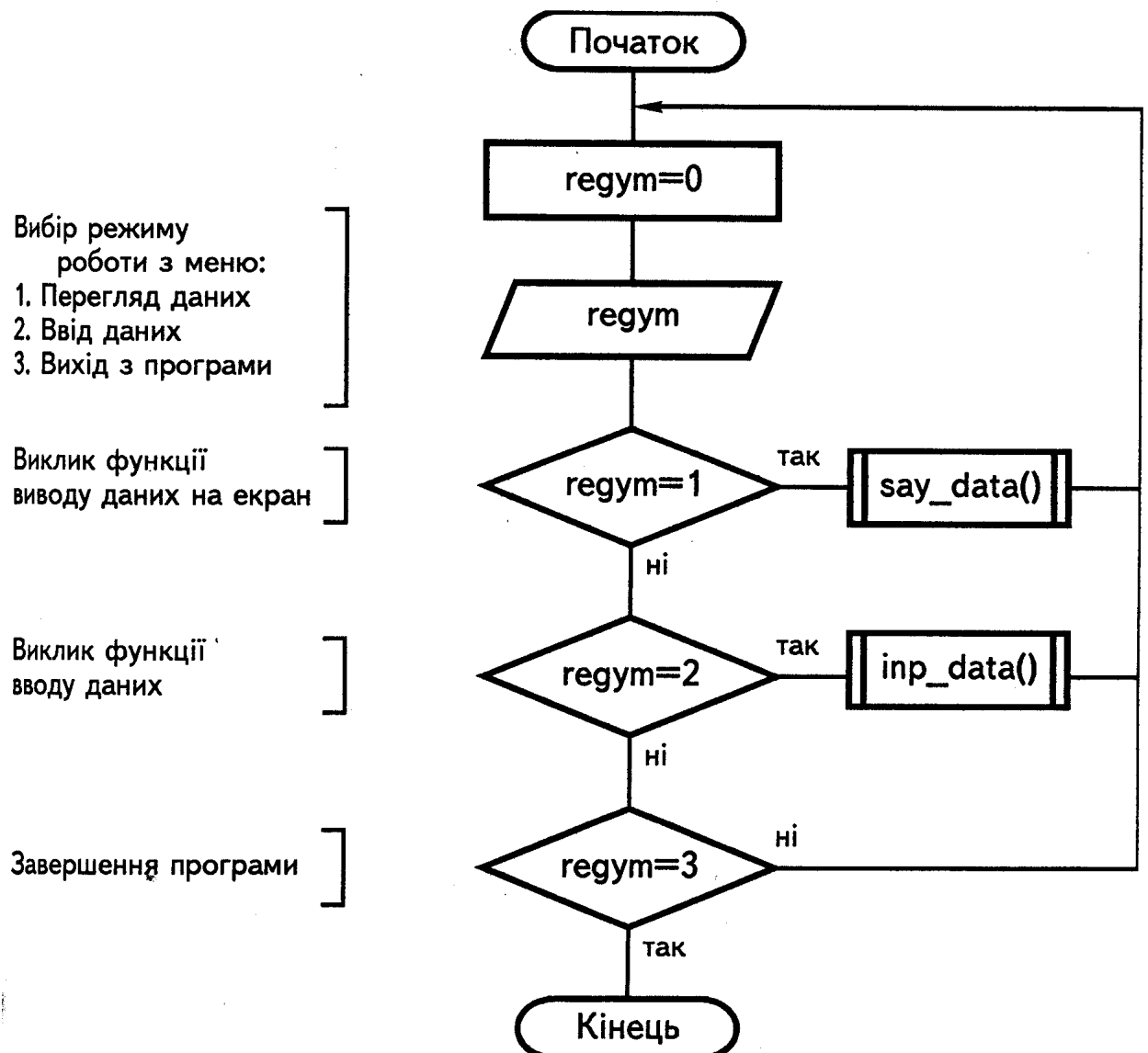


Рисунок 5.1 – Блок-схема головної функції програми asr\_1

Керуюча програма asr\_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 `asr_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.

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).

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).

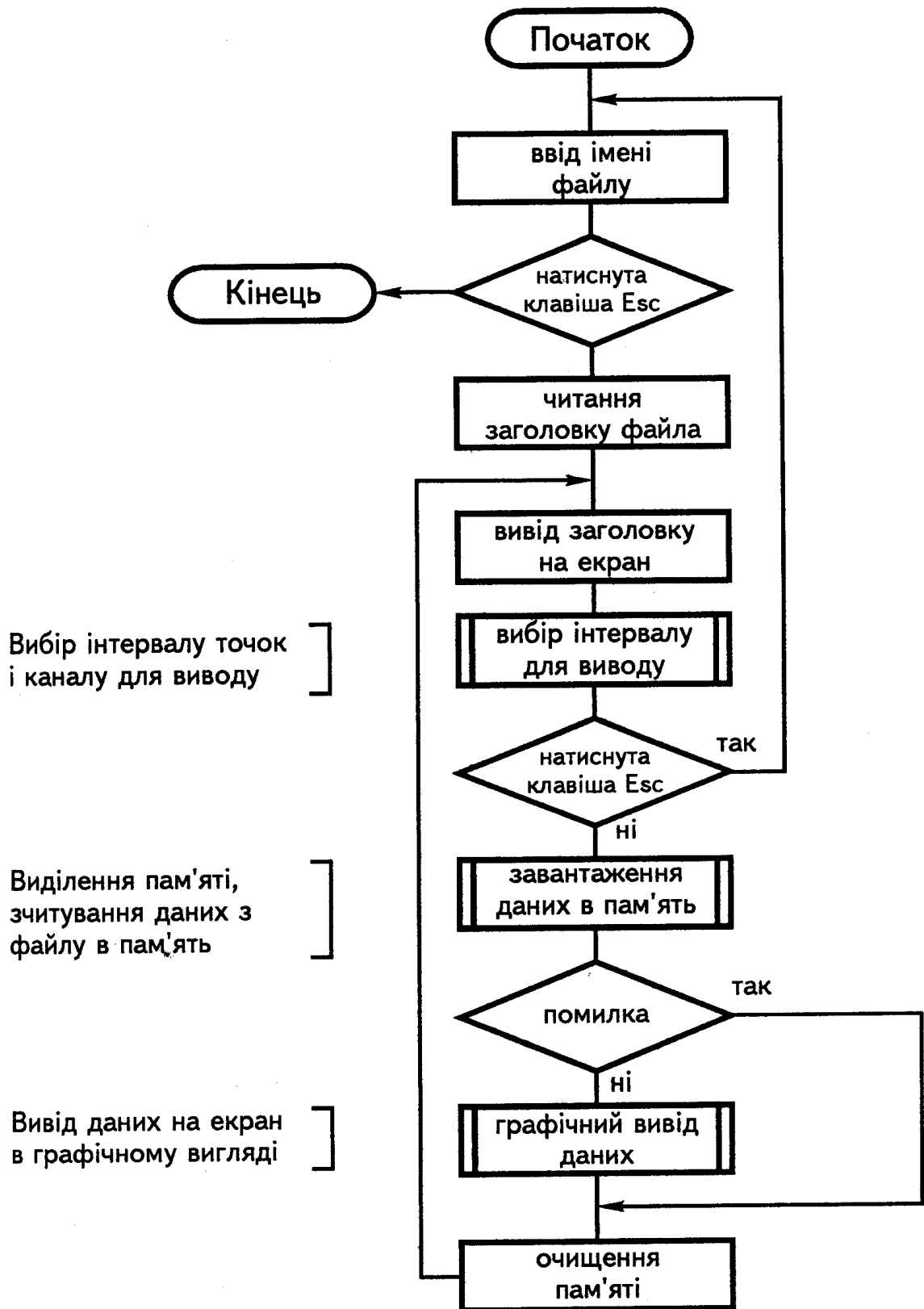


Рисунок 5.2 – Блок-схема функції say\_data() програми asr\_1

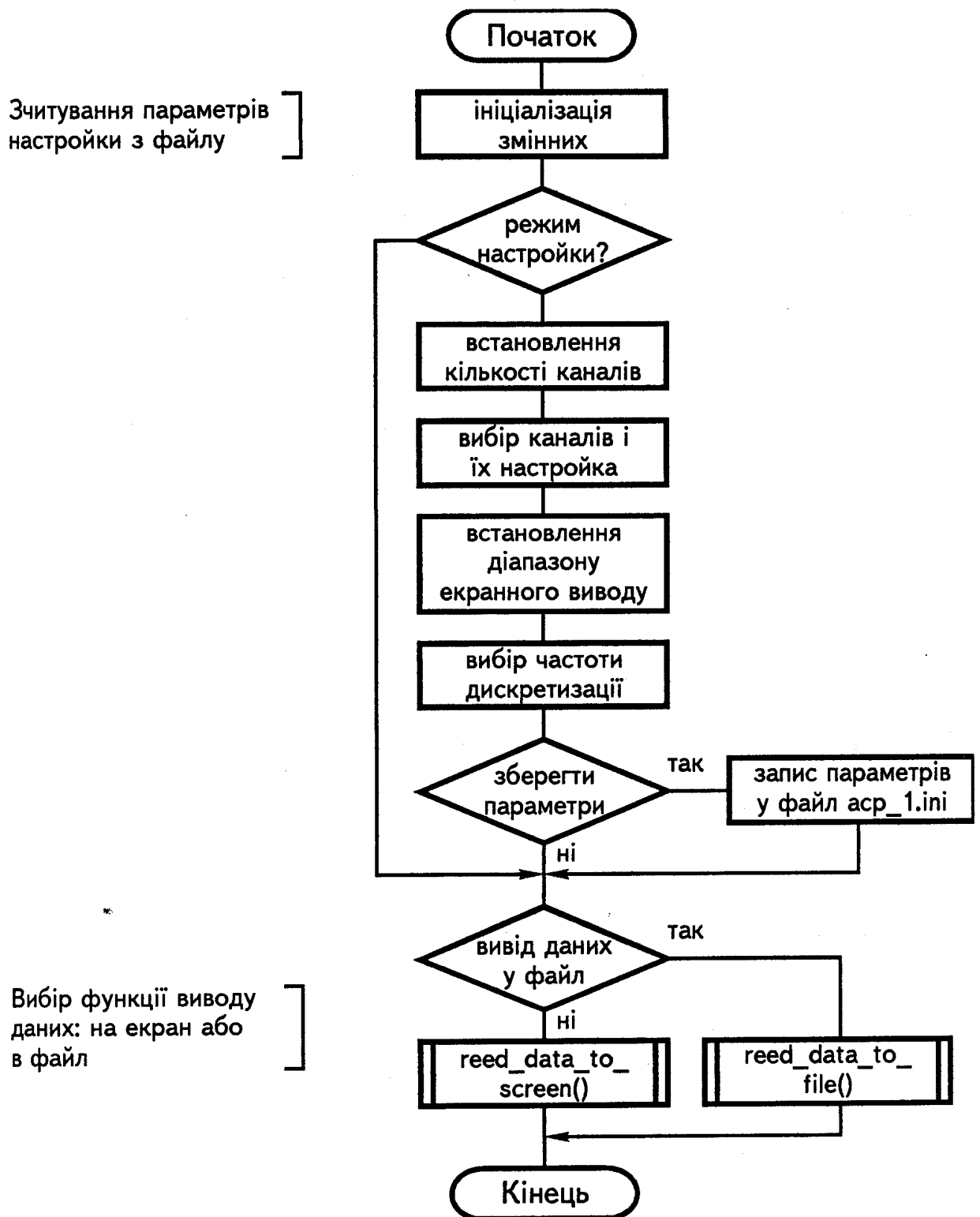


Рисунок 5.3 – Блок-схема функції `inp_data ( )` програми `asr_1`

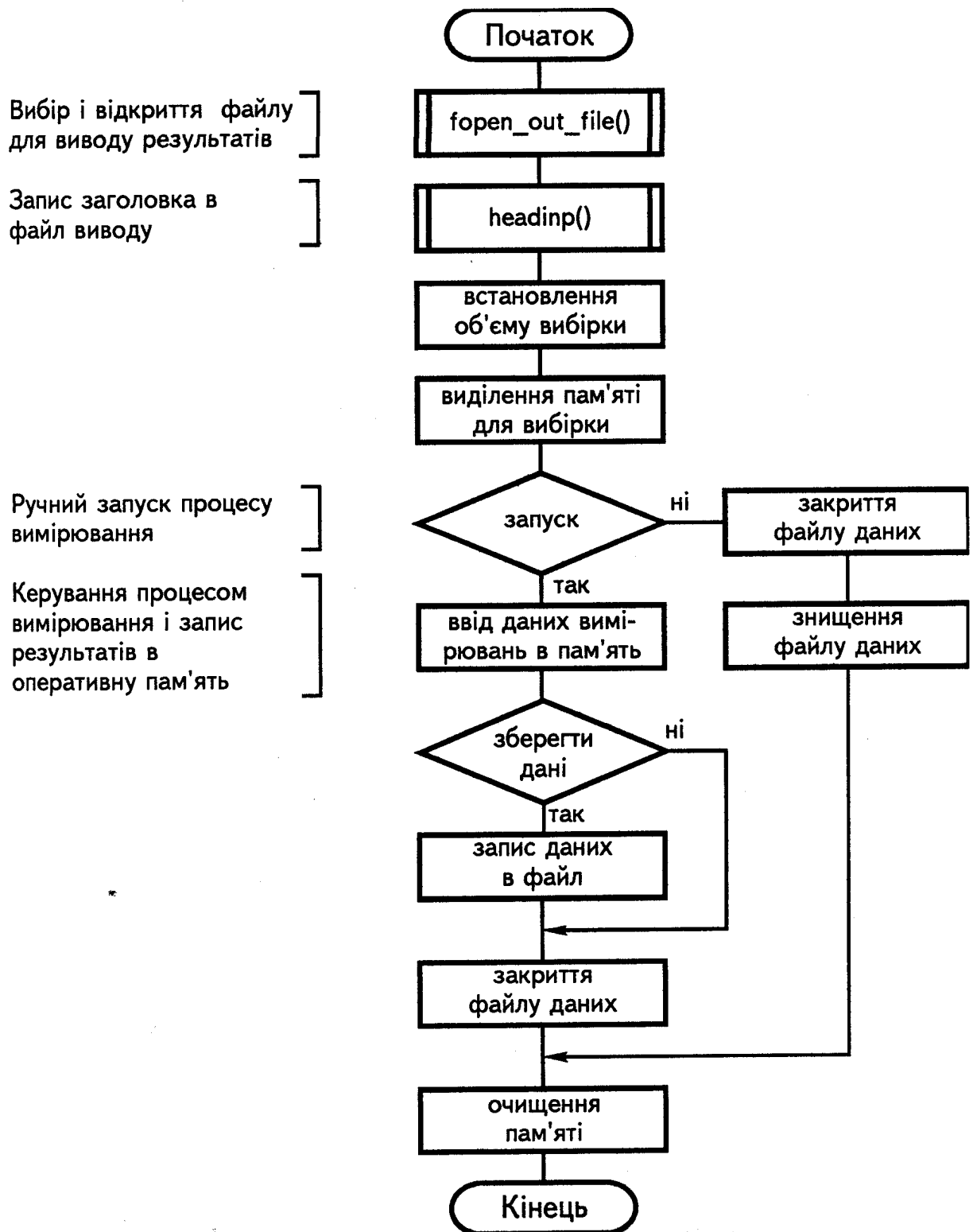


Рисунок 5.4 – Блок-схема функції read\_data\_to\_file() програми asr\_1

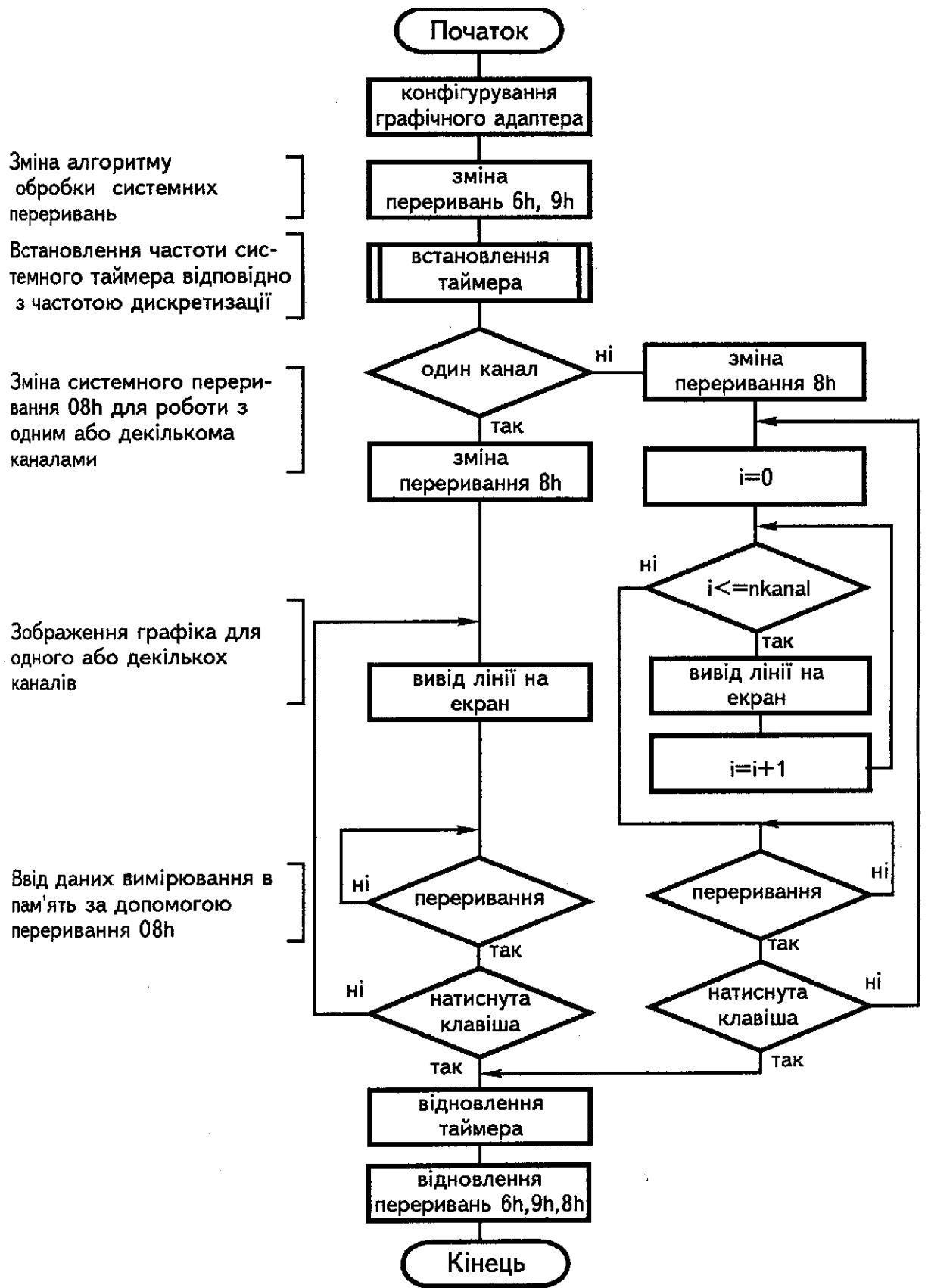


Рисунок 5.5 – Блок-схема функції read\_data\_to\_screen програми asr\_1

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.

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. 5.6). Програмне переривання `8h` (`h` — ознака 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.

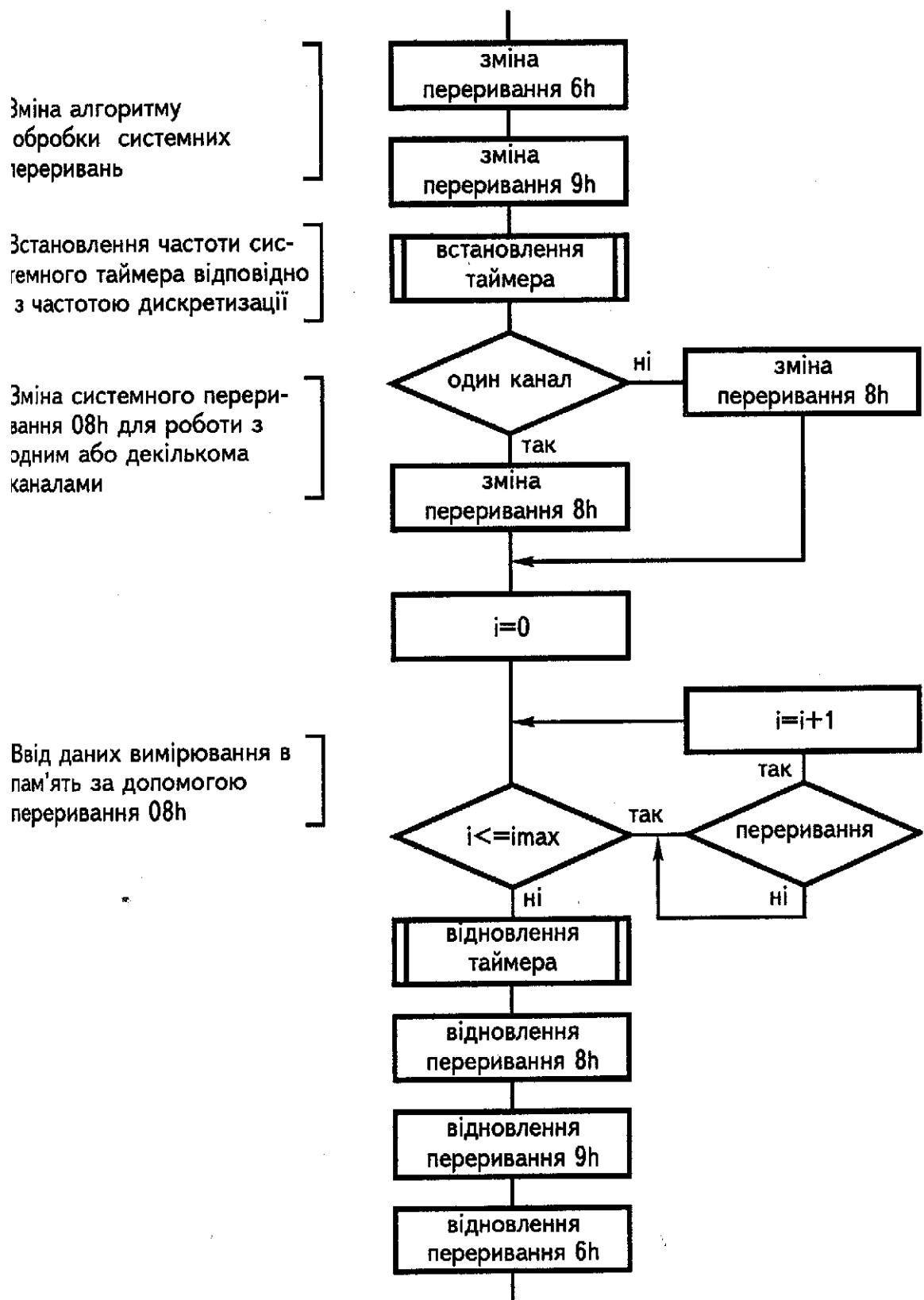


Рисунок 5.6 – Блок-схема фрагменту функції read\_data\_to\_file ( )



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 Assembler, що дає можливість добитися максимальної ефективності програмного коду.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Заходи з охорони праці**

#### **6.1.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища**

Спроектована система контролю за станом металорізального обладнання може експлуатуватися в приміщеннях класу В-1А з категоріями вибухобезпечних газопароповітряних сумішей групи II А температурних класів T1, T2, T3, T4.

Комплектуючі системи є електроприладами, що живляться від електромережі  $220 \pm 10\text{В}$ , з частотою  $50 \pm 1$  Гц, ця напруга є смертельною для людини, тому слід дотримуватися відповідних заходів від враження електричним струмом.

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 електроприлади 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 [ ].

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.

По стійкості до кліматологічних впливів система проектується для умов УХЛ 4, при цьому температура навколишнього середовища повинна знаходитись в межах від плюс 5<sup>0</sup>С до плюс 50<sup>0</sup>С при відносній вологості повітря не більше 80% при 25<sup>0</sup>С.

Основні потенційно небезпечні фактори, що характеризують систему зібрані в таблиці 6.1, 6.2.

Таблиця 6.1 Потенційно небезпечні виробничі фактори

Виробничий об'єкт	Небезпечний фактор (технологічна операція)	Фактичне значення	Нормативне значення (безпечна величина)	Характер дії на людину
Стійка СКУТ	Електричний струм	I= 1 – 5 А, U=220 В, f = 50 Гц	I=0.1А, U=42В, f = 50 Гц	Фібриляція, параліч дихання

Продовження таблиці 6.1

ЕОМ(зокрема – ВДТ )	Рентгенівське випромінювання	9–12 мкР/год В діапазоні 1,2КеВ	75,0 мкР/год	Загальна втома, головний біль  Різь в очах
	Ультрафіолетове випромінювання	0,02 Вт/м <sup>2</sup> В діапазоні 220нм-320нм	0,01 Вт/м <sup>2</sup>	
	Інфрачервоне випромінювання	4,0 Вт/м <sup>2</sup> В діапазоні 700нм-1мм	100,0 Вт/м <sup>2</sup>	
	Електростатичне поле	15 кВ/м	20-60 кВ/м	
	Яскравість	80 кД/м <sup>2</sup>	Від 35 кД/м <sup>2</sup> до 60 кД/м <sup>2</sup>	

Таблиця 6.2 Характеристика шкідливих речовин

Назва речовини	ГДК ( гранично-допустима концентрація) даної речовини, мг/м <sup>3</sup>		Перша допомога при отруєнні
	в робочій зоні	середньодобова в атмосфері населених пунктів	
Газоповітряна суміш	300	5	Винести з шкідливої атмосфери, зігріти тіло, обложивши грілками. При порушенні дихання дати кисень.

### **6.1.2 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.

Спроектвана 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.

Рекомендовано дотримуватись вимог “Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень” № 4088-86 для категорії робіт 1а - 1б. Характеристики метеорологічних умов у виробничих приміщеннях наводяться у таблиці 6.4.

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 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.

Для нормалізації мікроклімату в виробничих приміщеннях 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 використовуються автономні, місцеві кондиціонери повного кондиціонування повітря. Можливість використання кондиціонерів для оздоровлення мікроклімату приміщення зумовлена тим, що робота з комп'ютерною технікою і електричними приладами не пов'язана з виділенням пилу та шкідливих речовин, які необхідно видаляти з робочої зони приміщення.

Розрахунок систем вентиляції та кондиціонування і їх норми проводиться за санітарними нормами і правилами СНиП 2.04.05. Згідно

цього нормативного документу витрата повітря, необхідна для створення нормативних умов роботи,

$$L = k \cdot V, \quad (6.1)$$

де  $L$  – витрата повітря, м<sup>3</sup>/год.;

$k$  – часова кратність повітряобміну, яка визначає скільки разів на протязі години повітря в приміщенні повністю замінюється, 1/год.;

$V$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>.

Об'єм приміщення :

$$V = S \cdot H, \quad (6.2)$$

де  $H$  – висота приміщення, м;  $H = 4$  м.

Тоді, згідно з (6.2),

$$V = 40 \cdot 4 = 160 \text{ м}^3.$$

Кратність повітряобміну визначаємо з таблиці, в залежності від виду робіт за СНиП 2.04.05 :  $k = 5$  1/год.

Отже, з виразу (6.1) отримаємо :

$$L = 5 \cdot 160 = 800 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Тобто, для підтримання нормальних умов праці, необхідно забезпечити циркуляцію повітря 800 м<sup>3</sup>/год.

Нормативна зорова робота передбачає створення на робочих місцях освітлення згідно санітарних норм і правил або відомчих нормативів, значення яких наводиться у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 Характеристика системи вентиляції

Виробниче приміщення	Вид вентиляції	Вентиляційне обладнання	Кратність повітряного обміну, 1/год
Диспетчерський центр	Механічна, місцева, приточна	Кондиціонери повного кондиціювання повітря	5

Таблиця 6.4 Характеристика штучної освітленості робочих місць

Виробниче приміщення	Розряд та підрозряд зорової роботи	Освітленість, лк				Тип світильників
		Загальна	Комбінована	Аварійна	Евакуаційна	
Диспетчерський центр	Будь-яка	200	400	10	1	ЛСП – 12 – Кососвет

При недостатньому природному освітленні використовують загальне освітлення, при якому в денний час використовується одночасно природне і штучне освітлення.

Штучне освітлення застосовується для освітлення робочих поверхонь в темний період доби чи при недостатньому природному освітленні. Створюється воно штучними джерелами світла (лампами).

Оскільки, в даному випадку здійснюється робота з дисплеєм, який і сам є світним об'єктом, то доцільно використати рівномірне загальне освітлення. В даному випадку розряд роботи - VII, а отже нормоване освітлення  $E_n$  при загальному освітленні складає 200 лк.

Дане приміщення має незначну запиленість, тому є можливість використати світильники типу ЛСП-12. Для розрахунку загального рівномірного штучного освітлення використаємо метод коефіцієнта використання світлового потоку. Цей метод враховує світловий потік, відбитий від стелі та стін. Розрахункова формула для світлового потоку (від однієї лампи), котрий падає на освітлювальну поверхню, лм :

$$\Phi_p = \frac{E_n \cdot S \cdot Z \cdot k}{N \cdot \eta}, \quad (6.3)$$

де  $E_n$  – нормована мінімальна освітленість, лк;



$S$  – площа освітлюваної поверхні,  $m^2$ ;

$Z$  – коефіцієнт мінімальної освітленості ( $Z = 1,2$ );

$k$  – коефіцієнт запасу, який для даного виду робіт і системи освітлення рівний 1,2;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку ламп (визначається з таблиці), який залежить від коефіцієнтів відбиття стелі ( $\rho_c = 60\%$ ), стін ( $\rho_{ст} = 20\%$ ), висоти підвісу світильників ( $H_p = 3,8$  м), розмірів приміщення ( $A = 5$  м,  $B = 8$  м) та від індексу приміщення  $i$ :

$$i = \frac{A \cdot B}{(A + B) \cdot H_p} = \frac{5 \cdot 8}{(5 + 8) \cdot 3,8} \approx 0,8. \quad (6.4)$$

Попередньо розраховується кількість світильників. Забезпечення рівномірного розподілу освітленості досягається в тому випадку, якщо

відношення відстаней між центрами світильників  $L_{св}$  до висоти їх підвісу  $H_p$ , складає для світильників ЛСП  $\lambda = 1,4$ , тобто:

$$\lambda = \frac{L_{св}}{H_p} = 1,4. \quad (6.5)$$

Звідки:

$$L_{св} = \lambda \cdot H_p = 1,4 \cdot 3,8 = 5,3 \text{ м}. \quad (6.6)$$

Для даного приміщення приймаємо кількість світильників  $N = 2$  шт.

При заданих  $\rho_c$ ,  $\rho_{ст}$  та  $i$ , визначаємо за таблицями коефіцієнт використання світлового потоку :

$$\eta = 0,33.$$

Тоді за формулою (6.3) визначаємо:

$$\Phi_p = \frac{200 \cdot 40 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{2 \cdot 0,33} \approx 17455 \text{ лм}. \quad (6.7)$$

Визначивши світловий потік лампи  $\Phi_p$ , підбираємо найближчу за значенням  $\Phi_p$  стандартну лампу. Такою є лампа ЛБ–80 з світловим потоком

$$\Phi_T = 18000 \text{ лм}.$$

Перевіримо розрахункову освітленість за формулою :

$$E_p = E_n \cdot \frac{\Phi_T}{\Phi_p} = 200 \cdot \frac{18000}{17455} \approx 206 \text{ лк} . \quad (6.8)$$

Визначимо відсоток розрахункової освітленості від нормативної:

$$\frac{E_p}{E_n} \cdot 100 \% = \frac{206}{200} \cdot 100 \% = 103 \% . \quad (6.9)$$

Тобто, відхилення  $E_p$  від  $E_n$  складає 3 % . Таке відхилення знаходиться в межах норми.

Сумарна потужність освітлювальної установки складає :

$$W = W_{\text{л}} \cdot N \cdot n = 80 \cdot 2 \cdot 2 = 320 \text{ Вт} , \quad (6.10)$$

де  $W_{\text{л}}$  – потужність однієї лампи, Вт ;

$n$  – кількість ламп у світильнику.

При виконанні робіт, що супроводжуються шкідливою дією на організм людини та проявами підвищеної небезпеки, передбачається застосування колективних та індивідуальних засобів захисту, перелік яких міститься в таблиці.

### **6.1.3 Гігієнічні та світлотехнічні рекомендації при роботі в диспетчерському центрі контролю**

Система освітлення має бути загальною та загально-локалізованою. Вибір типу світильника за світлорозподілом та способом розміщення світильників у приміщенні залежить від висоти приміщення, розташування приладів у приміщеннях та від кількості приладів.

Найбільш оптимальними є світильники навкісного світла. Це дзеркальні світильники з параболо-циліндричними відбивачами. З відповідних вітчизняних світильників можна рекомендувати для

освітлення люмінесцентні дволампові дзеркальні світильники з решіткою типу ЛПО-12-Кососвет, або аналогічні – ЛСП-12-Кососвет.

Світильники повинні розташовуватись над проходами між рядами комп'ютерів суцільною лінією, або з проміжками залежно від кількості світильників у лінії, необхідної для забезпечення на РМ нормованої освітленості.

Однією з умов профілактики функціональних професійних порушень, збереження здоров'я та працездатності диспетчерів є фізіологічно обґрунтована організація праці.

Для профілактики захворювань та підтримання працездатності необхідно дотримувати регламентовані перерви для відпочинку. В період роботи за дисплеєм необхідно передбачити через кожні 40- 45 хвилин трихвилинні та п'ятихвилинні перерви для відпочинку.

Бажано, щоб середня сумарна тривалість роботи з відеотерміналом за день не перевищувала чотирьох годин, а за тиждень – двадцяти годин. Відстань до дисплея повинна бути не меншою ніж 50 см. Не слід сидіти збоку від екрану. Він мусить бути розміщеним перпендикулярно до погляду і на 20 градусів нижче від рівня очей.

Бажано розміщувати дисплеї в приміщенні на відстані 1,5 м ( або більше) один від одного. Приміщення для роботи повинно регулярно провітрюватись та бути добре освітленим, причому кожен оператор повинен мати ще й індивідуальне джерело світла. Кожний день в приміщенні слід робити вологе прибирання.

Навкруг дисплею бажано мати блакитний фон або повісити навпроти великий зелений квадрат, на який можна було б відводити погляд на 5 – 10 с через кожні 10 хв роботи. Після 40 хв роботи бажано здійснити колові рухи очима за годинниковою стрілкою та проти неї.

Сумарну тривалість роботи з терміналом (4 години) краще розподілити на дві частини і працювати по дві години у першу та другу

половини робочого дня. При використанні захисних засобів час роботи з терміналами може бути збільшений.

#### 6.1.4 Забезпечення пожежної безпеки та вибухозахищеності

Основним фактором, що має враховуватися при роботі з проектованою системою контролю є жорсткий контроль за рівнем пожежної безпеки та вибухозахищеності.

При роботі з такими технологічними об'єктами як гнучкі виробничі системи враховувати не тільки безпеку на технологічних об'єктах (металорізальному обладнанні) причиною пожежі на яких може бути запалювання проводів внаслідок пробою, виникнення електричної дуги, коротке замикання.

Щоб уникнути цих явищ необхідно виконувати "Правила будови і експлуатації електротехнічних установок", протипожежні правила, не допускати перевантаження електроприладів.

Експлуатація електрообладнання регламентується "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів".

Таблиця 6.5 Пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів та категорія приміщень і будівель

Назва речовини	Температура, °С		Межі вибуху, % за об'ємом		Виробничі приміщення, категорія приміщення за вибухопожежною небезпекою
	Спалах у	Самозай- мання	Нижня	Верхня	
Природний газ	–	415	2,5	9,5	T2

Таблиця 6.6 Первинні засоби пожежогасіння

Назва приміщення	Площа, яка захищається, м <sup>2</sup>	Типи первинних засобів пожежогасіння	Кількість, шт.
Диспетчерський центр	40	Вуглекислотні огнегасники типу У– 8. Войлок, кошма,	2
		Азбестове полотно 2×1 м	1

В проектованій системі, враховуючи що вона буде впроваджуватись на об'єкті з підвищеними вимогами до вибухозахищеності та пожежної безпеки використані комплектуючі з відповідними класами захисту. Крім того використані промислові бар'єри іскрозахисту що застосовуються на об'єктах даного типу.

Рівень вибухозахищеності системи забезпечує можливість його експлуатації в вибухонебезпечних приміщеннях класу В-1а, в яких можуть утворюватись вибухонебезпечні газо пароповітряні суміші групи ІА температурних класів Т1-Т6 згідно вимогам ДСТУ 12.1.011.

Система проектується з рівнем вибухозахищеності “підвищена надійність проти вибуху”, тобто відноситься до вибухозахищеного електрообладнання, в якому вибухозахищеність забезпечується при нормальному режимі роботи.

Вибухозахищеність системи забезпечується слідуючи ми видами вибухозахищеності:

- захист виду “е” по ДСТУ 22782.7;
- іскробезпечний електричний ланцюг “і” по ДСТУ 22782.5.

Вибухозахищеність системи забезпечується:

- заключенням елементів електричної схеми в оболонку з ступенем захисту IP54;
- забезпеченням необхідних довжин шляхів втрат і електричних

зазорів іскронебезпечних ланцюгів;

- обмеженням щільності струму, що протікає по електричним ланцюгам;
- застосуванням бар'єрів іскрозахисту, обмежуючим величини струмів та напруги до іскробезпечних значень в нормальному та аварійному режимах роботи для вибухонебезпечних сумішей групи ІА.

## **6.2 Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях**

### **6.2.1. Залежність розмірів осередків ураження від маси продуктів вибуху, (СДОР), їхнього тиску, метеоумов, і місцевості.**

В комплексі заходів протихімічного захисту населення важливе місце займає оцінка радіаційної та хімічної обстановки . Володіння її методикою є прямим обов'язком начальників цивільної оборони , командирів формувань ЦО.

При аваріях, пов'язаних з виробництвом, зберіганням та транспортуванням сильнодіючих отруйних речовин (СДОР), може виникнути складна хімічна обстановка з утворенням зон хімічного зараження (ЗХЗ) та осередків хімічного ураження (ОХУ). Небезпека ураження населення в цих умовах вимагає швидкого виявлення СДОР і оцінки хімічної обстановки , а також періодичного її уточнення , оскільки метеоумови можуть постійно змінюватись.

Тому командно-начальницький склад і особовий склад невоєнізованих формувань ЦО об'єктів господарської діяльності (ОГД) повинен досконало володіти методикою оцінки хімічної обстановки.

Хімічна обстановка - це обстановка, яка складається на території адміністративного району, населеного пункту чи ОГД внаслідок викиду (випливу) СДОР або застосування хімічної зброї, істотно впливає на життєдіяльність населення роботу ОГД, боєздатність формувань ЦО і вимагає вжиття необхідних заходів захисту.

Зона хімічного ураження включає ділянку розливу - територію, над якою поширюється первинна або вторинна хмара СДОР чи ОР в небезпечних для життя і здоров'я людей концентраціях . В зоні хімічного зараження може знаходитись один або більше осередків хімічного ураження. Осередок хімічного ураження - це територія, в межах якої внаслідок випливу СДОР виникають масові ураження людей, сільськогосподарських тварин і рослин .ЗХЗ характеризується розмірами (глибиною і шириною) і площею , які залежать від кількості СДОР (ОР), їх виду , метеоумов, рельєфу місцевості, наявності на ній рослинності, типу і щільності забудови . Хімічну обстановку на ОГД виявляють пости (ланки) радіаційного і хімічного спостереження (ПРХС) та на хімічно небезпечних об'єктах - черговий диспетчер, який у випадку аварії повідомляє робітників і службовців об'єкту і доповідає в штаб ЦО міста (району).

Оцінка хімічної обстановки проводиться методом прогнозування (завчасно, при розробці плану ЦО об'єкту) і за даними розвідки.

При оцінці хімічної обстановки методом прогнозування приймається умова одночасного розливу (викиду) всього запасу СДОР (воєнний час) або із максимальної по об'єму одиничної ємності (в мирний час) при сприятливих для розповсюдження зараженого повітря метеоумовах (інверсія, швидкість вітру 1м/с).

Оцінка хімічної обстановки за даними розвідки проводиться на основі конкретної обстановки, коли враховується фактична кількість вилитої СДОР і реальні метеоумови. Оцінка хімічної обстановки на ОГД передбачає:

- визначення розмірів і площі ЗХЗ;
- визначення часу підходу хмари зараженого повітря СДОР до об'єкту;
- визначення тривалості уражаючої дії СДОР;
- визначення можливих втрат населення в ОХУ.

Для оцінки хімічної обстановки необхідно мати такі вихідні дані:

- вид і кількість СДОР;
  - місце викиду СДОР
  - час викиду СДОР;
  - ступінь захищеності людей (наявність захисних споруд , індивідуальних засобів захисту);
  - топографічні умови місцевості і характер забудови на шляху розповсюдження хмари зараженого повітря (закрита чи відкрита місцевість);
  - метеоумови;
- швидкість і напрямок вітру в приземному шарі, температура повітря і ґрунту, ступінь вертикальної стійкості повітря.

Розрізняють три ступені вертикальної стійкості повітря :

- інверсію - при ній нижні шари повітря холодніші за верхні, що перешкоджає переміщенню його по вертикалі і створює оптимальні умови для збереження високих концентрацій отруйних речовин (виникає у вечірній і нічний час при тихій погоді і швидкості вітру до 4м/с);
- конвекцію - нижні шари повітря нагріті більше ніж верхні, що сприяє переміщенню повітря по вертикалі, а значить зменшенню її уражаючої дії Виникає вдень , при ясній погоді і швидкості вітру до 4м/с);
- ізотермію - температура повітря межах 20-30м від земної поверхні майже однакова (спостерігається в похмуру погоду, при опадах або при швидкості вітру більше 4м/с, а також як перехідний період від інверсії до конвекції навпаки) [26].



### 6.2.2. Оцінка хімічної обстановки

Оцінку хімічної обстановки можна проводити за формулами і таблицями складеними відповідно до основних видів СДОР[11].

В нашому випадку ТзОВ “Мікрол” є небезпечним об'єктом третього ступеня по хімічній небезпеці, це означає, що зона зараження виходить за межі території об'єкту. В запасах даного об'єкту може бути нагромаджено до 150т соляної кислоти. Максимальний об'єм ємності становить 40т кислоти . Проведемо оцінку можливої хімічної обстановки в результаті руйнування 40-а тонної ємності соляної кислоти з чисельністю зміни 500 чоловік. На віддалі 1 км знаходиться житловий масив. Робітники і службовці протигазами забезпечені на 100%. Метеорологічні умови :

Інверсія : швидкість вітру -1м/с ; t=20С °; A°=270°. Потрібно :

Оцінити хімічну обстановку, яка може скластися внаслідок аварії на час після аварії N=1год;

Розв'язання:

Визначаємо глибину можливого зараження (Г) і площу зараження (S)

Визначаємо еквівалентну кількість речовини в первинній хмарі :

$$Q_1 = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0 \quad (T)$$

де Q0=40 (т)

K1 -коефіцієнт, який залежить від умов зберігання СДОР (табл. 10 [11])

K1=0

K3-коефіцієнт рівний відношенню порогової токсодози соляної кислоти до порогової дози інших СДОР, K3=0.3;

K5-коефіцієнт, який враховує ступінь вертикальної стійкості повітря (інверсія=1);

K7-коефіцієнт, який враховує вплив температури повітря K7=1

Отже  $Q_1=0$

Визначаємо еквівалентну кількість речовини у вторинній хмарі :

$$Q_2 = (1 - K_1) \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5 \times K_6 \times K_7 \times Q_0 / h \times d \quad (\text{т})$$

де  $K_2$  - коефіцієнт, який залежить від фізико-хімічних властивостей СДОР,  $K_2=0,021$ ;

$K_4$  - коефіцієнт, який враховує швидкість вітру ;

$K_6$  - коефіцієнт, який залежить від часу, що минув від початку аварії.

$K_6=1$ ,

при  $N=1$

$Q_2=4,2$  (т)

І Оі-4.2 (т)."

Глибина зони зараження первиною (вторинною) хмарою визначається в залежності від еквівалентної кількості речовини і швидкості вітру.

Повна глибина зони зараження  $\Gamma_{\text{п}}$  (км) визначається :

$$\Gamma_{\text{п}} = \Gamma_1(2) + 0.5 \Gamma_2(1) \quad \text{км};$$

де  $\Gamma_1(2)$  - найбільший із розмірів  $\Gamma_1$  і  $\Gamma_2$ .

$\Gamma_2(1)$  - найменший із розмірів  $\Gamma_1$  і  $\Gamma_2$ .

$\Gamma_{\text{п}}=11,25$ км.

$\Gamma_{\text{п}}=N \times V$ ,  $N=1$ год за табл. 11 [11]  $V=5$ км/год (при швидкості повітря 1м/с);

$\Gamma_{\text{п}}=5$ км;

Площа зони зараження.

Площа зони можливого зараження первиною (вторинною) хмарою визначається :

$$S_{\text{м}} = 8,72 \times 10^3 \times \Gamma_{\text{п}}^2 \times \chi f \quad (\text{км}^2)$$

де  $S_{\text{м}}$ -площа зони можливого зараження СДОР, км<sup>2</sup>;

$\Gamma_{\text{п}}$  - глибина зони зараження, км

F - кутові розміри зони можливого зараження , (град); при  $v=1\text{м/с}$ ;  
 $f=180^\circ$ .

Для нашого прикладу:

$\Gamma_{\text{п}}=5\text{км}$ ,  $V=1\text{м/с}$ ,

$S_{\text{м}}=0,00872 \times 52 \times 180=39,2(\text{км}^2)$

$S_{\text{м}}=39,2(\text{км}^2)$ ;

Площа фактичного зараження  $S_{\text{ф}}$  в км розраховується за формулою

$$S_{\text{ф}} = K_{\text{в}} \times \Gamma_{\text{н}}^2 \times N^{0,2}$$

$K_{\text{в}}$  - коефіцієнт який залежить від ступеня вертикальної стійкості повітря: інверсія=0,081;

Тоді  $S_{\text{ф}}=0,081 \times 52 \times 10,2=2,025 (\text{км}^2)$ ;

Час підходу зараженого повітря до об'єкту залежить від швидкості перенесення хмари повітряним потоком

$$T_{\text{н}} = L/v \text{ (год)};$$

L-відстань від джерела зараження до заданого об'єкту , км;

v-швидкість переносу переднього фронту хмари зараженого повітря, км/год;

$L=1 \text{ км}$  ,  $v=5 \text{ км}$  ;

$T_{\text{п}}=0,2(\text{год})=15(\text{хв})$ .

Можливі втрати робітників , службовців і населення в районах хімічного зараження визначаються з використанням табл.5 [11] в залежності від умов перебування і забезпеченості засобами індивідуального захисту.

Можливі втрати -4% ,  $\text{П}=500 \times 0,04=20\text{чол}$ .

Орієнтовна структура втрат:

легкого ступення-25% (5чол);

середнього ступення-40 % (8чол);

з смертельними випадками-35% (7чол).

Зона можливого зараження хмарою СДОР обмежена півколом, який має кутові розміри  $f$  і радіус, рівний глибині зараження.

Зона можливого зараження має такий вигляд :

При швидкості вітру за прогнозом  $v=0.6$  -м/с - півколо

$$A^0 = 270^0$$

$$f = 180^0$$

$$r=\Gamma$$

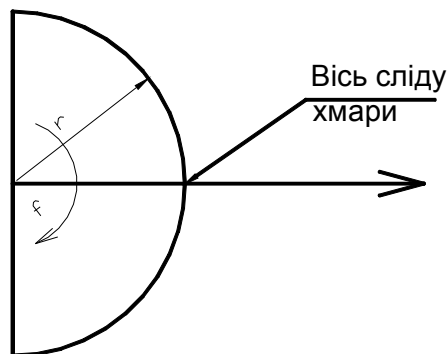


Рисунок 6.1 – Зона можливого зараження

## ВИСНОВКИ

На основі існуючої класифікації та тенденцій розвитку системи діагностування металорізального обладнання встановлено, що перспективними є системи діагностування зношення різального інструменту. При цьому в якості діагностичних ознак використовується сила різання та вібраційно-метрична інформація.

На основі проведеного аналізу методів отримання вібраційно-метричної інформації встановлено, що отримуючи інформацію про АФЧХ обладнання у вигляді 1-модальної поверхні та вимірюючи силу різання можна одержати повну інформацію про амплітуду і частоту вібраційних зміщень в будь-якому частотному діапазоні.

При прогнозуванні точності, тобто визначенні характеру і величини похибки обробки необхідно: виміряти вібро-зміщення інструменту відносно заготовки; представити одержану інформацію у вигляді гармонійного ряду; здійснити квантування гармонік по частотних діапазонах відповідно до значення граничних частот; розрахувати похибки, що утворюються в кожному частотному діапазоні; розрахувати сумарні похибки; порівняти отримані значення з допустимими на обробку і, у разі перевищення похибками значень допусків, ввести її в систему діагностування.

Розглянута можливість вимірювання поточних миттєвих значень діаметру і відхилень довжини заготовки розрахунковим шляхом.

На основі методології вібраційної діагностики причин відмов по точності обробки розроблено алгоритм їх вібро-діагностування та його програмна реалізація.

Розроблено алгоритми діагностування граничного зношення металорізального інструменту і багатолезового інструменту.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Розгонюк В.В., Гужов Ю.П., Кузьменко Ю.О., Шишківський В.А. Технічна експлуатація систем захисту від підземної корозії магістральних газопроводів.-Київ, 2000.
2. Розгонюк В.В., Хачикян Л.А., Григіль М.А., Удалов О.С., Нікішин В.П. Довідник експлуатаційникові газонафтового комплексу. - Київ, 1998.
3. Спеціалізовані мікроконтролерні системи. Теорія і практика: Підручник / Є.І. Сокол, І.Ф. Домнін, О.М.Рисований та ін. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – 252 с.
4. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: Підручник. – Львів: Афіша, 2001. – 424 с.
5. Володарський Є. Т., Кухарчук В. В., Поджаренко В. О., Сердюк Г. Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с.
6. Головка Д.Б., Реґо К.Г., Скрипник Ю.О. Основи метрології та вимірювань. Навч. посібник. - К.: Либідь, 2001. - 408 с.
7. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електроніка та мікро схемотехніка: теорія і практикум: Навч. посіб./за ред. А.Г.Соскова. – К.: Каравела, 2004.- 432с.
8. Конспект лекцій з курсу ”Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації” / . — Тернопіль : ТНТУ , 2010 — 203 с.
9. Конспект лекцій з курсу ”Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами” / . — Тернопіль : ТНТУ , 2010 — 199 с.

10. Медвідь В. Р. „Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації“ : консп. лекц. / В.Р. Медвідь , В.Р. Козбур , В.П. Пісьціо. — Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2009. — 254 с.
11. Медвідь В. Р. „Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами“ : консп. лекц. / укл. : В.Р. Медвідь , В.Р. Козбур , В.П. Пісьціо. — Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2009. — 226 с.
12. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «Безпека в надзвичайних ситуаціях» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., –156 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39196>.
13. Мікропроцесорна техніка / Ю. І. Якименко, Т.О. Терещенко, Є. І. Сокол та ін. / За ред. Т. О. Терещенка. – К.: Видавництво “Політехнік”, 2003. – 440 с.
14. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39424>
15. Основи наукових досліджень і теорія експерименту : Навчальний посібник / укл. Ю. Б. Капаціла, П. О. Марущак, В. Б. Савків, О. П. Шовкун. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. 186 с.».  
<http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40843>.
16. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>.
17. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка. – Львів: Бескид Біт, 2003. - 544 с.
18. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник/ І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо.– Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022.–324с.



19. Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 344с.
20. Платформа .NET та мова програмування С# 8.0: навчальний посібник / Коноваленко І.В., Марущак П.О. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2020 – 320 с. /Рекомендовано до друку Вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Протокол № 10 від 20 жовтня 2020 року
21. Савків В.Б., Капаціла Ю.Б., Михайлишин Р.І. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2021. 50 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35172>
22. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
23. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
24. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.