

## Реферат

Робота складається з 83 листів, 4 розділів , 19 рисунків, 4 таблиць, 14 джерела літератури та висновка.

**Мета роботи:** дослідження властивостей псевдо зрідженого шару сипкого матеріалу з розробкою автоматизованої системи наукового дослідження.

Досягнення мети відбувається шляхом вирішення таких **задач:**

- ✓ Розглянемо основні поняття про процес псевдо зрідження та ознайомимося зі структурою автоматизованої системи наукових досліджень
- ✓ Розробимо план-програму експерименту
- ✓ Проведемо експеримент
- ✓ Обґрунтуймо результати проведених експериментів:
  - перевіримо гіпотези про однорідність ряду дисперсій (критерій Кохрена);
  - статистична перевірка гіпотез при оцінці членів вибірки, що різко відрізняються. Критерій типу  $r$ ;
  - зробимо висновки про вид моделі;

Ключове слова : Псевдо зрідження, датчик, сигнал , перетворювач, канал, автоматизована, температура, тиск, функції, екстраполяція, інтерполяція, алгоритм, критерій.

## ЗМІСТ

Реферат .....	2
ЗМІСТ .....	3
Перелік умовних позначень та скорочень .....	5
Передмова .....	6
РОЗДІЛ 1	
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІЖДЕНЬ .....	7
1.1 Процес псевдозрідження .....	7
1.2 Автоматизована система наукових досліджень.....	15
1.3 Структура автоматизованого експерименту .....	16
1.4 Алгоритм первинної обробки інформацій в АСУТП.....	19
1.5 Алгоритм допускового контролю .....	22
1.6 Вибір розрядності подання інформацій в КОМ і частоти опитування вимірювальних перетворювачів. Інтерполяція і екстраполяція сигналу. ....	24
1.7 Метод ступінчастою екстраполяції (екстраполятор нульового порядку) .....	28
1.8 Контроль і підвищення достовірності вихідної інформації .....	34
1.9 Алгоритм допускового контролю параметрів .....	35
1.10 Алгоритм допускового контролю швидкості зміни сигналу .....	36
1.11 Автоматизація експерименту.....	38
РОЗДІЛ 2	
ЗБІР ДАНИХ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПЛАНУ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ	45
2.1 Розрахунок необхідної кількості експериментів для забезпечення заданої точності.....	45
2.2 Розробка плану-програми експерименту.....	52
2.3 Схема та опис установки псевдозрідження.....	55
РОЗДІЛ 3	
ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.....	57
3.1 Перевірка гіпотези про однорідність ряду дисперсій (критерій Кохрена) .....	57
3.2 Статистична перевірка гіпотез при оцінці членів вибірки, що різко відрізняються. Критерій типу $r$ .....	60

3.3 Вибір виду моделі .....	61
3.4 Побудова емпіричної лінії регресії у по $x$ .....	64
3.5 Побудова моделі методом найменших квадратів.....	65
3.6 Розрахунок витрат газу в апарату .....	71
3.7 Розробка загальної технологічної схеми установки у вигляді блок- схеми. Визначення значень параметрів після основних блоків .....	75
<b>РОЗДІЛ 4</b>	
<b>ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....</b>	<b>76</b>
4.1 Загальні положення.....	76
4.2 Правила пожежної безпеки в лабораторії .....	77
4.3 Правила електробезпеки в лабораторії.....	78
4.4 Надання першої медичної допомоги.....	79
<b>ВИСНОВОК.....</b>	<b>82</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....</b>	<b>82</b>

## Перелік умовних позначень та скорочень

АСНД - автоматична система наукових досліджень

АЦП - аналого-цифрових перетворювачів

ЦАП - цифро-аналогових перетворювачів

АСУТП – автоматична система управління технологічним процесом

ПОІ – первинна обробка інформацій

ІВК – інформаційно-вимірювальний канал

ТПТ – термоелектричний перетворювач температури

ВП – вимірювальний перетворювач

АЦП – аналогова - цифровий перетворювач

ІП – інформаційний перетворювач

АФХ – амплітудо-фазової характеристики

АС – автоматизовані системи

## Передмова

Науково-дослідницька робота - це робота наукового характеру, пов'язана з науковим пошуком, проведенням досліджень, експериментами з метою розширення наявних та отримання нових знань, перевірки наукових гіпотез, встановлення закономірностей, наукових узагальнень і обґрунтувань.

Науково-дослідна робота являє собою самостійне, а найчастіше, спільне з науковим керівником, дослідження того, хто навчається, що розкриває його знання і вміння їх застосовувати для вирішення конкретних практичних завдань. Робота повинна носити логічно завершений характер і демонструвати здатність учня ясно викладати свої думки, аргументувати пропозиції і грамотно користуватися термінологією. Звичайно, ця робота набагато простіше, ніж роботи справжніх вчених. Але за структурою, застосовуваних методів, системі планування - це справжнє дослідження.

Знання, отримані в ході дослідження, отримані своєю працею, запам'ятовуються набагато краще. Метод, коли учень і вчитель ставлять перед собою питання, які ставили першовідкривачі законів в різних науках, і спільно шукають відповіді - більше захоплює учнів і формує бажання надалі займатися науковою діяльністю.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІЖДЕНЬ

#### 1.1 Процес псевдо зрідження

Псевдо зрідження - це перетворення шару зернистого матеріалу під впливом висхідного газового або рідинного потоку або інших фізико-механічних впливів в систему, тверді частинки якої знаходяться в підвішеному стані, і нагадує за властивостями рідина, псевдо зріджений шар. Через зовнішні подібності з киплячою рідиною псевдо зріджений шар часто називають киплячим шаром. В англійській літературі прийнято термін: fluid bed: (зріджений шар), а операція псевдо зрідження носить звану, fluidization.

Деякі основні поняття. Типи і способи створення псевдо зріджених систем. Найпростішу псевдо зріджених систему створюють в заповненому шаром зернистого матеріалу вертикальному апаратів, через днище якого рівномірно по перетину вводять інертний зрідження агент (газ або рідина). При його невеликій швидкості  $W$  зернистий шар нерухомий; з її збільшенням висота шару починає зростати (шар розширюється). Коли  $W$  досягає критичного. значення, при к-ром сила гідравлічного опору шару висхідному потоку зріджующого агента стає рівною вазі твердих частинок, шар набуває плинність і переходить в псевдо зріджений стан. Відповідну лінійну швидкість зріджующого агента називають швидкістю почала псевдо зрідження або його першої критичної швидкістю  $Wk$  [для дрібних (розмір,  $\leq 1$  мм) частинок  $Wk \sim d^2$ , для великих ( $\geq 1$  мм) -  $Wk \sim \sqrt{d}$  де d-діаметр частинок][1].

Остання зменшується зі збільшенням щільності висхідного потоку.

При подальшому зростанні  $W$  гідравлічний опір шару залишається постійним, поки він не зруйнується і не почнеться інтенсивний винос зернистого матеріалу потоком з апарату. Що відповідає даному стану шару швидкість потоку називається швидкістю винесення (вільне витання часток) або другий критичної швидкістю псевдо зрідження ( $W_{ун}$ ), що перевищує  $Wk$

в десятки разів. Якщо швидкість зрідженого агента більше швидкості витання найбільших часток зрідженого матеріалу, шар повністю захоплюється потоком.

У міру збільшення  $W$  порозність шару (частка обсягу, зайнятого зріджуючи агентом) зростає, тому середні концентрації твердих частинок в одиниці об'єму шару зменшуються. При цьому в разі псевдо зрідження газом з'являються рухливі порожнисті неоднорідності-бульбашки (неоднорідний шар). При псевдо зріджених рідиною шар, розширюючись, залишається істотно більш однорідним по локальних концентрацій частинок (однорідний шар). У разі псевдо зрідження газом при підвищених тисках створюють псевдо зріджений шар проміжного типу[1].

Різновид псевдо зрідженого шару-фонтанує шар. В даному випадку газ (рідина) вводять в нижню частина зернистого шару у вигляді струменя. Тверді частинки підхоплюються нею і виносяться у верхній частині шару. На периферії струменя (зазвичай під стінами апарату) зверху вниз рухається щільний шар частинок, тобто вони безперервно циркулюють. У фонтанує шарі в підвішеному стані знаходиться лише частина твердих частинок. Тому іноді використовується термін "зважений шар" менш універсальний, ніж термін "псевдо зріджений шар".

У ряді випадків забезпечують пульсації подачу зрідженого агента або вводять його по черзі в різні ділянки нижнього перетину шару. Наприклад обертають газорозподільні ґрати, перфоровану лише в деяких секторах. Даний прийом дозволяє привести зернистий шар в псевдо зріджений стан при менших витратах зріджують агенту в порівнянні зі звичайним киплячим шаром.

Широке поширення отримав також трифазний шар: тверді частинки зважуються рідиною, яка в свою чергу перемішується бульбашками барботують газу. Відома різновид трифазного шару: потік рідини подається зверху вниз зі швидкістю, рівною або більшою швидкості спливання твердих частинок, щільність яких менше щільності рідини; при цьому барботає газу

призводить до перемішування твердих частинок в об'ємі рідини. Незважаючи на зовнішні схожість із звичайним псевдо зрідженим шаром трифазний шар ближче за властивостями до барботаажний шару.

Псевдо зріджених системи створюють також наступними способами:

- 1) піддають зернистий шар впливу механічні вібрацій (Вібраційна техніка);
- 2) механічно перемішують зернистий шар, наприклад обертанням заповненого їм апарату;
- 3) піддають тверді частинки, що володіють феромагнітними властивостями, впливу електромагнітними поля і інші. Ці та інші прийоми можуть поєднуватися з псевдо зрідженим газом або рідиною.

Далі для зручності викладу матеріалу розглядається тільки найбільш поширений випадок-псевдо зрідження газом.

Аналогія між псевдо зрідженим шаром і рідиною - головна властивість шару як середовища для проведення хіміко-технологічних процесів. Виділимо деякі загальні властивості шару і рідини.

1) Гідростатичні тиск в шарі висотою той же, що і для стовпа рідини і становить:  $\Delta p = \bar{\rho} H$ , де  $\bar{\rho}$ -середня масова концентрація (щільність) твердих частинок.

2) При механічній дії на поверхні шару, схожою на повність окропу, можуть виникати поперечні хвилі.

3) Поведінка чужорідних тіл в шарі підкоряється закону Архімеда. Напр., Можна судити про настання псевдо зрідженого стану, якщо тіла з щільністю, меншою середньої щільності шару, спливають, а з більшою-тонуть.

4) З отвору в боковій стінці апарату з псевдо зрідженим шаром через введений в нього трубопровід тверді частинки "випливають", утворюючи струмись, початкова швидкість  $W_{ст} = \sqrt{2gH}$ , де g- прискорення вільного падіння.



5) Суміжні псевдо зріджених шари поводяться як сполучені посудини. Підтримуючи в таких шарах за рахунок різниці в робочих швидкостях зріджених газу різні середні щільності твердих частинок, можна організувати циркуляцію матеріалу. У горизонтальних лотках шар тече, як рідина в каналах.

6) Швидкості спливання бульбашок в шарі і нев'язкої рідини при малих швидкостях псевдо зрідженого газу практично однакові і пропорціональні  $\sqrt{d_{\text{п}}}$ , де  $d_{\text{п}}$  - еквівалентний діаметр міхура (діаметр еквівалентного кулі, що має той же обсяг, що і міхур) [1].

Подібність між рідиною і шаром проявляється при приміщенні в нього пристроями,. Закономірності макросмешенія в псевдо зрідженому шарі твердих частинок і рідини можна порівняти при барботаже газу. Однак аналогія з рідиною спостерігається лише при пропущенні через зернистий шар достатньої для його псевдо зрідження кількості газу. Наприклад, якщо газ вводять нерівномірно по перетину шару, виникають зони, де частинки нерухомі. Такі нерухомі (застійні) зони можуть утворюватися на різних конструкційних елементах апарату (на внутрішніх теплообмінних пристроях і ін.). У застійних зонах можуть протікати небажані побічні процеси, виникати агломерати твердих частинок і т. д. Якщо в ході хіміко-технологічного процесу частинки укрупнюються, можливе припинення псевдо зрідження.

Бульбашки в псевдо зрідженому шарі. Найважливішим властивістю псевдо зріджених шарів типу газ-тверде тіло є утворення в них бульбашок (див. Вище). Від їх розмірів (зазвичай 3-30 см, але спостерігаються бульбашки діаметром 0,5-0,7 м), загального числа, швидкостей підйому залежить макросмешеній газу і твердих частинок, а отже, і властивості шару як середовища для здійснення хіміко-технологічних процесів. У промислових апаратах, діаметри яких в  $\sim 5$  разів і більше перевищують можливі розміри бульбашок, картина їх руху залежить від розміру і щільності твердих

частинок. За цими ознаками зрідження матеріали прийнято поділяти на групи А, В, С, D. Належність сипучих матеріалів до відповідної групи наближено встановлюють за допомогою рис 1.1 (по Джелдарту [1]).

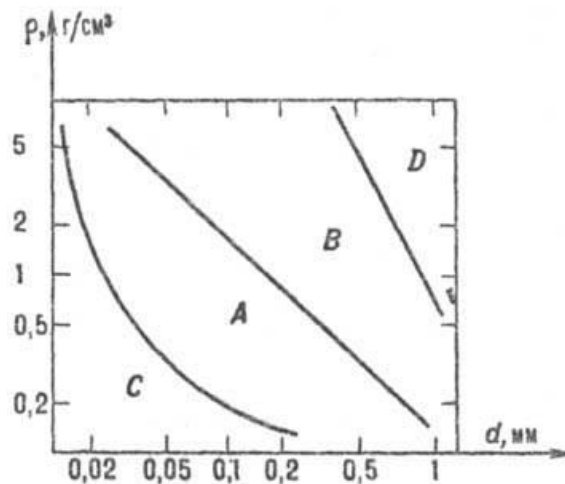


Рисунок 1.1 - Діаграма класифікації сипучих матеріалів в логарифмічній шкалі (A – D – групи матеріалів;  $\rho$  і  $d$  - щільність і діаметр твердих частинок).

У шарах часток групи А (рис 1.2, а) бульбашки зароджуються поблизу повсті газорозподільної решітки. У міру спливання бульбашки ростуть за рахунок насуваючись газу з щільної фази і коалесценції. Одночасно спостерігаються акти руйнування бульбашок, утворення короткоживучих агломератів дрібних бульбашок, розділених прошарками твердої фази, які знову зливаються в один міхур. На відстанях 1,0 – 1,5 м від газорозподільні розміри бульбашок стабілізуються. Однак при цьому вони починають рухатися "ланцюжками", траєкторії яких змінюються. Масштаби щільних зон (так званих щільних пакетів) шару, що розділяють порожнисті неоднорідності, збільшуються. Швидкості спливання бульбашок складають 0,7 – 1,0 м / с, в той час як швидкості зрідження газу, віднесені до повного перетину шару, зазвичай не перевищують 0,4 м / с. Частина газу, що проходить шар у вигляді бульбашок, швидко зростає при видаленні від газорозподільні. Так, на відстані 0,2 – 0,5 м від решітки типу "пориста плита" у вигляді бульбашок рухається практично весь газ.

У псевдо зріджених шарах матеріалів групи В картина руху бульбашок якісно не змінюється, але спостерігаються помітні кількостей. відмінності усереднених характеристик фази бульбашок. Наприклад, зменшуються число актів руйнування і коалесценції бульбашок, а також частка газу, що проходить шар у вигляді бульбашок. У шарах матеріалів групи D характер руху бульбашок помітно змінюється. Бульбашки набувають "сплюснуту" форму. Їх розміри по горизонталі стають істотно більше розмірів по вертикалі (див. Рис 1.2, а). При цьому швидкості спливання бульбашок менше швидкостей зрідженого газу. У шарах матеріалів групи С бульбашки не утворюються. Ці матеріали вдається привести в псевдо зріджений стан тільки при додаткових механічних впливах, наприклад за допомогою вміщених в шар мішалки.

Структура потоків в псевдо зрідженому шарі спрощено описується моделлю, в якій можна виділити три механізми. По першому з них стосовно матеріалів груп А і В газ рухається через міхур від низу до верху під дією перепаду тисків, пропорційного висоті міхура. Якщо його швидкість перевищує швидкість газу, міхур "наздоганяє" і знову "всмоктує" газ. При цьому виникає стійке "хмара циркуляції" газу, з якого газ проникає в глибоких щільних пакетів. За другим механізмом, зазвичай супутнього першому, перенесення газу між бульбашками і щільними зонами межфазного обміну відбувається внаслідок деформації, руйнування бульбашок і утворення їх агломератів. Третій механізм передбачає участь в перенесенні газу твердих частинок.

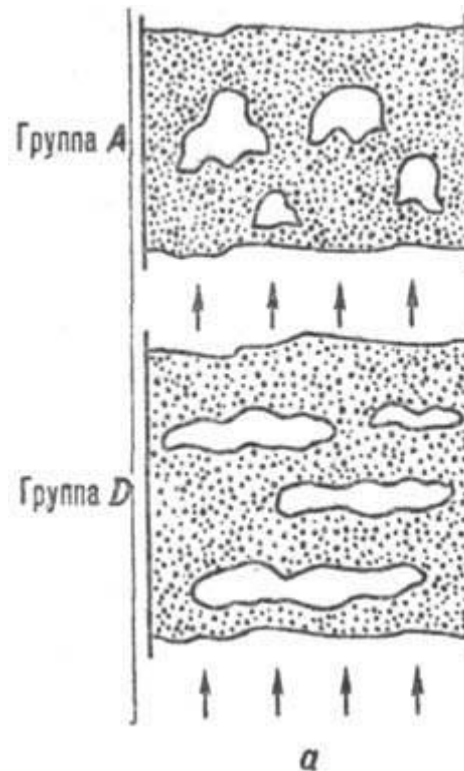


Рисунок 1.2 - Локальні криві вимивання газів-трассерів (1) і криві флуктуації щільності псевдо зрідженим шаром (2): а-фрагменти двомірного шару (матеріали груп А і D); б-інертний і адсорбує трассєри, відповідно Трін і Традс (матеріал групи А); в-інертний трассєр (матеріал групи D);  $C_0$ , з-початкова і поточна концентрації трассєра;  $t$ -час.

Перенесення газу між бульбашками і щільними зонами зазвичай досліджують експериментально (див. Також Перенесення процеси). Напр., Поєднують локальні криві вимивання міченого газу-трассєра (див. Трассєра метод) і локальні криві флуктуації щільності, що викликаються рухом бульбашок (рис 1.2). Порівняння кривих в області шару, де сформувалися великі бульбашки, показує, що в мішурах вимірюються мінімальні концентрації трассєра (щільність шару також мінімальна), а в щільних пакетах-максимальної концентрації (щільність максимальна). Чим більше різниця концентрацій в мішурах і щільною зоні, тим менше коефіцієнт обміну (обмінні потоки газом між розрідженими і щільними зонами, віднесені до одиниці об'єму шару).

З аналізу кривих вимивання інертних трассєров, наприклад: He, слід, що при переході від матеріалів груп А і В до матеріалів групи D коефіцієнт обміну збільшуються на два порядки. Це пов'язано з тим, що газ проходить бульбашки, обганяючи їх, і "хмари циркуляції" зникають. Якщо газ-трассєр, наприклад хладон 12, адсорбується частинками, то при зміні пакетів на бульбашки пульсації концентрацій трассєров менше. Коефіцієнт обміну зростають. Це пояснюється участю в перенесенні газу твердих частинок, і кількість стерпного газу тим вище, чим вище адсорбційна здатність частинок. Так, в промислових адсорберах коефіцієнт обміну в 100-1000 разів більше, ніж в каталітичних реакторах, в яких адсорбційного перенесення газу несуттєвий.

Бульбашки, спливаючи, перемішують тверді частинки. У грубому наближенні їх перемішування нагадує молекулярну дифузію. Тому для опису перемішування зазвичай використовують дифузійну модель. При цьому коефіцієнтом дифузії прийнято називати ефективним або коефіцієнтом перемішування. Тверді частинки також переносять газ, який міститься в порах, вільному обсязі пакетів, і адсорбуються на їх поверхні. Тому інтенсивність перемішування газу тим більше, чим вище здатність частинок адсорбувати газ.

Тверді частинки-основний теплоносій агент в псевдо зрідженому шарі, оскільки їх об'ємні теплоємності на три порядки вище, ніж для газу. Значення коефіцієнта перемішування частинок досить великі для того, щоб шар був практично ізотермічного (в разі швидко протікають екзотермічні реакцій ізотермічного шару може бути істотно порушена).

Теплообмін в псевдо зрідженому шарі. Теплообмін між поверхнею твердих частинок і зріджене газом зазвичай не лімітує швидкість хіміко-технологічних процесів в шарі. Наприклад, при сушінні матеріалу, що містить поверхневу вологу, температура шару практично дорівнює температурі мокрого термометра, тобто встигає встановитися термічного

рівновагу в шарі, навіть якщо час перебування в ньому газу становить десяти частки секунди.

Одна з основних причин широкого застосування техніки псевдо зрідження - інтенсивний теплообмін псевдо зрідженим шаром з поверхнями занурених у нього тіл або зі стінками апарату [коефіцієнт тепловіддачі 100 – 1000 Вт / (м<sup>2</sup> · К)]. Теплота передається:

1) через тонку газову прошарок (товщиною менше  $d$ ), яка безперервно руйнується і оновлюється завдяки руху твердих частинок близько однієї із зазначених поверхонь;

2) твердих частинок при їх контакті з теплообмінної поверхнею (різниця т-р окремої частки і поверхні близька до різниці т-р поверхні і шару, оскільки час контакту мало);

3) пакетам твердих частинок, які періодично змінюються у поверхні або чергуються з бульбашками;

4) твердій фазі, що рухається суцільним потоком в контакті з поверхнею. У високотемпературних псевдозріджених системах помітну роль відіграє також теплове випромінювання.

## **1.2 Автоматизована система наукових досліджень**

В даний час ці системи, як правило, використовуються для розвитку наукових досліджень в найбільш складних галузях фізики, хімії, механіки та інших. В першу чергу - це системи для вимірювання, реєстрації, накопичення і обробки дослідних даних, одержуваних при проведенні експериментальних досліджень, а також для управління ходом експерименту, апаратурою і так далі. У багатьох випадках для таких систем важливою є функція планування експерименту; метою такого планування є зменшення витрат ресурсів і часу на отримання необхідного результату.

Крім того, бажаною властивістю АСНД є можливість створення і зберігання банків даних первинних результатів експериментальних

досліджень (особливо, якщо це дорогі і важко повторювані дослідження). Згодом можуть з'явитися більш досконалі методи їх обробки, які дозволять отримати нову інформацію зі старого експериментального матеріалу.

Як різновид завдання автоматизації експерименту можна розглядати задачу автоматизації випробувань будь-якого технічного об'єкта. Відмінність полягає в тому, що управлінський вплив, що впливають на умови експерименту, спрямовані на створення найгірших умов функціонування керованого об'єкта, у тому числі, в разі необхідності, і аварійних ситуацій.

Другий напрямок - це комп'ютерна реалізація складних математичних моделей і проведення на цій основі обчислювальних експериментів, які доповнюють, або навіть замінюють експерименти з реальними об'єктами або процесами в тих випадках, коли проведення натурних досліджень дорого або взагалі неможливо. Технологічна схема обчислювального експерименту складається з декількох циклічно повторюваних етапів: побудова математичної моделі, розробка алгоритму рішення, програмна реалізація алгоритму, проведення розрахунків і аналіз результатів. Обчислювальний експеримент являє собою нову методологію наукових досліджень, що сполучає характерні риси традиційних теоретичних і експериментальних методів.

### **1.3 Структура автоматизованого експерименту**

Перетворювачі інформації в електричний сигнал в пристроях автоматики.

Логічні основи автоматики та обчислювальної техніки.

Поняття про логічної функції і логічному пристрої. Елементарні логічні функції. Системи (серії) логічних елементів.

Однією з найбільш захоплюючих і корисних областей застосування електроніки є збір і обробка інформації про експеримент. Існує ряд наук, заснованих на досвіді і нездатних обійтися без нього. Одна з таких наук -

фізика. Експериментальні методи і вимірювальна техніка у фізиці в даний час вельми різноманітні.

Стрімкий розвиток електроніки виявилось природі, для обробки за допомогою мікропроцесорних засобів повинні бути представлені в цифровому вигляді. передумовою для широкої автоматизації найрізноманітніших процесів в наукових дослідженнях. При цьому сигнали від датчиків, в більшості випадків аналогові по своїй структурі.

Перетворення сигналу з аналогової в цифрову форму здійснюється за допомогою аналого-цифрових перетворювачів (АЦП). Одержуваний цифровий сигнал вводиться в ЕОМ або мікроконтролер за допомогою портів введення, обробляється, і виводиться з використанням портів виведення. Зворотне перетворення цифрового сигналу в аналоговий здійснюється за допомогою цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП).

У ряді випадків вхідні і вихідні сигнали керуючої ЕОМ є цифровими. Це вхідні сигнали від дискретних датчиків, що працюють за принципом "є сигнал - немає сигналу". Вихідні цифрові сигнали можуть бути використані для управління включенням виконавчих пристроїв і комутації різних елементів експериментальної системи.

Сукупність перерахованих елементів (датчик - АЦП - ЕОМ - ЦАП - виконавчий пристрій) в різних комбінаціях дозволяє створювати системи управління широкого застосування, що використовуються і для автоматизації наукових досліджень.

Що потрібно для проведення автоматизованого експерименту?

1. Експериментальна установка. Але не проста, а оснащена датчиками, вимірювальними пристроями для дистанційних вимірювань і якщо необхідно, виконавчими пристроями для дистанційного керування.

2. Апаратура. Вимірювальна і керуюча. Які будуть застосовуватися прилади - залежить від виконуваного експерименту.

3. Лінії зв'язку експериментальної установки з апаратурою. За ним передаються вимірювальні і керуючі сигнали.



4. ЕОМ.

5. Інтерфейс. Це засіб зв'язку ЕОМ з апаратурою. По інтерфейсу здійснюється прийом / передача даних і команд.

6. Методика проведення автоматизованого експерименту. Обов'язково враховує збільшення швидкості збору даних і обсягу даних, орієнтується на нові методи аналізу даних.

7. Програма на ЕОМ.

Зазвичай автоматизуються тільки два етапи експерименту.

1. Процес експерименту (повного обсягу даних ще немає). Управління приладами. Збір даних. Простеження первинна обробка даних. Запис даних на магнітний носій для подальшої обробки. Тут від ЕОМ потрібно тільки здатність керувати приладами в реальному часі. Але обсяг пам'яті і швидкодія для більшості експериментів на цьому етапі не критичні. Продуктивна активність ЕОМ зводиться до посилювача команди запуску процесу вимірювання, очікуванню готовності даних і нарешті, до прийому від приладу вже готових даних.

2. Вторинна обробка даних (обсяг даних вже повний). Вироблення математичних моделей. Опис досвідчених даних формулами. Створення бази даних. Використання даних в розробці теоретичних моделей досліджуваного процесу. Тут від ЕОМ вже не потрібно здатність керувати приладами. Однак виникає потреба в високій швидкодії і достатньому обсязі пам'яті. Якщо на обох етапах використовувати одну ЕОМ, то ми напевно зустрінемося з суперечливою ситуацією. Якщо ЕОМ потужна, то на етапі виконання експерименту вона буде фактично простоювати. Якщо ж ЕОМ слабка, то важко буде виконати серйозну вторинну обробку даних.

## 1.4 Алгоритм первинної обробки інформації в АСУТП

Основним видом інформації про стан об'єкта управління в АСУТП є поточні значення технологічних параметрів, які перетворюються автоматичними вимірювальними пристроями в сигнали вимірювальної інформації. Після приведення до стандартної форми ці сигнали вводяться в КОМ і представляють в ній значення відповідних параметрів в певний момент часу.

Однак формований таким чином масив вихідної інформації не придатний для безпосереднього використання при рішенні задач управління, так як потрібно його попередня обробка, яку прийнято називати первинної. Для того щоб сформулювати завдання первинної обробки інформації (ПОІ) в АСУТП, необхідно розглянути послідовність перетворень, яким піддається яка вимірюється величина в типовому інформаційно-вимірювальній каналі (ІВК), схема якого представлена на рис.1.3.

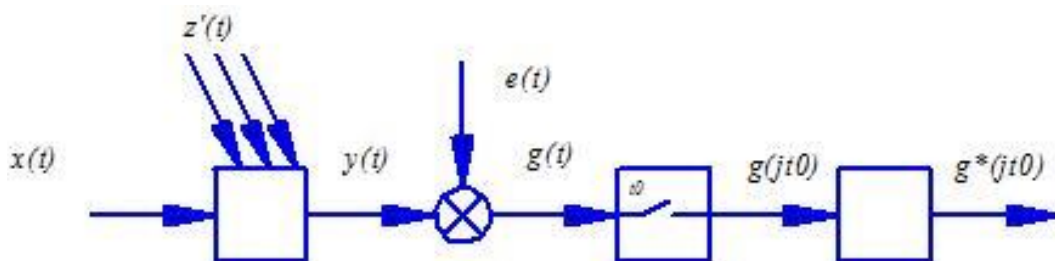


Рисунок 1.3 Структурно схема інформаційно - вимірювального каналу

Вимірювальна величина  $x(t)$ , яку зазвичай вважають стаціонарної випадковою функцією часу, впливає на вхід вимірювального перетворювача (ВП), на виході якого формується сигнал вимірювальної інформації  $y(t)$ . Принцип дії більшості ВП такий, що їх вихідний сигнал залежить не тільки від значення вимірюваної величини, але і від ряду інших величин  $z_j$ , які називають впливають.

Наприклад, термоелектричний перетворювач температури (ТПТ) перетворює вимірювану величину - температуру - в сигнал вимірювальної інформації - е.р.с. Однак цей сигнал залежить не тільки від вимірюваної температури, яка сприймається робочим спаєм, але і від температури вільних спаїв, яка в даному випадку є впливає величиною.

У загальному випадку без урахування динамічної характеристики ПП зв'язок між сигналами на його вході в виході описується статичною характеристикою вигляду:

$$y = f(x, \bar{z})$$

Де  $f$  - функція безперервна і диференціюється по всіх аргументів;

$\bar{z}$ - вектор впливають величин;

Наприклад, статистична характеристика ТПТ в першому наближенні може бути описана лінійною функцією

$$y = k(x - z),$$

Де  $y$  - е.р.с. ТПТ, мВ;

$x$  - температура робочого спаю, °С;

$z$  - температура вільних спаев, °С;

$k$  - коефіцієнт, чисельне значення якого залежить від матеріалу ТПТ (наприклад, для хромель-копелеві ТПТ  $k = 0,095$  мВ / °С).

Однозначне соответствие між сигналом вимірювальної інформації і вимірюваної величиною дотримується тільки при постійних значеннях впливають величин. Для кожного ПП ці номінальні значення  $z^0_j$  вказують в його паспорті. Підставивши їх в рівняння, отримаємо номінальну (паспортну) статичну характеристику ПП:

$$y = f(x, \bar{z}^0) = f_0(x)$$

У більшості випадків для ТПТ номінальне значення температури вільних спаев прийнято рівним 0°С, тому паспортна статична характеристика, отримана з при  $z = 0$ , має вигляд:  $y = kx$ .

Вважатиме, що в процесі роботи ІІ значення впливових величин відповідають номінальним; отже, перетворення значень вимірюваної величини в сигнал вимірювальної інформації виконується в відповідності з паспортної статичною характеристикою. Здавалося б, це повинно гарантувати точне перетворення  $x$  и  $y$ , однак і при виконанні цієї умови всякий реальний ІІ вносить в результати деяку похибка. На структурній схемі (Рис 1.3) вона представлена у вигляді випадкової функції часу  $e(t)$ , яка накладається на корисний сигнал  $y(t)$  моделює не тільки випадкову похибку ІІ, а й електричні наведення в сполучних проводах, викликані магнітними полями і витрати в технологічних трубопроводах внаслідок роботи насосів і компресорів і інші фактори. На вхід КОМ надходить сумарний сигнал:

$$g(t) = y(t) + e(t).$$

Оскільки АСУТІІ має багато ІВК, їх обслуговування розділене в часі, кожен канал періодично з періодом  $t_0$  підключається на короткий час до входу КОМ. В результаті безперервна функція  $g(t)$  перетворюється в послідовність імпульсів, модульованих по амплітуді функцією  $g(t)$ . На структурній схемі ІВК (див. Рис 1.3) функцію квантування сигналу  $g(t)$  за часом виконує комутатор, умовно зображений у вигляді ключа, замикає з періодом  $t_0$ . На виході комутатора утворюється гратчаста функція:

$$g(jt_0) = \begin{cases} g(t) \text{ при } t = jt_0, & j = 0,1,2 \dots \\ 0 \text{ при } t \neq jt_0 \end{cases}$$

Наступним видом перетворення, якому піддається сигнал вимірювальної інформації в ІВК, є квантування за рівнем, що виконується аналого-цифровим перетворювачем (АЦП). При цьому амплітуди імпульсів  $g(jt_0)$  перетворюється в числа  $g^*(jt_0)$  виражені в коді, з якими в подальшому оперує ЦВМ. Сучасні керуючі обчислювальні машини, як правило, використовують двійковий код і оперують з числами, що мають 8 або 16 розрядів. Операція квантування дискретної величини  $g(jt_0)$  за рівнем описується наступним виразом:

$$g^*(jt_0) = \ln \left[ \frac{g(jt_0)}{dg} \right] dg,$$

Величина  $dg$  визначається з умови:

$$dg = \frac{g_M - g_m}{2^n - 1},$$

Число  $g^*(jt_0)$ , отримане в результаті виконання всіх перетворенні вимірюваної величини в ІВК, вводиться в одну з комірок запам'ятовує КОМ і в подальшому представляє в машині значення вимірюваної величини  $x(t)$  в момент часу  $t = jt_0$ .

З викладеного випливають такі основні завдання первинної обробки інформацій в АСУТП:

1) Фільтрація сигналу вимірювальної інформації від випадкової перешкоди (похибки)  $e(t)$ ;

2) Відновлення значення вимірюваної величини  $x(t)$  за сигналом вимірювальної інформацій  $y(t)$ ;

3) Корекція відновлених значень вимірювальної величини з урахуванням відхилення умов виміру від номінальних;

4) Відновлення значень вимірюваної величини  $x(t)$  при  $jt_0 < t < (j+1)t_0$ , тобто інтерполяція і екстраполяція.

Крім того, необхідно оцінити вплив квантування сигналу вимірювальної інформації за часом і за рівнем на точність його уявлення, а також розглянути методи контролю та підвищення достовірності попередньої інформацій в АСУТП.

## 1.5 Алгоритм допускового контролю

Алгоритм допускового контролю швидкості зміни сигналу вимірювальної інформації заснований на тому, що швидкість вимірювання будь-якого технологічного параметра  $x_r$  обмежена умовою

$$\left| \frac{dx_r}{dt} \right| \leq \omega_c |x_r^* - \bar{x}_r|,$$

Відповідно має бути обмеження і швидкість зміни сигналу вимірювальної інформації  $y_r(t)$

$$\left| \frac{dx_r}{dt} \right| \leq v^*_r,$$

Контроль достовірності по даному алгоритму полягає в перевірці виконання умови, причому оцінка похідної  $\frac{dy_i}{dt}$  розраховують за формулою

$$\frac{dy_i}{dt} \approx \frac{y_r(jt_0) - y_r[(j-1)t_0]}{t_0}.$$

Контроль достовірності вихідної інформації за умовами часто поєднується. Тоді в блок-схемі алгоритму на Рисунок 1.7.1 між блоками 4 і 5 вводиться ще один блок, який здійснює перевірку виконання умови. При порушенні цієї умови ініціюється блок 6.

Алгоритми контролю достовірності вихідної інформації, за допомогою яких виявляються часткові відмови ІВК, засновані на використанні інформаційної надмірності, яка завжди є в АСУТП. Надмірність насамперед може бути створена штучно при проектуванні АСУТП за рахунок апаратною надмірності, наприклад резервування ІВК для контролю найбільш важливих технологічних параметрів.

Інший вид інформаційної надмірності в АСУТП обумовлений тим, що інформація про дійсне значення деякого технологічного параметра міститься не тільки в измереному значенні цього параметра, але і в вимірних значеннях інших параметрів, пов'язаних з ним стійкими залежностями, наприклад, рівняннями матеріального балансу.

При розробці алгоритмів контролю достовірності вихідної інформації на основі інформаційної надлишковості беруть такі припущення:

1. Малоімовірно одночасна поява в межах даної структури більш ніж одного джерела недостовірної інформації;
2. Малоімовірно одночасне зміни характеристика двох незалежних джерел інформації, при якому співвідношення між залишається незмінним;

3. Малоімовірний вихід за допустимі межі показника, що залежить від декількох незалежних величин, при нормальній варіації останніх.

### **1.6 Вибір розрядності подання інформацій в КОМ і частоти опитування вимірювальних перетворювачів. Інтерполяція і екстраполяція сигналу.**

В сучасних УВМ найбільшого поширення набув режим обробки даних з фіксованою комою[7]. При цьому похибка подання вихідної інформації, викликана квантуванням за рівнем, не перевищує по абсолютній величині одиниці молодшого розряду, яка визначається співвідношенням. Якщо задана допустима відносна похибка квантування за рівнем  $\delta_k$ , то необхідне число розрядів визначається з умови

$$n \geq \ln \left[ \frac{\ln(\delta_k)}{\ln 2} \right] + 1.$$

Зазвичай  $n \geq 8$ , так що відносна похибка квантування за рівнем не перевищує 0,4%, тобто є пренебрежимо малої в порівнянні з похибкою вимірювального перетворювача.

При розробці АСУТП важливий вибір період  $t_0$  квантування за часом сигналів вимірювальної інформації. Це завдання вирішується з урахуванням двох суперечливих міркувань. З одного боку, збільшення періоду  $t_0$  знижує завантаження КОМ операціями збору і первинної обробки вихідної інформації. В результаті велика частка обчислювальних ресурсів системи може бути використана на вирішення завдань контролю і управління більш високого рівня. Це міркування особливо важливо для мікропроцесорних АСУТП. З іншого боку, при збільшенні періоду  $t$  зростає величина  $y(t)$  по гратчастої функцій  $g * (jt_0)$ . Ця похибка проявляється при відновленні

значенні функції  $y(t)$  в момент часу, що не збігаються з моментами відліку  $t_j = jt^0$ .

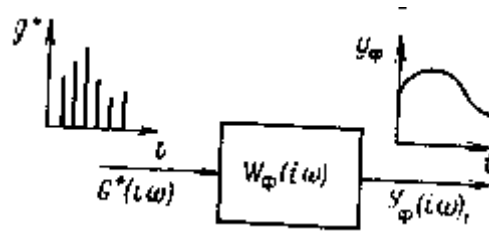


Рисунок 1.4 - Схема відновлення неперервної функції  $y_\phi(t)$  по гратчастої функції  $g^*(jt_0)$

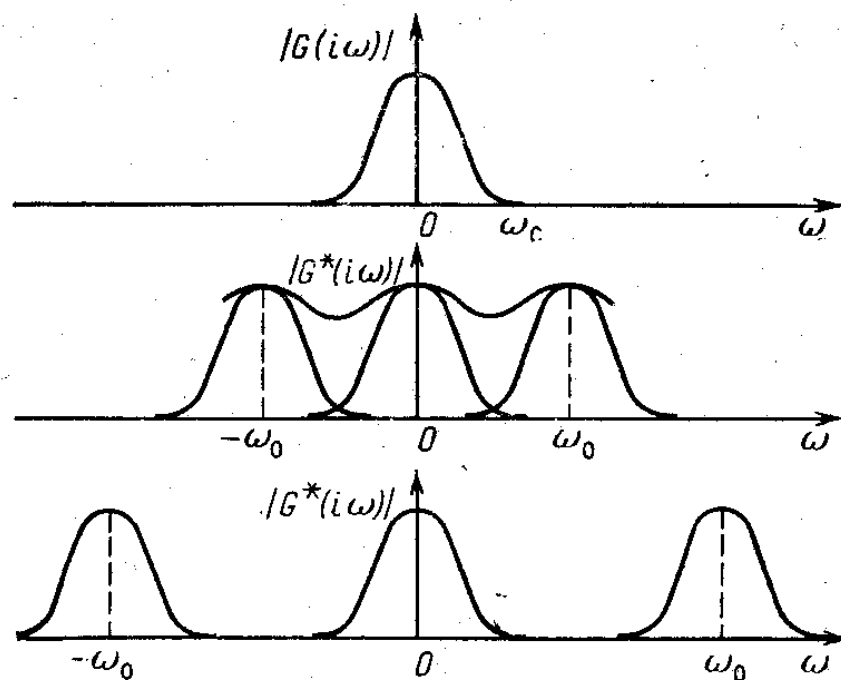


Рисунок 1.5 – Спектри функції (а - безперервної; б, в - гратчастої при  $\omega_0 < 2\omega_c$  і при  $\omega_0 > 2\omega_c$ )

Завдання відновлення неперервної функції по її дискретним значенням діляться на завдання екстраполяції і інтерполяції. Екстраполяцією називають визначення майбутніх значенні функції з моменту чергового звіту до моменту надходження наступного звіту. Інтерполяція називають визначення проміжних значенні функції між двома отриманими звітами.



У загальному випадку відновлення безперервного сигналу по гратчастої функції проводиться формує фільтром, що представляє собою лінійне динамічне зв'язи з амплітудно-фазової характеристики (АФХ)  $W_{\phi}(i\omega)$  (рисунок 1.4). Отже, для відновленого сигналу справедливо наступне співвідношення:

$$Y_{\phi}(i\omega) = G * (i\omega)W_{\phi}(i\omega),$$

З теорії імпульсних систем відомо[8], що спектр гратчастої функції є періодичною функцією з періодом, рівним частоті квантування  $\omega_0 = 2\pi/t_0$ .

Зміщені компоненти спектра можуть частково перекривати один одного, причому ступінь перекриття збільшується в міру зменшення частоти  $\omega_0$ , тобто при збільшенні періоду квантування  $t_0$ . В результаті накладання спектр гратчастої функції спотворюється, і з нього неможливо виділити спектр вихідної неперервної функції. Виняток становить фізично не реалізуються випадок, коли спектр безперервної функції обмежений, тобто

$$G(i\omega) = 0 \text{ при } |\omega| \geq \omega_c,$$

А частота квантування задовольняє умові

$$\omega_0 \geq 2\omega_c.$$

$$\omega_0 \geq 2\omega_c. \quad (1)$$

При цьому зміщені компоненти в спектрі гратчастої функції  $g(t_0)$  не перекриваються, і з нього можна виділити головну несмещенную складову зі спектром безперервної функції  $g(t)$  (Рисунок 1.5). Для точного відновлення вихідної неперервної функції по гратчастої функцій необхідно використовувати ідеальний нереалізованим фільтр з АФХ

$$W_{\phi}^0(i\omega) = \begin{cases} 1 & \text{при } |\omega| \leq \omega_c; \\ 0 & \text{при } |\omega| > \omega_c, \end{cases} \quad (2)$$

Дійсно, похибка відновлення, очевидно, дорівнює

$$e_{\phi}(t) = y_{\phi}(t) - g(t),$$

або в перетвореному по Фур'є вигляді

$$E_{\Phi}(i\omega) = W_{\Phi}(i\omega)G'(i\omega) - G(i\omega), \quad (3)$$

Для ідеального фільтра (2) при виконанні умови (1) справедливо рівність

$$W_{\Phi}^0(i\omega)G'(i\omega) = G(i\omega). \quad (4)$$

і, отже

$$E_{\Phi}(i\omega) = W_{\Phi}(i\omega)G'(i\omega) - G(i\omega) = 0.$$

Співвідношення (3.6) становить зміст теореми Котельнікова- Шеннона, яка визначає необхідні умови передачі без спотворення інформації, що міститься в безперервному сигналі при його квантуванні за часом і наступним відновленні.

Якщо для відновлення використовують фільтр з АФХ  $W_{\Phi}(i\omega)$ , що відрізняється від (2), то навіть при виконанні умови (1) точне відновлення вихідної неперервної функції неможливо. Похибка відновлення отримаємо, застосувавши зворотне перетворення Фур'є до вираження (3) з урахуванням (3.9):

$$e_{\Phi}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [W_{\Phi}(i\omega) - W_{\Phi}^0(i\omega)] G'(i\omega) e^{i\omega t} d\omega. \quad (5)$$

Таким чином, похибка відновлення залежить від властивостей вихідної функції  $g(t)$ , періоду квантування  $t_0$  [ці два фактори визначають  $G'(i\omega)$ ] і АФХ формує фільтр  $W_{\Phi}(i\omega)$ .

Розглянемо найбільш поширені методи екстраполяції і інтерполяції.

### 1.7 Метод ступінчастою екстраполяції (екстраполятор нульового порядку)

Полягає в тому, що значення відновлюваної функції  $y_\phi(t)$  для будь-якого моменту часу  $jt_0 \leq t < (j+1)t_0$  приймають рівним  $g'(jt_0)$  (Рисунок 1.6.1):

$$y_\phi(t) = \begin{cases} g'(jt_0) & \text{при } jt_0 \leq t < (j+1)t_0, \\ 0 & \text{при } jt_0 > t \geq (j+1)t_0. \end{cases} \quad (6)$$

Сигнал, встановлено за алгоритмом (6), можна, очевидно розглядати як суму двох спрямованих у різні сторони з амплітудою  $g'(jt_0)$ , один з яких зрушать за часом на  $t_0$ :

$$y_\phi(t) = g'(jt_0)[1(t) - 1(t - t_0)], \quad t \geq jt_0$$

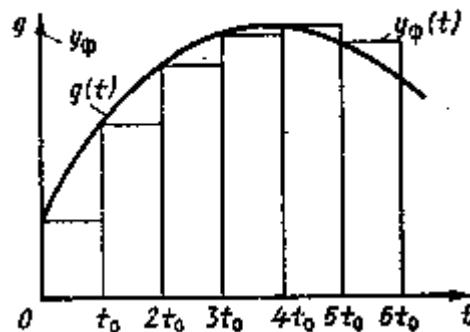


Рисунок 1.6 – Ступінчаста екстраполяція функції  $g(t)$

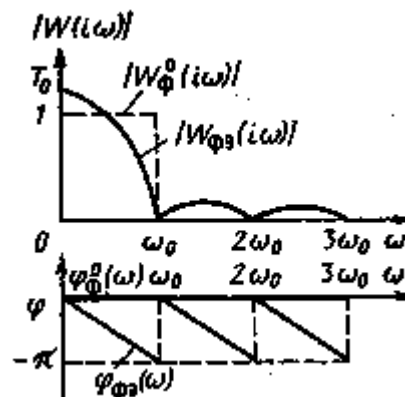


Рисунок 1.7 – Частотні характеристики фільтрів: пунктир - ідеального; суцільна лінія - екстраполяція нульового типу

Отже, АФХ екстраполятор нульового порядку дорівнює:

$$W_{\phi}(i\omega) = \frac{1 - e^{-i\omega t_0}}{i\omega}, \quad (7)$$

Цей вислів можна перетворити, використовуючи тригонометричну форму комплексного числа

$$e^{-i\omega t_0} = \cos(\omega t_0) - i \sin(\omega t_0),$$

і тригонометричних функції кратних кутів:

$$1 - e^{-i\omega t_0} = 2 \sin\left(\frac{\omega t_0}{2}\right) \left[ \sin\left(\frac{\omega t_0}{2}\right) + i \cos\left(\frac{\omega t_0}{2}\right) \right],$$

Підставляючи отриманий вираз в (3.12) і враховуючи, що

$$\operatorname{arctg} \left[ \operatorname{ctg} \left( \frac{\omega t_0}{2} \right) \right] = \frac{\pi}{2} - \frac{\omega t_0}{2},$$

Отримаємо

$$W_{\phi\exists}(i\omega) = t_0 \frac{\sin\left(\frac{\omega t_0}{2}\right)}{\frac{\omega t_0}{2}} e^{-i\left(\frac{\omega t_0}{2}\right)}$$

Похибка екстраполяції обумовлена амплітудно-фазових характеристик ідеального фільтра і екстраполятор нульового порядку. Для розрахунку похибки ступінчастою екстраполяції з частотної області зручно перейти до розгляду сигналу  $u_{\phi}(t)$  і  $g(t)$  (Рисунок 1.6) Похибка екстраполяції, очевидно, дорівнює

$$e_s(t) = g(jt_0) - g(t) \text{ при } jt_0 \leq t \leq (j+1)t_0. \quad (8)$$

Перейдемо в цьому виразі до нової змінної  $\tau = t - jt_0$ , яка може змінюватися в межах від 0 до  $t_0$ ; тоді (8) можна записати у вигляді:

$$e_3(t) = g(0) - g(\tau)$$

Якщо  $g(t)$  є стаціонарною випадковою функцією, то математичне очікування похибки  $e_3(t)$  при усередненні по безлічі інтервалів  $\tau_j = t - jt_0$ ,  $j = 0, 1, 2 \dots$  дорівнює нулю, так як в силу лінійності операції визначення математичного очікування

$$M(e_3) = M\{g(0) - g(\tau)\} = M\{g(0)\} - M\{g(\tau)\} = 0,$$

Дисперсія похибки екстраполяції дорівнює:

$$\begin{aligned} D_e(\tau) &= M\{[g(0) - g(\tau)]^2\} = \\ &= M\{[(g(0) - M_g) - (g(\tau) - M_g)]^2\} = \\ &= 2 \left[ R(0) - \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} R_g(\tau) d\tau \right] \end{aligned} \quad (9)$$

З формули (9) випливає, що дисперсія похибки екстраполяції залежить від  $\tau$  і досягає максимального значення при  $\tau \rightarrow t_0$ . Усереднюючи  $D_e(\tau)$  по  $\tau$  в межах від 0 до  $t_0$ , остаточно отримаємо:

$$D_e = 2 \left[ R(0) - \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} R_g(\tau) d\tau \right]. \quad (10)$$

Цей вислів дозволяє розрахувати дисперсію похибки екстраполяції по заданому періоду квантування  $t_0$  і автокореляційної функції  $R_g$ . Його ж можна використовувати для визначення періоду квантування  $t_0$ , якщо задано найбільше екстраполяції  $\sigma_e'$  і відома автокореляційна функція  $R_g(\tau)$ . Для цього зручно використовувати графо-аналітичний метод (Рисунок 1.8).

За графіком функції  $R_g(\tau)$  визначають таке значення  $\tau = t_0$ , за якого подвоєна середня висота заштрихованої фігури ABC (тобто подвоєний відрізок DE) буде дорівнює заданому значенню  $(\sigma_e')^2 = D_e$ . Якщо ІВК

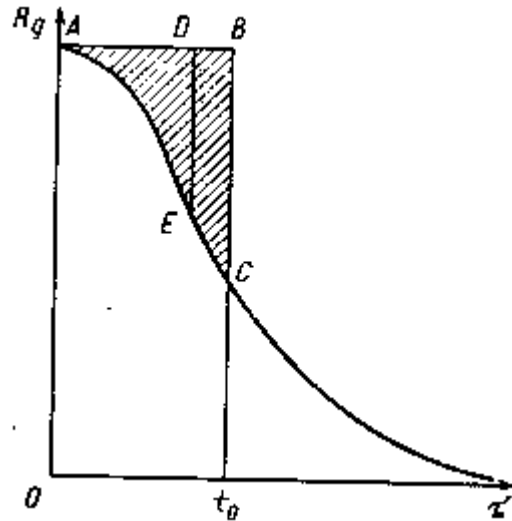


Рисунок 1.8 – До розрахунку середньоквадратичної похибки екстраполяції

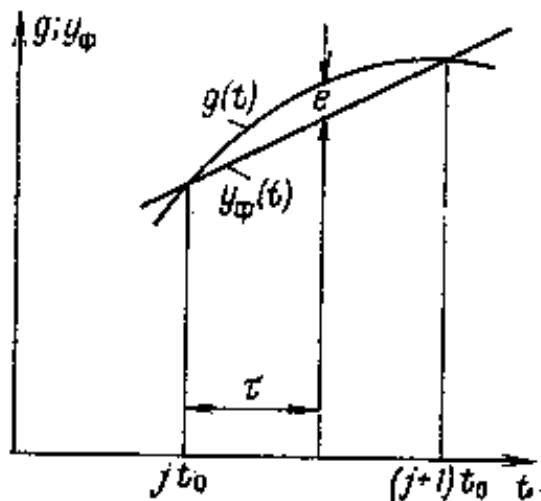


Рисунок 1.9 – Лінійна інтерполяція функції  $g(t)$

містить ланка чистого запізнювання  $\tau_0$  (наприклад, зважаючи на необхідність транспортування проби від технологічного потоку до чутливого елемента П), то для розрахунку середньоквадратичної похибки екстраполяції можна використовувати формулу (10) з заміною в ній меж інтегрування: нижнього на  $\tau_0$ , а верхнього - на  $(t_0 + \tau_0)$ .

Поряд з П безперервної дії в АСУТП застосовують в датчики дискретного дії, наприклад хроматографи. Вони здійснюють квантування за часом вимірюваної величини з власним періодом  $t_g$ , який зазвичай значно

вище періоду опитування  $t_0$ . В цьому випадку результуючий період квантування за часом в даному ІВК визначається з умови

$$t_{0g} = t_0 \left[ \ln \left( \frac{t_g}{t_0} \right) + 1 \right].$$

Для оцінки похибки екстраполяції можна використовувати вираз з заміною в ній  $t_0$  на  $t_g$ .

Лінійне інтерполяція (Рисунок 1.6.4) є найпростішим методом інтерполяції, в основі якого лежить кусочно-лінійна апроксимація функції  $g(t)$  на інтервалі значень  $(jt)_0 \leq t \leq (j+1)t_0$ .

Рівняння прямої, що проходить через точки  $g(jt_0)$  і  $g[(j+1)t_0]$ , можна записати у вигляді:

$$y_\phi(t) = \frac{[g(t_0)\tau - g(0)(\tau - t_0)]}{t_0}, \quad (11)$$

Де  $\tau = t - (jt)_0$ ,  $0 \leq \tau \leq t_0$ .

Похибка лінійної інтерполяції

Підставляючи в це вираження значення  $y_\phi(t)$  з формули (11), зводячи його в середня по безлічі інтервалів, а потім по  $\tau$  в межах від 0 до  $t_0$ , отримуємо вираз для дисперсії похибки лінійної інтерполяції:

$$D_e = \frac{2}{3} [R_g(0) - R_g(t_0)],$$

У літературі описані та інші, більш складні інтерполяції і екстраполяції, однак на практиці їх застосовують рідко. Сучасні КОМ забезпечують досить високу частоту опитування ІВК, тому зазвичай вдається забезпечити необхідну точність відновлення вимірюваних величин. Зазвичай серед десятків і навіть сотні ІВК можна виділити кілька груп параметрів, близьким по частотним діапазонів. Тоді можна вибрати загальний період опитування для кожної групи датчиків. Наприклад, у виробництві розведеної азотної кислоти опитування групи датчиків, контролюючих мало інерційний процес контактного окислення аміаку, проводиться з періодом 15 с, а опитування датчиків на інерційному процесі абсорбції з періодом 2 хв.

Фільтр змінного середнього в аналоговій версії реалізує обчислення середнього значення функції  $g(t)$  на інтервалі часу від  $t - T_\phi$  до  $t$  (Рисунок 1.11):

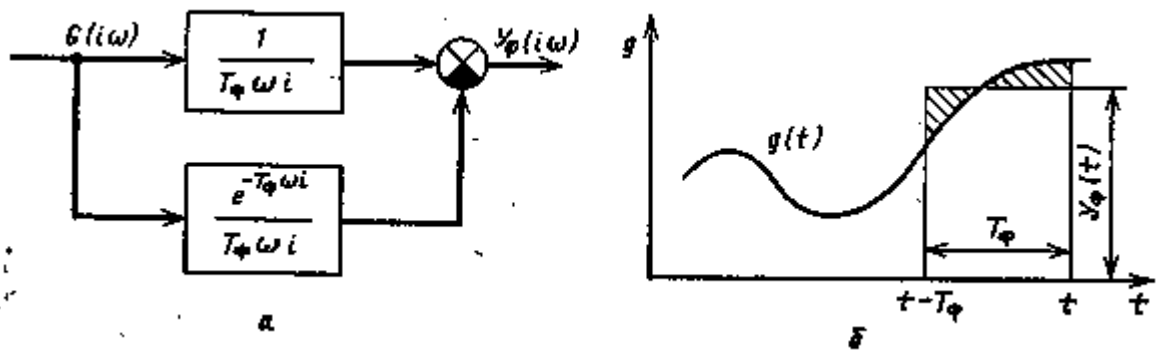


Рисунок 1.11 – Фільтр змінного середнього: а - структурна схема; б - схема фільтрації

$$y_\phi(t) = \frac{1}{T_\phi} \int_{t-T_\phi}^t g(\theta) d\theta,$$

Перетворимо праву частину вираз (3.34), представивши його у вигляді

$$\int_{t-T_\phi}^t g(\theta) d\theta = \int_0^t g(\theta) d\theta - \int_0^{t-T_\phi} g(\theta) d\theta.$$

Звідси видно, що фільтр змінного середнього являє собою паралельне з'єднання двох інтегруючих ланок, одне з яких послідовно з'єднане з ланкою запізнювання (Рисунок 1.11а). Тому амплітуда-фазова характеристика фільтра описується виразом

$$W_\phi(i\omega) = \frac{(1 - e^{-i\omega T_\phi})}{(i\omega T_\phi)},$$

Яке аналогічно за структурою висловом (7) і може бути перетворено до виду



$$W_{\phi}(i\omega) = 2 \sin\left(\frac{\omega T_{\phi}}{2}\right) e^{-i\frac{\omega T_{\phi}}{2}} / (\omega T_{\phi}).$$

Вирішуючи спільно, можна отримувати вираз для дисперсії похибки  $D_{\phi}$  фільтр змінного середнього і визначити оптимальне значення  $T_{\phi}^0$  параметра настройки з необхідної умови мінімуму функції  $D_{\phi}(T_{\phi})$ . Отримується при цьому вираз дуже громіздко, незручно для практичного використання. На його основі розраховані номограми (24), за якими для заданих значенні  $a, m, k$ , можна визначити  $T_{\phi}^0$ .

При програмній реалізації фільтр змінного середнього розрахунок згладженого значення  $y_{\phi}(j)$  в черговому  $j$ -тому циклі проводиться за формулою

$$y_{\phi}(j) = \frac{1}{N+1} \sum_{s=0}^N g[(j-s)t_0],$$

Для розрахунку за формулою (3.36) потрібно зберігати в пам'яті КОМ  $(N+1)$  значення функції  $g(jt_0)$ .

### 1.8 Контроль і підвищення достовірності вихідної інформації

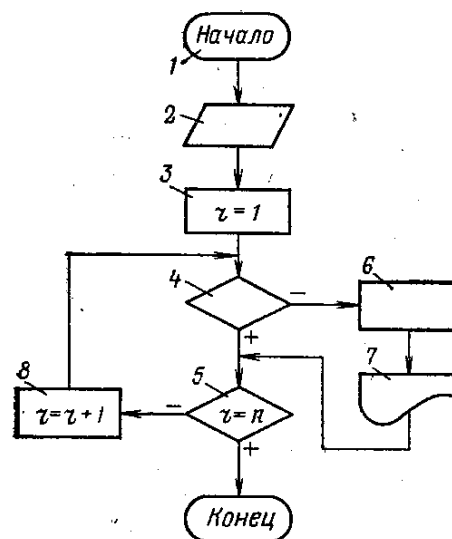


Рисунок 1.12 – Блок - схема алгоритму допускового контролю достовірності вихідної інформації

Вихідна інформація про поточний стан об'єкта управління надходить в УВМ за багатьма десятками, а іноді і сотням ІВК. Зі збільшенням їх числа зростає ризик в систему недостовірної інформації, тому однією з найважливіших функцій первинної обробки інформації в АСУТП є контроль її достовірності.

Недостовірною вихідною інформацією з'являється при відмовах ІВК, які діляться на повні та часткові (метрологічні). Повна відмова настає при виході з ладу ІІ або пошкодженні ліній зв'язку ІІ з УВМ. При відмові технічні засоби зберігають працездатність, проте похибка вимірювання відповідної дії перевищує допустимі значення.

Виявлення повних відмов ІВК є набагато більш простим завданням, ніж виявлення часткових відмов. Тому спочатку розглянемо алгоритм достовірності вихідної інформації, що дозволяє виявити тільки повну відмову ІВК. При цьому недостовірне значення параметрів повинно бути замінено достовірною оцінкою, в якості якої може бути використано попереднє достовірне значення цього параметра або його значення, усереднене за деякий інтервал часу, що передують моменту виявлення відмови ІВК. Останній спосіб застосовують для найбільш відповідальних параметрів, наприклад, витрата, значення яких використовують для розрахунку ТЕП.

### **1.9 Алгоритм допускового контролю параметрів**

Він заснований на тому, що при роботі об'єкта значення кожного з контрольованих технологічних параметрів  $x_i$  не можуть виходити за певні межі:

$$x_{i*} \leq x_i \leq x_i^*.$$

Відповідно при справному ІВК має бути обмежений і сигнал вимірювальної інформації  $y_i$ , що надходять в УВМ по цьому каналу:

$$y_{i*} \leq y_i \leq y_i^* \quad (12)$$

Контроль достовірності за цим алгоритмом полягає в перевірці виконання умови (12) для кожного значення сигналу вимірювальної інформації, потупивши при черговому опитуванні ІВК. Блок-схема алгоритму представлена на рисунку 1.12 він працює наступним чином.

Після ініціації роботи алгоритму (блок 1) та введення вихідних даних (блок 2) організовується цикл перевірки ІВК, кожному з яких привласнений свій номер  $r$  (блок 3); в блоці 4 перевіряється умова (12), при виконанні якого перевіряється умова закінчення роботи алгоритму (блок 5). Виконання умови  $r = n$  (де  $n$  - число контрольованих ІВК) зупиняє роботу алгоритму. Якщо її умови не виконуються, лічильник номера ІВК збільшується на 1 (блок 8), і цикл повторюється. Якщо при перевірці в блоці 4 умова (12) не виконується, то в блоці 6 недостовірне значення  $y_r[(j-1)t_0]$  того ж сигналу, отриманих в попередньому циклі опитування ІВК. Потім на друк виводиться повідомлення про те, що виявлений відмова-того ІВК (блок 7), і роботу алгоритму продовжує блок 5.

Цей алгоритм можна застосувати не тільки для стаціонарних процесів, але і для нестаціонарних, наприклад періодичних. У разі граничні значення  $y_i$  і  $y_i^*$  в умови (12) є не константами, а функціями часу, який починається від початку процесу.

### 1.10 Алгоритм допускового контролю швидкості зміни сигналу

Сигналу вимірювальної інформації заснований на тому, що швидкість вимірювання будь-якого технологічного параметра  $x_r$  обмежена умовою

$$\left| \frac{dx_r}{dt} \right| \leq \omega_c |x_r^* - \bar{x}_r|, \quad (13)$$

Відповідно має бути обмеження і швидкість зміни сигналу вимірювальної інформації  $y_r(t)$

$$\left| \frac{dx_r}{dt} \right| \leq v_r^*, \quad (14)$$

Контроль достовірності по даному алгоритму полягає в перевірці виконання умови (14), причому оцінка похідної  $\frac{dy_i}{dt}$  розраховують за формулою

$$\frac{dy_i}{dt} \approx \frac{y_r(jt_0) - y_r[(j-1)t_0]}{t_0}$$

Контроль достовірності вихідної інформації за умовами (12) і (14) часто поєднується. Тоді в блок-схемі алгоритму на Рисунок між блоками 4 і 5 вводиться ще один блок, який здійснює перевірку виконання умови (14). При порушенні цієї умови ініціюється блок 6.

Алгоритми контролю достовірності вихідної інформації, за допомогою яких виявляються часткові відмови ІВК, засновані на використанні інформаційної надмірності, яка завжди є в АСУТП. Надмірність насамперед може бути створена штучно при проектуванні АСУТП за рахунок апаратурної надмірності, наприклад резервування ІВК для контролю найбільш важливих технологічних параметрів.

Інший вид інформаційної надмірності в АСУТП обумовлений тим, що інформація про дійсне значення деякого технологічного параметра міститься не тільки в вимірному значенні цього параметра, але і в вимірних значеннях інших параметрів, пов'язаних з ним стійкими залежностями, наприклад, рівняннями матеріального балансу.

При розробці алгоритмів контролю достовірності вихідної інформації на основі інформаційної надлишковості беруть такі припущення:

1. Малоймовірно одночасна поява в межах даної структури більш ніж одного джерела недостовірної інформації;
2. Малоймовірно одночасне зміни характеристика двох незалежних джерел інформації, при якому співвідношення між залишається незмінним;
3. Малоймовірний вихід за допустимі межі показника, що залежить від декількох незалежних величин, при нормальній варіації останніх.

### 1.11 Автоматизація експерименту

Комплекс засобів і методів для прискорення збору і обробки експериментальних даних, інтенсифікації використання експериментальних установок, підвищення ефективності роботи дослідників. Характерною особливістю автоматизації експерименту є використання ЕОМ, що дозволяє збирати, зберігати і обробляти велику кількість інформації, управляти експериментом в процесі його проведення, обслуговувати одночасно кілька установок і т.д. Перші спроби автоматизації експерименту виникли в 1950-і роки в дослідженнях, пов'язаних з ядерною фізикою. У наступні роки А. е. знайшла застосування в ін. галузях фізики і природознавства взагалі: у фізиці елементарних частинок, термоядерних, космічних і медико-біологічних дослідженнях, в геофізики, радіоастрономії і т. п. Використовувані при цьому автоматизовані системи (АС) експериментальних досліджень відрізняються великою різноманітністю, проте можна виділити загальні принципи, що забезпечують їх ефективність.

Загальні принципи і вимоги:

1. Підвищені вимоги до швидкодії АС, оскільки такі системи призначені для швидкого отримання і аналізу даних і швидкого прийняття рішень.
2. Висока надійність АС, можливість тривалої безвідмовної роботи, що пов'язано зі збільшенням вартості сучасних експериментальних установок.
3. Простота експлуатації АС і використання готових уніфікованих блоків.
4. Необхідність попереднього планування досліджень і розробка можливих варіантів.
5. Гнучкість АС, що допускає зміну її структури і складу в процесі роботи.
6. Можливість колективного обслуговування різних установок.

7. ВАС повинен бути передбачений діалоговий режим роботи, коли здійснюється безпосередній зв'язок людини з системою за допомогою спеціальної мови.

8. ВАС необхідна проста і швидка система контролю. Для контролю системи в цілому зазвичай вводять деякий синтетичний критерій, що характеризує роботу системи в середньому. Таким критерієм може бути результат вимірювання відомої величини: якщо отримані значення знаходяться в допустимих межах, то стан системи вважається задовільним.

ЕОМ в АС працюють в режимі "реального масштабу часу", або "в лінію". При цьому ЕОМ, отримуючи від системи дані, обробляє їх і видає результати настільки швидко, що їх можна використовувати для впливу на систему (або об'єкт дослідження). В експериментальних дослідженнях частіше застосовують змішаний режим. Частина даних обробляють в реальному часі і використовують для контролю і управління, а основний масив даних за допомогою ЕОМ записують на довготривалий носій (частіше на магнітні стрічки) і обробляють після закінчення збору даних. Доцільність такого режиму обумовлена швидше економічними причинами, бо не вигідно застосовувати швидкодіючий дороге обладнання, яке встигало б в реальному часі обробляти повний масив даних. Це пов'язано з тим, що повністю автоматизована обробка даних може проводитися тільки в рутинних дослідженнях щодо уточнення деяких констант, коли вся процедура обробки, всі поправки вже відомі.

При виконанні нових досліджень важко передбачити всі тонкощі вимірювань. В ході дослідження можуть з'явитися несподівані результати, які необхідно уточнити або підтвердити. Для вирішення цього завдання за допомогою АС доводиться проводити попередню обробку даних в максимально короткі терміни (краще в реальному часі), нехай навіть по наближеним формулам, з гіршого, ніж остаточна обробка, точністю. Подібне оперативну зміну умов експерименту на підставі експрес-обробки даних отримало назв. управління експериментом, що не зовсім точно, оскільки

відбувається лише зміна умов вимірювань на підставі аналізу отриманих даних.

Математичне (програмне) забезпечення АС розробляють на основі математичних методів аналізу даних. Математичне забезпечення на алгоритмічній рівні практично не пов'язане з конкретним типом ЕОМ, а визначається особливостями дослідження. Важливо розробити таке математичне забезпечення, яке, з одного боку, було б адекватно виконуваних досліджень, а з іншого - не було б занадто складним. При створенні нового програмного забезпечення слід враховувати, що найбільш ефективним є такий розподіл праці, при якому програмісти розробляють спільні програми, що мають чітке математичне обґрунтування і не дуже пов'язані з особливостями конкретного дослідження. Спеціальні програми повинні розробляти дослідники, бо вони найкраще знають особливості дослідження, які до того ж заздалегідь зазвичай не можна строго формалізувати.

Машинним (обчислювальним) експериментом зв. розрахунок математичні моделі явища, побудованої на основі науч. гіпотези. Якщо в основу моделі покладена суворая теорія, то машинний експеримент виявляється просто розрахунком. У тих же випадках, коли система стає настільки складною, що неможливо врахувати всі зв'язки, доводиться створювати спрощені моделі системи і проводити машинний експеримент. Він в жодному разі не може бути доказом істинності моделі, оскільки в його основу покладена гіпотеза, яку можна перевірити тільки при зіставленні результатів моделювання з експериментами на реальному об'єкті. Однак роль машинного експерименту іноді дуже важлива, бо в результаті можна відкинути завідомо неправдиві варіанти або порівняти з тими чи іншими критеріями різні варіанти підлягають дослідженню процесів.

Структура автоматизованої системи. Дані про досліджуваній об'єкт від спец. датчиків вимірюваних величин надходять у вигляді електричних сигналів на виміряє. апаратуру, к-раю складається з слід. компонентів: захищених від перешкод ліній передачі, підсилювачів, перетворювачів

аналогової інформації в цифрову і т. д., що утворюють канал вимірювання. Передача цифрової інформації до ЕОМ відбувається через т. Н. інтерфейс - сопрягающее пристрій для з'єднання різних блоків АС з ЕОМ. Дані в ЕОМ надходять через канал обміну. Обробка даних проводиться в центр. процесорі, в к-ром є пристрій, де тимчасово зберігаються дані і програми, - т. зв. оперативне з а-поминають пристрій. Якщо швидкість роботи центр. процесора або ємність накопичувача не дозволяють повністю обробити дані, вони передаються в довгострокову пам'ять ЕОМ або в ін. ЕОМ з більшою продуктивністю. Якщо оброблені центр. процесором дані і команди управління передаються на виміряє. апаратуру, можна отримати автоматичне керування експериментом.



Рисунок 1.13 - Структурна схема автоматизованої системи експериментальних досліджень.

При практичній реалізації АС канали вимірювання виконують у вигляді окремих електронних блоків, пов'язаних з каналом обміну ЕОМ. Тому будь-яка зміна в структурі АС (зміна числа каналів, заміна датчиків або ЕОМ), практично неминуче при дослідженнях, вимагає істотних переробок апаратури. Виходом служить магістральної-модульна система, що складається з легко замінних блоків і уніфікованої магістралі. Магістраллю (загальною шиною) названа система електричних ліній передачі, одноманітно з'єднують різні блоки (модулі) АС. Сенс уніфікованої магістралі полягає в тому, що її можна використовувати багато разів, створюючи з



окремих модулів різні варіанти АС, при цьому для АС потрібен тільки один інтерфейс, названа інтерфейсом каналу обміну. Канали вимірювань з'єднуються з шиною через прості, але також уніфіковані інтерфейси. УАС з'являється необхідна гнучкість: зникає обмеження на число каналів вимірювань, при заміні ЕОМ потрібно замінити лише один інтерфейс.

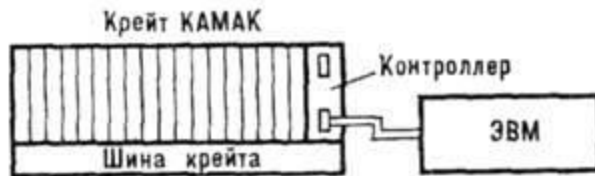


Рисунок 1.14 - Схема крейта КАМАК.

Для забезпечення такої структури АС необхідний стандарт на загальну шину, її інтерфейс і конструкцію блоків.

Першим таким стандартом стала система КАМАК (САМАС, Computer Application for Measurement and Control), розроблена в 1969 Європейським комітетом стандартів ядерної електроніки. Першою сходинкою в системі КАМАК є крейт (каркас), в який вставляють електронні блоки (Рис1.14) На задній панелі крейта є шина обміну. Вся вимірює. апаратура АС розміщується в блоках. В функціональний блок інформація надходить у вигляді команд і даних з шини обміну і у вигляді сигналів від датчиків через передню панель. У крейти можуть розміститися 23 функціональних блоку і спец. блок, наз. контролером, який би зв'язок з каналом обміну ЕОМ. Крейти можна об'єднувати в гілку, яка містить до 7 крейти (Рисунок 1.15). Контролери крейти підключають до каналу гілки, який через спец. інтерфейс, наз. драйвером гілки, з'єднується з каналом обміну ЕОМ. Гілка дозволяє рознести крейти і ЕОМ на десятки метрів. Для АС, розподілених на великі відстані, існує послідовний канал КАМАК, що дозволяє пов'язувати до 62 крейти. Посередоват. канал пов'язаний з каналом обміну ЕОМ через спец. інтерфейс, званий послідовним драйвером.

Ефективність використання систем КАМАК обумовлена їх гнучкістю, можливістю швидкої перебудови і нарощування системи в процесі зміни програми досліджень, причому можлива така організація роботи крейта (і гілки), при якій система обслуговує відразу кілька експериментів. Недолік системи КАМАК - мала швидкість передачі даних і складність відомості в систему декількох процесорів. Розробка і випуск дешевих мікропроцесорів дозволяють створювати багатопроцесорні системи.

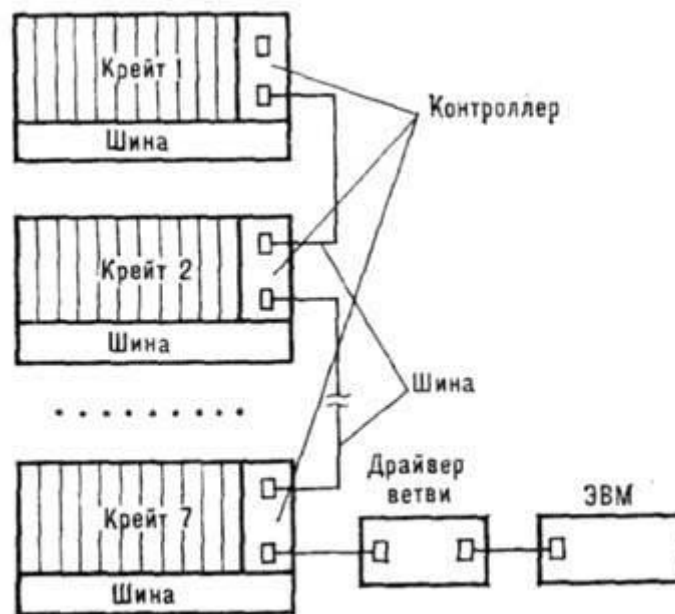


Рисунок 1.15 - Схема гілки КАМАК.

Найбільш перспективними представляються нові системи FASTBUS і EUROBUS. Система EURO-BUS набагато гнучкіша, ніж система КАМАК. Розширення можливостей дозволяє будувати на її основі дослідні АС різного рівня складності, використовувати її для автоматизації невеликих установок. Особливість системи FASTBUS, розробленої в США, - на порядок більшу швидкодію, ніж в системі КАМАК.

Іноді АС перетворюється у великий вимірювально-обчислювальний комплекс, що складається з багатоцільовий експериментальної установки і підсистеми автоматизації та обчислювальної техніки. У таких АС особливо важлива організація пульта управління і контролю, який виявляється іноді

єдиним каналом зв'язку між дослідником і досліджуваним об'єктом. Пульт повинен бути обладнаний клавішним керуванням і двома (або кількома) дисплеями (алфавітно-цифровим і графічним). Дисплей дозволяє здійснити графічне представлення даних, що особливо важливо, коли процес аналізу даних не піддається швидкої алгоритмізації.

Другий крайній випадок - невеликі установки з малим числом датчиків, для яких магістральної-блокові АС виявляються надто складними. Для таких установок зручно використовувати автономні мікропроцесори і запис результатів на стандартні касети за допомогою портативних Многодорожечной магнітофонів. Іноді передають результати по лініях зв'язку на центр. ЕОМ (т. Н. Локальні обчислювальні мережі).

## РОЗДІЛ 2

### ЗБІР ДАНИХ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПЛАНУ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

#### 2.1 Розрахунок необхідної кількості експериментів для забезпечення заданої точності

Планування експерименту в широкому сенсі цього слова – основа життєдіяльності людини. На першій стадії внаслідок розумової діяльності виникають ідеї, задуми, будуються гіпотези, зважуються різні варіанти втілення задуманого (рисунок 2.1.1).

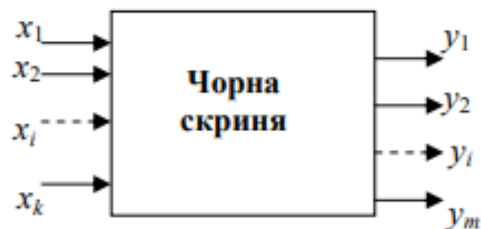


Рисунок 2.1 – Схема “чорної скрині”

На другій стадії здійснюється експериментальна перевірка, втілення ідей в деякий продукт. Експериментальна перевірка може здійснюватися як на кінцевому продукті, так і на його зменшеній або збільшеній фізичній моделі. Експериментальній перевірці передуює власне планування експерименту, яке включає наступні пункти:

1. Обґрунтування, розуміння факту необхідності експерименту.;
2. Вибір факторів і рівнів ;
3. Вибір змінної відгуку для оптимізації ;
4. Вибір плану (числа реплік, способу рандомізації);
5. Власне експеримент.

І, нарешті, на третій стадії відбувається осмислення, оцінка виробленого продукту, а з погляду планування експерименту відбувається аналіз даних експерименту і формулювання висновків і рекомендацій.

Таким чином, в широкому сенсі планування експерименту – один з найстародавніших і фундаментальних видів наукової діяльності.

Основна мета планування експерименту – це пошук найкращого, оптимального в деякому розумінні рішення.

Формалізація мети планування виражається у вигляді деякої функції, яку називають цільовою функцією.

Побудова цільової функції найбільш відповідальний і найбільш важкий момент всього процесу планування. Коли вона побудована, то діє строгий математичний алгоритм пошуку екстремуму.

При побудові ж самої функції потрібна широка науково технічна обізнаність в даній області. Так, наприклад, при проектуванні якої-небудь споруди для складання цільової функції необхідно брати до уваги технічні, технологічні, техніко-економічні, екологічні, естетичні і багато інших аспекти, зв'язані з використанням споруди.

Експеримент – (від латинського *experimentum* – проба, дослід).

У словнику Іноземних Слів дається таке визначення: експеримент – науково поставлений дослід, спостереження досліджуваного явища в умовах, що точно враховуються, дозволяють стежити за ходом явища і відтворювати його кожного разу при повторенні цих умов.

У Енциклопедичному Словнику експеримент визначається як предметна діяльність в науці. Згідно цьому визначенню, наприклад, написання наукової статті або поглядання наукового журналу – вже експеримент.

Друге визначення ширше. Перше – більш підходить до істоти дисципліни “Планування експерименту”.

Саме властивість відтворення – відтворюваності експерименту лежить в основі алгоритму планування.

Техніка планування: на кожному кроці ставиться невелика серія дослідів, в кожному з яких варіюються за певними правилами всі фактори. Математична обробка результатів експерименту дозволяє виробити умови

проведення такої серії дослідів, направлених до досягнення оптимуму. Експеримент може бути фізичним і модельним.

Фізичний експеримент – це реальний експеримент на устаткуванні з речовинними матеріалами. Це найбільш трудомісткий, енергоємний і дорогий вид діяльності. Планування експерименту зароджувалося і розвивалося застосовно саме до таких областей діяльності як металургія, хімічна промисловість, харчова промисловість, транспорт.

Модельний експеримент може бути трьох типів:

- він може бути фізичним. В цьому випадку модель може відрізнитися від об'єкту масштабом і, можливо, природою;
- модель може бути абстрактною психологічною, неформалізованою на рівні логічного мислення. Це найвитонченіша модель;
- модель може бути формалізованою математичною.

Щоб, експериментуючи на абстрактній моделі, одержувати правильні відомості про об'єкт дослідження потрібно побудувати досить точну модель. А оскільки принципово неможливо точно описати всі можливі зовнішні впливаючі фактори на процес функціонування об'єкту дослідження, то модель описується імовірнісний, статистично.

В основному планування експерименту застосовується в областях, де без фізичного моделювання не обійтися: у хімічній, харчовій промисловості, металургії і т.п.

Для фахівця у області водо підготовки планування експерименту може служити основою для моделювання процесів, систем, технологічних апаратів, природних і техногенних явищ і ситуацій і т.д. Моделювання супроводжує природоохоронні спеціальності постійно. Це і підбір дози необхідного реагенту в лабораторних умовах для реальних виробничих установок або технологічних ліній, і перевірка режиму роботи пілотної установки на модельних розчинах води, і вибір оптимальних систем водовідведення в умовах невизначеності, і прогностичні розрахунки стану навколишнього середовища. Для цього необхідна наявність математичного

опису об'єкту проектування, або математичної моделі, покладеної в основу комп'ютерної моделі на відповідній мові програмування.

Така модель повинна відображати функціональну взаємодію елементів і їх сполучень, просторові зв'язки і розташування.

Застосування планування експерименту, поза сумнівом, організує і оптимізує діяльність експериментатора.

Окрім основної задачі – отримання оптимального рішення, планування експерименту дозволяє розв'язати такі задачі:

- пошук оптимальних умов;
- побудова інтерполяційних формул;
- вибір суттєвих факторів;
- оцінка і уточнення констант теоретичних моделей;
- вибір допустимої гіпотези про механізм явища і ін.

Експеримент, який ставиться для вирішення задач оптимізації, називається екстремальним, оскільки пов'язаний з пошуком екстремуму деякої функції.

Планування експерименту – це процедура вибору числа і умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для вирішення поставленої задачі з необхідною точністю.

Особливості планування експерименту:

- прагнення до мінімізації загального числа дослідів;
- одночасне варіювання всіма змінними, що визначають процес, за спеціальними правилами – алгоритмам;
- вибір чіткої стратегії, що дозволяє ухвалювати обґрунтовані рішення після кожної серії експериментів.

Об'єкт дослідження. Для конструктора об'єкт дослідження – це створена їм абстрактна модель сконструйованого приладу, всі функціональні зв'язки між елементами якого описані, тобто відомі. З погляду процедури планування експерименту. Об'єкт дослідження – це “чорна скриня” з кінцевим числом входів і виходів.

Входи «чорної скрині» називають факторами (дія на процес), виходи відгуками (результати роботи процесу).

Кожен відгук є функція  $k$ -змінних – факторів

$$y_i = f(x_1, x_2 \dots x_k)$$

Функція  $f$  називається функцією відгуку. Це може бути детермінована або статистична функція залежно від властивостей об'єкту дослідження.

Об'єкт може бути описаний або безпосередньо сукупністю функцій відгуку, або системою рівнянь: лінійних, нелінійних, диференціальних, інтегральних, інтеграла-диференційних. При цьому функції відгуку можуть в явному вигляді і не існувати, але у будь якому випадку модель об'єкту повинна містити явно або неявно непорожню безліч рішень у вигляді функцій відгуку.

Кількісна характеристика функції відгуку, вибрана як мета екстремального експерименту, називається параметром оптимізації.

Умови проведення експерименту припускають, що значення факторів вибрані. І експеримент полягає у визначенні значень функцій відгуку.

Фактор може мати безперервну або дискретну область зміни. Проте, зважаючи на обмежену точність представлення безперервного фактору, він може бути описаний за допомогою дискретного набору рівнів. Ця угода істотно полегшує побудову експерименту і спрощує оцінку його складності.

Прямий перебір зважаючи на величезне число станів нераціональний, якщо неможливий, тому вдаються до процедури планування експерименту.

Екстремальний експеримент – метод вибору мінімальної кількості дослідів, необхідних для відшукування оптимальних умов.

Параметр оптимізації є відгуком, реакцією на дію факторів, які визначають поведінку досліджуваної, проектованої системи. Відгуки системи лежать в багатьох аспектах, кількісне вираження яких не завжди однозначно. Різні дослідники часто мають уявлення, що сильно відрізняються, про оптимальність того або іншого аспекту. Не по всіх параметрах оптимізації



існують уніфіковані рекомендації, і тому вибір критеріїв оптимізації часто є мистецтвом.

Серед параметрів оптимізації необхідно вибрати один параметр, по якому шукається оптимум. Вся решта параметрів при цьому служить вже як обмеження. Тут також можливо безліч шляхів постановки задачі оптимізації.

Вимоги до параметра оптимізації:

1. Він повинен бути кількісним, задаватися числом. Безліч значень, яка може приймати параметр оптимізації, називається його областю визначення. Область визначення може бути дискретною і безперервною, обмеженою і необмеженою.

2. Параметр оптимізації потрібно уміти вимірювати, тобто мати в своєму розпорядженні відповідний прилад для прямого вимірювання або мати в своєму розпорядженні методику непрямих вимірювань. Але якщо такий прилад не існує або дуже дорогий, то вдаються до прийому, званого ранжируванням або ранговим підходом. При цьому параметрам оптимізації привласнюються оцінки – ранги заздалегідь вибраною шкалою: двобальної, п'ятибальної і т.д. У простому випадку область може містити два значення: так – ні, годна продукція – брак. Ранг – це кількісна, але суб'єктивна оцінка. Така оцінка не дозволяє вивчити тонкі ефекти. Прикладом рангового підходу може служити суддівство у фігурному катанні або гімнастиці. Ранговий підхід використовується при визначенні твердості матеріалу за заданою шкалою твердостей.

3. Параметр оптимізації повинен задовольняти вимогі однозначності в статистичному сенсі. Заданому набору значень 8 факторів повинно відповідати одне з точністю до помилки експерименту значення параметра оптимізації. Зворотне, очевидно, невірно одному і тому ж значенню параметра оптимізації можуть відповідати різні набори факторів.

4. Параметр оптимізації повинен задовольняти умові коректності, тобто він повинен дійсно оцінювати ефективність функціонування системи в заздалегідь вибраному сенсі.

5. Параметр оптимізації повинен підкорятися принципу “колективізму”, він не повинен зводитися в ранг абсолюту. Він повинен бути ефективним з погляду досягнення кінцевої мети. Ефективність системи оцінюється завжди в цілому. Часто система складається з підсистем, кожна з яких оцінюється своїм локальним параметром оптимізації. При цьому оптимальність кожної з підсистем не виключає можливості загибелі системи в цілому.

6. Параметр оптимізації повинен бути ефективний в статистичному сенсі. З декількох параметрів оптимізації найбільш ефективний той, який визначається з можливою найбільшою точністю. Якщо ця точність недостатня, доводиться звертатися до збільшення числа дослідів.

7. Параметр оптимізації повинен задовольняти вимозі універсальності або повноти. Під універсальністю параметра оптимізації розуміється його здатність всебічно характеризувати об'єкт. Наприклад, технологічні параметри в загальному сенсі не враховують економіку. Цей недолік усувається підрозділом області визначення технологічних параметрів оптимізації по квалітетам, визначуваним за ранговим принципом: десятибальній системі з урахуванням рівня виробництва. У свою чергу технологічні допуски розділяються по трьох рівнях точності:

- економічний рівень – 9-10 квалітет;
- виробничий рівень – 6-8 квалітет;
- технічний рівень – 4-5 квалітет.

8. Бажано, щоб параметр оптимізації мав фізичний сенс, був простим і легко обчислюваним. Для простоти доцільно нормувати параметр оптимізації з тим, щоб він приймав значення від нуля до одиниці.

Вибрати параметр оптимізації, що задовольняє всім вимогам практично неможливо. Вимоги частіше використовуються для порівняння декількох можливих параметрів оптимізації і вибору, що найбільш відповідає даним вимогам.

## 2.2 Розробка плану-програми експерименту

План-програма включає найменування теми дослідження, робочу гіпотезу, методику експерименту, перелік необхідних матеріалів, приладів, установок, список виконавців експерименту, календарний план робіт і кошторис на виконання експерименту. У ряді випадків включають роботи по конструюванню і виготовленню приладів, апаратів, пристосувань, методичне їх обстеження, а також програми дослідних робіт на заводах, будівництві і т.п.

Основу плану-програми складає методика експерименту. Методика є систему прийомів або способів для послідовного найбільш ефективного експериментального дослідження, і включає: мету і задачі експерименту; вибір варіюючих факторів; обґрунтування засобів і потрібної кількості вимірювань; опис проведення експерименту, обґрунтування способів обробки і аналізу результатів експерименту.

Визначення мети і задачі експерименту – один з найбільш важливих етапів. На основі аналізу інформації, гіпотези і теоретичних розробок обґрунтовують мету і задачі експерименту. Вся наукова інформація дозволяє в тому або іншому ступені судити про очікувані закономірності процесу, що вивчається, а, отже, і визначити задачі експерименту. Чітко, конкретно обґрунтовані задачі – це великий вклад в їх рішення. Кількість задач не повинна бути дуже великою (3-4 задачі), у великому дослідженні їх може бути 8-10.

*Вибір варіюючих факторів* – це встановлення основних і другорядних характеристик, що впливають на досліджуваний процес. Спочатку аналізують розрахункові (теоретичні) схеми процесу. На основі цього класифікують всі фактори і складають з них ряд, що убуває по важливості, для даного експерименту. Правильний вибір основних і другорядних факторів грає важливу роль в ефективності експерименту, оскільки експеримент зводиться до знаходження залежностей між цими факторами. В

окремих випадках важко відразу виявити роль основних і другорядних факторів. При цьому необхідно виконати невеликий за об'ємом попередній пошуковий дослід.

Основним принципом встановлення ступеня важливості характеристики є її роль в досліджуваному процесі. Для цього вивчають процес залежно від якоїсь однієї змінної при решті постійних. Такий принцип проведення експерименту виправдовує себе тільки в тих випадках, коли змінних характеристик мало (1-3). Якщо ж змінних величин багато, доцільний принцип багатофакторного аналізу.

*Обґрунтування засобів вимірювань* – це вибір необхідних для спостережень і вимірювань приладів, устаткування, машин, апаратів і ін. Експериментатор повинен бути добре ознайомлений з вимірювальною апаратурою, що випускається в країні. Щорічно видаються каталоги на засоби вимірювання, по яких можна замовити ті, що випускаються вітчизняним приладобудуванням ті або інші засоби вимірювань. В першу чергу використовують стандартні машини і прилади, що серійно випускаються, робота на яких регламентується інструкціями, ГОСТами і іншими офіційними документами.

Дуже відповідальною частиною є встановлення точності вимірювань і погрешностей. Методи вимірювань повинні базуватися на законах спеціальної науки – метрології, що вивчає засоби і методи вимірювань.

При експериментальному дослідженні одного і того ж процесу (спостереження і вимірювання) повторні відліки на приладах, як правило, не однакові. Відхилення пояснюються різними причинами – неоднорідністю властивостей тіла (грунт, матеріал, конструкція і т.д.), що вивчається, недосконалістю приладів і класом їх точності, суб'єктивними особливостями експериментатора і ін. Чим більше випадкових факторів, що впливають на дослід, тим більше відхилення окремих вимірювань від середнього значення. Це вимагає повторних вимірювань, отже, необхідно знати їх потрібну мінімальну кількість. Під потрібною мінімальною кількістю вимірювань

розуміють таку їх кількість, яка в даному досліді забезпечує стійке середнє значення вимірюваної величини, що задовольняє заданому ступеню точності. Встановлення потрібної мінімальної кількості вимірювань має велике значення, оскільки забезпечує отримання найбільш об'єктивних результатів при мінімальних витратах часу і засобів.

У магістерській роботі детально проектують процес проведення експерименту. На початку складають послідовність (черговість) проведення операцій вимірювань і спостережень. Потім ретельно описують кожну операцію окремо з урахуванням вибраних засобів для проведення експерименту. Велику увагу приділяють методам контролю якості операцій, що забезпечують при мінімальній (раніше встановленому) кількості вимірювань високу надійність і задану точність. Розробляють форми журналів для запису результатів спостережень і вимірювань. Важливим розділом методики є вибір методів обробки і аналізу експериментальних даних. Обробка даних зводиться до систематизації всіх цифр, класифікації, аналізу. Результати експериментів повинні бути зведені в легкі для читання форми запису – таблиці, графіки, формули, номограми, що дозволяють швидко спів ставляти одержані результати. Особлива увага в методиці повинна бути приділена математичним методам обробки і аналізу дослідних даних – встановленню емпіричних залежностей, апроксимації зв'язків між варійованими характеристиками, знаходженню критеріїв і довірчих інтервалів і ін. Далі визначають об'єм і трудомісткість експериментальних досліджень, які залежать від глибини теоретичних розробок, ступеня точності прийнятих засобів вимірювань. Чим чітко сформульована теоретична частина дослідження, тим менше об'єм експерименту. Можливі три випадки проведення експерименту.

1. Теоретично одержана аналітична залежність, яка однозначно визначає досліджуваний процес. Наприклад  $y = 3e^{-2x}$ . В цьому випадку об'єм експерименту для підтвердження даної залежності мінімальний, оскільки функція однозначно визначається експериментальними даними.

2. Теоретичним шляхом встановлений тільки характер залежності. Наприклад  $y = ae^{-bx}$ . В цьому випадку задано сімейство кривих. Експериментальним шляхом необхідно визначити  $a$  і  $b$ . При цьому об'єм експерименту зростає.

3. Теоретично не вдалося одержати яких-небудь залежностей. Розроблені тільки припущення про якісні закономірності процесу. У багатьох випадках доцільний пошуковий експеримент. Об'єм експериментальних робіт зростає. Тут доречний метод математичного планування експерименту.

### 2.3 Схема та опис установки псевдозрідження

Нами було змонтовано установку псевдозрідження та проведено 14 дослідів. Після яких ми дізналися дані для розрахунку.

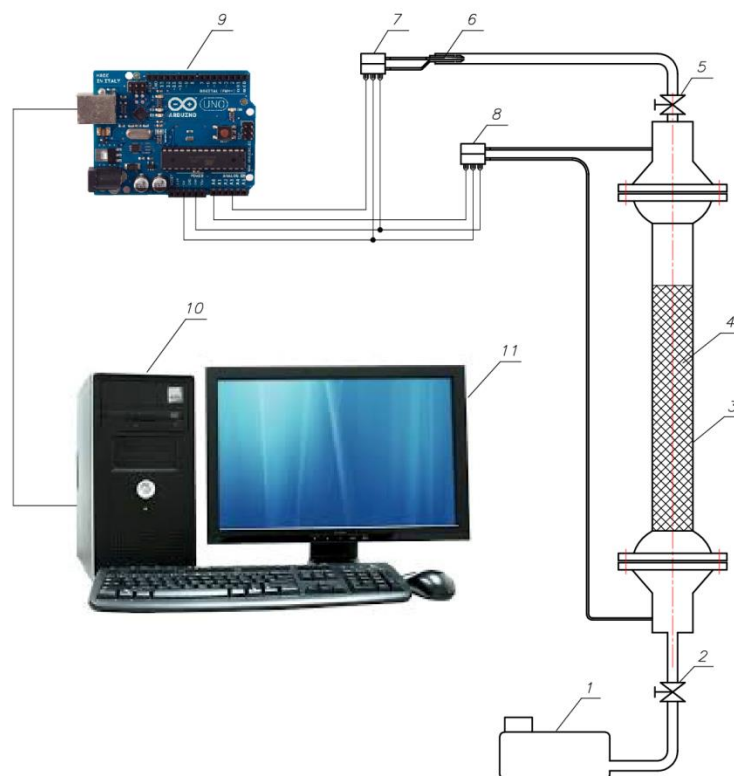


Рисунок 2.2 - Схема дослідницької установки з Arduino

1. – компресор;
2. – вхідний вентиль;
3. – скляна колонка;
4. – насипний матеріал;
5. – регулюючий вентиль;
6. – трубка Піто-Прандтля;
- 7,8. – дифманометр;
9. – мікроконтролер Arduino;
10. – комп'ютер дослідника;
11. – монітор дослідника.

Повітря всмоктується компресором (1) і під тиском подається в повітряну мережу системи. Стисле повітря проходить скрізь вхідний вентиль (2), і потрапляє в нижню частину колонки де знаходиться перший датчик та насипний матеріал (4) потім проходить в верхню частину колони де знаходиться другий датчик для подачі сигналу дифманометра (8) який в свою чергу обчислює різницю швидкостей та передає сигнал мікроконтролеру Arduino а він передає інформацію до комп'ютер дослідника (10) та монітор дослідника (11). В той же час повітря проходить регулюючий вентиль (5) и потрапляє до трубки Піто-Прандтля (6), який в свою чергу обчислює різницю тисків.

### РОЗДІЛ 3

#### ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

##### 3.1 Перевірка гіпотези про однорідність ряду дисперсій (критерій Кохрена)

Після проведення експерименту необхідно переконатися в тому, що під час проведення експерименту забезпечувалися однорідні (достатньо близькі) умови. Для цього застосовуємо критерій Кохрена [3].

Speed	del P	Speed	del P	Speed	del P
-0.83	671	3.55	1078	6.71	1876
-0.82	729	3.55	1244	6.71	1896
-0.82	803	3.55	1254	6.71	1905
-0.82	818	3.55	1264	7.21	1954
-0.82	867	3.55	1278	7.21	1959
-0.82	872	3.55	1317	7.21	2003
-0.82	876	3.55	1327	7.68	1891
-0.82	881	3.55	1337	7.68	1999
-0.82	886	3.55	1371	7.68	2018
-0.82	974	3.55	1425	7.68	2023
-0.82	984	3.55	1425	7.68	2023
1.42	823	4.32	1342	7.68	2038
1.42	970	4.32	1401	7.68	2097
1.42	974	4.32	1440	7.68	2146
1.42	984	4.32	1445	7.68	2150
1.42	1024	4.32	1455	8.12	2053
1.42	1033	4.32	1513	8.55	2101
1.42	1048	4.71	1709	8.55	2204
1.42	1058	5	1450	8.95	2169
1.42	1063	5	1455	8.95	2185
1.42	1092	5	1460	8.95	2185
1.42	1092	5	1479	8.95	2204
1.53	524	5.62	1519	9.34	2204
2.63	1009	5.62	1616	9.72	2204
2.63	1048	5.62	1621	9.72	2209
2.63	1053	5.62	1660	10.44	2209

Рисунок 3.1 – Перевірка однорідності дисперсій за критерієм Кохрена

Подальша обробка даних здійснюється із застосуванням таблиці експериментальних даних.



Обробка даних починається з того, що весь діапазон зміни аргументу  $x$  на поле кореляції розбивається на 15 рівних інтервалів, ширина кожного  $\Delta = 1$  одиниць.

Всі точки, що потрапили до інтервалу  $\Delta x_j$ , відносять до його середини  $x_j$ . Всі точки, що знаходяться на межі інтервалів, відносять до лівого інтервалу (можливий інший варіант, всі – до правого). Після цього підраховують часткові середні  $\bar{y}_j$  для кожного інтервалу:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{n_j} \cdot \sum_{i=1}^{n_j} y_{ji},$$

тут  $n_j$  – кількість точок в інтервалі  $\Delta x_j$ .

$$\sum_{j=1}^k n_j = N,$$

де  $k$  – кількість інтервалів розбиття;

$N$  – обсяг вибірки (загальна кількість даних експерименту).

У прикладі кількість інтервалів  $k = 15$ , загальний обсяг вибірки  $N = 110$ .

Для кожного інтервалу розраховуємо дисперсію

$$s_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (y_{ji} - \bar{y}_j)^2}{n_j - 1},$$

де  $n_j$  – кількість даних, що потрапили до інтервалу  $x_j$ ;

$i$  – номер точки в інтервалі  $x_j$ .

Наступним кроком розраховуємо та аналізуємо послідовності величин  $G_i$ :

$$G_j = \frac{s_j^2}{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_k^2},$$

де  $j$  – номер вибірки;

$k$  – кількість вибірок (інтервалів розбиття діапазону  $x$ ).

За результатами розрахунків одержали максимальне значення  $G_{max} = 0.1948$ , воно належить другого інтервалу ( $s_2^2 = 274576$ ).

Тепер для  $k = 15$  і  $n = (n_3 - 1)$  знайдемо табличне значення  $G_{0,05}$  для степені значущості  $\alpha = 0.2353$ .

Порівняння табличного значення з розрахованими за експериментальними даними показує, що для другого інтервалу величина критерію Кохрена однакова з табличним ( $G_3 = 0.2353$ ) = ( $G_{0,05} = 0.2353$ ). Робимо висновок, що гіпотеза про однорідність результатів експериментів не підтверджується з імовірністю 0.95.

У другому інтервалі дванадцята реалізація експерименту суттєво відрізняється від інших. Це означає, що умови проведення експерименту були не належні. Необхідно або переробити експеримент із забезпеченням належних умов, або відкинути ці данні як помилкові. Відкинемо данні п'ятої реалізації експерименту та знову перевіримо однорідність дисперсій.

*Перерахунок критерію  $G$*  для скорегованої вибірки дає максимальне значення  $G_{max} = 0.1948$ , що менше табличного. Таким чином, ми отримали вибірку даних, що повністю відповідає критерію однорідності дисперсій і може застосовуватися для подальшої обробки.

### 3.2 Статистична перевірка гіпотез при оцінці членів вибірки, що різко відрізняються. Критерій типу $r$

Під час проведення експерименту можуть з'явитися дані, що значно відрізняються від інших. Це може бути викликано різними причинами, а саме, помилками при проведенні експерименту, виходу з ладу засобів вимірювання, різкою зміною зовнішніх умов тощо. Такі дані містять помилкову інформацію і мають бути вилучені з вибірки [3].

Перевірка гіпотез при оцінці членів вибірки, що різко відрізняються, проводиться за різними критеріями (критерій Фішера, спрощений критерій і ін.). Одним з найбільш простих і універсальних критеріїв є критерій типу  $r$ .

Для перевірки статистичних показників розрахуємо для експериментальних значень характеристику  $r$ :

$$r = \frac{|\bar{x} - x_i|}{s_n \cdot \sqrt{\frac{n-1}{n}}},$$

де

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

В кожному інтервалі даних розраховуємо критерій  $r$  для найменшого та найбільшого значень вихідного параметра, оскільки саме вони можуть бути такими, що значно відрізняються від інших даних.

В табл. В.1 знаходимо значення критерію  $r$  для рівня значущості  $\alpha = 0.05$  і числа степенів волі  $n - 1$ .

$$r_{\alpha} = 2.387$$

Порівняємо розрахункові значення  $r$  з табличним  $r_{\alpha}$ . В результаті знаходимо:

в другому інтервалі для максимального значення параметра (значення температури дорівнює  $108.57^{\circ}\text{C}$ ) ( $r_{max} = 2.024$ )  $<$  ( $r_{\alpha} = 2.387$ ).

Решта даних укладаються в задані умови.

### 3.3 Вибір виду моделі

Вибір моделі полягає у виборі виду функції:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k),$$

де  $y$  – узагальнений показник (параметр оптимізації), що характеризує ефективність пристрою (системи), що й дозволяє проводити оптимізацію.

Екстремум  $y$  відповідає оптимальній системі;  $x_1, x_2, \dots, x_k$  – фактори (зовнішні й внутрішні), які впливають на значення функції  $y$ , вони мають оптимальні значення при екстремумі  $y$ .

Завдання експерименту полягає в тому, щоб визначити чисельні значення констант (коефіцієнтів) цього рівняння. Звичайно функцію ( $x_1, x_2, \dots, x_k$ ) обирають у вигляді степеневого ряду, точніше відрізків степеневих рядів – алгебраїчних поліномів. Зокрема, для двох факторів поліноми можуть мають вигляд поліномів

- нульового степеню

$$y_0 = a_0; \quad (15)$$

- першого степеню

$$y_1 = a_0 + a_1 \cdot x; \quad (16)$$

- другого степеню

$$y_2 = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2; \quad (17)$$

- третього степеню

$$y_3 = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 \quad (18)$$

Модель повинна бути досить точною, тобто бути близької до фактичної залежності. Тоді кажуть, що вона адекватна. У той же час бажане, щоб вона була простою. У кожній конкретній задачі дослідник вибирає модель, проводить експеримент, а потім по його результатах перевіряє адекватність моделі. Дуже часто гарною моделлю є поліном першого степеню (лінійна модель).

При дослідженні залежності від одного змінного параметра корисно для визначення виду рівняння регресії побудувати емпіричну лінію регресії [2].

Після вилучення помилкових даних експерименту, одержуємо кореляційне поле даних.

Всі точки, що потрапили в інтервал  $\Delta x_j$ , відносять до його середини  $\bar{x}_j$ . У цих точках розраховують часткові середні  $\bar{y}_j$  для кожного інтервалу:

$$\bar{y}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} y_{ji}}{n_j},$$

де  $n_j$  – кількість точок в інтервалі  $\Delta x_j$ .

$$\sum_{j=1}^k n_j = N,$$

де  $k$  – кількість інтервалів розбиття;

$N$  – загальний обсяг вибірки.

Після цього послідовно з'єднаємо точки з координатами  $(\bar{x}_j, \bar{y}_j)$  відрізками прямої лінії. Одержана ломана називається емпіричною лінією регресії  $y$  по  $x$ .

### 3.4 Побудова емпіричної лінії регресії $y$ по $x$

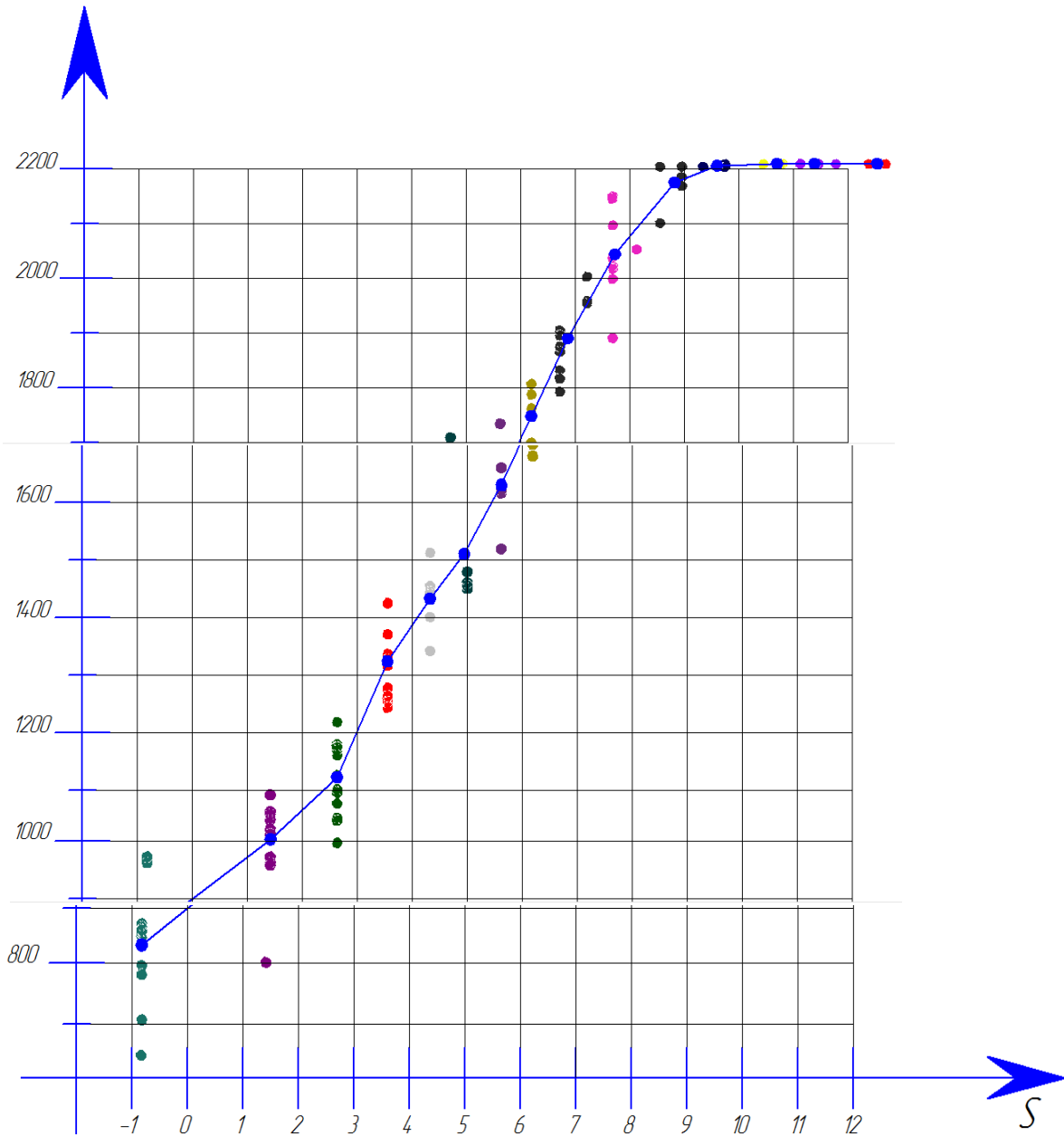


Рисунок 3.2 – Емпірична лінія регресії  $y$  по  $x$

За виглядом емпіричної лінії регресії можна підібрати вид рівняння регресії  $\hat{y} = f(x)$ .

Відхилення вимірної величини від її розрахункового (дійсного) значення обумовлене наявністю похибок вимірювання.

### 3.5 Побудова моделі методом найменших квадратів

Побудова моделі методом найменших квадратів [14] здійснюємо за допомогою пакету прикладних програм MatLab.

Перед початком роботи програми, імпортуємо висхідні дані (витрата газу та температура) із формату Excel у формат MatLab.

Приводимо програмний код розрахунків.

```
% Завантажуємо висхідні дані
```

```
load('Data\Source_data.mat');
```

```
% Апроксимуємо полином МНК першого ступеня pol1,
```

```
% другого ступеня pol2, третього ступеня pol3
```

```
pol1 = polyfit(X,Y,1);
```

```
pol2 = polyfit(X,Y,2);
```

```
pol3 = polyfit(X,Y,3);
```

```
% Готуємо дані для побудови графіків
```

```
X_plot = 0.5:0.5:3.5;
```

```
Y1 = polyval(pol1,X_plot);
```

```
Y2 = polyval(pol2,X_plot);
```

```
Y3 = polyval(pol3,X_plot);
```

```
% Виводимо графіки вихідних параметрів об'єкта різними кольорами % на  
одному графіку
```

```
pic = figure;
```

```
hPlot1 = plot(X_plot, Y1, 'g--');
```

```
set(hPlot1, 'LineWidth', 4);
```



```
grid on
hold on

hPlot2 = plot(X_plot, Y2, 'r-');
set(hPlot2, 'LineWidth', 5);

hPlot3 = plot(X_plot, Y3, 'k:');
set(hPlot3, 'LineWidth', 5);

title('Залежність температури від витрати газу');

ylabel('Температура, [град. C]');
xlabel('Витрата газу, [л/хв.]');

% Зберігаємо графік на диску
print(pic, '-djpeg', '-r600', 'Temp\Figure.jpg');
```

За результатами розрахунків одержуємо поліноми різного степеню:

$$pol1 = 45,1541x + 874,0544;$$

$$pol2 = 874,0544 + 45,1541x + 27,3179x^2;$$

$$pol3 = 874,0544 + 45,1541x + 27,3179x^2 + (-1,8211)x^3;$$

На рисунку 3.3 представлено графічне відображення одержаних функціональних залежностей.

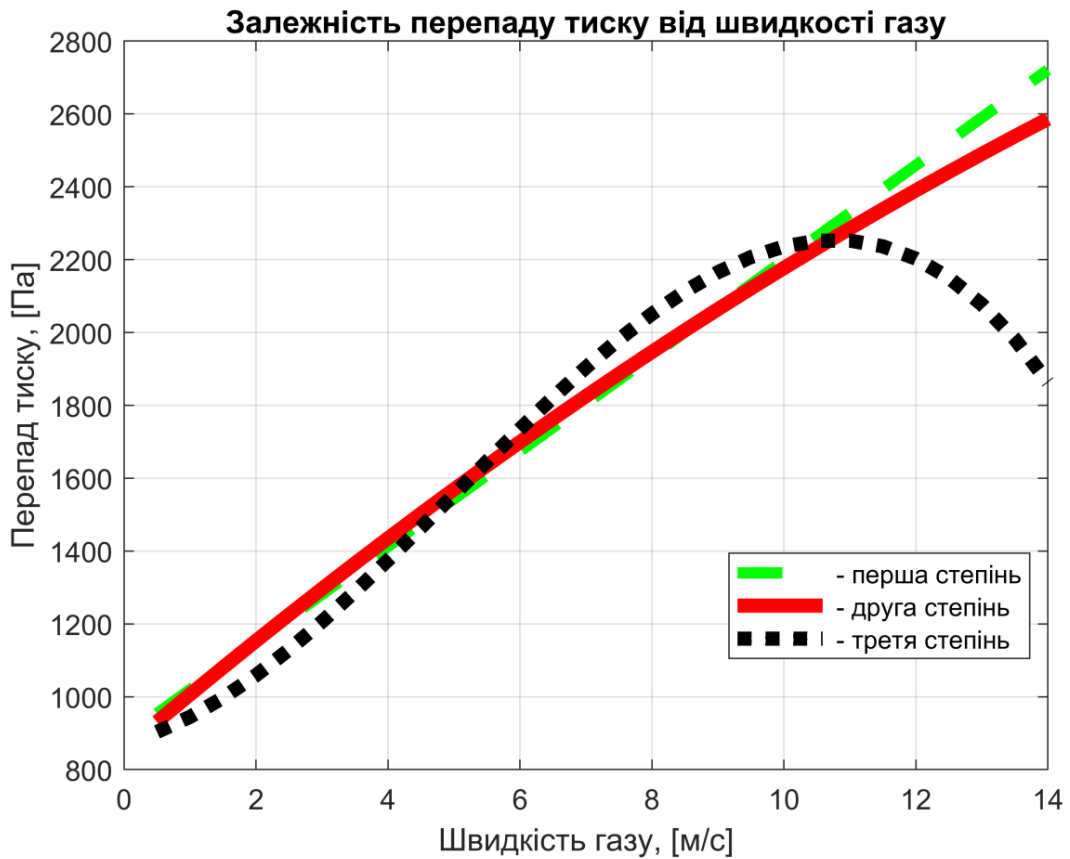


Рисунок 3.3 – Залежність перепаду тиску від швидкості газу

Перевірка адекватності побудованих моделей

Загальна кількість даних експерименту:  $n = 108$ .

Кількість інтервалів розбиття:  $k = 15$ .

Виходячи з умов проведення експерименту, число степенів волі дисперсії адекватності визначаємо як

$$\begin{aligned}
 f_{\text{адекв}}^{(m)} &= n - p_m - \sum_{j=1}^k (\tilde{n}_j - 1) = n - p_m - \left( \sum_{j=1}^k \tilde{n}_j - \sum_{j=1}^k 1 \right) = \\
 &= n - p_m - \sum_{j=1}^k \tilde{n}_j + \sum_{j=1}^k 1 = n - p_m - n + k = k - p_m.
 \end{aligned}$$

Число степенів волі залежить від степеню полінома, що обрано для математичної моделі, тому:

a) Для моделі першого ступеню (16):  $p_m = 2$ , параметри  $(a_0, a_1)$ ,

$$f_{\text{адекв}}^{(1)} = k - p_m = 15 - 2 = 13.$$

b) Для моделі другого ступеню (17):  $p_m = 3$ , параметри  $(a_0, a_1, a_2)$ ,

$$f_{\text{адекв}}^{(2)} = k - p_m = 15 - 3 = 12.$$

c) Для моделі третього ступеню (18):  $p_m = 4$ , параметри  $(a_0, a_1, a_2, a_3)$ ,

$$f_{\text{адекв}}^{(3)} = k - p_m = 15 - 4 = 11.$$

Число степенів волі дисперсії відтворюваності становить

$$f_{\text{відтворюв}} = \sum_{j=1}^k (\tilde{n}_j - 1) = \sum_{j=1}^k \tilde{n}_j - \sum_{j=1}^k 1 = n - k = 108 - 15 = 93.$$

Дисперсії адекватності розраховуються для кожної з обраних моделей і визначаються як

$$\begin{aligned} (S_{\text{адекв}}^2)^{(m)} &= \frac{SS(5)}{f_{\text{адекв}}} = \frac{SS(3) - SS(4)}{f_{\text{адекв}}} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{\text{model}_i}^{(m)})^2 - \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{\tilde{n}_j} (y_{ji} - \bar{y}_j)^2}{f_{\text{адекв}}}, \end{aligned}$$

де  $m$  – номер моделі (модель першого, другого, ... ступеню).

$$S_{\text{відтворюв}}^2 = \frac{SS(4)}{f_{\text{відтворюв}}} = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{\tilde{n}_j} (y_{ji} - \bar{y}_j)^2}{f_{\text{відтворюв}}},$$

де

$$\bar{y}_j = \frac{1}{\tilde{n}_j} \cdot \sum_{i=1}^{\tilde{n}_j} y_{ji}.$$

Перевірку адекватності моделей будемо проводити за допомогою критерію Фішера ( $F$ -критерію).

$$F = \frac{S_{\text{адекв}}^2}{S_{\text{відтворюв}}^2}.$$

Якщо  $F$  виявиться менше табличного значення критерію Фішера  $F_{1-p}(f_1, f_2)$  для рівня значимості  $p$  і чисел степенів волі  $f_1 = f_{\text{адекв}}$  і  $f_2 = f_{\text{відтворюв}}$ , то гіпотеза вірна, тобто дисперсії  $S_{\text{адекв}}^2$  і  $S_{\text{відтворюв}}^2$  незначне відрізняються друг від друга й модель адекватна об'єкту.

Для розрахованих значень степенів волі  $f_{\text{адекв}}$  і  $f_{\text{відтворюв}}$  знаходимо відповідні значення  $F$ -критерію (табл. Г.1) за умови  $f_1 = f_{\text{адекв}}$  і  $f_2 = f_{\text{відтворюв}}$ .

У підсумку одержуємо такі значення  $F$ -критерію:

Лінійна	$f_1 = 13$	$f_2 = 93$	$F_{\text{табл}}^{(1)} = 2.59$
Квадратична	$f_1 = 12$	$f_2 = 93$	$F_{\text{табл}}^{(2)} = 2.59$
Кубічна	$f_1 = 11$	$f_2 = 93$	$F_{\text{табл}}^{(3)} = 2.59$

Розрахунки надали такі результати:

$F_{\text{табл}}^{(1)} = 2.59$	$S_{\text{адекв}}^2 = 1535412.77$	$S_{\text{відтворююв}}^2 = 4687.86$	$F^{(1)} = 18.04$
$F_{\text{табл}}^{(2)} = 2.59$	$S_{\text{адекв}}^2 = 83897.69$	$S_{\text{відтворююв}}^2 = 4687.86$	$F^{(2)} = 17.90$
$F_{\text{табл}}^{(3)} = 2.59$	$S_{\text{адекв}}^2 = 6880.21$	$S_{\text{відтворююв}}^2 = 4687.86$	$F^{(3)} = 1.47$

Робимо висновок:

- апроксимація результатів експерименту степеневим поліномом першого та другого порядку (лінійна та квадратична апроксимація) дає неадекватну модель  $F^{(1)} > F_{\text{табл}}^{(1)}$ ,  $F^{(2)} > F_{\text{табл}}^{(2)}$ ;
- апроксимація результатів експерименту степеневим поліномом третього порядку (кубічна апроксимації) дає адекватну модель  $F^{(3)} < F_{\text{табл}}^{(3)}$ .

Для того, щоб обрати одну з двох адекватних моделей, проаналізуємо їхні дисперсії адекватності.

Дисперсія адекватності полінома другого порядку становить  $S_{\text{адекв}}^2{}^{(2)} = 83897.69$

Дисперсія адекватності полінома третього порядку становить  $S_{\text{адекв}}^2{}^{(3)} = 6880.21$ .

Сума дисперсій складає  $\sum S_{\text{адекв}}^2 = 1526190,67$ , доля дисперсії адекватності полінома другого порядку складає 5,15%, доля дисперсії адекватності полінома третього порядку складає 0,42%, тобто похибки другого порядку на багато більша ніж у третього порядку. Більше того,  $S_{\text{адекв}}^2{}^{(2)} > S_{\text{адекв}}^2{}^{(3)}$ .

Крім того, поліном третього порядку на багато точніша ніж другого порядку.

Враховуючи перелічене, обираємо в якості моделі степеневий поліном третього порядку.

### 3.6 Розрахунок витрат газу в апараті

Для розрахунку витрат газу в промисловому апараті приймемо, що стан течії газу в дослідному апараті та промисловому мають бути однаковими. Ця умова буде виконуватися, якщо будуть дорівнюватися відповідні критерії, а саме, критерії Рейнольдса:

$$Re_{\text{да}} = Re_{\text{па}}, \quad (19)$$

де  $Re_{\text{да}}$  – критерій Рейнольдса у дослідному апараті;

$Re_{\text{па}}$  – критерій Рейнольдса у промисловому апараті.

Критерій Рейнольдса визначається за формулою:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (20)$$

де  $v$  – швидкість речовини;

$d$  – діаметр каналу;

$\rho$  – густина речовини;

$\mu$  – динамічна в'язкість.

Після підстановки відомих складових величин в критерії для дослідного та промислового апаратів (20) у формулу (19) можна знайти величину швидкості газу у промисловому апараті:

$$v_{\text{па}} = \frac{v_{\text{да}} \cdot d_{\text{да}} \cdot \rho_{\text{да}} \cdot \mu_{\text{па}}}{\mu_{\text{да}} \cdot d_{\text{па}} \cdot \rho_{\text{па}}}. \quad (21)$$

Таблиця 3.1 - Вихідні дані для дослідного апарату (газ – повітря):

Температура газу:	20 [°C]
Густина газу:	1.205 $\left[\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}\right]$
Динамічна в'язкість газу:	18.1 · 10 <sup>-6</sup> [Па · с]
Внутрішній діаметр апарату:	57 · 10 <sup>-3</sup> [м]
Лінійна швидкість газу в апараті:	10,76805 $\left[\frac{\text{М}}{\text{С}}\right]$

Таблиця 3. 2 - Вихідні дані для промислового апарату (газ – повітря):

Робоча температура газу:	500 [°C]
Робочий тиск:	1 [МПа]
Густина газу при атмосферному тиску та робочій	0.456 $\left[\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}\right]$

температурі (500 [°C]):	
Густина газу при робочому тиску та температурі*:	4.56 $\left[\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}\right]$
Динамічна в'язкість газу при робочій температурі (500 [°C])**:	36.2 · 10 <sup>-6</sup> [Па · с]
Внутрішній діаметр апарату:	0.4 [м]

\* Для розрахунку значення густини газу при робочому тиску, скористаємося рівнянням Клапейрона у вигляді

$$\frac{\rho_1 \cdot T_1}{P_1} = \frac{\rho_2 \cdot T_2}{P_2}.$$

Індексом «1» тут буде позначено, наприклад, початкові значення параметрів, а індексом «2» буде позначено шукані значення параметрів.

$$T_1 = T_2 = 500 \text{ [°C]};$$

$P_1 = 10^5$  [Па] – атмосферний тиск;

$P_2 = 10^6$  [Па] – робочий тиск в апараті.

Звідси знаходимо

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{T_1 \cdot P_2}{P_1 \cdot T_2}.$$



Оскільки температура не змінюється, рівняння набуде вигляду

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{P_2}{P_1} = 0.456 \cdot \frac{10^6}{10^5} = 4.56 \left[ \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \right].$$

\*\* Тиск до 10 атмосфер на величину динамічної в'язкості практично не впливає.

Підставляємо висхідні дані у рівняння (21) і розраховуємо лінійну швидкість газу (повітря) у реакційної частині промислового апарату

$$\begin{aligned} v_{\text{па}} &= \frac{v_{\text{да}} \cdot d_{\text{да}} \cdot \rho_{\text{да}} \cdot \mu_{\text{па}}}{\mu_{\text{да}} \cdot d_{\text{па}} \cdot \rho_{\text{па}}} = \frac{10,76805 \cdot 57 \cdot 10^{-3} \cdot 1.205 \cdot 36.2 \cdot 10^{-6}}{18.1 \cdot 10^{-6} \cdot 0.4 \cdot 4.56} = \\ &= 0.8109 \left[ \frac{\text{М}}{\text{С}} \right]. \end{aligned}$$

Тепер можна розрахувати об'ємні витрати газу у промисловому апараті при температурі 500 [°C] і тиску 1 [МПа]

$$F_{\text{па}}^{\text{об}} = v_{\text{па}} \cdot S_{\text{па}} = v_{\text{па}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{па}}^2}{4} = 0.8109 \cdot \frac{3.14159 \cdot (0.4)^2}{4} = 0.1019 \left[ \frac{\text{М}^3}{\text{С}} \right].$$

де  $S_{\text{па}}$  – площа поперечного перерізу промислового апарату.

Зважаючи на умови в апараті, можна розрахувати масові витрати газу:

$$F_{\text{па}}^{\text{мас}} = \rho_{\text{па}} \cdot F_{\text{па}}^{\text{об}} = 4.56 \cdot 0.1019 = 0.4646 \left[ \frac{\text{КГ}}{\text{С}} \right].$$

Величина масових витрати газу, на відміну від об'ємних витрат, не залежить від зовнішніх умов, а саме, тиску та температури. Виходячи з цього, можна розрахувати об'ємні витрати на вході газового компресора, що подає повітря у теплообмінник і, в подальшому, до реактора. Густина повітря при 20 [°C] дорівнює 1.205 [кг/м<sup>3</sup>].

$$F_{\text{вхід}}^{\text{об}} = \frac{F_{\text{Па}}^{\text{мас}}}{\rho_{\text{вхід}}} = \frac{0.4646}{1.205} = 0.385 \left[ \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right].$$

### 3.7 Розробка загальної технологічної схеми установки у вигляді блок-схеми. Визначення значень параметрів після основних блоків

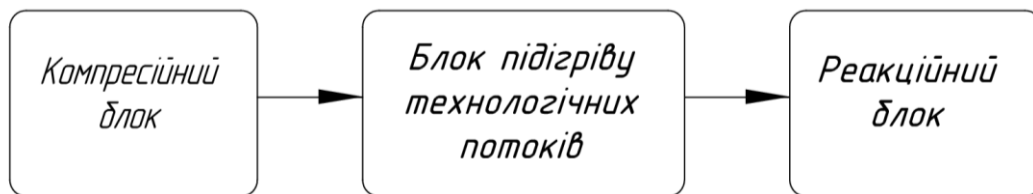


Рисунок 3.4 - Технологічної схеми установки у вигляді блок-схеми

З наведених вище таблиць (3.1) та (3.2) робимо висновок що для компресій з атмосферного тиску до 1 МПа, потрібно компресійний блок, та для кого щоб підігріти до 500°C потрібен блок підігріву пару.

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

#### 4.1 Загальні положення

1. На роботу в хіміко-аналітичні лабораторії приймаються особи віком не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд для вирішення питання про можливість роботи в лабораторії.

2. Знову надходять на роботу допускаються до виконання своїх обов'язків тільки після проходження вступного інструктажу про забезпечення заходів безпеки, інструктажу на робочому місці і після співбесіди з питань техніки безпеки.

3. Проходження інструктажу обов'язково для всіх прийнятих на роботу незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади, а також для перехожих практику або виробниче навчання.

4. Періодичний інструктаж повинен проводитися на робочому місці двічі на рік.

5. При перекладі співробітника на нові види робіт, незнайомі операції, перед роботою з новими речовинами, а також в разі порушення працівником правил техніки безпеки проводиться позаплановий інструктаж.

6. Проведення всіх видів інструктажу реєструється в журналі.

7. Розпорядженням по лабораторії в кожному робочому приміщенні призначаються відповідальні за дотриманням правил техніки безпеки, правильне зберігання легкозаймистих, вибухонебезпечних і отруйних речовин, санітарний стан приміщень, забезпеченість засобами індивідуального захисту і аптечками першої допомоги з необхідним набором медикаментів.

8. Проведення вступного інструктажу, контроль виконання правил техніки безпеки у всій лабораторії і ведення журналу інструктажу здійснює призначений начальником лабораторії посадова особа, в підпорядкуванні якого знаходяться відповідальні робочих приміщень.

9. Усі працюючі в лабораторії повинні бути забезпечені необхідним спецодягом і засобами індивідуального захисту.

#### **4.2 Правила пожежної безпеки в лабораторії**

Всі приміщення лабораторії повинні відповідати вимогам пожежної безпеки згідно з ГОСТ 12.1.004-91 і мати засоби пожежогасіння згідно з ГОСТ 12.4.009-83.

1. Лабораторія повинна бути оснащена пожежними кранами (не менше одного на поверх) з пожежними рукавами. У кожному робочому приміщенні повинні бути наявні вогнегасники і пісок, а в приміщеннях з вогненебезпечними та легкозаймистими речовинами - додаткові засоби пожежогасіння.

2. У приміщенні лабораторії на видному місці повинен бути вивішений план евакуації співробітників в разі виникнення пожежі.

3. Розпорядженням по лабораторії з числа співробітників призначається група (3-5 чоловік), яка організовує всі протипожежні заходи, отримавши інструктаж місцевої пожежної команди.

4. Всі співробітники лабораторії повинні бути навчені правилам поведінки з вогне- та вибухонебезпечними речовинами, газовими приладами, а також повинні вміти поводитися з протигазом, вогнегасником та іншими засобами пожежогасіння, наявними в лабораторії.

5. У приміщеннях лабораторії і в безпосередній близькості від них (в коридорах, під сходами) забороняється зберігати горючі матеріали і встановлювати предмети, заважають проходи і доступ до засобів пожежогасіння.

6. Палити дозволяється тільки у відведеному і обладнаному для цієї мети місці. Палити в приміщеннях лабораторії суворо забороняється!

7. Без дозволу начальника лабораторії і особи, відповідальної за протипожежні заходи, забороняється установка лабораторних і нагрівальних приладів, для проведення випробувань, переробка електропроводки.

8. Всі нагрівальні прилади повинні бути встановлені на термоізолюючих підставках.

9. Забороняється експлуатація несправних лабораторних і нагрівальних приладів.

10. Після закінчення роботи необхідно відключити електроенергію, газ та воду у всіх приміщеннях.

11. Кожен співробітник лабораторії, який помітив пожежу, задимлення або інші ознаки пожежі зобов'язаний:

- негайно викликати пожежну частину по телефону;
- вжити заходів щодо обмеження поширення вогню та ліквідації пожежі;
- довести до відома начальника лабораторії, який в свою чергу повинен сповістити співробітників, вжити заходів до їх евакуації та ліквідації пожежі.

### **4.3 Правила електробезпеки в лабораторії**

Всі приміщення лабораторії повинні відповідати вимогам електробезпеки при роботі з електроустановками по

1. Всі електрообладнання з напругою понад 36 В, а також обладнання та механізми, які можуть опинитися під напругою, повинні бути надійно заземлені.

2. Для відключення електромереж на вводах повинні бути рубильники або інші доступні пристрої. Відключення всій мережі, за винятком чергового освітлення проводиться загальним рубильником.

3. З метою запобігання електротравматизму забороняється:

- працювати на несправних електричних приладах і установках;
- перевантажувати електромережу;
- переносити і залишати без нагляду ввімкнені електроприлади;
- працювати поблизу відкритих частин електроустановок, торкатися до них;
- захарашувати підходи до електричних пристроїв.

4. Про всі виявлені дефекти в ізоляції проводів, несправності рубильників, штепсельних вилок, розеток, а також заземлення та огорожень слід негайно

повідомити електрику. У разі перерви в подачі електроенергії електроприлади повинні бути негайно вимкнені.

6. Забороняється використання в межах одного робочого місця електроприладів класу «0» і заземленого електроустаткування.

7. Категорично забороняється торкатися до корпусу пошкодженого приладу або струмоведучих частин з порушеною ізоляцією і одночасно до заземленого обладнання (інший прилад з справним заземленням, водопровідні труби, опалювальні батареї), або торкатися до ушкодженого приладу, стоячи на вологій підлозі.

8. У разі ураження електричним струмом необхідно якомога швидше звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електроприлад, якого стосується потерпілий. Відключення провадиться за допомогою отключателя або рубильника.

9. При неможливості швидкого відключення електроприладу необхідно звільнити потерпілого від струмопровідних частин дерев'яним або іншим не проводять струм предметом джерело ураження.

10. У всіх випадках ураження електричним струмом необхідно викликати лікаря.

#### **4.4 Надання першої медичної допомоги**

Оцінка стану потерпілого.

При огляді слід спочатку встановити, чи живий потерпілий або мертвий, потім визначити тяжкість ураження, триває кровотеча. У багатьох випадках потрапив в біду людина втрачає свідомість. Той, хто подає допомогу повинен вміти відрізнити втрату свідомості від смерті.

Ознаки життя: наявність пульсу; наявність самостійного дихання. Встановлюється за рухом грудної клітки, за зволоженням дзеркала, прикладеного до рота і носа потерпілого, по звуку дихання або руху повітря; реакція зіниці на світло. Якщо відкритий очей потерпілого затулити рукою, а потім швидко відвести її в бік, то спостерігається звуження зіниці.

1. При виявленні ознак життя необхідно негайно приступити до надання першої допомоги.

2. Необхідно виявити, усунути або послабити становлять загрозу для життя прояви -кровотеча, зупинка дихання та серцевої діяльності, порушення прохідності дихальних шляхів, сильний біль, шоківий стан, що розвивається опік і інше.

3. Слід пам'ятати, що відсутність серцебиття, пульсу, дихання і реакція зіниць на світло ще не означає, що потерпілий мертвий.

4. Надання допомоги безглуздо при явних ознаках смерті:

помутніння і висихання рогівки ока; при стисненні очі з боків пальцями зіниця звужується і нагадує котяче око; поява трупних плям і трупного задубіння.

5. У всіх випадках надання першої допомоги необхідно вжити заходів по доставці потерпілого до лікувального закладу або викликати «швидку допомогу». Виклик медпрацівника не повинен припиняти надання першої медичної (долікарської) допомоги.

6. Слід пам'ятати, що надання допомоги пов'язано з певним ризиком. При контакті з кров'ю та іншими виділеннями потерпілого в деяких випадках можливе зараження інфекційними захворюваннями, в т.ч. сифілісом, СНІДом, інфекційним гепатитом, ураження електричним струмом, утоплення при захопленні постраждалим, а також отримання травматичних і термічних ушкоджень. Це ні в якому разі не звільняє від цивільної моральної відповідальності за надання медичної допомоги постраждалим, але вимагає знання і дотримання найпростіших заходів безпеки.

7. Найпростіші заходи безпеки:

- в разі необхідності контакту з кров'ю та іншими виділеннями необхідно надіти гумові рукавички, при їх відсутності огорнути руку целофановим пакетом;
- в разі вилучення з води потопаючого необхідно підпливати до нього ззаду і вкрай обережно, краще витягувати людини за допомогою палиці, ремня, мотузки або іншого предмета;

- під час пожежі необхідно вживати заходів щодо попередження отруєння продуктами згоряння, для чого терміново вивести або винести потерпілого з небезпечної зони; не слід входити в об'їми полум'ям приміщення без спеціальних засобів захисту;

- при наданні допомоги в автомобільній аварії потерпілого виносять з проїжджої частини дороги і позначають місце аварії добре видимими знаками; в разі підозри на перелом хребта не рухають до приїзду «швидкої допомоги», а виставляють огорожувальні знаки.

#### 8. Не повинні надавати першу медичну (долікарську) допомогу:

- особи, які не мають спеціальних знань і навичок в галузі надання такої допомоги;

- особи, які перебувають в стані шоку чи відчують, що вони не впевнені в тому, яку саме допомогу потрібно надати або як саме її потрібно надати;

- без спеціальних засобів захисту (рукавичок, бар'єрів для проведення штучного дихання та ін.).



## ВИСНОВОК

В даній науковій-дослідницькій роботі виконані такі **задачі**:

- ✓ Розглянуто основні поняття про процес псевдозрідження та ознайомленій зі структурою автоматизованої системи наукових досліджень
- ✓ Розроблена план-програма експерименту
- ✓ Проведена експеримент
- ✓ Обґрунтуванні результат проведених експериментів:
  - перевірені гіпотези про однорідність ряду дисперсій (критерій Кохрена);
  - статистична перевірка гіпотез при оцінці членів вибірки, що різко відрізняються. Критерій типу  $r$ ;
  - зроблено висновок про вид моделі;

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1) Гельперин Н. И., Айнштейн В. Г., Кваша В. Б., Основы техники псевдооживления, М., 1967;
- 2) Катализ в кипящем слое, под ред. И. П. Мухленова, Л., 1971;
- 3) Псевдооживление, под ред. И. Дэвидсона, Д. Харрисона, пер. с англ., М., 1974; Куний Д., Левеншпиль О.,
- 4) Промышленное псевдооживление, пер. с англ., М., 1976;
- 5) *Ицкович Э.Л.* Контроль производства с помощью вычислительных машин. М.: Энергия, 1975. 416с
- 6) *Кулаков М.В.* Технологические измерения и приборы для химических производств. М.: Машиностроение 1983. 424 с.
- 7) *Строганов Р.П.* Управляющие машина и их применения. М.: Высшая школа, 1978. 264 с
- 8) *Цыпкин Я.З.* Основы теории автоматических систем. М.: Наука, 1977. 560с
- 9) *Соколов М. П.*, Автоматичні вимірювальні пристрої в експериментальній фізиці, 2 вид., М., 1978;
- 10) *Виноградов В. I.*, Дискретні інформаційні системи в наукових дослідженнях, М., 1976;
- 11) *Курочкин С. С.*, Системы КАМАК - ВЕКТОР, М., 1981;
- 12) *Кузьмичов Д. А., Радкевич I. А., Смирнов А. Д.*, Автоматизація експериментальний ДОСЛІДЖЕНЬ, М., 1983;
- 13) Автоматическое управление в химической промышленности: Учебник для вузов. Под ред. *Е.Г. Дудникова.* – М.; Химия 1987. 368 с
- 14) *Батунер Л.М., Позин М.Е.* Математические методы в химической технологии. М.: «Химия», 1968, 823с.