

**О. М. Васілевський,
В. О. Поджаренко**



**ПРАКТИКУМ З МЕТРОЛОГІЧНОГО НАГЛЯДУ
ЗА ЗАСОБАМИ ВИМІРЮВАННЯ**

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

**О. М. Васілевський,
В. О. Поджаренко**

**ПРАКТИКУМ З МЕТРОЛОГІЧНОГО НАГЛЯДУ
ЗА ЗАСОБАМИ ВИМІРЮВАННЯ**

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів напрямку підготовки 0913 – “Метрологія та вимірювальна техніка”. Протокол № __ від «__» _____ 2007 р.

Вінниця ВНТУ 2007

УДК 621.317
В 19

Рецензенти:

В. В. Кухарчук, доктор технічних наук професор
Р. Н. Кветний, доктор технічних наук професор
В. М. Лисогор, доктор технічних наук професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Васілевський О. М., Поджаренко В. О.

В 19 Практикум з метрологічного нагляду за засобами вимірювання.
Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2007. - 87 с.

В практикумі розглянуті фундаментальні основи метрологічного нагляду за засобами вимірювань в характерних практичних задачах. Посібник розроблений у відповідності з планом кафедри та програмою дисципліни "Метрологічний нагляд за засобами вимірювання" для студентів та спеціалістів метрологічного напрямку.

УДК 621.317

© О.Васілевський, В. Поджаренко, 2007

З М І С Т

ВСТУП	4
1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО НАГЛЯДУ	6
1.1 Види випробувань ЗВТ	8
1.2 Види та методи повірок ЗВТ	11
1.3 Методика виконання вимірювань	16
2 ПРАКТИЧНІ РОБОТИ ТА ЗАВДАННЯ	24
Практична робота №1 Визначення статистичних характеристик процесу дрейфу метрологічних характеристик ЗВ	24
Практична робота №2 Визначення міжповірочного інтервалу за нормованими показниками метрологічної надійності шляхом встановлення дійсних значень	26
Практична робота №3 Визначення міжповірочного інтервалу шляхом визначення придатності ЗВ до застосування за нормами стабільності	28
Практична робота №4 Визначення міжповірочного інтервалу шляхом встановлення придатності ЗВ до застосування за характеристиками похибок, що перевищують поріг допустимих значень	30
Практична робота №5 Оцінювання показників надійності ЗВ ...	33
Практична робота №6 Методика нормування числових значень показників контрольних випробувань	39
Практична робота №7 Оцінка точності ЗВ на основі концепції невизначеності вимірювань	44
Практична робота №8 Методика перерахунку характеристик похибок в характеристики невизначеностей вимірювань	51
Практична робота №9 Випробування ЗВ на основі методу контрольного листа	55
Практична робота №10 Контроль якості товару на основі методу контрольних карт	62
Література	70
Додатки	71

ВСТУП

Темпи оновлення знань в галузі метрології, перегляду і прийняття нових нормативних документів з питань метрології та метрологічного нагляду дуже швидкі. Із зростанням значення метрології як науки для її успішного засвоєння необхідні спеціалізовані навчальні посібники, що відображають специфіку метрологічного нагляду та контролю за засобами вимірювання. Вивчення питань метрологічного нагляду та контролю ускладнюється відсутністю підручників та навчальних посібників, що відображають сучасний стан розвитку метрології і метрологічної діяльності як у світі, так і в Україні. Тому під час підготовки матеріалів навчального посібника автори використали сучасні міжнародні документи з питань метрології, що діють в Україні та нормативні документи, які визначають організаційно правові основи державної метрологічної системи. Рівень викладеного матеріалу вимагає попередніх знань студентами основ метрології, первинних вимірювальних перетворювачів, фізики, математики і теорії ймовірності в обсязі навчальних програм.

Викладене нижче дозволяє зрозуміти подальший розвиток метрології - науки про вимірювання - та сприяє оволодінню питаннями, які пов'язані із метрологічною діяльністю в галузі метрологічного нагляду, що займається підтвердженням відповідності стану засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), а також інших вимог, пов'язаних з якістю продукції.

В процесі експлуатації засобів вимірювання (ЗВ) одна або декілька метрологічних характеристик ЗВ, змінюючись, може вийти за межі, що нормуються в технічній документації для конкретного приладу, і тим самим перевести ЗВ в непрацездатний стан.

Такого роду відмови небезпечні через скритність їх прояву, а значить, і неможливості реєстрації і оперативного усунення, а збиток від зриву технологічного процесу внаслідок відмови ЗВ може досягати величезних розмірів.

Сказане підкреслює важливість проблеми підвищення надійності ЗВ та його складових – метрологічної надійності.

Одною з основних форм підтримки ЗВ в метрологічно справному стані є періодичний контроль ЗВ (повідка або калібрування). Очевидно, що періодичність повірки ЗВ повинна бути узгоджена з вимогами до їх надійності.

Тривалість міжповірочних інтервалів ЗВ регламентується нормативними документами з метрології, що встановлюють інтервали повірок для великих груп ЗВ. Недоліком діючої системи метрологічного обслуговування ЗВ є те, що вона не враховує ні конкретних особливостей окремих приладів, що входять в загальну групу, для якої встановлений єдиний міжповірочний інтервал, ні реальних умов їх експлуатації. В результаті частина приладів, що мають високу стабільність метрологічних

характеристик повіряється частіше, ніж це необхідно, виходячи з вимог до точності і надійності ЗВ, що збільшує витрати на виробництво повірочних робіт. З іншого боку, деяка частина приладів повіряється дуже рідко, що приводить до використання ЗВ, які не задовольняють встановленим вимогам до точності.

Таким чином, виникає необхідність у встановленні науково обгрунтованих термінів періодичної повірки ЗВ, які враховували б реальні умови експлуатації і специфіку приладів, а також були б узгоджені з вимогами до надійності.

При коректуванні міжповірочного інтервалу враховується, в першу чергу, економічна сторона в ухваленні того або іншого рішення: порівнюються витрати на проведення повірочних робіт з можливими збитками у разі браку продукції із-за використання метрологічно несправного ЗВ.

Тому визначення міжповірочного інтервалу є важливою процедурою не тільки в цілях забезпечення єдності вимірювань, але й в економічному управлінні метрологічною службою.

Коректування міжповірочного інтервалу ЗВ є прерогативою підприємств – власників ЗВ.

Для ЗВ, які підлягають повірці, допускається можливість скорочення міжповірочного інтервалу керівниками метрологічної служби в залежності від конкретних умов їх експлуатації за дозволом державної метрологічної служби. Це свідчить про те, що розробники міжповірочного інтервалу спираючись на теоретичну надійність ЗВ, декларовану заводами-виробниками, розуміють залежність їх надійності від умов експлуатації, але вирішення проблеми перекладають на плечі експлуатаційників.

А для ЗВ, що підлягають калібруванню міжкалібрувальний інтервал можна і зменшувати, і збільшувати за розсудом власників ЗВ, при умові що вибраний інтервал буде оптимальним як з точки зору забезпечення необхідної точності, так і з економічного боку питання.

В ході виконання практичних робіт студент повинен навчитися застосовувати різні методи визначення і коректування міжповірочного інтервалу ЗВ, підвищити рівень знань та закріпити знання, отримані при вивченні теоретичного курсу.

Основною метою даних практичних робіт є знайомство і вивчення методів визначення і коректування міжповірочного інтервалу робочих ЗВ, а також оцінювання та вираження результатів вимірювання на основі концепції невизначеності.

1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО НАГЛЯДУ

Державний метрологічний нагляд здійснюється з метою перевірки дотримання вимог Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», інших нормативно-правових актів і нормативних документів з метрології. Державний метрологічний нагляд здійснює державна метрологічна служба в установленому Держстандартом України порядку.

Об'єктами державного метрологічного нагляду та контролю є:

- засоби виміральної техніки (ЗВТ);
- методики виконання вимірювань (МВВ);
- кількість фасованого товару в упаковках.

Державний метрологічний нагляд та контроль стосовно ЗВТ та МВВ поширюється на вимірювання, результати яких використовуються під час:

- робіт із забезпечення охорони здоров'я;
- робіт із забезпечення захисту життя та здоров'я громадян;
- контролю якості та безпеки продуктів харчування і лікарських засобів;
- контролю стану навколишнього природного середовища;
- контролю безпеки умов праці;
- геодезичних і гідрометеорологічних робіт;
- торговельно-комерційних операцій і розрахунків між покупцем і продавцем, у тому числі у сферах побутових і комунальних послуг, телекомунікаційних послуг і послуг поштового зв'язку;
- податкових, банківських і митних операцій;
- обліку енергетичних і матеріальних ресурсів;
- робіт із забезпечення технічного захисту інформації;
- робіт, що виконуються за дорученням органів прокуратури та правосуддя.

До державного метрологічного контролю належать:

- уповноваження та атестація у державній метрологічній системі;
- державні випробування ЗВТ і затвердження їх типів;
- державна метрологічна атестація ЗВТ;
- повірка ЗВТ [1].

До державного метрологічного нагляду належать:

- державний метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірювань;
- державний метрологічний нагляд за кількістю фасованого товару в упаковках.

Єдність вимірювань – стан вимірювань, за яким результати вимірювань подаються в узаконених одиницях і похибки або невизначеності вимірювань відомі із заданою ймовірністю.

Невизначеність вимірювання – параметр, пов’язаний з результатом вимірювання, що характеризує дисперсію значень, які можуть бути достатньо обґрунтовано приписані вимірюваній величині.

Метрологічний нагляд за забезпеченням єдності вимірювань реалізує положення Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» і встановлює загальні вимоги щодо порядку проведення, розгляду та оформлення його результатів під час здійснення діяльності, пов’язаної з виробництвом, ввезенням, застосуванням, повіркою, калібруванням, ремонтом, прокатом та продажем ЗВТ, застосуванням атестованих методик виконання вимірювань та правильності проведення вимірювань.

Основними завданнями державного метрологічного нагляду є:

- здійснення перевірок за додержанням органами виконавчої влади та підприємствами, організаціями та установами вимог та положень Закону України;

- визначення відповідності стану і правильності застосування ЗВТ;
- визначення наявності і правильності застосування атестованих МВВ;

- визначення правильності використання результатів вимірювань;
- здійснення перевірок за діяльністю метрологічних служб органів виконавчої влади та підприємств, які акредитовані на право проведення повірки та калібрування для інших підприємств, організацій та громадян – суб’єктів підприємницької діяльності.

Державний метрологічний нагляд здійснюється у формі перевірок, які бувають:

- за всіма напрямками діяльності органу виконавчої влади або підприємства, на які поширюється державний метрологічний нагляд;

- цільовими, спрямованими на перевірку дотримання вимог Закону, стандартів, метрологічних норм і правил;

- за окремими напрямками діяльності органу виконавчої влади або підприємства, що належать до однієї або декількох сфер поширення державного метрологічного нагляду;

- самостійними, які проводяться органами Державної метрологічної служби;

- спільними, які проводяться разом з іншими контрольними або правоохоронними органами (за їх згодою).

Перевірки можуть проводитись за участю фахівців державних наукових метрологічних центрів, інших територіальних органів, метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, підприємств, установ і організацій. Перевірки можуть бути плановими, позаплановими і повторними. Планові перевірки проводяться відповідно до річних і квартальних планів Держстандарту чи його територіальних органів, але не частіше одного разу на рік в одному органі виконавчої влади або на підприємстві з повідомленням суб’єкта, що перевіряється, не пізніше ніж

за 10 календарних днів до початку перевірки. Позапланові перевірки можуть проводитися на підставі скарг споживачів продукції та послуг, письмових звернень регіональних (місцевих) органів виконавчої влади або контролюючих та правоохоронних органів, а також за окремими завданнями Держстандарту. Скарга споживача повинна подаватися в письмовому вигляді та містити відомості про його прізвище, ім'я, по батькові, місце проживання. Повторні перевірки проводяться з метою контролю усунення порушень, виявлених під час попередньої перевірки.

1.1 Види випробувань ЗВТ

Засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), призначені для серійного виробництва в Україні або для ввезення на територію України партіями, підлягають державним приймальним та контрольним випробуванням з метою затвердження типів цих засобів або контролю їх відповідності затвердженим типам і обов'язковим вимогам нормативних документів з метрології. Затверджені типи ЗВТ заносяться Держстандартом України до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки.

Державними випробуваннями ЗВТ є дослідження, які виконуються державною метрологічною службою (МС) або за її дорученням, зразків ЗВТ, що призначені для серійного виробництва чи серійно випускаються, або зразків, що призначені для імпорту партіями, для встановлення їх відповідності вимогам нормативних документів (НД), а метрологічна атестація ЗВТ – дослідження ЗВТ, які не підлягають державним випробуванням, з метою визначення їх метрологічних характеристик і видачі відповідного документу. Державні випробування ЗВТ проводяться з метою забезпечення єдності вимірювань в Україні, установлення на виробництво, серійного виробництва та ввезення ЗВТ, які відповідають потребам господарства країни та захисту інтересів споживачів вимірювальної техніки [1, 2].

Державні випробування ЗВТ проводяться метрологічними центрами і територіальними органами (ТО) Держстандарту України, акредитованими на право проведення цих випробувань. Державні приймальні випробування ЗВТ, на які не поширюється державний метрологічний нагляд, можуть проводитися МС центральних органів виконавчої влади підприємств і організацій, акредитованими на право проведення цих випробувань. На ЗВТ, які виробляються в Україні та внесені до Державного реєстру ЗВТ, а також на їх експлуатаційну документацію підприємства-виробники повинні наносити знак Державного реєстру. Якщо із-за особливостей конструкції неможливо або недоцільно наносити знак Державного реєстру на ЗВТ, вказаний знак наноситься тільки на експлуатаційну документацію.

ЗВТ, які не підлягають державним випробуванням і на які поширюється державний метрологічний нагляд, підлягають державній метрологічній атестації (МА), яка здійснюється метрологічними центрами і ТО Держстандарту України, акредитованими на право проведення випробувань чи метрологічної перевірки ЗВТ. Результати державної МА, оформлені в установленому порядку, мають чинність на всій території України.

Державні приймальні випробування ЗВТ – це державні випробування зразків нових ЗВТ, що призначені для серійного виробництва, або зразків, призначених для імпорту партіями, які виконуються для затвердження їх типу.

Державні контрольні випробування ЗВТ – державні випробування зразків ЗВТ, що серійно випускаються чи імпортуються партіями з метою підтвердження їх відповідності встановленим вимогам.

Основними завданнями державних випробувань ЗВТ є:

- установлення відповідності розроблених ЗВТ потребам господарства України, вимогам технічних завдань на розроблення та відповідним НД;

- перевірка вірності вибору методів та ЗВТ, а також забезпеченості ЗВТ методами та засобами повірки при випуску з виробництва та у експлуатації;

- перевірка відповідності ЗВТ вимогам безпеки та охорони навколишнього середовища;

- перевірка відповідності ЗВТ, що серійно випускаються, вимогам НД та затвердженим описам їх типів [1].

Позитивні результати державних приймальних випробувань є підставою для видачі підприємству-виробнику дозволу на випуск установчої серії ЗВТ, або затвердження типу ЗВТ.

Матеріали з випробувань ЗВТ подаються за ДСТУ 3400-96. Допускається суміщення державних контрольних випробувань з кваліфікаційними та періодичними випробуваннями. Результати державних випробувань ЗВТ, які проведені національними метрологічними органами інших країн, можуть визнаватися Держстандартом України у відповідності до міждержавних угод, учасницею яких є Україна.

Організацію та проведення державних випробувань ЗВТ забезпечує Держстандарт України, який:

- затверджує державні стандарти та інші НД, які встановлюють порядок і методику проведення державних випробувань ЗВТ;

- проводить акредитацію організацій Держстандарту України та інших МС на право проведення державних випробувань ЗВТ;

- планує проведення державних випробувань ЗВТ і розглядає матеріали за їх результатами;

- затверджує типи ЗВТ, видає підприємствам виробникам сертифікати затвердження типу ЗВТ;
- забороняє серійне виробництво та випуск в обіг ЗВТ при негативних результатах державних контрольних випробувань;
- вилучає з Державного реєстру типи ЗВТ, які не відповідають вимогам НД;
- затверджує технічні завдання на розробку робочих еталонів;
- призначає державні комісії з проведення державних приймальних випробувань робочих еталонів;
- організує видання офіційних інформаційних даних про ЗВТ, внесених до Державного реєстру і допущених до випуску в обіг в Україні.

При проведенні державних приймальних випробувань ЗВТ які призначаються до серійного виробництва в Україні, перевіряють: відповідність ЗВТ потребам господарства України; відповідність номенклатури та способів нормування МХ ЗВТ нормам і правилам та вимогам стандартів, що поширюються на них, вірогідність методів контролю МХ, а також можливість контролю МХ ЗВТ при серійному виробництві, після ремонту та в експлуатації; відповідність нормування вимог безпеки та охорони навколишнього середовища і методів їх контролю вимогам стандартів; відповідність технічних характеристик поданих зразків ЗВТ вимогам технічного завдання на розробку або документу, що його замінює, проекту технічних умов та (або) стандартів на ЗВТ конкретного типу; можливість проведення первинної і періодичної повірки згідно з проектом НД на методику повірки з обов'язковим випробуванням операцій повірки; повноту та вірність викладення експлуатаційної документації; відповідність нормованих показників надійності та методів їх контролю, наведених в проекті технічних умов, вимогам стандартів; повноту програми, правильність методики та вірогідність результатів попередніх випробувань.

Підставою для виключення типу ЗВТ з Державного реєстру ЗВТ є рішення науково-технічної комісії з метрології Держстандарту України, які приймаються за пропозиціями органів державних метрологічних служб України. Держстандарт України направляє відомості про вилучені із Державного реєстру типи ЗВТ міністерствам (відомствам) та організаціям, які є виробниками та основними споживачами цих ЗВТ.

Державним приймальним і контрольним випробуванням не підлягають ЗВТ, призначені для використання фізичними особами, що не є суб'єктами підприємницької діяльності, у побутовій сфері для їх власних потреб, на які не поширюється державний метрологічний нагляд. Порядок встановлення приналежності засобів вимірювальної техніки до таких, що призначені для використання у побутовій сфері та не підлягають

державним приймальним і контрольним випробуванням, визначається нормативно-правовим актом Держстандарту.

Державні приймальні випробування засобів вимірювальної техніки проводяться метрологічними центрами і територіальними органами, уповноваженими на проведення цих випробувань. Державні контрольні випробування засобів вимірювальної техніки, призначених для серійного виробництва в Україні, проводяться територіальними органами, уповноваженими на проведення цих випробувань. Державні контрольні випробування ЗВТ, призначених для ввезення на територію України партіями, проводяться метрологічними центрами та територіальними органами, уповноваженими на проведення державних приймальних випробувань цих засобів.

Державні приймальні випробування ЗВТ, на які не поширюється державний метрологічний нагляд, можуть проводитися головними та базовими організаціями метрологічних служб центральних органів виконавчої влади, уповноваженими на проведення цих випробувань.

Інформація про затверджені типи ЗВТ, а також відомості про виключення затверджених типів ЗВТ з Державного реєстру підлягає публікації в офіційних інформаційних виданнях Держстандарту України.

1.2 Види та методи повірок ЗВТ

ЗВТ є технічними засобами, які використовуються під час вимірювань та характеризуються нормованими метрологічними характеристиками. Надійність ЗВТ визначається їх здатністю витримувати метрологічні параметри в регламентованих межах. Вихід за ці межі класифікується як метрологічна відмова. Відповідність метрологічних характеристик їх нормованим значенням встановлюють у процесі повірки ЗВТ. Всі ЗВТ, що виготовляються або підлягають ремонту, ввозяться із-за кордону, знаходяться в експлуатації та на зберіганні, підлягають повірці.

Повірка ЗВТ - це встановлення придатності ЗВТ до застосування на основі експериментального визначення його метрологічних характеристик і контролю їх відповідності встановленим нормам. Метрологічну перевірку ЗВТ здійснюють органи державної і відомчої служби згідно з «Законом України про метрологію та метрологічну діяльність» та ДСТУ 2708-99. Державна повірка здійснюється органами метрологічної служби. Обов'язковій державній повірці підлягають [3]:

- ЗВТ, що використовуються в органах державної метрологічної служби;
- ЗВТ, що випускаються з виробництва або використо-вуються на підприємствах як зразкові;
- ЗВТ, що застосовуються як робочі для вимірювань, результати яких використовуються для обліку матеріальних цінностей, палива, енергії, в

торгівлі, для захисту довкілля та охорони праці;

- ЗВТ, що використовуються для вимірювань, результати яких служать підставою для реєстрації національних та міжнародних спортивних рекордів.

Відомчій повірці підлягають ЗВТ, що не ввійшли у наведений вище перелік ЗВТ, які підлягають обов'язковій державній повірці. Відомчу повірку здійснюють підрозділи метрологічної служби підприємств. Конкретна номенклатура ЗВТ, що підлягають відомчій повірці, встановлюється відомчою метрологічною службою підприємства і територіальним органом Держстандарту. Право на здійснення повірки конкретних видів ЗВТ надається територіальному органу Держстандарту.

Відповідно до Державної системи забезпечення єдності вимірювань повірка може бути:

- первинною;
- періодичною;
- позачерговою;
- інспекційною;
- експертною;
- вибірковою.

Первинна повірка ЗВТ здійснюється при випуску ЗВТ з виробництва або після ремонту, а також при ввезенні ЗВТ із-за кордону партіями. Первинній перевірці підлягає кожен екземпляр ЗВТ.

Періодичній повірці підлягають ЗВТ, що знаходяться в експлуатації або на зберіганні, через встановлений проміжок часу (міжповірочний інтервал).

Позачерговій повірці підлягають ЗВТ, що знаходяться в експлуатації або на зберіганні. Вона виконується у таких випадках:

- якщо необхідно переконатися у придатності ЗВТ до застосування;
- при пошкодженні клейма, пломби або втрат документів, що засвідчують проходження ЗВТ первинної або періодичної повірки;
- при введенні в експлуатацію ЗВТ після зберігання, упродовж якого не могла бути виконана періодична повірка;
- при передачі ЗВТ на тривале зберігання, коли закінчилась половина встановленого для них міжповірочного інтервалу.

Терміни виконання позачергової повірки призначаються незалежно від термінів періодичних повірок.

Інспекційна повірка ЗВТ виконується для виявлення придатності ЗВТ до застосування при здійсненні державного метрологічного нагляду та відомчого контролю за станом і використанням ЗВТ органами метрологічних служб.

Експертна повірка здійснюється при виникненні спірних питань щодо метрологічних характеристик, справності та придатності ЗВТ до застосування, а також правильності їх експлуатації. Експертну повірку

виконують органи державної метрологічної служби на основі письмових вимог (заяв) суду, прокуратури, міліції, державного арбітражу, підприємств тощо.

Вибіркова повірка здійснюється для групи ЗВТ, що вибрані з партії певним чином. За її результатами визначають придатність усієї партії.

Повірку розпочинають із зовнішнього огляду ЗВТ, при якому виявляють основні технічні характеристики, що позначені на шкалі та корпусі приладу у вигляді умовних позначень або знаків. Метою зовнішнього огляду також є виявлення механічних дефектів, які можуть привести в подальшому до недопустимої похибки або до порушення його працездатності. Під час зовнішнього огляду також контролюють комплектність ЗВТ, наявність та стан кабелів і ін.

Повірку ЗВТ здійснюють двома методами:

- поелементно;
- комплектно.

Поелементна повірка – повірка, під час якої метрологічні характеристики ЗВТ визначають за метрологічними характеристиками його окремих частин або елементів.

При поелементній повірці визначають метрологічні характеристики кожного вимірювального перетворювача. Потім на основі відомих функціональних залежностей між вимірювальними перетворювачами визначають сумарні метрологічні характеристики ЗВТ, що перевіряється. Поелементна повірка є досить складною і трудомісткою.

Комплектна повірка – повірка, під час якої метрологічні характеристики ЗВТ визначають безпосередньо, як для єдиного цілого без визначення метрологічних характеристик окремих його частин.

Перевагу слід віддавати комплектній повірці, як простішій та ефективнішій і з достовірнішими результатами повірки. Поелементну повірку ЗВТ виконують тоді, коли комплектну повірку неможливо здійснити, наприклад, за відсутності зразкових ЗВТ, невідповідності їх вимог до точності перевірки або до границь вимірювань тощо. Поелементна повірка є обов'язковою для тих ЗВТ, в яких складові частини мають прономовані метрологічні характеристики. Наприклад, у вимірювачах температури окремо перевіряють первинний перетворювач (термоелектричний або терморезистивний) і вторинний прилад.

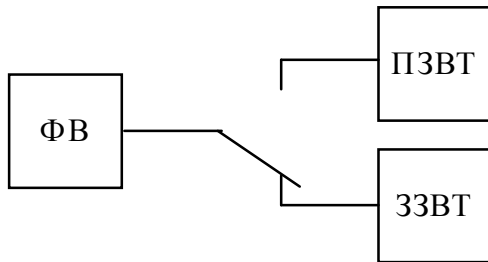
Комплектна повірка може здійснюватися методами, схемні реалізації яких представлені на рис. 1.1 [3].

На сьогоднішній день визначення міжповірочного інтервалу можна проводити за такими основним напрямками:

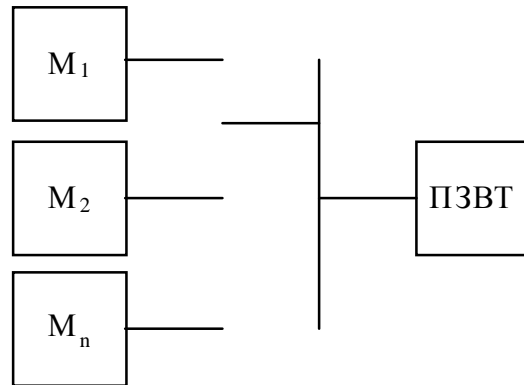
- визначення міжповірочного інтервалу на основі статистики відмов;
- визначення міжповірочного інтервалу на основі економічного критерію;

- довільне призначення первинного міжповірочного інтервалу з подальшим коректуванням його на протязі всього терміну експлуатації приладу.

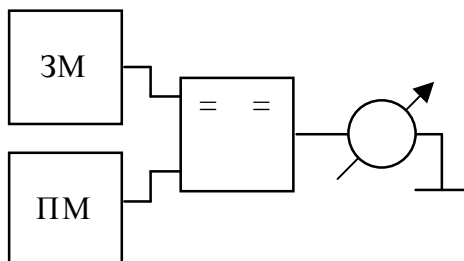
Метод зразкових приладів - а)



Метод зразкових мір - б)



Метод зіставлення - в)



Метод зразкових сигналів - г)

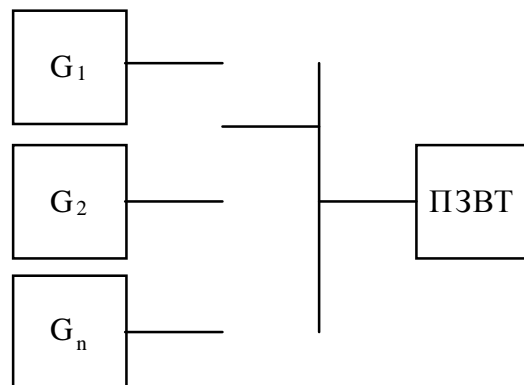


Рисунок 1.1 – Схемні реалізації повірок ЗВТ: ФВ – фізична величина; ПЗВТ – ЗВТ, що повіряється; ЗЗВТ – зразковий ЗВТ; M_n – міри; G_n – генератори зразкових сигналів; ПМ – міра, що повіряється; ЗМ – зразкова міра

Визначення міжпопірочного інтервалу на основі статистики відмов ефективний, якщо відомі показники метрологічної надійності ЗВТ. При визначенні міжпопірочного інтервалу першим способом в якості критеріїв – нормованих показників рекомендується застосовувати такі характеристики:

- поріг допустимих значень довірчих меж нестабільності метрологічних характеристик ЗВ v_p при заданій довірчій вірогідності P ;

- поріг допустимих значень вірогідності метрологічної справності ЗВ P_{min} у момент чергової повірки;

- поріг допустимих значень коефіцієнта метрологічної справності ЗВ K_{\min} , який дорівнює середній частці міжповірочного інтервалу, протягом якої ЗВ знаходилося в метрологічно справному стані.

Вибір конкретного критерію залежить від способу повірки. У даному практикумі розглянемо три основних способи повірки:

а) встановлення дійсних значень або градування всіх ЗВ, що надійшли на повірку (далі – перший спосіб повірки);

б) визначення придатності ЗВ до застосування за нормами стабільності (із забракуванням тих ЗВ, зміна дійсного значення або градувальної характеристики яких за міжповірочним інтервалом перевищило межу допустимої нестабільності, що встановлена для ЗВ даного типу) при визнанні того, що градування ЗВ є придатним (далі – другий спосіб повірки);

в) визначення придатності ЗВ до застосування із забракуванням тих ЗВ, характеристика похибки яких перевищує за абсолютним значенням поріг її допустимих значень, встановлений для ЗВ даного типу (далі – третій спосіб повірки).

Критерій v_p необхідно застосовується при першому способі повірки.

Критерії P_{\min} і K_{\min} необхідно застосовуються при другому і третьому способах повірки.

При отриманні початкових даних для визначення міжповірочного інтервалу можливі наступні джерела інформації:

- випробування ЗВ або його окремих блоків;
- дані про нестабільність елементів ЗВ;
- показники надійності ЗВ, що нормуються або підтверджені випробуваннями;
- результати повірок ЗВ.

Таким чином, для розрахунку міжповірочного інтервалу конкретного типу ЗВ необхідно заздалегідь вибрати:

- критерій призначення міжповірочного інтервалу;
- спосіб повірки ЗВ і відповідний нормований показник;
- яким способом будуть отримані початкові дані.

До початкових даних, необхідних для розрахунку міжповірочного інтервалу, крім нормованих показників метрологічної надійності, відносяться статистичні характеристики процесу дрейфу метрологічних характеристик ЗВ. Їх отримання залежить від способу реєстрації результатів повірки ЗВ.

Значення міжповірочного інтервалу вибираються із стандартного ряду: 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 15; 18; 21; 24; 30; 36; 42; 48; 54.

1.3 Методика виконання вимірювань

Підвищення достовірності результатів вимірювань з відомою похибкою (невизначеністю) або з похибкою, що не перевищує допустимих меж, є одним з найважливіших умов забезпечення єдності вимірювань. З цією метою розробляються методики виконання вимірювань (МВВ).

Методика виконання вимірювань – сукупність операцій і правил, виконання яких забезпечує отримання результатів вимірювань з відомою похибкою або невизначеністю. З цього визначення випливає, що під МВВ розуміють технологічний процес вимірювання, тому не слід плутати МВВ і документ на МВВ.

Не всі МВВ можуть бути описані або регламентовані документом на МВВ. Наприклад, такі прості вимірювання, як вимірювання тиску за допомогою манометрів із вказівником, електричних величин щитовими приладами, лінійно-кутові вимірювання, вимірювання маси і багатьох інших величин за допомогою простих ЗВ, не вимагають документованих МВВ. Необхідність документації на МВВ встановлює розробник конструкторської, технологічної або проектної документації. Або ж розробку документа на МВВ може вимагати замовник.

1.3.1 Розробка методики виконання вимірювань. Процедура розробки МВВ включає:

- розробку та затвердження технічного завдання (ТЗ) на МВВ;
- формування початкових даних для розробки;
- вибір (розробка) методу і ЗВ;
- проведення випробувань і затвердження типу ЗВ;
- вибір (розробка) методів і засобів повірки (калібрування) ЗВ, що використовуватимуться;
- розробку методів оперативного контролю точності вимірювань;
- розробку і експертизу документа на МВВ;
- атестацію МВВ;
- стандартизацію МВВ;
- затвердження документа на МВВ.

Розробка, узгодження і затвердження технічного завдання на МВВ здійснюють в тому випадку, якщо пропонується регламентувати МВВ у вигляді окремого документа.

У технічному завданні на МВВ зазвичай указують такі вимоги:

- призначення МВВ;
- межі вимірювань;
- межі похибки вимірювання, що допускається;
- характеристики об'єкту вимірювання;
- умови вимірювання;
- вид індикації і форми реєстрації результатів вимірювань;
- вимоги до автоматизації вимірювальних процедур;

- вимоги до забезпечення безпеки виконання робіт, тощо.

Основні початкові дані для розробки МВВ вказуються в ТЗ на розробку. Якщо за тими чи іншими причинами ТЗ відсутнє, то для розробки МВВ необхідні початкові дані, що перераховані вище. Крім того як початкові дані можуть знадобитися такі відомості:

- про наявність засобів вимірювання, зокрема затверджених типів;
- про наявність інших технічних засобів, зокрема засобів обчислювальної техніки, які можуть використовуватись під час вимірювань;
- про наявність еталонів, стандартних зразків складу і властивостей речовин і матеріалів, атестованих сумішей для повірки (калібрування) ЗВ;
- про кваліфікацію операторів, які виконують вимірювання, тощо.

При розробці МВВ одним з основних є вимоги до точності вимірювань. Без початкових вимог до точності вимірювань розробка МВВ втрачає сенс. Вимоги до точності вимірювань можуть бути вказані шляхом посилання на документ, що регламентує цю точність.

Проте часто такі вимоги в явному вигляді відсутні, і їх встановлюють у вигляді допустимих меж значень абсолютної і відносної похибок вимірювань, виходячи з вимог до точності і достовірності контролю або похибок результатів випробувань.

Найбільш поширеним способом вираження вимог до точності вимірювань є межі допустимого інтервалу, в якому із заданою вірогідністю P повинна знаходитися похибка вимірювання.

Часто на практиці як початкові дані для встановлення вимог до точності вимірювань при контролі служить допуск на контрольований параметр. Вважається задовільним співвідношення між межею допустимої похибки вимірювання, і межею симетричного поля допуску 1:5 або 1:4.

Методи і ЗВ вибирають у відповідності з нормативними документами, що діють, по вибору методів і ЗВ даного вигляду. За відсутності таких документів вибір методів і ЗВ здійснюють відповідно до загальних рекомендацій МІ 1967-89 «Вибір методів і ЗВ. Загальні положення». Вибір методів і ЗВ представляє собою багатоваріантну задачу. Як правило цю задачу вирішують ітераційним шляхом. Заздалегідь вибирають методи і ЗВ при цьому керуються оптимальною точністю, мінімальним впливом ЗВ на вимірюваний об'єкт, відповідністю умов проведення вимірювань вимогам експлуатації засобів вимірювань. Після чого проводять оцінювання похибки вимірювань. Якщо оцінені похибки вимірювань істотно менші допустимих меж, то вибраний метод і ЗВ є нерациональними з економічних міркувань. Якщо ж оцінені похибки вимірювань перевищують допустимі межі, то необхідно вибрати точніші метод і ЗВ. Якщо ж оцінені похибки вимірювань не перевищують допустимих меж, і не в значній мірі менше цих меж, то похибки вимірювань вважають задовільними і їх характеристики приписують даній МВВ.

При вибиранні ЗВ слід керуватися інформацією про затвердження типу ЗВ, яку можна отримати в Держстандарті України.

Випробування з метою затвердження типу ЗВ проводять, якщо типи ЗВ, використовуваних в МВВ, не затверджені і не зареєстровані в Державному реєстрі ЗВТ.

Вибір (розробку) методів і засобів повірки (калібрування) ЗВ здійснюють, якщо для використовуваних в МВВ ЗВ відсутні нормативні або рекомендаційні документи на повірку (калібрування).

Методи оперативного контролю точності вимірювань розробляються для методик кількісного хімічного аналізу і автоматизованих систем. Процедури оперативного контролю в методиці кількісного хімічного аналізу розробляються за МІ 23350-95 «Внутрішній контроль якості результатів кількісного хімічного аналізу». Оперативний контроль порушення точності результатів вимірювань в автоматизованих системах здійснюється за допомогою непрямих показників:

- за наслідками тестування автоматизованих систем управління або їх підсистем;
- за неув'язками в балансі матеріальних і енергетичних потоків в системах трубопроводів або мереж;
- за розбіжностями свідчень дублюючих ЗВТ;
- за виходом вимірних значень параметрів за установлені межі при нормальному протіканні технологічного процесу;
- за перевищенням швидкості зміни результатів вимірювань максимально фізично можливої швидкості зміни параметрів.

1.3.2 Розробка, експертиза і затвердження документа на МВВ.

Характер нормативних документів (НД) на методики виконання вимірювань залежить від того, де проводяться вимірювання та використовуються їх результати: у двох або більше галузях народного господарства; у одній галузі (відомстві); на одному підприємстві (у організації).

Як НД на методики виконання вимірювань результати яких використовуються в двох або більше галузях народного господарства, розробляються ДСТУ або методичні вказівки Держстандарту по методиках виконання вимірювань. ДСТУ розробляється в тому разі, якщо ЗВ, що використовуються внесені до державного реєстру ЗВТ. Як НД на методики виконання вимірювань, результати яких використовуються в одній галузі народного господарства, розробляються галузеві методики виконання вимірювань, а на МВВ, результати яких застосовуються на одному підприємстві, - стандарти підприємств на методики виконання вимірювань. У нормативних документах на методики виконання вимірювань приводять початкові вимоги до точності вимірювань. Без початкових вимог до точності вимірювань розробка МВВ втрачає свій сенс.

У документах на МВВ, в яких передбачено використання конкретних екземплярів ЗВ та інших технічних засобів, додатково указують заводські (інвентарні) номери екземплярів ЗВ та інших технічних засобів.

Найменування НД на МВВ повинне відображати специфіку вимірюваної величини (діапазон, найменування продукції, тощо).

Документ на методики виконання вимірювань повинен містити вступну частину і такі розділи:

- виміряні або приписані характеристики похибок (невизначеностей) вимірювань;

- метод (методи) вимірювань;
- засоби вимірювань, допоміжні пристрої, матеріали, розчини;
- вимоги до безпеки оточуючого середовища;
- вимоги до кваліфікації операторів;
- умови вимірювань;
- підготовка до виконання вимірювань;
- виконання вимірювань;
- опрацювання (обчислення) результатів вимірювань;
- контроль точності результатів вимірювань;
- оформлення результатів вимірювань.

Вступна частина встановлює призначення і область застосування документа на методики виконання вимірювань.

У призначенні МВВ вказують:

- область застосування (об'єкт вимірювання, зокрема найменування продукції і контрольованих параметрів, а також область використання - для одного підприємства, для галузі, для мережі галузевих і міжгалузевих лабораторій, тощо);

- найменування (при необхідності розгорнене визначення) вимірюваної величини;

- характеристики вимірюваної величини (діапазон і частотний спектр, значення інформативних параметрів, тощо);

- характеристики об'єкту вимірювання, якщо вони можуть впливати на похибку вимірювань (вихідний опір, склад проби і т. д.).

У розділі «Вимоги до похибки вимірювання» або «Характеристики похибок вимірювань» указують числові значення потрібних або приписаних характеристик похибок вимірювань або посилання на документ, в якому вони приводяться.

У розділі «Засоби вимірювань, допоміжні пристрої, матеріали, розчини» міститься перелік засобів вимірювань і інших технічних засобів, що використовуються при вимірюванні. У ньому разом з найменуванням вказуються позначення державних стандартів або технічних умов, типів (моделей) засобів вимірювань, їх метрологічні характеристики (класи точності, межі допустимих похибок вимірювань і ін.).

У розділ «Метод вимірювань» входить опис прийомів порівняння вимірюваної величини з одиницею у відповідності з принципом, покладеним в основу методу. Якщо методика передбачає можливість вимірювання фізичної величини декількома методами, то їх потрібно висловлювати окремими розділами.

У розділі «Вимоги безпеки до безпеки оточуючого середовища» містяться вимоги, виконання яких забезпечує безпеку праці, норми виробничої санітарії і охорони навколишнього середовища. При наявності нормативних документів, що регламентують вимоги до безпеки, виробничої санітарії і охорони навколишнього середовища, наводять посилання на ці документи.

У розділі «Вимоги до кваліфікації операторів» містяться відомості про рівень кваліфікації (професія, освіта, практичний досвід, тощо) осіб, що допускаються до вимірювань. Якщо точність вимірювань істотно залежить від суб'єктивних якостей операторів, то в методиці виконання вимірювань висловлюють особливі вимоги до оператора.

У розділі «Умови виконання вимірювань» перераховуються впливні величини, які задають у вигляді номінальних значень або меж діапазонів можливих значень впливних величин. При необхідності вказують граничні швидкості змін або інші характеристики впливних величин, а також обмеження на протяжність вимірювань, тощо.

Якщо при встановленні початкових даних заздалегідь відомо, що вимірювання проводитимуться за допомогою вимірювальних систем, засоби вимірювань яких знаходяться в різних місцях, то умови вимірювань вказують для місць розташування всіх засобів вимірювань, що входять до системи.

У розділі «Підготовка до виконання вимірювань» приводять описи підготовчих робіт, які проводять перед виконанням вимірювань. До цих робіт відносять визначення значень впливних величин, збірку схем, підготовку засобів вимірювань до роботи, прогрів, встановлення нуля, калібрування, підготовку проб, тощо.

У розділі «Виконання вимірювань» викладають послідовність вимірювальних операцій, періодичність і число вимірювань, описи операцій, вимоги до представлення проміжних і кінцевих результатів (кількість значущих цифр, тощо).

У розділі «Опрацювання (обчислення) результатів вимірювань» вказують способи опрацювання результатів вимірювань або дають посилання на НД по обробці результатів вимірювань.

У розділі «Контроль точності результатів вимірювань» наводять відомості про нормативи, методи і засоби проведення первинного (оперативного) і періодичного (статистичного) контролю похибок результатів вимірювань, що виконуються даними МВВ.

Проекти нормативних документів на МВВ підлягають метрологічній експертизі.

Метрологічна експертиза МВВ – це аналіз і оцінка вибору методів і ЗВ, операцій і правил проведення вимірювань і обробки їх результатів з метою встановлення відповідності МВВ метрологічним вимогам, що пред'являються.

При експертизі документа на МВВ доцільно проаналізувати наскільки призначення МВВ і вимірювана величина відповідають вимірювальному завданню або контрольованому параметру об'єкту, а похибка вимірювань заданим вимогам. Результати аналізу використовують при необхідності для уточнення призначення МВВ, формулюванню вимірюваної величини і приписаних характеристик похибки вимірювань.

Експертиза документа на МВВ включає оцінювання повноти і чіткості вимог до умов вимірювань. При цьому може виникнути необхідність обмеження області застосування МВВ.

При експертизі документа на МВВ, яка використовуватиметься в сферах розповсюдження державного метрологічного нагляду, необхідно перевірити затвердження типів ЗВ. Така перевірка може бути здійснена за Державним реєстром ЗВТ, який знаходиться у Держстандарті України.

У деяких ЗВ аналізують повноту і обґрунтованість вимог до метрологічних характеристик.

Якщо представлені розрахунки або результати експериментального оцінювання похибки (невизначеності) вимірювань, то ці матеріали піддають аналізу з метою обліку всіх істотних чинників, що впливають на похибку (невизначеність) вимірювань, і визначення коректності методів її оцінювання.

Проекти державних стандартів, в яких викладають методики виконання вимірювань, що призначені для застосування в сферах державного метрологічного контролю і нагляду, повинні піддаватися метрологічній експертизі в державних наукових метрологічних центрах (ДНМЦ). Інші документи на методики виконання вимірювань, вживані в сферах розповсюдження державного метрологічного контролю і нагляду, піддають метрологічній експертизі в ДНЦМ за погодженням між Держстандартом і відомствами або підприємствами та ДНМЦ. Документи на методики виконання вимірювань, що не використовуються в сфері поширення державного метрологічного контролю і нагляду, піддають метрологічній експертизі, в порядку встановленому у відомстві або на підприємстві.

При експертизі документа на методики виконання вимірювань доцільно проаналізувати об'єкт вимірювання з метою визначення, наскільки призначення МВВ відповідає значенням вимірюваної величини. Експертиза документа на методики виконання вимірювань включає

визначення повноти і чіткості вимог до умов вимірювань, а також повноти і обґрунтованості вимог до метрологічних характеристик ЗВ.

1.3.3 Стандартизація і атестація МВВ. Методики виконання вимірювань перед їх введенням в дію повинні бути стандартизовані і атестовані. Стандартизацію МВВ здійснюють відповідно до вимог Державної системи стандартизації.

Під атестацією методики виконання вимірювань розуміють процедуру встановлення і підтвердження відповідності МВВ пред'явленим до неї метрологічним вимогам.

На атестацію МВВ подають:

- початкові дані (технічне завдання) на розробку МВВ, зокрема вимоги до точності вимірювань і умов вимірювань;
- документ (проект документа) на МВВ;
- програму і результати експериментального або розрахункового оцінювання характеристик похибки (невизначеності) вимірювань, якщо воно проводилося при розробці МВВ.

Атестацію МВВ здійснюється шляхом метрологічної експертизи документації, теоретичних або експериментальних досліджень МВВ.

Спосіб атестації визначається складністю МВВ і досвідом атестації аналогічних МВВ.

Теоретичні і експериментальні дослідження МВВ в більшій своїй частині полягають в оцінюванні похибки (невизначеності) вимірювань експериментальним або розрахунковим способом, зокрема за допомогою імітаційного моделювання.

Проекти державних стандартів, в яких викладені МВВ, призначені для застосування в сферах розповсюдження державного метрологічного нагляду, повинні піддаватися метрологічній експертизі в державних наукових метрологічних центрах (ДНМЦ).

На метрологічну експертизу в ДНМЦ подають проект державного стандарту і за запитом ДНМЦ матеріали розробки і досліджень або атестації МВВ (звіти, протоколи), в яких повинні бути приведені відомості, за якими встановлювалася відповідність похибки вимірювань заданим вимогам.

Вказані відомості можуть бути викладені в пояснювальній записці до проекту стандарту.

При позитивних результатах метрологічної експертизи ДНМЦ оформляє і передає розробникові стандарту висновок.

Дану експертизу не проводять, якщо ДНМЦ раніше атестував МВВ, що стандартизується. Для атестації такої МВВ в ДНМЦ направляють опис (розділ проекту документа) МВВ з вказівкою про подальше включення в державний стандарт. Свідоцтво про атестацію МВВ представляють разом з іншими документами для ухвалення державного стандарту.

У пояснювальній записці до комплекту документів, що представляються в Держстандарт для затвердження державного стандарту, в якому регламентовані МВВ, повинні указуватися висновки по результатам проведених досліджень, атестації або експертизи МВВ, що дозволяють встановити відповідність МВВ вимогам, які пред'являються, в тому числі похибки вимірювань. Держстандарт України здійснює контроль наявності матеріалів, що підтверджують відповідність похибки (невизначеності) вимірювань та інших характеристик заданим вимогам або приписаним значенням.

Інші документи на МВВ, що використовуються в сферах розповсюдження державного метрологічного нагляду, піддають метрологічній експертизі в ДНМЦ за погодженням між Держстандартом, підприємством (організацією) та ДНМЦ.

Атестацію методики виконання вимірювань, що використовується не в сфері розповсюдження державного метрологічного нагляду, мають право здійснювати: ДНМЦ; територіальні органи Держстандарту України; метрологічні служби та інші організаційні структури по за забезпеченню єдності вимірювань підприємств (організацій), що розробляють або застосовують методики виконання вимірювань.

1.3.4 Метрологічний нагляд за атестованими МВВ. Атестовані методики виконання вимірювань, що використовуються у сфері поширення державного метрологічного контролю і нагляду, підлягають державному метрологічному нагляду. А за атестованими МВВ, що використовуються поза сферою поширення державного метрологічного контролю і нагляду, метрологічний нагляд здійснює метрологічна служба підприємства (організації), що застосовує МВВ.

При здійсненні метрологічного нагляду перевіряють:

- наявність документа, що регламентує МВВ, з відміткою або свідоцтвом про атестацію;
- відповідність ЗВ, що використовуються та інших технічних засобів, умов вимірювань, порядку підготовки і виконання вимірювань, опрацювання і оформлення результатів вимірювань, вказаних в документі, що регламентує МВВ;
- дотримання вимог щодо процедури контролю похибки результатів вимірювань за МВВ, якщо така процедура регламентована;
- відповідність кваліфікації операторів, які виконують вимірювання, регламентованій в документі на МВВ;
- дотримання вимог по безпеці праці і екологічній безпеці при виконанні вимірювань.

При здійсненні державного метрологічного нагляду перевіряють наявність переліків документів на МВВ, а також в період впровадження стандарту – планів (графіків) відміни і перегляду документів на МВВ.

2 ПРАКТИЧІ РОБОТИ ТА ЗАВДАННЯ

Практична робота №1

Визначення статистичних характеристик процесу дрейфу метрологічних характеристик ЗВ

1 Теоретичні відомості

Якщо при проведенні повірок (випробувань) реєструють значення метрологічних характеристик (МХ) кожного екземпляра ЗВ, то статистичні характеристики процесу дрейфу МХ ЗВ знаходяться таким чином.

Залежність математичного очікування нестабільності МХ ЗВ за час (напрацювання) t розраховується за формулою

$$m(t) = \sum_{k=0}^p m_k t^k, p \leq 5. \quad (2.1)$$

Залежність ЗВ за час (напрацювання) t можна знайти з виразу:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \exp(rt), \quad (2.2)$$

де r – кількість подій за певний час.

Залежність коефіцієнта асиметрії розподілу нестабільності МХ ЗВ за час (напрацювання) t знаходиться за формулою

$$\gamma(t) = \sum_{k=0}^p \gamma_k t^k, p \leq 5, |\gamma(t)| \leq 2. \quad (2.3)$$

Для визначення вищезгаданих залежностей необхідно заздалегідь розрахувати вибіркові характеристики розподілу нестабільності МХ ЗВ:

$$m_i(t_i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \varepsilon_j(t_i), i = 1 \dots n, \quad (2.4)$$

$$\sigma_i(t_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (\varepsilon_j(t_i) - m_i(t_i))^2}{N - 1}}, \quad (2.5)$$

$$\gamma_i(t_i) = \frac{\sum_{j=1}^N (\varepsilon_j(t_i) - m_i(t_i))^3}{N \sigma_i(t_i)^3}, \quad (2.6)$$

де ε_j – приріст МХ за проміжок часу t_i ;

n – кількість перевірок одного ЗВ;

N – об'єм партії ЗВ, для яких визначається міжповірочний інтервал.

При $30 < N < 100$ оцінюється тільки $m_i(t_i)$ і $\sigma_i(t_i)$, а $\gamma_i(t_i)$ приймають рівним нулю.

Після визначення вибірових характеристик розподілу нестабільності МХ ЗВ приймаємо значення t_1 рівним першому проміжку напрацювання (у місяцях), значення $t_2=2t_1$ і значення $t_3=3t_1$, а потім підбираються апроксимуючі поліноми для функцій $m_i(t_i)$, $\sigma_i(t_i)$, $\gamma_i(t_i)$ за формулами (2.1 – 2.6), де порядки поліномів вибирають з ряду від 1-го до 5-ти.

Постійні коефіцієнти m_k , γ_k , σ_0 і r підбираються методом найменших квадратів (МНК) для функцій $m(t)$, $\gamma(t)$ і $\ln \sigma(t)$ відповідно. Методика розрахунку коефіцієнтів m_k , σ_0 і r за допомогою МНК наведена в додатку Ж.

2 Завдання до практичної роботи

Нехай в якості початкових даних для визначення дрейфу метрологічних характеристик були використані результати періодичного калібрування термопар типу ХА за 1998-2001 роки. Початкове значення міжповірочного інтервалу складає $t_i=12$ місяців. Межа основної похибки $\pm 4^\circ\text{C}$. Результати калібрування ЗВ приведені в додатку А.

За результатами калібрування були отримані статистичні характеристики процесу дрейфу метрологічних характеристик термопар.

Залежність математичного очікування нестабільності метрологічних характеристик термопар ХА за час t по даним проведених досліджень має вигляд $m(t) = 1,306 + 0,0012t - 1,45 \cdot 10^{-3}t^2$.

Залежність середнього квадратичного відхилення (СКВ) нестабільності МХ ЗВ за час t має вигляд $s(t) = 1,7 \exp(0,011t)$.

За даними, які наведено в додатку А, визначіть:

- а) залежність математичного очікування нестабільності МХ за час t ;
- б) залежність середньоквадратичного відхилення МХ ЗВ за час t ;
- в) побудуйте графік залежності математичного очікування;
- г) побудуйте графік залежності середньоквадратичного відхилення.

3 Контрольні запитання

1. З якою метою визначається дрейф метрологічних характеристик засобів вимірювання?

2. Наведіть вираз для розрахунку математичного очікування та середньоквадратичного відхилення нестабільності метрологічних характеристик засобів вимірювання за час t .

3. В чому полягає суть методу найменших квадратів?

Практична робота №2

Визначення міжповірочного інтервалу за нормованими показниками метрологічної надійності шляхом встановлення дійсних значень

1 Теоретичні відомості

Перший спосіб повірки полягає у встановленні дійсних значень або градування всіх ЗВ, що надійшли на повірку (див. підрозділ 1.2, ст. 15).

Як вже згадувалось в першій частині, при повірці першим способом необхідно використати критерій v_p (поріг допустимих значень довірчих меж нестабільності метрологічних характеристик ЗВ при заданій довірчій вірогідності P).

Корегування міжповірочного інтервалу необхідно проводити в такій послідовності:

1. За статистичними характеристиками процесу дрейфу метрологічних характеристик ЗВ обчислюють [4]:

$$v_p(T_i) = \max\{v_{p1}(T_i), v_{p2}(T_i)\}, \quad (2.7)$$

де

$$v_{p1}(T_i) = m(T_i) + \frac{z_p - U(T_i)}{1 - z_p U(T_i)} \sigma(T_i) \exp(-R(T_i)); \quad (2.8)$$

$$v_{p2}(T_i) = m(T_i) - \frac{z_p + U(T_i)}{1 + z_p U(T_i)} \sigma(T_i) \exp(-R(T_i)), \quad (2.9)$$

де z_p – квантиль нормального закону розподілу при довірчій ймовірності P ;
 T_i – початкове значення міжповірочного інтервалу.

Якщо $30 < N < 100$, то параметри $U(T_i)$ і $R(T_i)$ приймаються рівними нулю.

2. Із стандартного ряду міжповірочних інтервалів його друге значення T_2 вибирають рівним найближчому значенню до першого міжповірочного інтервалу T_1 .

Якщо $v_p(T_i) \gg v_p$ (v_p поріг допустимих значень довірчих меж, що заданий виробником), то потрібно вибрати $T_2 < T_1$.

Якщо $v_p(T_i) \ll v_p$, то потрібно вибрати $T_2 > T_1$.

3. Для вибраного T_2 перераховують $v_p(T_2)$ за формулами (2.7 – 2.9).

4. Якщо

$$v_p \in [v_p(T_1), v_p(T_2)], \quad (2.10)$$

то наближення закінчуються, і міжпівірочний інтервал приймають рівним $\min(T_1, T_2)$.

Якщо остання умова (2.10) не виконується, то вибирають $T=T_3$, який найближче до T_2 і повторюють операції за пунктами 1 – 4.

5. Наближення закінчуються на i -тому кроці, при якому буде вперше виконана умова (2.10). Міжпівірочний інтервал в цьому випадку приймають рівним $T = \min(T_i, T_{i+1})$.

Якщо ж умову (2.12) не вдається виконати, після суттєвої зміни міжпівірочного інтервалу, то вибирають $T=T_i$, яке найближче до міжпівірочного інтервалу T_2 .

Приклад. Поріг допустимих значень довірчих меж, що заданий виробником v_p , для термопар типу ХА прийmemo рівним 0,65.

За отриманими аналітичними залежностями $m(t)$ і $\sigma(t)$ в результаті розв'язку практичної роботи №1 визначаємо $v_p(12)=1,037$.

Це значення порівнюємо з порогом допустимих значень довірчих меж нестабільності метрологічних характеристик термопар ХК. Оскільки $v_p(T_1) > v_p$, то зменшуємо значення T_1 . Наступне значення T_2 вибирають із стандартного ряду, що найближче до T_1 . Відповідно до ряду, що наведений в першому розділі (ст. 15) інтервал T_2 приймаємо рівним 11 місяцям.

Далі проводимо обчислення з новим значенням T_2 . Отримане значення $v_p(11)=0,97$ знову порівнюємо з $v_p(T_2)=0,97 > v_p$. Оскільки це значення знову більше від заданого виробником v_p , то T_3 приймаємо рівним 10 місяцям, знову визначаємо $v_p(10)$, і так до тих пір, поки не виконається умова (2.10).

Дана умова для термопар, що розглядаються виконується при $T_7 = 6$ місяців.

2 Завдання до практичної роботи

За результатами, отриманими в практичній роботі №1, розрахуйте міжпівірочний інтервал для ЗВ, при умові, що ЗВ повіряється першим способом (див. ст. 15). Значення v_p наведені в додатку Б (варіант вибирається за списком у журналі), а квантиль z_p виберіть з довідникової таблиці для ймовірності, що відповідає початковому значенню v_p .

3 Контрольні запитання

1. Що характеризує параметр v_p ?
2. В чому полягає суть методу визначення міжпівірочного інтервалу за критерієм v_p ?
3. Чому для першого способу перевірки нормується параметр v_p ?

Практична робота №3

Визначення міжповірочного інтервалу шляхом визначення придатності ЗВ до застосування за нормами стабільності

1 Теоретичні відомості

Другий спосіб повірки полягає у визначенні придатності ЗВ до застосування за нормами стабільності (із забракуванням тих ЗВ зміна дійсного значення яких за міжповірочний інтервал перевищили поріг допустимої нестабільності, встановлений для ЗВ даного типу) при визнанні того, що градування ЗВ є придатним.

Коректування міжповірочного інтервалу ЗВ, що повіряються на основі визначення придатності ЗВ до застосування за нормами стабільності, можна проводити за двома критеріями: P_{\min} або K_{\min} .

P_{\min} – межа допустимих значень вірогідності метрологічної справності ЗВ у момент чергової повірки (або межа середньої частки ЗВ, забракованих при повірці, $E=1-P_{\min}$).

K_{\min} – межа допустимих значень коефіцієнта метрологічної справності засобу вимірювання, що дорівнює середній частці міжповірочного інтервалу, на протязі якої засіб вимірювання знаходився в метрологічно справному стані [4].

При отриманні початкових даних для визначення міжповірочного інтервалу на основі визначення придатності ЗВ до застосування за нормами стабільності можливі такі джерела інформації:

- випробування ЗВ або його окремих частин;
- дані про нестабільність елементів ЗВ;
- показники надійності ЗВ, що нормуються чи ті, що підтверджені випробуваннями;
- результати повірок ЗВ.

Коректування міжповірочного інтервалу за критерієм P_{\min} необхідно проводити в такій послідовності:

1. Розрахунок межі допустимих значень коефіцієнта метрологічної справності засобу вимірювання K_{\min} здійснюється на основі використання даних про межі допустимих значень вірогідності метрологічної справності P_{\min} у момент чергової повірки засобу вимірювання за формулою:

$$K_{\min}(T_i) = 1 - 0,01 \left(0,5P_{\min}(0) + \sum_{i=1}^k P_{\min}(t_i) + 0,5P_{\min}(T_i) \right), \quad (2.11)$$

$$\text{де } P_{\min}(T_i) = 0,5 \left\{ \operatorname{Erf} \left(\frac{\sqrt{2} \Delta - m(T_i) + \sigma(T_i) \exp(-R(T_i)) U(T_i)}{2 \Delta - m(T_i) U(T_i) + \sigma(T_i) \exp(-R(T_i))} \right) - \operatorname{Erf} \left(\frac{\sqrt{2} \Delta + m(T_i) - \sigma(T_i) \exp(-R(T_i)) U(T_i)}{2 \Delta + m(T_i) U(T_i) - \sigma(T_i) \exp(-R(T_i))} \right) \right\};$$

$$\operatorname{Erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt; \quad t=0,01kT; \quad k=1 \dots 100.$$

При $30 < N < 100$ значення $U(T_i)$ та $R(T_i)$ приймають рівними нулю.

2. Розрахувавши $K_{\min}(T_1)$, з членів стандартного ряду міжповірочних інтервалів вибирають значення T_2 .

3. Якщо $K_{\min}(T_1) > K_{\min}$, то ЗВ знаходиться в метрологічно справному стані, і міжповірочний інтервал залишається незмінним, якщо ж $K_{\min}(T_1) < K_{\min}$, то міжповірочний інтервал потрібно зменшувати та виконувати розрахунки за пунктами 1-3.

4. Операції по знаходженню $P_{\min}(T_i)$ для $i=2 \dots k$ повторюють до тих пір, поки не буде виконана умова

$$K_{\min}(T_i) \geq K_{\min}. \quad (2.12)$$

Якщо умова (2.12) виконується, то наближення закінчуються і міжповірочний інтервал в цьому випадку приймають рівними $T = \min(T_i, T_{i+1})$.

Якщо ж умова (2.12) не виконується, після суттєвого зменшення міжповірочного інтервалу, то вибирають $T = T_i$, яке найближче до міжповірочного інтервалу T_2 .

2 Завдання до практичної роботи

За результатами, отриманими в практичній роботі №2 (значенням T_i), розрахуйте міжповірочний інтервал, при умові, що ЗВ повіряється другим способом. Значення K_{\min} і P_{\min} (при $P_{\min} = P_{\min}(0) = P_{\min}(t_i)$) наведені в додатку Б (відповідно до номеру за списком), а значення Δ прийміть рівним 4°C .

3 Контрольні запитання

1. Що характеризує параметр P_{\min} ?
2. В чому полягає суть методу визначення міжповірочного інтервалу за критерієм P_{\min} ?
3. Що характеризує параметр K_{\min} ?
4. В чому полягає суть методу визначення міжповірочного інтервалу за критерієм K_{\min} ?
5. Наведіть вираз для розрахунку межі допустимих значень коефіцієнта метрологічної справності засобів вимірювання та поясніть його складові.
6. Чому дорівнює межа допустимих значень коефіцієнта метрологічної справності засобу вимірювання?

Практична робота №4

Визначення міжповірочного інтервалу шляхом встановлення придатності ЗВ до застосування за характеристиками похибок, що перевищують поріг допустимих значень

1 Теоретичні відомості

Третій спосіб перевірки полягає у визначенні придатності ЗВ до застосування із бракуванням тих ЗВ, характеристика похибки яких перевищує за абсолютним значенням поріг її допустимих значень, встановлений для ЗВ даного типу.

Коректування міжповірочного інтервалу ЗВ, що перевіряються третім способом, можна проводити за двома критеріями: P_{\min} або K_{\min} [4].

В даній роботі розглянемо метод коректування за критерієм P_{\min} .

Коректування міжповірочного інтервалу за критерієм P_{\min} здійснюється в такій послідовності:

1. Обчислюють $P_{\min}(T_1)$ за формулою:

$$P_{\min}(T_1) = \frac{\sum_{j=1}^N S_j(T_1) \exp(-j\lambda T_1)}{\left(1 + \sum_{j=1}^N G_j(T_1) \exp(-j\lambda T_1)\right) \exp(-\lambda T_1)}, \quad (2.13)$$

де $G_j(T_1) = \max\{0,5(\text{Erf}[B_j(T_1)] - \text{Erf}[-A_j(T_1)]); 0\}$,

$S_j(T_1) = \max\{0,5(\text{Erf}[D_j(T_1)] - \text{Erf}[-C_j(T_1)]); 0\}$,

$B_j(T_1)$, $A_j(T_1)$, $D_j(T_1)$, $C_j(T_1)$ – розраховують послідовно для $j = 1 \dots N$ за виразами:

$$A_1(T_1) = \frac{\Delta_c + m_1(T_1)}{\sigma_1(T_1)\sqrt{2}}, \quad (2.14)$$

$$B_1(T_1) = \frac{\Delta_c - m_1(T_1)}{\sigma_1(T_1)\sqrt{2}}, \quad (2.15)$$

$$C_1(T_1) = \frac{\Delta + m_1(T_1)}{\sigma_1(T_1)\sqrt{2}}, \quad (2.16)$$

$$D_1(T_1) = \frac{\Delta - m_1(T_1)}{\sigma_1(T_1)\sqrt{2}}. \quad (2.17)$$

Для $j = 2 \dots N$ за формулами:

$$A_j(T_1) = \min \left(\frac{\Delta_c + m_j(T_1)}{\sigma_j(T_1)\sqrt{2}}; A_{j-1}(T_1) \right), \quad (2.18)$$

$$B_j(T_1) = \min \left(\frac{\Delta_c - m_j(T_1)}{\sigma_j(T_1)\sqrt{2}}; B_{j-1}(T_1) \right), \quad (2.19)$$

$$C_j(T_1) = \min \left(\frac{\Delta + m_j(T_1)}{\sigma_j(T_1)\sqrt{2}}; C_{j-1}(T_1) \right), \quad (2.20)$$

$$D_j(T_1) = \min \left(\frac{\Delta - m_j(T_1)}{\sigma_j(T_1)\sqrt{2}}; D_{j-1}(T_1) \right), \quad (2.21)$$

$$\text{Erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt. \quad (2.22)$$

2. Розрахувавши $P_{\min}(T_1)$, вибирають з членів стандартного ряду міжповірного інтервалу значення T_2 .

3. Якщо $P_{\min}(T_1) > P_{\min}$, то $T_2 > T_1$, тобто міжповірочний інтервал збільшується; якщо $P_{\min}(T_1) < P_{\min}$, то $T_2 < T_1$, тобто міжповірочний інтервал можна зменшити.

4. Повторюють операції по знаходженню $P_{\min}(T_i)$ для $i = 2 \dots n$ до тих пір поки не буде виконано умову

$$P_{\min} \in [P_{\min}(T_{n-1}); P_{\min}(T_n)]. \quad (2.23)$$

Якщо умова (2.23) виконується, то наближення закінчуються, і міжповірочний інтервал в цьому випадку приймають рівними $T = \min(T_{n-1}, T_n)$.

Якщо умова (2.23) не виконується, то вибирають міжповірочний інтервал $T = T_3$, і повторюють операції по пунктам 1 – 4.

Якщо ж умову (2.23) все ж таки не вдається виконати, після суттєвої зміни міжповірного інтервалу, то вибирають $T = T_i$, що найближче до міжповірного інтервалу T_2 .

Приклад. Електромагнітний витратомір повіряється третім способом при нормуванні P_{\min} .

Міжповірочний інтервал складає 48 місяців, $P_{\min} = 0,85$, $\Delta_c = \Delta = 0,9\%$. Очікувана кількість повірок $N = 7$, а вибіркові характеристики мають такі значення:

$$m_j(T_1) = (0,166; 0,535; 1,426; 2,838; 4,772; 7,227; 10,204)^T;$$

$$s_j(T_1) = (0,234;0,601;1,545;3,972;10,211;26,249;67,48)^T;$$

$$A = C = (3,223;1,688;1,065;0,666;0,393;0,219;0,116)^T;$$

$$B = D = (2,221;0,429;-0,241;0;-0,345;-0,345;-0,345)^T;$$

$$Erf(-A) = Ert(-C) = (-1;-0,983;-0,868;-0,653;-0,421;-0,243;-0,131)^T;$$

$$Erf(B) = Ert(D) = (0,998;0,456;-0,266;-0,374;-0,374;-0,374;-0,374)^T;$$

$$G = S = (0,999;0,72;0,301;0,139;0,023;0;0)^T;$$

$$P_{\min}(T_1) = 0,7.$$

Розрахувавши $P_{\min}(T_1)$ вибирають з членів ряду, який наведено в першому розділі, значення T_2 . Якщо $P_{\min}(T_1) > P_{\min}$, то $T_2 > T_1$, тобто міжповірочний інтервал збільшується; якщо $P_{\min}(T_1) < P_{\min}$, то $T_2 < T_1$, тобто міжповірочний інтервал зменшується. В даному випадку $P_{\min}(T_1) < P_{\min}$ ($0,7 < 0,85$), це означає, що міжповірочний інтервал необхідно скоротити.

Потім повторюють операції по знаходженню $P_{\min}(T_i)$ для $i=2\dots n$ до тих пір, поки не буде виконано умову (2.23). Для розрахунку оптимального міжповірочного інтервалу електромагнітного витратоміру необхідно виконати вищезгадані операції 6 разів для досягнення цієї умови.

Міжповірочний інтервал визначають з умови $T = \min(T_{n-1}, T_n)$.

Таким чином, отримуємо $T=18$ місяців.

2 Завдання до практичної роботи

За результатами, отриманими в практичній роботі №1 (значеннями $m(t)$, $\sigma(t)$) і практичній роботі №2 (значенням T_i), розрахуйте міжповірочний інтервал ЗВ, за умови, що ЗВ повіряється третім способом. Значення P_{\min} наведені в додатку Б (варіант вибирається за списком у журналі), очікувану кількість повірок N кожного екземпляру ЗВ прийміть рівною одиниці ($N=1$), а значення похибок рівними $\Delta_c = \Delta = 4^\circ\text{C}$.

3 Контрольні запитання

1. За якими критеріями можна здійснювати корегування міжповірочних інтервалів, використовуючи третій спосіб повірки.

2. Наведіть вираз для обчислення коефіцієнта P_{\min} та поясніть звідки беруться його складові.

3. Поясніть принцип визначення міжповірочного інтервалу та яка умова при цьому має виконуватися.

Практична робота №5

Оцінювання показників надійності ЗВ

1 Теоретичні відомості

Під надійністю, згідно міжнародного стандарту ІСО 8402-86, розуміється здатність засобів вимірювання виконувати необхідні функції в заданих умовах на протязі заданого періоду часу. Надійність – складна властивість, що є комплексним показником, який включає такі показники, як:

- безвідмовність;
- довговічність;
- ремонтпридатність;
- збережність.

Показники безвідмовності характеризують властивість об'єкту безперервно зберігати працездатність на протязі деякого часу або деякого напрацювання. До них відносяться: вірогідність безвідмовної роботи $P(t)$; інтенсивність відмов $\lambda(t)$; параметр потоку відмов $\varphi(t)$; середнє напрацювання до першої відмови T_{cp} ; напрацювання на відмову T ; умовне середнє напрацювання до першої відмови T_{cp}^* .

Вірогідністю безвідмовної роботи називається вірогідність того, що в межах певного часу в ЗВ не відбудеться відмови. Вона визначається виразом

$$P(t) \approx \frac{N(t)}{N_0}, \quad (2.24)$$

де $N(t)$ – кількість ЗВ, що працювали на початку проміжку часу;

N_0 – кількість ЗВ, що працювали в кінці проміжку часу.

Інтенсивністю відмов називають вірогідність відмови ЗВ, що не ремонтується за одиницю часу при умові, що відмова донині не виникла. Вона може бути визначена за такою формулою

$$\lambda(t) \cong \frac{\Delta n}{N(t)\Delta t}, \quad (2.25)$$

де Δn – кількість ЗВ, що відмовили за час t ;

$N(t)$ – кількість справних ЗВ в кінці проміжку часу;

Δt – проміжок часу, що іде після t , на якому визначається λ .

Середнім напрацюванням до першої відмови T_{cp} є середнє значення напрацювань ЗВ в партії до першої відмови. Воно визначається за виразом

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}, \quad (2.27)$$

де T_i – час роботи i -го ЗВ до першої відмови;
 n – кількість ЗВ в партії.

Параметром потоку відмов $\varphi(t)$ називається середня кількість відмов ЗВ, що ремонтуються за одиницю часу для моменту часу, який розглядається. Він визначається за формулою

$$\varphi(t) = \frac{\Delta n}{N_0 \Delta t}, \quad (2.28)$$

де N_0 – кількість ЗВ, що працювали в проміжку часу;
 Δn – кількість відмов.

Необхідно врахувати, що при визначенні величини $\varphi(t)$ ЗВ, що відмовляють протягом часу Δt , ремонтуються.

В цьому випадку $N_0 = N(t)$.

Напрацюванням на відмову T називається середнє значення напрацювання ЗВ, що ремонтуються між відмовами

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n T_{cp_i}}{n}, \quad (2.29)$$

де T_{cp_i} – середнє значення напрацювання на відмову i -го ЗВ;
 n – кількість ЗВ в партії, яка досліджується.

Значення T_{cp_i} визначається за такою формулою

$$T_{cp_i} = \frac{\sum_{j=1}^m T_{ij}}{m}, \quad (2.30)$$

де T_{ij} – середній час роботи i -го ЗВ між j та $j+1$ відмовами;
 m – число відмов i -го ЗВ.

При виборі показників надійності ЗВ необхідно користуватися класифікацією технічних пристроїв за різними ознаках (табл. 2.1).

Всі технічні пристрої прийнято класифікувати за конструктивною ознакою: тривалості експлуатації; тимчасовому режиму використання за призначенням; домінуючим чинникам при оцінюванні наслідків відмови.

Таблиця 2.1 – Класифікація конструктивних особливостей ЗВ

Конструктивні особливості ЗВ					
1. ЗВ, що не ремонтуються			2. ЗВ, що ремонтуються		
Протяжність експлуатації	Режим використання за призначенням	Домінуючий фактор при оцінюванні наслідків відмов	Протяжність експлуатації	Режим використання за призначенням	Домінуючий фактор при оцінюванні наслідків відмов
1. До відмови ЗВ	1. Безперервний	1. Відмова	1. До першої відмови	1. Безперервний	1. Відмова незалежно від тривалості простою
2. До порогового стану	2. Перервно-регулярний	2. Виконання або невиконання ЗВ заданих функцій в заданому об'ємі	2. До порогового стану	2. Перервно-регулярний	2. Невиконання ЗВ необхідних функцій в заданому об'ємі
3. До закінчення виконання ЗВ потрібної функції	3. Перервно-випадковий		3. До закінчення виконання ЗВ потрібної функції	3. Перервно-випадковий	4. До порогового значення в режимі очікування або до закінчення виконання потрібних функцій в режимі роботи
			4. Відмова і вимушена відмова		
					5. Невиконання ЗВ функцій в заданому об'ємі в будь-який момент початку роботи

Перший розряд шифру, якщо ЗВ не ремонтується, позначається цифрою 1, якщо ЗВ відноситься до ЗВ, що ремонтуються, то шифр позначається цифрою 2. Цифра 2-го розряду визначається тривалістю експлуатації, третього – тимчасовим режимом використання за призначенням та четвертого – домінуючим чинником при оцінюванні наслідків відмови.

Реальним умовам експлуатації ЗВ у відповідності з особливостями їх конструкції відповідає 31 класифікаційних шифрів ЗВ, які представлені в табл. 2.2. У ній всі вони розбиті на 10 варіантів, кожному з яких відповідають свої основні показники, що визначають надійність даних ЗВ.

Таблиця 2.2 – Класифікаційні шифри ЗВ

№ групи	Класифікаційний шифр групи ЗВ	Основні показники надійності ЗВ
1	2	3
1	1111	T_{cp} - середнє напрацювання до першої відмови
	1121	
	1131	
	2111	
	2121	
	2131	
2	1211	T_{cp}^* - умовне середнє напрацювання до першої відмови; T_d – ресурс або $T_{тр}$ – термін роботи
	1221	
	1231	
	2211	
	2221	
	2231	
3	1222	$P(t)$ – вірогідність безвідмовної роботи ЗВ за час t ; T_d або $T_{тр}$
	2222	
4	1312	$\lambda(t)$ - інтенсивність відмов; $P(t)$
	2312	
5	2411	$\varphi(t)$ - середнє значення параметрів відмов або T – напрацювання на відмову; T_d або $T_{тр}$
	2421	
	2431	
6	2413	T_d – ресурс або $T_{тр}$ – термін роботи
7	2423	K_r – коефіцієнт готовності; T_d – ресурс або $T_{тр}$ – термін роботи
	2433	
8	2414	$\varphi(t)$ і T ; T_d або $T_{тр}$
9	2424	$\varphi(t)$ або T ; K_r ; T_d або $T_{тр}$
10	2415	$\lambda(t)$; T ; T_d або $T_{тр}$
	2425	
	2435	
	2315	
	2325	
	2335	

Таким чином, для будь-якого ЗВ можна отримати відповідний йому класифікаційний шифр, що складається із чотиризначного числа.

Використовуючи класифікацію можна визначити шифр даного ЗВ і за допомогою табл. 2.2 по отриманому шифру вибрати основні показники надійності.

Наприклад, побутова апаратура (телевізор) відноситься до групи ремонтованих виробів (перша цифра шифру 2), експлуатується до граничного стану (друга цифра шифру 4), тимчасовий режим експлуатації–переривчато випадковий (третья цифра шифру 3), домінуючим чинником при оцінюванні наслідків її відмови є відмова незалежно від тривалості простою (четверта цифра шифру 1).

Таким чином, для телевізора нами отриманий шифр 2431, і, виходить з табл. 2.2, що основними показниками надійності для телевізора є середнє значення параметра потоку відмов – $\phi(t)$ (або напрацювання на відмову T), ресурс T_d (або термін роботи – $T_{тр}$).

2 Завдання до практичної роботи

1. Виберіть засіб вимірювальної техніки з переліку, що наведений в табл. 2.3. Визначити основні показники надійності для даного виробу.

Таблиця 2.3 – Перелік ЗВТ

Варіант	Назва ЗВТ	Варіант	Назва ЗВТ
1	Магнітоелектричний логометр	11	Частотомір миттєвих значень
2	Електродинамічний ЗВ	12	Цифровий фазометр миттєвих значень
3	Електростатичний ЗВ	13	Частотомір середніх значень
4	Електромагнітний ЗВ	14	Цифровий вольтметр час-імпульсного перетворення
5	Феродинамічний ЗВ	15	Цифровий вольтметр послідовного наближення
6	Індукційний ЗВ	16	Еталон довжини
7	Конденсаторний частотомір	17	АЦП слідкуючого зрівноваження
8	Електродинамічний фазометр	18	Вимірювач параметрів електричних кіл
9	Світлопроменевий осцилограф	19	Вимірювальний трансформатор
10	Магнітоелектричний осцилограф	20	Звуковий генератор

2. Визначити значення показників надійності: $p(t)$, $\lambda(t)$, T_{cp} , $\varphi(t)$, T . Дані для знаходження показників надійності візьміть з таблиць В1 – В5 додатка В (варіант вибирається за списком у журналі).

3. Визначіть вірогідність безвідмовної роботи ЗВ, якщо при їх випробуванні протягом часу t_0 в кінці проміжку часу t_0 справних ЗВ залишилося $N(t)$. Кількість ЗВ тих, що піддавалися випробуванням N_0 . Дані візьміть з табл. В.1 додатка В.

4. Визначіть інтенсивність відмов, якщо в кінці проміжку часу були справними $N(t)$ виробів і за час Δt вишли з ладу Δn ЗВ. Дані для розв'язку візьміть з табл. В.2 додатка В.

5. Визначіть середнє напрацювання до першої відмови для b ЗВ в партії, якщо відомий час роботи i -го ЗВ до першої відмови. Дані для розв'язку візьміть з табл. В.3 додатка В.

6. Визначіть параметр потоку відмов, для 3-х ЗВ, якщо за час Δt 1-й ЗВ відмовив n_1 разів, другий ЗВ – n_2 , третій ЗВ – n_3 . Дані візьміть з табл. В.4 додатка В.

7. Визначіть напрацювання на відмову для трьох ЗВ. Нехай 1-й ЗВ справно працював перші t_{11} год., потім відмовив, і був відремонтованим. Після цього до другої відмови він працював t_{12} год., до третьої відмови – t_{13} год., і до четвертої відмови – t_{14} год. Другий ЗВ пропрацював до першої відмови – t_{21} год., до другої – t_{22} год., до третьої – t_{23} год. І, нарешті, третій ЗВ до першої відмови працював – t_{31} год., до другої – t_{32} год., до третьої – t_{33} год. І до четвертої – t_{34} год. Дані для розрахунку візьміть з табл. В.5 додатка В.

3 Контрольні запитання

1. Що називається надійністю?
2. Що називається вірогідністю безвідмовної роботи?
3. Що називається інтенсивністю відмов?
4. Що називається середнім напрацюванням до першої відмови?
5. Що називається параметром потоку відмов?
6. Що називається напрацюванням на відмову?
7. Які з вище перелічених показників застосовуються для ЗВ, що ремонтувалися?
8. Перерахуйте показники, що характеризують довговічність і дайте їх визначення.
9. Перерахуйте показники, що характеризують ремонтоздатність та дайте їх визначення.
10. Перерахуйте конструктивні ознаки технічних пристроїв.

Практична робота №6

Методика нормування числових значень показників контрольних випробувань

1 Теоретичні відомості

Під час контрольних випробувань ЗВ фактичні значення показників порівнюють із встановленими нормами. При встановленні норм можна використовувати формальний та імовірнісний методи.

Формальний метод заснований на порівнянні звідних характеристик вибірки з нормативом без урахування достовірності оцінки характеристик партії за вибіркою. Цей метод працює і в тому випадку, якщо рішення про точність ЗВ ухвалюється за результатами порівняння індивідуальних значень. В цьому випадку як норматив може бути прийняте якнайкраще (найбільше або найменше) вибіркоче значення за певний період.

Імовірнісний метод заснований на оцінці вибіркового значення параметра, що контролюється з урахуванням генеральної сукупності і порівнянні його із встановленим нормативом.

Оцінка контрольних випробувань залежатиме не тільки від використовуваного методу, але і від обґрунтованості та правильності встановлених норм. Тому необхідно удосконалювати методи розрахунку і встановлення норм.

Загальна методика встановлення норм повинна включати такі послідовно виконувані етапи:

- 1) вибір номенклатури показників;
- 2) розробка методів кількісної оцінки вибраного показника;
- 3) отримання і аналіз фактичних даних про нормований показник;
- 4) розрахунок і встановлення нормативу.

Розглянемо два останні етапи процесу нормування.

Перш за все необхідно визначити необхідний об'єм фактичних даних. Він залежить від необхідної точності і достовірності встановлення нормативу. Раніше вважалось, що число випробувань n , необхідне для встановлення норм, повинне бути не менше 10^3 або навіть 10^4 . На сьогоднішній день успішно використовують вибірки $n = 50 \dots 100$. Розроблені методи, що дозволяють вирішувати ці завдання за малими ($n \leq 5$) вибірками. Це пояснюється об'єктивними законами розвитку виробництва, коли, з одного боку різко зростає необхідність отримання оперативної інформації, а з іншого – збільшується складність і вартість випробувань.

Питання вибору мінімального числа випробувань, необхідного для встановлення норм, має вирішуватися у кожному конкретному випадку.

Орієнтовно об'єм фактичних даних можна визначити за формулою:

$$n \geq \frac{t^2 v_x^2}{\delta^2}, \quad (2.31)$$

де t – нормоване відхилення, що відповідає квантилю розподілу Стьюдента при довірчій імовірності $P=0,95$ або $P=0,99$, яке залежить від кількості випробувань n ;

v_x – коефіцієнт варіації показника якості, який нормується;

δ – задана відносна похибка вимірювання показника якості.

Для точнішого визначення об'єму вибірки слід враховувати, якого роду характеристика має бути нормованою. Вимірювання характеристик нерівномірності вимагає у багато разів більше випробувань, чим вимірювання середнього арифметичного з тією ж точністю.

Для визначення об'єму вибірки необхідно обчислити гарантовану похибку одноступінчатої вибірки.

Гарантована похибка $\Delta_{\bar{x}}$ середнього арифметичного визначається за формулою:

$$\Delta_{\bar{x}} = \frac{t\sigma_x}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}, \quad (2.32)$$

де N – максимальна кількість об'єктів, які складають партію (генеральну сукупність);

σ_x - вибіркове середньо квадратичне значення, яке розраховується за формулою

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (2.33)$$

Якщо $N \gg 20$, то формулу (2.32) можна записати у вигляді

$$\Delta_{\bar{x}} = \frac{t\sigma_x}{\sqrt{n-1}}. \quad (2.34)$$

Гарантовану похибку Δ_{σ_x} середньоквадратичного відхилення можна розрахувати з виразу:

$$\Delta_{\sigma_x} = \frac{(\sigma_x)_\Gamma \sqrt{2}}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}, \quad (2.35)$$

де $(\sigma_x)_\Gamma$ - середньоквадратичне відхилення для усієї партії:

$$(\sigma_x)_\Gamma = \frac{\bar{\sigma}_x}{C_n} \sqrt{\frac{n}{n-1}}, \quad (2.36)$$

де C_n – коефіцієнт, який залежить від n і визначається із табл. 2.4, для нормального закону розподілу;

$\bar{\sigma}_x$ - середнє значення середньоквадратичного відхилення за декількома вибірками.

Таблиця 2.4 – Значення коефіцієнта C_n при різній кількості досліджень

Значення коефіцієнта C_n при різній кількості досліджень n								
2	3	4	5	10	15	20	25	30 і більше
0,798	0,886	0,922	0,94	0,973	0,982	0,987	0,99	1,00

Якщо $N \gg 20$, то формула (2.36) набуває вигляду

$$\Delta_{\sigma_x} = \frac{\sqrt{2}(\sigma_x)_\Gamma}{C_n \sqrt{n-1}}. \quad (2.37)$$

Коефіцієнт варіації, що показує відносне коливання окремих значень навколо середньоарифметичного розраховується за формулою

$$v_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} 100\%. \quad (2.38)$$

Гарантована похибка Δ_{v_x} коефіцієнта варіації визначається за виразом:

$$\Delta_{v_x} = \frac{\sqrt{2}(v_x)_\Gamma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}, \quad (2.39)$$

де $(v_x)_\Gamma$ - коефіцієнт варіації для усієї партії, який розраховується за рівнянням:

$$(v_x)_\Gamma = \frac{\bar{v}_x}{C_n} \sqrt{\frac{n}{n-1}}, \quad (2.40)$$

де \bar{v}_x - середнє значення коефіцієнта варіації за декількома вибірками.

Якщо $\bar{v}_x > 20$, то

$$\Delta_{v_x} = \frac{\bar{v}_x \sqrt{2}}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + 2 \left(\frac{\bar{v}_x}{100} \right)^2}. \quad (2.41)$$

Далі необхідно діяти таким чином. Припустимо, що вимірювання показника, який контролюється можуть бути проведені з прийнятною відносною граничною похибкою $\delta=5\%$. Якщо необхідно виміряти середню величину з такою ж відносною гарантійною похибкою вибірки, то її

приймають рівною δ і обчислюють абсолютну гарантійну похибку вибірки за виразом

$$\Delta_{\bar{x}} = \frac{\delta \bar{x}}{100\%}. \quad (2.42)$$

Потім підставляють $\Delta_{\bar{x}}$ у формулу (2.32) або (2.34) і вирішують ці рівняння за кількістю випробувань n . При цьому t приймають рівним двом. За аналогічною схемою вирішують задачі на обчислення необхідної кількості випробувань при нормуванні σ_x і v_x .

Для встановлення норм за наслідками випробувань необхідно використовувати нижню і верхню односторонні або двосторонні межі вірогідного знаходження усередині цих генеральних характеристик. Якщо генеральна дисперсія $(\sigma_x^2)_Г$ заздалегідь не відома, то за вибіркою об'ємом n підраховують значення \bar{x} і σ_x . Далі визначають нижню односторонню межу $m_{н1}$ генерального середнього \bar{X} для всієї партії товару, верхню односторонню межу $m_{в1}$ і відповідно двосторонні межі $m_{н2}$ і $m_{в2}$ за формулами:

$$m_{н1} = \bar{x} - \frac{t_1 \sigma_x}{\sqrt{n-1}} = \bar{x} - (\Delta_{\bar{x}})_1, \quad (2.43)$$

$$m_{в1} = \bar{x} + \frac{t_1 \sigma_x}{\sqrt{n-1}} = \bar{x} + (\Delta_{\bar{x}})_1, \quad (2.44)$$

$$m_{н2} = \bar{x} - \frac{t_2 \sigma_x}{\sqrt{n-1}} = \bar{x} - (\Delta_{\bar{x}})_2, \quad (2.45)$$

$$m_{в2} = \bar{x} + \frac{t_2 \sigma_x}{\sqrt{n-1}} = \bar{x} + (\Delta_{\bar{x}})_2, \quad (2.46)$$

де t_1 і t_2 – коефіцієнти розподілу Стюдента при довірчій імовірності $P=0,95$ ($t_1=1,96$) та $P=0,9$ ($t_2=1,64$) у залежності від кількості випробувань.

Розраховані межі можуть бути використані як нормативи при визначенні диференційних показників якості в безрозмірних одиницях за відсутності встановлених нормативних значень в стандартах чи інших нормативних документах.

2 Завдання до практичної роботи

1. На основі перших десяти даних табл. А.2 (додаток А, стовпчик 2004), прийнявши значення граничної відносної похибки рівним порядковому номеру за списком у журналі, розрахуйте за формулою (2.33)

середньоквадратичне відхилення, за формулою (2.38) коефіцієнт варіації та за формулою (2.31) об'єм фактичних даних для здійснення нормування. Отримані результати занесіть у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати випробувань за попередньою і основною серіями

Результати попередньої серії випробувань		Результати випробувань основної серії					
№ п.п.	Значення	№ п.п.	Значення	№ п.п.	Значення	№ п.п.	Значення
1		1		11		21	
2		2		12		22	
3		3		13		23	
4		4		14		24	
5		5		15		25	
6		6		16		26	
7		7		17		27	
8		8		18		28	
9		9		19		29	
10		10		20		30	
Сума							
\bar{x}							
σ_x							
v_x							

2. Приймаючи за серію багаторазових випробувань три десятки даних табл. А.2 (додаток А, стовпчик 2004), тобто при $n \geq 30$, розрахуйте зведені вибіркові характеристики і результати також занесіть до табл. 2.5.

3. Розрахуйте гарантовану похибку вибірки, використовуючи формули (2.32 – 2.40).

4. Визначіть тип обмеження нормованого показника – односторонній (максимум або мінімум) чи двосторонній інтервал.

5. Розрахуйте односторонню або двосторонні межі за формулами (2.43 – 2.46).

3 Контрольні запитання

1. Для яких цілей необхідне встановлення нормативних значень?
2. Які методи можуть застосовуватися при встановленні норм?
3. Перерахуйте основні етапи встановлення нормативних значень.
4. Від чого залежить мінімальна кількість вибіркових даних для проведення нормування?
5. Які значення можна прийняти як нормовані при імовірнісному методі?

Практична робота №7

Оцінка точності ЗВ на основі концепції невизначеності вимірювань

1 Теоретичні відомості

На сьогоднішній день існує два альтернативних підходи для оцінки точності засобів вимірювань. Перший – традиційний, який заснований на класичній теорії похибок; він детально та систематично розглянутий у літературах [5, 6]. Другий підхід був запропонований англійським ученим порівняно недавно, але швидко знайшов велику кількість прихильників. Пояснюється це тим, що перший підхід потребує для практичних розрахунків інформації про вигляд закону розподілу результатів вимірювань, що не завжди можливо. Крім того в ньому використовуються громіздкі та недостатньо обґрунтовані схеми складання похибок різного походження (випадкових та систематичних). З появою ЗВ нового покоління, інтелектуальних, а також віртуальних (комп'ютерних) систем, в яких використовуються значення різного характеру (як кількісних та і якісних), проявилися зазначені недоліки першого підходу. Тому як альтернативний йому був розроблений другий підхід, що отримав на сьогодні широке розповсюдження, і підтриманий рядом Міжнародних організацій та багатьма національними лабораторіями. Далі розглянемо основні положення концепції невизначеності, які викладені в Міжнародному стандарті [7].

Головними ідеями цього стандарту є, по-перше, заміна термінів «похибка» та «істене значення величини, що вимірюється» термінами «невизначеність» та «оцінене значення величини, що вимірюється»; по-друге, перехід від поділу похибок за природою їх прояву (на випадкові і систематичні) до поділу за способом оцінювання невизначеностей вимірювань (за типом А – методами математичної статистики, і за типом В – іншими методами).

Відмова від використання терміну похибка результату вимірювання мотивується тим, що воно спирається на термін істене значення, яке в принципі не може бути визначеним. Основним терміном в концепції невизначеності є термін «невизначеність вимірювання». В якості характеристик невизначеності пропонується використовувати стандартну, сумарну і розширену невизначеності. Оцінки наведених невизначеностей отримуються із експериментальних даних (оцінювання за типом А) і на основі додаткової, в тому числі експертної інформації (оцінювання за типом В). У якості оцінки невизначеності вимірювання як правило використовується розширена невизначеність, а для проміжних величин, на основі яких отримують результат вимірювання, розраховуються

стандартна невизначеність (u) та сумарна невизначеність (u_s). Розширена невизначеність U_a розраховується за формулою:

$$U_a = k u_s, \quad (2.47)$$

де k – коефіцієнт охоплення $k=t(v_{\text{eff}})$.

Для оцінки невизначеностей перш за все складається рівняння вимірювань, яке в загальному вигляді запишемо як $y = f(x_1, \dots, x_m)$, де y – величина, що вимірюється; x_1, \dots, x_m – вхідні величини; m – кількість вхідних величин; f - вигляд функційної залежності.

Оцінку величини, що вимірюється розраховують як функцію оцінок вхідних величин після внесення поправок на всі відомі систематичні ефекти. Далі розраховуються стандартні невизначеності вхідних величин $u(x_i)$ і коефіцієнти кореляції $r(x_i, x_j)$ оцінок i -тої та j -тої вхідних величин.

Вихідними даними для розрахунку стандартної невизначеності типу А є результати багаторазових вимірювань. Стандартна невизначеність одиничного вимірювання розраховується за формулою:

$$u_A(x) = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (2.48)$$

де $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n x_i$, n – кількість вимірювань величини x_i .

Стандартна невизначеність результату вимірювання, визначеного як середнє арифметичне, дорівнює

$$u_A(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (2.49)$$

Вихідними даними для оцінки стандартної невизначеності за типом В є така апріорна інформація:

- дані попередніх вимірювань;
- дані про вигляд розподілу ймовірностей;
- дані, отримані в результаті досвіду, або загальні знання про поведінку і властивості відповідних матеріалів та ЗВ;
- специфікація виробника, дані, що наводяться у свідченнях про повірку, калібровку чи в інших сертифікатах;
- невизначеності констант і довідкових даних.

Невизначеності даних для такої інформації як правило представляють у вигляді меж відхилень вхідних величин від їх оцінки. У випадку невідомого закону розподілу ймовірностей найчастіше використовується для апроксимації рівномірний закон розподілу в заданих межах (b_{i-} , b_{i+}) для i -тої вхідної величини. При цьому стандартна невизначеність, що оцінюється за типом В, визначається за формулою

$$u_B(x_i) = \frac{b_{i-} - b_{i+}}{2\sqrt{3}}. \quad (2.50)$$

Для симетричних границь ($\pm b_i$)

$$u_B(x_i) = \frac{b_i}{\sqrt{3}}. \quad (2.51)$$

Для трикутного закону розподілу

$$u_B(x_i) = \frac{b_i}{\sqrt{6}}; \quad (2.52)$$

Для трапецеїдального закону розподілу

$$u_B(x_i) = \frac{b_i \sqrt{1 + \beta^2}}{\sqrt{6}}, \quad (2.53)$$

де β – коефіцієнт, який може приймати значення від 0 до 1 (характеризує зміну трапецеїдального розподілу від трикутного до рівномірного) [8].

Для заданих інтервалів U_p з відомим рівнем довіри p , в припущенні про нормальний закон розподілу, невизначеність типу В визначається за формулою

$$u_B(x_i) = \frac{U_p}{k_p}, \quad (2.54)$$

де k_p - коефіцієнт охоплення, який для нормального закону розподілу, дорівнює 1,64; 1,96 і 2,58 для рівнів довіри 0,9; 0,95 і 0,99.

Для оцінки коефіцієнта кореляції використовуються узгоджені пари результатів вимірювань

$$r(x_i, x_j) = \frac{\sum_{q=1}^n (x_{iq} - \bar{x}_i)(x_{jq} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{q=1}^n (x_{iq} - \bar{x}_i)^2 \sum_{q=1}^n (x_{jq} - \bar{x}_j)^2}}. \quad (2.55)$$

Після цього розраховується сумарна стандартна невизначеність u_s . У випадку некорельованих оцінок x_1, \dots, x_m сумарна невизначеність розраховується за формулою:

$$u_s^2(y) = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i), \quad (2.56)$$

а при наявності кореляції:

$$u_s^2(y) = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j), \quad (2.57)$$

де $u(x_i)$ - стандартна невизначеність i -тої вхідної величини, яка оцінена за типом А або за типом В.

Ефективна кількість степенів вільності v_{eff} визначається з виразу:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_s^4}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^4 \frac{u^4(x_i)}{v_i}}, \quad (2.58)$$

де $v_i = n - 1$ - кількість степенів вільності для невизначеностей оцінених за типом А.

Якщо при оцінюванні використовувалися нестатистичні дані (оцінювалися за типом В), то кількість степенів вільності приймається рівною нескінченності ($v_i = \infty$).

При представленні результату вимірювання на основі концепції невизначеності рекомендується навести достатню кількість інформації для забезпечення можливості повторити весь процес оцінювання.

Приклад оцінки невизначеності вимірювань еталона-копії одиниці довжини. Оцінка невизначеності вимірювань еталона-копії здійснюється на основі рівняння вимірювання кінцевих мір

$$L = A \cdot \frac{\lambda}{2n_B} + \alpha L_0 (20 - t) + \Delta l_s,$$

де L - довжина штрихової міри;

L_0 - опорне значення довжини штрихової міри ($L_0 = 1,000$ м);

λ - довжина хвилі випромінювання ($\lambda = 0,6329913982$ мкм);

A - кількість імпульсів;

n_b - показник заломлення повітря ($n_b = 1,000275236$);

t - температура штрихової міри ($t = 20,125^\circ\text{C}$);

α - коефіцієнт лінійного розширення ($\alpha = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$);

Δl_s - поправка на розмір коліimatorної щілини ($\Delta l_s = 0,031$ мкм).

Також відомі такі межі невиключених залишків систематичних похибок:

- показник заломлення повітря $\theta_b = 2,0 \cdot 10^{-8}$;

- значення довжини хвилі $\theta_\lambda = 6,2 \cdot 10^{-9}$ мкм;

- температура міри $\theta_t = 0,003^\circ\text{C}$;

- поправка на розмір коліimatorної щілини $\theta_{\Delta l} = 0,002$ мкм.

Складові похибки результату вимірювань, також обумовлені похибками значень L_0 і α , але вони є дуже малими і ними нехтують.

В результаті вимірювання числа імпульсів і внесення поправок на відомі систематичні похибки у відповідності з рівнянням вимірювань отримано ряд значень L_i в метрах, $i = 1, 2, \dots, n$; $n = 10$:

1,000001356; 1,000001584; 1,000001383; 1,000001469; 1,000001491;
1,000001466; 1,000001575; 1,000001397; 1,000001405; 1,000001334.

Довжина штрихової міри визначаємо за формулою

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i = 1,000001446 \text{ м.}$$

Стандартна невизначеність типу A , що обумовлену джерелами, які мають випадковий характер при вимірюванні довжини штрихової міри визначається за формулою (2.49) і дорівнює

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n(n-1)}} = 0,025 \text{ мкм.}$$

Потім необхідно оцінити стандартні невизначеності типу B , що обумовлені джерелами, які мають систематичний характер. Закон розподілу величин всередині меж вважається рівномірним.

Межі, всередині яких лежить значення показника заломлення повітря, дорівнює $q_B = 2,0 \cdot 10^{-8}$. Стандартна невизначеність, обумовлена

неточним знанням даного параметра, визначається за формулою (2.51), і складе

$$u_{B,B} = \frac{\theta_B}{\sqrt{3}} = 1,2 \cdot 10^{-8}.$$

Межі, всередині яких лежить значення показника довжини хвилі випромінювання, дорівнюють $\theta_\lambda = 6,2 \cdot 10^{-9}$ мкм. Тоді відповідну стандартну невизначеність також обчислимо за формулою (2.51), і вона дорівнює

$$u_{B,\lambda} = \frac{\theta_\lambda}{\sqrt{3}} = 3,6 \cdot 10^{-9} \text{ мкм.}$$

Межі, всередині яких лежить значення температури штрихової міри, дорівнюють $\theta_t = 0,003^\circ\text{C}$. Стандартна невизначеність, обумовлена неточним знанням температури дорівнює

$$u_{B,t} = \frac{\theta_t}{\sqrt{3}} = 0,002^\circ\text{C}.$$

Межі, всередині яких лежить значення поправки на розмір коліаторної щілини, дорівнюють $\theta_{\Delta l} = 0,002$ мкм. Тоді відповідна стандартна невизначеність складає

$$u_{B,\Delta l} = \frac{\theta_{\Delta l}}{\sqrt{3}} = 0,001 \text{ мкм.}$$

Сумарна стандартна невизначеність, обчислена за типом В, визначається за формулою (2.56), і дорівнює

$$u_{sB} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial n_B}\right)^2 u_B^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \lambda}\right)^2 u_\lambda^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)^2 u_t^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial (\Delta l)}\right)^2 u_{\Delta l}^2}.$$

З урахуванням раніше отриманих значень коефіцієнтів впливу $u_{sB} \approx 0,024$ мкм.

Сумарна стандартна невизначеність результатів вимірювань обчислюємо за формулою

$$u_s = \sqrt{u_A^2 + u_{sB}^2} = 0,035 \text{ мкм.}$$

Ефективна кількість степенів вільності з урахуванням формули (2.58) буде рівним

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\frac{(u_A)^4}{n-1} + \frac{\left(\frac{\partial f}{\partial n_B} \cdot u_B\right)^4}{\infty} + \frac{\left(\frac{\partial f}{\partial \lambda} \cdot u_\lambda\right)^4}{\infty} + \frac{\left(\frac{\partial f}{\partial t} \cdot u_t\right)^4}{\infty} + \frac{\left(\frac{\partial f}{\partial (\Delta l)} \cdot u_{\Delta l}\right)^4}{\infty}} = 35.$$

Коефіцієнт охоплення визначається із довідникової таблиці для $v_{\text{eff}} = 35$, і для вірогідності $P=0,99$ він дорівнює $k = t_{0,99}(v_{\text{eff}}) = 2,73$.

Тоді розширена невизначеність буде рівною

$$U_{0,99} = k \cdot u_s = 0,096 \text{ мкм.}$$

2 Завдання до практичної роботи

Виконайте оцінку невизначеностей вимірювань вхідної величини X (додаток Г, табл. Г.1), яка пов'язана з вихідною величиною функційними залежностями, які наведені в додатку Д (варіант функції вимірювання вибрати з табл. Д.1 за списком в журналі). Впливні коефіцієнти k та b мають такі межі невиключених залишків систематичної похибки: $\theta_k=0,85$ в припущенні про трикутний закон розподілу, а $U_b=1,25$ в припущенні про нормальний закон розподілу з імовірністю P , яка також вибирається з табл.Г.1 (додаток Г) за порядковим номером у журналі. Результати вимірювань представте у вигляді розширеної невизначеності.

3 Контрольні запитання

1. Дайте визначення невизначеності вимірювання та наведіть ознаки за якими вона класифікується.
2. Наведіть вираз для розрахунку невизначеності типу А та в якому випадку вона використовується.
3. Перерахуйте вихідні дані для розрахунку невизначеності типу В та вирази для її розрахунку при різних законах розподілу ймовірностей.
4. Наведіть вирази для розрахунку сумарної та розширеної невизначеностей при прямих і непрямих вимірюваннях.
5. За якою формулою розраховується ефективна кількість степенів вільності?
6. За яким виразом розраховується сумарна невизначеність при наявності кореляційного зв'язку між величинами, що вимірюються?

Практична робота №8

Методика перерахунку характеристик похибок в характеристики невизначеностей вимірювань

1 Теоретичні відомості

При співставленні результатів вимірювань і оцінок їх достовірностей, які здійснювались різними способами, виникає задача перерахунку характеристик похибок в характеристики невизначеності та навпаки. Тому, розглянемо методику перерахунку і мінімальний набір параметрів, що необхідні для здійснення такого перерахунку.

Відповідно до [9] результати оцінювання невизначеності вимірювань повинні бути виражені у вигляді розширеної невизначеності з рівнем довіри 0,95. Методика, що наведена в [10] дозволяє розрахувати розширену невизначеність, використовуючи відомі характеристики випадкової та систематичної похибки для рівних рівнів довіри і довірчої імовірності. Але довірчі межі похибок первинних та вторинних еталонів необхідно оцінювати для довірчої імовірності 0,99. Крім того, як показано в [11], відмінність довірчих меж похибки від розширеної невизначеності вимірювань різні для різних модельних рівнянь. Саме у таких випадках краще скористатися формулами для взаємного перерахунку довірчої похибки і розширеної невизначеності.

Вихідними даними для перерахунку характеристик похибки в характеристики невизначеності є: довірчі межі загальної похибки вимірювання Δ_p ; довірна імовірність P ; відношення $\gamma = \Theta(P)/S$ довірчих меж невиключеної систематичної похибки $\Theta(P)$ до середньоквадратичної випадкової похибки S ; кількість вимірювань n , що повторювались; кількість невиключених систематичних похибок m , що підсумовувались.

Для перерахунку довірчих меж похибки прямих одноразових вимірювань відомих з імовірністю 0,95 або 0,99 у розширену невизначеність з рівнем довіри 0,95 необхідно скористатися такими виразами: для похибки з імовірністю $P=0,95$:

$$U_{0,95} = \begin{cases} \Delta_{0,95} \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{3,63}}, & \text{при } \gamma < 0,8 \\ \frac{2\Delta_{0,95}}{K[\gamma + 2]} \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{3,63}}, & \text{при } 0,8 \leq \gamma \leq 8; \\ 2\Delta_{0,95} \sqrt{\frac{1}{\gamma^2} + \frac{1}{3,63}}, & \text{при } \gamma > 8 \end{cases} \quad (2.59)$$

для похибки з імовірністю $P=0,99$:

$$U_{0,95} = \begin{cases} \frac{\Delta_{0,99}}{1,3} \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{3d^2}}, & \text{при } \gamma < 0,8 \\ \frac{2\Delta_{0,99}}{K[\gamma + 2,6]} \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{3d^2}}, & \text{при } 0,8 \leq \gamma \leq 8, \\ \frac{2\Delta_{0,99}}{d} \sqrt{\frac{1}{\gamma^2} + \frac{1}{3d^2}}, & \text{при } \gamma > 8 \end{cases} \quad (2.60)$$

де d – корегуючий коефіцієнт, який для $P=0,99$ дорівнює 1,2 при $m=2$; 1,3 при $m=3$; 1,4 при $m=4$; 1,45 при $m>4$;

K – коефіцієнт, значення якого в залежності від P і γ наведено в табл.2.6.

Таблиця 2.6 – Значення коефіцієнту K для різних P і γ

γ	0,8	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_{0,95}$	0,76	0,74	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81
$K_{0,99}$	0,84	0,82	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85

При перерахунку довірчих меж похибки прямих багаторазових вимірювань відомих з вірогідністю 0,95 або 0,99 у розширену невизначеність з рівнем довіри 0,95, необхідно використати такі формули: для похибки з імовірністю $P=0,95$

$$U_{0,95} = \begin{cases} \frac{\Delta_{0,95} t_{0,95}(v_{\text{eff}})}{t_{0,95}(n-1)} \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{3,63}}, & \text{при } \gamma < 0,8 \\ \frac{\Delta_{0,95} t_{0,95}(v_{\text{eff}})}{K[\gamma + t_{0,95}(n-1)]} \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{3,63}}, & \text{при } 0,8 \leq \gamma \leq 8; \\ \Delta_{0,95} t_{0,95}(v_{\text{eff}}) \sqrt{\frac{1}{\gamma^2} + \frac{1}{3,63}}, & \text{при } \gamma > 8 \end{cases} \quad (2.61)$$

для похибки з імовірністю $P=0,99$:

$$U_{0,95} = \begin{cases} \frac{\Delta_{0,99} t_{0,95}(v_{\text{eff}})}{t_{0,99}(n-1)} \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{5,88}}, & \text{при } \gamma < 0,8 \\ \frac{\Delta_{0,99} t_{0,95}(v_{\text{eff}})}{K[\gamma + t_{0,99}(n-1)]} \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{5,88}}, & \text{при } 0,8 \leq \gamma \leq 8, \\ \Delta_{0,99} t_{0,95}(v_{\text{eff}}) \sqrt{\frac{1}{\gamma^2} + \frac{1}{5,88}}, & \text{при } \gamma > 8 \end{cases} \quad (2.62)$$

де $t_{0,95}(v_{\text{eff}})$, $t_P(n-1)$ – коефіцієнти Студента, відповідно для імовірності P , кількості степенів вільності $(n-1)$ і ефективної кількості степенів вільності v_{eff} , яка визначається за формулою

$$v_{\text{eff}} = (n-1) \left[1 + \frac{\gamma^2}{3d^2} \right]^2. \quad (2.63)$$

Відповідно до міжнародних нормативних документів при представленні результату вимірювання в якості міри невизначеності може бути вказана розширена або сумарна стандартна невизначеності.

При представленні результату вимірювання розширеною невизначеністю перераховуються такі характеристики:

- результат вимірювання y ;
- розширена невизначеність U_P ;
- коефіцієнт охоплення k ;
- рівень довіри P ;
- кількість стандартних невизначеностей типу B (для $P=0,99$).

В такому випадку оцінки довірчих меж похибок прямих одноразових вимірювань можна отримати з формул (2.59) та (2.60).

Додатково до перерахованих характеристик для розрахунку похибок багаторазових вимірювань потрібно знати:

- кількість спостережень n ;
- ефективну кількість степенів вільності v_{eff} .

При цьому можна отримати:

- оцінку середньоквадратичного відхилення, що характеризує сумарну похибку

$$S_{\Sigma} = \frac{U_P}{k} = u_s; \quad (2.64)$$

- оцінку середньоквадратичного відхилення (СКВ) випадкової похибки

$$\hat{S} = u_A = S_{\Sigma} \sqrt[4]{\frac{n-1}{v_{\text{eff}}}}; \quad (2.65)$$

- оцінку СКВ, що характеризує невиключену систематичну похибку

$$S_{\Theta} = u_B = \sqrt{S_{\Sigma}^2 - \hat{S}^2}; \quad (2.66)$$

- оцінку довірчих меж невиключеної систематичної похибки

$$\hat{\Theta}(P) = dS_{\Theta} \sqrt{3}; \quad (2.67)$$

- оцінку довірчих меж похибки

$$\Delta_P = \frac{t_P(n-1)\hat{S} + \hat{\Theta}(P)}{\hat{S} + S_{\Theta}} S_{\Sigma} . \quad (2.68)$$

При відсутності ефективної кількості степенів вільності її можна отримати через значення коефіцієнту охоплення k з таблиці розподілу Стьюдента.

2 Завдання до практичної роботи

За допомогою наведених вище формул здійсніть перерахунок характеристик похибок у характеристики невизначеності як для одноразових, так і для багаторазових вимірювань на основі даних, які наведено у додатку Е (варіант завдання виберіть за порядковим номером по списку в журналі).

3 Контрольні запитання

1. Які дані є вихідними для перерахунку характеристик похибки у невизначеності?
2. Наведіть вирази для розрахунку розширених невизначеностей вимірювання при довірчій межі похибки прямих одноразових вимірювань з ймовірністю 0,95 та 0,99.
3. Наведіть вирази для розрахунку розширених невизначеностей вимірювання при довірчій межі похибки прямих багаторазових вимірювань з ймовірністю 0,95 та 0,99.
4. Чим відрізняються вирази для перерахунку характеристик похибки прямих багаторазових вимірювань в характеристики невизначеності від прямих одноразових вимірювань?
5. Які характеристики невизначеностей потрібні для перерахунку їх в характеристики похибок?
6. Як отримати на основі даних про розширену невизначеність середньоквадратичне відхилення, що характеризує сумарну похибку?
7. Як отримати на основі даних про розширену невизначеність середньоквадратичне відхилення випадкової похибки?
8. За допомогою якого виразу можна оцінити довірчі межі похибки?

Практична робота №9

Випробування ЗВ на основі методу контрольного листа

1 Теоретичні відомості

Метод контрольного листка застосовується, коли під час контролю визначаються числові значення показника X , який характеризує відповідність встановленим нормам. Як правило ці значення (наприклад зведена похибка) для кожного ЗВ будуть різними і матимуть випадковий характер завдяки випадковим негативним факторам, що впливають на характеристики похибки. Інформація на основі якої приймається рішення про необхідність корекції ходу процесу – це величина та кількість відхилень показника X від заданого значення X_0 . Таку інформацію одержують за допомогою контрольного листка. Фактично він являє собою таблицю розподілу частот випадкової величини X , яку формують під час контролю метрологічних характеристик ЗВ так. Нехай відомо (наприклад з попередніх результатів контролю), що величина X змінюється від X_H до X_B ($X_H < X_0 < X_B$). Діапазон зміни $X_B - X_H$ розбивають на рівні інтервали (класи). Кількість інтервалів k вибирають в межах $k = 8 \dots 20$ в залежності від кількості ЗВ N , що контролюються (чим менше N , тим менше інтервалів). Застосування методу можна вважати коректним при $N \leq 30$. Межі інтервалів за звичай задають з точністю до половини наступного розряду після останньої значущої цифри. Визначаючи нижні X_{ni} , верхні X_{vi} межі інтервалів і їх центральні значення X_{0i} , вони заносяться до таблиці. В процесі виконання контрольних випробувань (для заданої вибірки чи протягом зміни) їх результати заносяться до табл. 2.7 шляхом позначення номеру інтервалу, в який потрапляє контрольована величина X (колонка «Підрахунок частот»). Після чого визначається кількість ЗВ n_i ($N = \sum_{i=1}^k n_i$) в i -му інтервалі (колонка «Частоти» в табл. 2.7).

За даними контрольного листа можна визначити статистичні характеристики випадкової величини X , а саме: побудувати гістограму, полігон розподілу, визначити міри положення та міри розкиду.

Гістограма – це стовпчикова діаграма частот (рис. 2.1). При її побудові по осі абсцис відкладають значення випадкової величини X , а по осі ординат – нормовану відносну частоту P_{ni} , яка визначається для i -го інтервалу як [12, 13]

$$P_{ni} = \frac{n_i}{N(x_{vi} - x_{ni})}. \quad (2.69)$$

Таблиця 2.7 – Контрольний лист

Номер інтервалу	Інтервал $X_{нi} - X_{вi}$	Центральне значення X_{0i}	Підрахунок частот	Частоти n_i
1	$X_{н1} - X_{в1}$	X_{01}	I	1
2	$X_{н2} - X_{в2}$	X_{02}	III	3
3	$X_{н3} - X_{в3}$	X_{03}	IIII	4
4	$X_{н4} - X_{в4}$	X_{04}	IIIII	5
5	$X_{н5} - X_{в5}$	X_{05}	IIIIIIII	8
6	$X_{н6} - X_{в6}$	X_{06}	IIIIIIIIIIII	13
7	$X_{н7} - X_{в7}$	X_{07}	IIIIIIIIII	9
8	$X_{н8} - X_{в8}$	X_{08}	IIIII	5
9	$X_{н9} - X_{в9}$	X_{09}	II	2
Всього:				50

Як правило величини інтервалів однакові: $\Delta x = x_{вi} - x_{нi}$ при будь-яких i .

Тоді

$$P_{ні} = \frac{n_i}{N \Delta x} . \quad (2.70)$$

Нормування виконується для того, щоб сумарна площа усіх стовпчиків гистограми дорівнювала одиниці. Тоді, побудувавши на її основі полігону розподілу, можна одержати оцінку закону розподілу ймовірностей випадкової величини X . Полігон розподілу – це ламана лінія, що з'єднує точки з координатами $(x_{0i}, P_{ні})$, як показано на рис. 2.1.

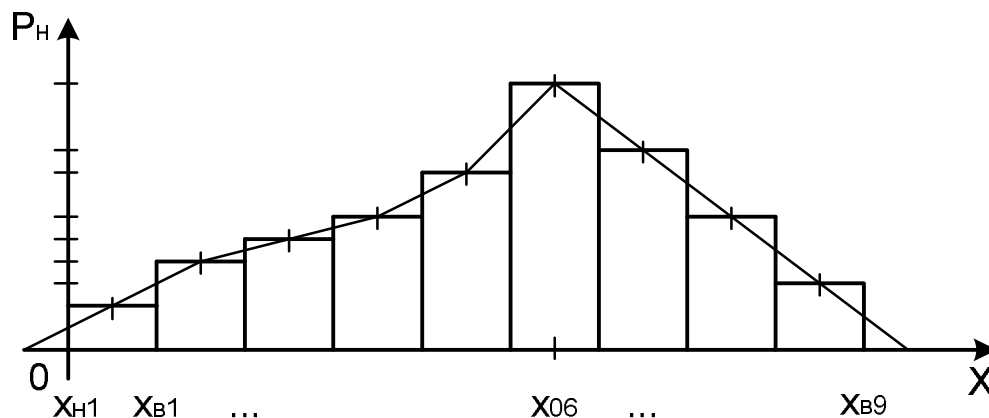


Рисунок 2.1 – Гістограма та полігон частот

Міри положення – це середнє значення, медіана та мода. Середнє значення обчислюється як:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k X_{0i} n_i, \quad (2.71)$$

де k – кількість інтервалів.

Медіана, або середина величини визначається як

$$X_{me} = \frac{X_B - X_H}{2} + X_H. \quad (2.72)$$

Мода X_{mo} – значення, яке найчастіше зустрічається серед усіх даних. При визначенні за контрольним листком – це X_{0j} – при максимальному n_j (наприклад в таблиці 2.7 – це X_{06} при $n_6 = 13$).

Міри розкиду – це дисперсія, середньоквадратичне відхилення (стандартне відхилення), розмах, коефіцієнт варіації.

Дисперсія визначається як

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (X_{0i} - \bar{X})^2 n_i = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^k X_{0i}^2 n_i \right) - (\bar{X})^2. \quad (2.73)$$

Стандартне відхилення

$$\sigma = +\sqrt{D}. \quad (2.74)$$

Розмах визначається як

$$R = X_B - X_H. \quad (2.75)$$

Коефіцієнт варіації

$$K_v = \frac{\sigma}{|\bar{X}|}. \quad (2.76)$$

Приклад. Під час контролю партії вимірювальних приладів, що повинні відповідати класу точності 1,0 визначалось максимальне значення відносної похибки X для кожного ЗВ. Результати контролю наведено в табл. 2.8. Необхідно заповнити контрольний листок, побудувати гістограму для випадкової величини X , знайти міри положення і розкиду для відносної похибки, зробити висновки про відповідність ЗВ встановленим вимогам.

Таблиця 2.8 – Результат контролю ЗВ

№ ЗВ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Відносна похибка X, %	0,25	-0,7	-0,2	1,3	0,5	0,2	-0,4	-0,2	0,8	-0,6	-0,4	0,45
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0,15	-1,25	0,75	-0,35	0,5	-0,4	0,9	-0,2	1,1	-0,6	-0,25	0,1	-0,85

Визначимо кількість інтервалів та їх межі для випадкової величини X. Для цього знайдемо максимальне $X_{\text{в}}$, мінімальне $X_{\text{н}}$ значення та їх різницю: $X_{\text{в}}=1,3$; $X_{\text{н}}=-1,25$; $(X_{\text{в}} - X_{\text{н}})=2,55$.

Оскільки маємо всього 25 експериментальних даних, то приймемо мінімальну кількість інтервалів $k=8$. Тоді величина інтервалу буде дорівнювати

$$\Delta X=(X_{\text{в}}-X_{\text{н}})/k = 2,55/8 \approx 0,319.$$

Дещо змінимо величину ΔX для того, щоб межі інтервалів проходили точно через значення +1,0 та -1,0 (відповідно до вимог класу точності 1,0), а крайні інтервали покривали $X_{\text{в}}$ і $X_{\text{н}}$ з деяким запасом. Тому приймемо величину ΔX рівною

$$\Delta X=1/3 \approx 0,333.$$

Визначаємо $X_{\text{ні}}$, $X_{\text{ві}}$, X_{0i} і запишемо їх в контрольний листок у вигляді табл. 2.9:

$$X_{\text{н1}}=-4/3 \approx -1,333;$$

$$X_{\text{в1}}=X_{\text{н2}}=-3/3=-1; X_{01}=-7/6 \approx -1,167;$$

$$X_{\text{в2}}=X_{\text{н3}}=-2/3 \approx -0,667; X_{02}=-5/6 \approx -0,833;$$

$$X_{\text{в3}}=X_{\text{н4}}=-1/3 \approx -0,333; X_{03}=-0,5;$$

$$X_{\text{в4}}=X_{\text{н5}}=0; X_{04}=-1/6 \approx -0,167;$$

$$X_{\text{в5}}=X_{\text{н6}}=1/3 \approx 0,333; X_{05}=1/6 \approx 0,167;$$

$$X_{\text{в6}}=X_{\text{н7}}=2/3 \approx 0,667; X_{06}=0,5;$$

$$X_{в7}=X_{н8}=1,0; X_{07}=5/6\approx 0,833;$$

$$X_{в8}=4/3\approx 1,333; X_{08}=7/6\approx 1,167.$$

Заповнюємо колонку «Підрахунок частот» керуючись даними табл.2.8: послідовно, для кожного номеру ЗВ зчитуємо відносну похибку X , визначаємо в який інтервал вона потрапляє і ставимо вертикальну лінію у відповідному ряду контрольного листка. Так, для першого ЗВ $X=0,25\%$; визначаємо, що ця величина належить 5-му інтервалу і ставимо в ряду, що відповідає 5-му інтервалу вертикальну лінію (табл. 2.9).

Для 2-го ЗВ $X=-0,7$, що відповідає другому інтервалу ($-1 < -0,7 < -2/3 \approx -0,667$); позначку треба поставити у другому ряді контрольного листка. Процедуру продовжуємо для всіх значень із таблиці 2.8. Визначаємо кількість позначок в колонці «Підрахунок частот» по кожному інтервалу.

Додатково в табл. 2.9 добавимо стовпчик з обчисленими нормованими відносними частотами $P_{нi}$: $P_{н1} = \frac{n_1}{N\Delta X} = \frac{1}{25/3} = 0,12$; $P_{н2} = 0,24$; $P_{н3} = 0,72$; $P_{н4} = 0,48$; $P_{н5} = 0,48$; $P_{н6} = 0,36$; $P_{н7} = 0,36$; $P_{н8} = 0,24$.

Таблиця 2.9 – Результати контролю відносних похибок партії ЗВ

Номер інтервалу	Інтервал	Центральне значення	Підрахунок частот	Частоти	Нормована відносна частота
1	-4/3...-3/3	-7/6	I	1	0,12
2	-3/3...-2/3	-5/6	II	2	0,24
3	-2/3...-1/3	-3/6	IIIIII	6	0,72
4	-1/3...0	-1/6	IIII	4	0,48
5	0...1/3	1/6	IIII	4	0,48
6	1/3...2/3	3/6	III	3	0,36
7	2/3...3/3	5/6	III	3	0,36
8	3/3...4/3	7/6	II	2	0,24

На основі даних таблиці 2.9 будемо гістограму в координатах X , P_n (рис. 2.2): перший стовпчик гістограми має висоту $P_{н1}$, і розташований на першому інтервалі від $X_{н1}=-4/3$ до $X_{в1}=-3/3$, і так далі.

Перевіримо правильність розрахунків, визначивши суму площ стовпчиків гістограми (повинно бути $S_{\Sigma}=1$)

$$S_{\Sigma} = \Delta X P_{н1} + \Delta X P_{н2} + \Delta X P_{н3} + \Delta X P_{н4} + \Delta X P_{н5} + \Delta X P_{н6} + \Delta X P_{н7} + \Delta X P_{н8} = \\ = \frac{1}{3} (0,12 + 0,24 + 0,72 + 0,48 + 0,48 + 0,36 + 0,36 + 0,24) = 1.$$

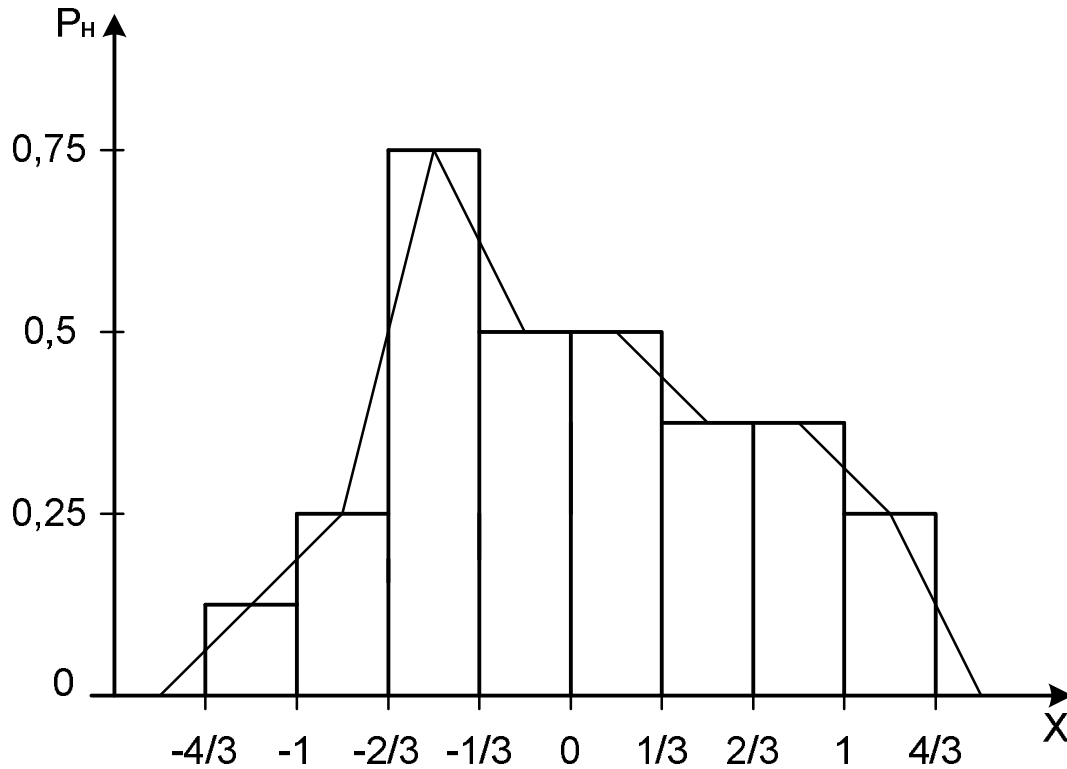


Рисунок 2.2 – Гістограма і полігон частот результату контролю партії ЗВ

Обчислимо середнє значення за формулою (2.71)

$$\bar{X} = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^8 X_{0i} n_i = \frac{-1,5}{25} = -0,06.$$

Медіана визначається за формулою (2.72)

$$X_{me} = \frac{X_B - X_H}{2} + X_H = \frac{1,3 - (-1,25)}{2} + (-1,25) = 0,025.$$

З гістограми можна прийняти значення моди рівним середньому значенню третього інтервалу $X_{mo} \approx -0,5$.

Дисперсію визначимо за формулою (2.73), і вона буде дорівнювати

$$D \approx 0,3975.$$

Стандартне відхилення знайдемо за формулою (2.74)

$$\sigma = +\sqrt{0,3975} \approx 0,63.$$

Розмах у відповідності з експериментальними даними $R=X_B-X_H=1,3-(-1,25)=2,55$, а з контрольного листа – $R' = X_{B8} - X_{H1} = \frac{4}{3} - (-\frac{4}{3}) \approx 2,667$.

Коефіцієнт варіації відповідно до формули (2.76)

$$K_v = \frac{\sigma}{|\bar{X}|} = \frac{0,63}{0,06} = 10,5.$$

Проаналізуємо дані контрольного листа. Три ЗВ, для яких результати контролю знаходяться в мажах 1-го та 8-го інтервалів, не відповідають вимогам класу точності, їх можна віднести до браку. Середнє значення і медіана близькі до нуля, але мода значно відрізняється ($X_{mo}=-0,5$), що може свідчити про тенденцію до небажаних відхилень у процесі роботи ЗВ (в ідеальному випадку повинно бути $\bar{X} = X_{me} = X_{mo}$). В результаті обробки даних було одержано достатньо велике значення стандартного відхилення $\sigma=0,63$; (як правило встановлюють вимогу $3\sigma \leq X_{доп}$, тобто повинно бути $3\sigma \leq 1,0$). Це теж свідчить про порушення у процесі виробництва і необхідність формування і реалізації корегуючих заходів.

2 Завдання до практичної роботи

Прийнявши за результати контролю відносних похибок засобів вимірювання дані, що представлені в додатку Г (табл. Г.1) заповніть контрольний лист. Побудуйте гістограму та полігон розподілу. За даними контрольного листа знайдіть міри положення та розкиду і зробіть відповідні висновки про необхідність коригувальних дій. За клас точності засобів вимірювання візьміть порядковий номер варіанту із журналу та додайте до нього одиницю.

3 Контрольні запитання

1. Що таке контрольний лист та за якою формою він заповнюється?
2. В чому полягає порядок заповнення контрольного листа?
3. Що таке гістограма, як вона будується?
4. Що таке полігон розподілу?
4. Як обчислюються міри положення?
5. Як обчислюються міри розкиду?
6. Що таке варіація та як вона визначається?
7. Наведіть вираз для визначення нормованої відносної частоти.
8. Якими мають бути середнє значення, медіана і мода в ідеальному випадку та про що можуть свідчити значні відхилення вказаних величин один від одного.

Практична робота №10

Контроль якості товару на основі методу контрольних карт

1 Теоретичні відомості

Контроль якості товару при добре налагодженому масовому виробництві здійснюється здебільшого вибірково, тобто визначаються показники якості для невеликої вибірки виробів з кожної партії або через визначені проміжки часу. Результати контролю представляють у графічному вигляді на контрольних картах. На основі використання статистичних методів з заданою ймовірністю можна стверджувати про стабільність процесу виробництва або наявність відхилень, які потребують корегуючих дій.

Графіки на контрольних картах будують в системі координат «час» – «контрольований параметр», або «номер вибірки» – «контрольований параметр». На карту також наносять середню (центральну) лінію, верхню та нижню допустимі межі зміни параметру, які визначаються із попередніх спостережень за процесом (рис. 2.3).

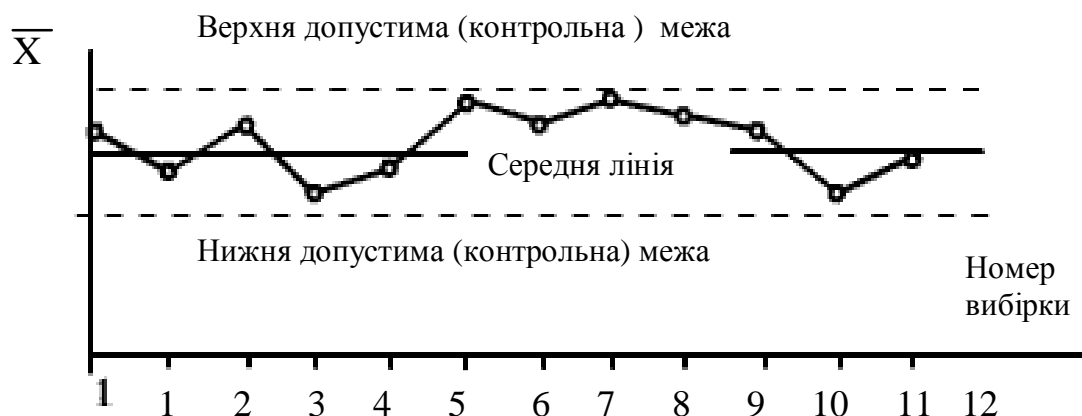


Рисунок 2.3 – Контрольна карта

Розрізняють контрольні карти для кількісних характеристик і для якісних ознак. До перших відносять контрольні карти середнього значення \bar{X} і розмаху R для окремих вибірок, коли контролюються такі показники як вага, лінійні розміри, час, сила, напруга, опір і т.д. Для другого типу карт визначаються відносна p та абсолютна Δp кількість бракованих товарів, кількість дефектів C на одиницю площі (довжини), кількість дефектів на один ЗВ и.

Для усіх видів контрольних карт центральна (середня) лінія повинна проводитись на рівні генерального середнього контрольованого показника якості. Це значення точно не може бути знайдено, тому для нього

одержують лише оцінку таким способом. Спеціально організують збір даних за певний проміжок часу, виконуючи послідовно контроль для кількох десятків вибірок; об'єм кожної вибірки 4...9 одиниць продукції. Розраховують середні значення \bar{X}_i та розмахи R_i для кожної вибірки, потім визначають середнє значення між усіма вибірками:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{X}_i, \quad (2.77)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i, \quad (2.78)$$

де k – кількість вибірок.

Тоді $\bar{\bar{X}}$ та \bar{R} приймають за рівні центральних ліній відповідних контрольних карт. Якщо будуються контрольні карти для якісних ознак, то центральні лінії визначаються так:

- для відносної кількості бракованих виробів p , загальна кількість бракованих товарів визначається як відношення загальної кількості дефектів на контрольних виробих до загальної кількості проконтрольованих виробів;

- для кількості дефектів на одиницю площі C

$$\bar{C} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k C_i; \quad (2.79)$$

- для кількості дефектів на один виріб u , загальна кількість бракованих товарів визначається як відношення загальної кількості дефектів на контрольованих виробих до загальної кількості вимірювань на контрольованих виробих.

Визначення допустимих меж змінних для контрольних карт 1-го типу (контрольні карти для середнього та розмаху) базується на припущенні, що закон розподілу випадкової контрольованої величини є нормальним. Для більшості практичних випадків таке припущення з прийнятною точністю підтверджується. Як відомо, при нормальному законі розподілу ймовірність появи випадкової величини з відхиленням від математичного сподівання більшим ніж 3σ складає менше 0,01. Тому верхню і нижню допустимі межі встановлюють на рівнях:

$$\bar{\bar{X}} \pm 3\sigma_X, \quad (2.80)$$

$$\bar{R} \pm 3\sigma_R, \quad (2.81)$$

де σ_X та σ_R - середньоквадратичні відхилення генеральних розподілів відповідних випадкових величин (X і R).

При вибірковому контролі оцінки σ_X та σ_R залежать від об'єму вибірки n та середнього значення розмаху \bar{R} .

Верхні межі обчислюють за формулами:

$$\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}, \quad (2.82)$$

$$D_4 \bar{R}, \quad (2.83)$$

а нижні межі обчислюють так:

$$\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}, \quad (2.84)$$

$$D_3 \bar{R}. \quad (2.85)$$

Коефіцієнти A_2 , D_3 , D_4 визначається з табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Коефіцієнти для визначення контрольних меж

Об'єм вибірки N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_2	1,88	1,023	0,729	0,577	0,483	0,419	0,373	0,337	0,308
D_3	-	-	-	-	-	0,076	0,136	0,184	0,223
D_4	3,267	2,575	2,282	2,115	2,004	1,924	1,864	1,816	1,777

Для $n \leq 6$ нижня контрольна межа R – карти не розраховується і не використовується.

Кількість бракованих виробів із загальної кількості відібраних виробів приблизно відповідає біноміальному розподілу, для якого середнє значення дорівнює np , а дисперсія – $np(1-p)$, де n – об'єм вибірки, p – середній процент браку у виробничому процесі. Тоді для np і p контрольних карт допустимі межі визначаються за формулами:

$$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}, \quad (2.86)$$

та

$$\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}. \quad (2.87)$$

При стабільному виробничому процесі кількість дефектів на одиницю площі C та число дефектів на один виріб u можна описати розподілом Пуассона [14]. В цьому випадку контрольні межі визначаються за формулами:

$$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}, \quad (2.88)$$

та

$$\bar{u} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}. \quad (2.89)$$

Якщо \bar{c} або $(\bar{u}n)$ менше 9-ти, то нижні контрольні межі не визначаються і не враховуються.

В табл. 2.11 представлено формули для визначення допустимих меж різних типів контрольних карт [15].

Таблиця 2.11 – Формули для визначення контрольних меж

Тип контрольної картки	Параметр, що контролюється	Верхня контрольна межа	Нижня контрольна межа
X	Середнє значення параметра	$\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$
R	Розмах параметра	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$
P	Відносна кількість бракованих виробів	$\bar{p} + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$	$\bar{p} - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$
Δp	Абсолютна кількість бракованих виробів	$\bar{pn} + 3\sqrt{pn(1-p)}$	$\bar{pn} - 3\sqrt{pn(1-p)}$
u	Кількість дефектів на один виріб	$\bar{u} + 3\sqrt{\frac{u}{n}}$	$\bar{u} - 3\sqrt{\frac{u}{n}}$
c	Кількість дефектів на одиницю площі	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$

В результаті теоретичних і експериментальних досліджень визначено, що при стабільному виробничому процесі контрольні карти повинні відповідати наступним вимогам:

1. Коливання експериментальних точок навколо центральної лінії повинно бути нерегулярним;

2. Немає тенденції до зміщення точок доверху чи донизу;
3. В межах контрольних ліній (в залежності від кількості вибірок) повинні знаходитись:

- всі 25 точок підряд;
- не менше 34 точок з 35-ти підряд;
- не менше 98-ми точок з 100 підряд.

Нестабільність виробничого процесу, або наявність порушень, відхилень характеризується наступними ознаками:

1. Спостерігається тенденція до зміщення точок доверху чи до низу;
2. Точки регулярно коливаються навколо центральної лінії;
3. Не виконується пункт щодо вимог до стабільності виробничого процесу;
4. По одну сторону від, центральної лінії розташовано:
 - всі 7 точок підряд;
 - 12 точок з 14-ти підряд;
 - 14 точок з 17-ти підряд;
 - 16 точок з 20-ти підряд.

Приклад. Контролюється процес масового виробництва постійних резисторів з опором 100 кОм. Експериментальні дані вимірювань опорів окремих вибірок, що виконувались кожних 0,5 години зведено до табл.2.12. Необхідно побудувати \bar{X} та R контрольні карти і зробити висновки про стабільність виробничого процесу.

Використаємо перших 20 вибірок для визначення центральних значень та контрольних меж. Для цього обчислимо середні значення \bar{X}_i та розмахи R_i для кожної вибірки. Результати розрахунків наведемо в табл.2.13.

Середні значення, за якими проводитимуться центральні лінії на контрольних картах, дорівнюють

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} \bar{X}_i = 100,1625; \quad \bar{R} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} R_i = 5,7.$$

Контрольні межі для \bar{X} карти

$$\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R} = 100,1625 \pm 0,729 \cdot 5,7 = 100,1625 \pm 4,1553,$$

тобто нижня межа приблизно дорівнює 96,01, а верхня межа –104,32.

Коефіцієнт $A_2 = 0,729$ визначено з таблиці 2.10 для об'єму вибірки $n=4$ (табл. 2.12, кожна вибірка – це 4 значення).

Таблиця 2.12 – Результати вимірювань опорів резисторів

№ вибірки	Результати вимірювань у вибірці, кОм			
1	100	98	103	101
2	103	99	100	101
3	101	100	102	106
4	99	101	96	102
5	101	98	103	100
6	95	100	101	99
7	99	101	98	103
8	105	98	100	101
9	98	100	102	97
10	100	99	102	99
11	94	102	98	101
12	99	100	97	104
13	104	102	100	101
14	102	98	99	100
15	103	99	97	101
16	98	96	100	102
17	100	97	103	101
18	102	104	99	100
19	102	99	104	96
20	97	100	98	105
21	100	102	103	97
22	99	102	97	101
23	99	97	96	100
24	101	97	95	100
25	99	101	96	100
26	98	102	96	99
27	100	95	97	98
28	99	96	100	96
29	103	94	96	101
30	97	99	95	102
31	100	96	99	97
32	98	95	96	102
33	100	98	95	96
34	95	96	103	92

Для R карти верхня контрольна межа

$$\bar{D}_4\bar{R} = 2,282 * 5,7 \approx 13,01.$$

Коефіцієнт $D_4 = 2,282$ взято з таблиці 2.10 для вибірки $n = 4$. Оскільки $n = 4 < 6$, то нижня контрольна межа не визначається і не враховується.

На основі даних табл. 2.13 побудуємо X та R контрольні карти (рис.2.4).

Таблиця 2.13 – Результати розрахунків \bar{X}_i та R_i

№ вибірки	\bar{X}_i , кОм	R_i , кОм
1	100,5	5
2	100,75	4
3	102,25	6
4	99,5	6
5	100	5
6	98,75	6
7	100,25	5
8	101	7
9	99,25	5
10	100	3
11	98,75	8
12	100	7
13	101,75	4
14	99,75	4
15	100	6
16	99	6
17	100,25	6
18	101,25	5
19	100,25	8
20	100	8
21	100,5	6
22	99,75	5
23	98	4
24	98,25	6
25	99	5
26	98,75	6
27	97,5	5
28	97,75	4
29	98,5	9
30	98,25	7
31	98	4
32	97,75	7
33	97,25	5
34	96,5	11

Проведемо аналіз \bar{X} контрольної карти.

1. Ознаки стабільності виробничого процесу:

а) коливання експериментальних точок навколо центральної лінії нерегулярні;

б) всі точки лежать в контрольних межах.

2. Ознаки нестабільності виробничого процесу або його порушень:

а) в контрольній карті після 20-ї вибірки спостерігається тенденція до зміщення експериментальних точок донизу;

б) із 14-ти останніх точок 13 лежать по одну сторону від центральної

лінії (допускається з 14-ти – менше 12-ти).

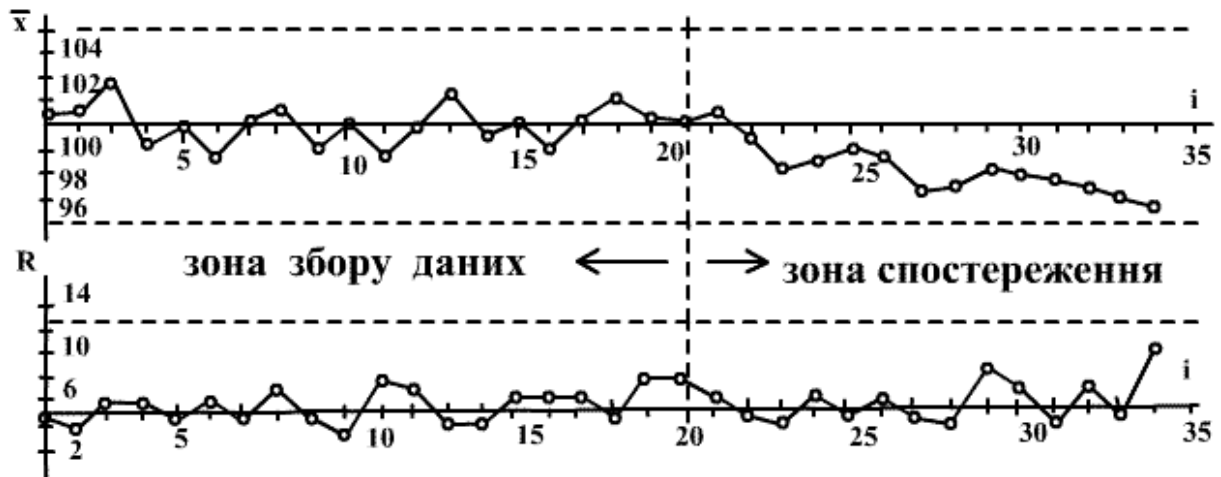


Рисунок 2.4 – Контрольні карти типу X та R

Для R карти всі вимоги стабільності виробничого процесу виконуються, і жодна ознака нестабільності не спостерігається.

Отже, статистична модель у вигляді контрольних карт свідчить про наявність тенденції до порушення стабільності виробничого процесу.

2 Завдання до практичної роботи

1. За результатами вибіркового контролю ЗВ знайдіть середні значення та розмахи для кожної вибірки. Визначіть рівні центральних ліній для ЗС та R контрольних карт за першими п'ятнадцятьма вибірками (див. табл. 2.12). Обчисліть верхні та нижні контрольні межі.

2. Побудуйте \bar{x} та R контрольні карти для вибірок з номерами 16, 17, 18, і так далі (див. табл. 2.12). Проаналізуйте побудовані контрольні карти та зробіть відповідні висновки.

3 Контрольні запитання

1. Що таке контрольна карта та який вигляд вона має?
2. Які види контрольних карт Ви знаєте?
3. Що таке центральна лінія контрольної карти та як визначається рівень, на якому вона проводиться?
4. Як визначаються допустимі межі змінних контрольних карт кількісних характеристик?
5. Як визначаються допустимі межі змінних контрольних карт якісних характеристик?

Література

1. Величко О.М., Коцюба А.М., Новиков В.М. Основи метрології та метрологічна діяльність. Навчальний посібник. – К., 2000. – 228 с.
2. ДСТУ 3215-95. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. . Організація та порядок проведення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 10 с.
3. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с.
4. Шишкин И.Ф., Яншин В.Н. Прикладная метрология: учебник для вузов. – М.: РИЦ «Татьянин день», 1993. – 286 с.
5. Крамер Г. Методы математической статистики. – М.: Мир 1975. – 484 с.
6. Романов В.Н., Комаров В.В. Анализ и обработка экспериментальных данных: учебн. Пособие. – СПб.: СЗТУ, 2002. – 281 с.
7. МИ 2552-99. Рекомендации. ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений». – СПб.: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева 1999, 12 с.
8. Васілевський О.М. Алгоритм оцінювання невизначеності у вимірюваннях при виконанні метрологічних робіт // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. - № 3 (7). – 2006.– С. 147-151.
9. ДСТУ ISO/IEC 17025 – 2001. Загальні вимоги до комплектності випробувальних та калібрувальних лабораторій. – К.: Держстандарт України, 18 с.
10. РМГ 43-2001 Рекомендации по межгосударственной стандартизации. ГСИ. Применение «Применение руководства по выражению неопределенности измерений». – Минск: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 20 с.
11. Коцюба А.М. Порівняльний аналіз характеристик похибок та невизначеності вимірювань. – Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Метрологія та вимірювальна техніка», Харків. – 2004. – т. 1. – С. 79 – 81.
12. Огвоздин В.Ю. Управление качеством. Основы теории и практики. – М.: Дело и сервис, 2002. – 160 с.
13. Гостев В.И. Статистический контроль качества продукции. – М.: Машиностроение, 1965. – 326 с.
14. Бичківський Р.В., Зорій В.І., Столярчук П.Г. Основи метрологічного забезпечення: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво ДУ «Львівська політехніка», 1999. – 180 с.
15. Полішко С.П., Турбенко О.Д. Точність засобів вимірювань. – К.: Вища школа, 1992. – 157 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1 – Варіант 1 (до практичної роботи №1)

№зв	1998	1999	2000	2001
1	2	3	3	7
2	3	3	4	5
3	3	4	4	5
4	0	4	4	6
5	1	1	1	3
6	0	2	3	3
7	2	3	3	4
8	2	3	4	5
9	3	3	4	6
10	1	3	3	6
11	2	2	3	5
12	3	4	4	5
13	4	4	4	6
14	0	1	4	6
15	0	0	1	3
16	1	2	3	3
17	2	2	3	5
18	1	3	3	6
19	1	1	3	3
20	0	3	4	5
21	0	4	4	4
22	2	3	4	5
23	2	2	3	4
24	1	3	4	12
25	2	4	4	6
26	4	2	3	5
27	0	4	3	4
28	4	3	4	4
29	0	2	4	5
30	1	2	4	4

Продовження додатку А

Таблиця А.2– Варіант 2 (до практичних робіт №1, №6)

№зв	1998	2000	2002	2004
1	1,8	2,1	0,9	2,7
2	0,3	2,5	0,2	1,5
3	0,4	2,9	0,8	2,6
4	0,5	2,4	1,1	2,9
5	0,5	0,3	0,1	2,0
6	2,4	1,2	1,7	1,6
7	1,4	0,8	0,5	0,8
8	1,1	2,0	0,2	3,2
9	1,4	1,3	2,3	2,8
10	2,5	0,1	1,2	0,6
11	2,0	3,1	1,3	1,5
12	2,2	2,2	3,0	0,1
13	2,7	0,3	0,7	1,7
14	0,4	2,8	1,9	1,3
15	2,2	1,4	0,2	3,1
16	2,4	2,8	1,9	2,5
17	0,8	0,7	1,4	1,5
18	1,2	2,8	2,4	2,1
19	2,0	1,9	0,1	1,7
20	0,6	1,7	4,3	0,1
21	2,5	1,9	0,7	0,3
22	1,9	3,6	2,1	0,2
23	1,6	0,9	0,3	0,4
24	2,2	1,9	0,3	4,4
25	1,8	1,0	1,4	2,2
26	0,6	1,5	1,6	3,9
27	1,0	0,5	1,5	1,7
28	1,7	0,2	2,1	3,0
29	1,5	0,7	1,9	2,4
30	1,1	0,4	1,7	2,9

Продовження додатку А

Таблиця А.3– Варіант 3 (до практичної роботи №1)

№зв	1998	1999	2000	2001
1	0,8	0,7	1,0	1,6
2	0,9	0,4	1,0	1,2
3	0,7	0,4	1,0	1,2
4	0,5	2,4	0,8	1,3
5	0,5	0,3	0,1	1,1
6	2,4	1,2	1,7	1,2
7	1,4	0,8	0,5	0,8
8	1,1	2,0	0,2	3,2
9	1,4	1,3	2,3	2,8
10	2,5	0,1	1,2	0,6
11	2,0	3,1	1,3	1,5
12	2,2	2,2	3,0	0,1
13	2,7	0,3	0,7	1,7
14	0,4	2,8	1,9	1,3
15	2,2	1,4	0,2	3,1
16	2,4	2,8	1,9	2,5
17	0,8	0,7	1,4	1,5
18	1,2	2,8	2,4	2,1
19	2,0	1,9	0,1	1,7
20	0,6	1,7	4,3	0,1
21	2,5	1,9	0,7	0,3
22	1,9	3,6	2,1	0,2
23	1,6	0,9	0,3	0,4
24	2,2	1,9	0,3	4,4
25	1,8	1,0	1,4	2,2
26	0,6	1,5	1,6	3,9
27	1,0	0,5	1,5	1,7
28	1,7	0,2	2,1	3,0
29	2,4	2,8	1,9	2,5
30	0,8	0,7	1,4	1,5

Продовження додатку А

Таблиця А.4 – Варіант 4 (до практичної роботи №1)

№зв	1998	2002	2006	2010
1	0,4	0,5	0,5	1,9
2	0,4	0,5	0,5	0,9
3	0,5	0,4	0,5	0,9
4	0,4	0,5	0,7	0,7
5	0,4	0,5	0,6	0,7
6	0,4	0,6	0,9	0,8
7	0,9	0,6	0,4	0,9
8	0,7	0,9	0,8	0,8
9	0,4	0,5	0,5	0,9
10	0,9	0,7	0,9	0,8
11	0,3	0,4	0,5	0,9
12	0,4	0,5	1,9	0,8
13	0,3	0,4	0,5	0,7
14	0,4	0,6	0,8	1,0
15	0,5	0,4	1,9	0,1
16	0,9	0,9	0,4	2,3
17	0,8	1,5	0,5	0,5
18	0,3	0,3	0,3	0,2
19	0,7	0,2	1,0	1,2
20	0,4	1,0	0,2	0,4
21	0,1	0,1	1,2	0,6
22	2,3	0,3	0,4	0,0
23	0,1	0,5	0,6	0,5
24	1,9	1,2	0,9	0,5
25	0,9	0,7	0,5	2,3
26	0,4	0,1	0,3	0,9
27	1,6	0,4	0,1	0,7
28	0,8	1,0	0,0	0,1
29	0,3	0,4	0,5	0,7
30	0,4	0,6	0,8	1,0

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Значення параметрів v_p , P_{min} та K_{min} (до практичних робіт №2 – №4)

Варіант	v_p	P_{min}	K_{min}
1	0,99	0,99	0,95
2	0,95	0,97	0,93
3	0,92	0,95	0,91
4	0,90	0,93	0,90
5	0,88	0,91	0,88
6	0,86	0,89	0,86
7	0,84	0,87	0,84
8	0,82	0,85	0,82
9	0,80	0,83	0,80
10	0,78	0,81	0,78
11	0,76	0,79	0,76
12	0,74	0,77	0,74
13	0,72	0,75	0,72
14	0,70	0,73	0,70
15	0,68	0,71	0,96
16	0,95	0,98	0,94
17	0,92	0,96	0,92
18	0,90	0,94	0,90
19	0,88	0,92	0,87
20	0,86	0,90	0,85
21	0,84	0,80	0,83
22	0,82	0,78	0,81
23	0,80	0,76	0,79
24	0,78	0,74	0,77
25	0,76	0,72	0,75
26	0,91	0,94	0,89
27	0,89	0,92	0,87
28	0,87	0,90	0,85
29	0,85	0,88	0,83
30	0,83	0,86	0,81

Додаток В

Таблиця В.1 – Завдання для розрахунку вірогідності безвідмовної роботи (до практичної роботи №5)

Варіант	t	N ₀	N(t)
1	1000	100	98
2	1000	150	144
3	1000	120	116
4	1000	130	126
5	1000	140	137
6	500	100	97
7	500	90	87
8	500	90	85
9	500	110	106
10	500	120	114
11	500	130	127
12	500	150	149
13	1000	140	136
14	1000	140	135
15	1000	140	134
16	1000	50	47
17	1000	50	45
18	1000	75	72
19	1000	75	73
20	1000	75	74
21	1000	75	76
22	1000	75	78
23	1000	50	80
24	1000	120	82
25	1000	130	84

Продовження додатку В

Таблиця В.2 – Завдання для розрахунку інтенсивності відмов (до практичної роботи №5)

Варіант	N(t)		
1	1000	100	50
2	1000	100	45
3	1005	100	45
4	1003	100	47
5	1002	100	48
6	1000	100	49
7	500	100	50
8	500	100	47
9	500	100	45
10	503	100	47
11	505	100	45
12	504	100	46
13	402	100	48
14	403	50	47
15	404	50	46
16	406	50	44
17	407	50	43
18	605	50	45
19	604	50	46
20	606	50	44
21	608	55	42
22	610	55	47
23	612	55	40
24	409	55	43
25	411	55	44

Продовження додатку В

Таблиця В.3 – Завдання для розрахунку середнього напрацювання (до практичної роботи №5)

Варіант	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆
1	20	25	30	35	31	32
2	40	41	54	45	50	49
3	30	31	39	20	37	40
4	10	15	20	19	18	16
5	100	105	75	109	110	99
6	100	110	120	109	115	76
7	85	80	81	70	50	82
8	70	71	72	50	25	70
9	50	51	55	54	10	56
10	75	72	73	74	75	10
11	91	90	70	95	100	90
12	100	101	105	74	106	100
13	84	85	80	55	87	88
14	20	21	24	26	10	27
15	31	33	34	35	34	30
16	44	41	45	44	46	10
17	55	54	50	52	70	56
18	17	15	18	10	17	16
19	20	27	22	21	23	19
20	75	74	73	17	74	76
21	65	55	50	33	65	68
22	85	95	70	21	78	83
23	95	105	88	57	35	54
24	99	110	96	43	25	39
25	101	120	97	55	78	85

Продовження додатку В

Таблиця В.4 – Завдання для розрахунку параметрів потоку відмов (до практичної роботи №5)

Варіант	n_1	n_2	n_3	Δt	N_0
1	4	3	2	100	3
2	4	5	1	100	3
3	4	4	2	100	3
4	5	5	3	100	3
5	2	5	1	100	3
6	3	4	3	100	3
7	4	2	5	100	3
8	5	4	1	100	3
9	5	3	5	100	3
10	2	1	2	100	3
11	3	2	5	100	3
12	4	2	5	100	3
13	4	3	4	100	3
14	2	3	5	100	3
15	1	2	4	100	3
16	1	3	1	100	3
17	2	1	2	100	3
18	5	5	4	100	3
19	4	4	5	100	3
20	4	3	5	100	3
21	2	5	3	100	3
22	3	1	2	100	3
23	4	2	3	100	3
24	1	4	5	100	3
25	3	5	1	100	3

Продовження додатку В

Таблиця В.5 – Завдання для розрахунку напрацювань на відмову (до практичної роботи №5)

Вар.	t ₁₁	t ₁₂	t ₁₃	t ₁₄	t ₂₁	t ₂₂	t ₂₃	t ₃₁	t ₃₂	t ₃₃	t ₃₄
1	100	80	85	90	120	100	90	80	85	70	100
2	120	100	90	80	125	110	90	75	80	70	65
3	130	120	110	102	131	130	90	75	70	60	55
4	100	110	105	90	100	95	90	95	90	85	65
5	90	80	70	60	90	85	70	60	65	62	59
6	102	100	91	85	98	85	71	65	60	50	41
7	500	400	450	200	400	405	380	350	330	310	100
8	400	385	350	340	420	400	390	390	380	310	200
9	430	410	400	300	400	350	300	410	380	300	250
10	420	400	390	350	410	360	340	380	350	300	280
11	410	405	360	320	400	380	360	300	305	250	220
12	400	380	70	350	380	350	300	200	280	300	150
13	200	190	180	100	180	190	170	180	150	140	120
14	210	200	190	180	200	185	170	140	150	120	100
15	220	210	200	180	150	190	180	160	170	150	120
16	230	220	210	170	210	200	170	220	200	190	150
17	250	240	230	200	240	220	210	240	200	190	165
18	150	140	145	130	140	130	120	100	90	80	70
19	160	150	140	135	175	150	110	300	250	200	170
20	170	160	140	120	180	160	120	400	350	300	200
21	180	170	160	110	170	150	130	350	300	280	250
22	190	180	170	100	150	120	100	180	100	160	45
23	210	190	180	120	165	145	135	220	180	205	105
24	390	310	250	125	270	230	215	250	175	190	110
25	340	230	260	190	310	290	185	295	215	210	85

Додаток Г

Таблиця Г.1 – Результати вимірювань величини X та їх імовірності (до практичної роботи №7, №9)

Вар.	P	Дані вхідної величини X, що вимірювалась								
1	0,9	1,68	1,77	1,74	1,60	1,52	1,76	1,61	1,68	1,92
2	0,95	2,29	2,50	2,37	2,47	2,45	2,48	2,36	2,34	2,39
3	0,99	3,86	3,88	3,84	3,91	3,98	3,92	3,92	3,78	3,83
4	0,95	4,81	4,71	4,69	4,87	4,69	4,74	4,70	4,66	4,79
5	0,9	5,72	5,65	5,70	5,55	5,56	5,66	5,56	5,69	5,55
6	0,95	6,60	6,69	6,79	6,78	6,65	6,63	6,72	6,71	6,71
7	0,95	7,79	7,83	7,68	7,81	7,73	7,71	7,74	7,66	7,81
8	0,9	8,82	8,74	8,69	8,78	8,81	8,84	8,74	8,88	8,82
9	0,99	9,02	9,19	9,26	9,24	9,14	9,24	9,18	9,15	9,10
10	0,99	10,73	10,81	10,57	10,60	10,59	10,74	10,58	10,59	10,64
11	0,9	11,77	11,81	11,89	11,78	11,71	11,79	11,90	11,91	11,81
12	0,95	12,76	12,97	12,91	12,80	12,87	12,80	12,77	12,89	12,98
13	0,9	13,74	13,64	13,57	13,58	13,69	13,57	13,65	13,50	13,68
14	0,95	14,92	14,82	14,88	14,81	14,90	14,90	14,96	14,93	14,87
15	0,95	15,44	15,49	15,39	15,36	15,30	15,35	15,40	15,44	15,47
16	0,9	16,68	16,77	16,74	16,60	16,52	16,76	16,61	16,68	16,92
17	0,95	17,92	17,82	17,88	17,81	17,90	17,90	17,96	17,93	14,87
18	0,95	18,76	18,97	18,91	18,80	18,87	18,80	18,77	18,89	18,98
19	0,9	19,82	19,74	19,69	19,78	19,81	19,84	19,74	19,88	19,82
20	0,95	20,29	20,50	20,37	20,47	20,45	20,48	20,36	20,34	20,39
21	0,95	21,79	21,83	21,68	21,81	21,73	21,71	21,74	21,66	21,81
22	0,9	22,77	22,81	22,89	22,78	22,71	22,79	22,90	22,91	22,81
23	0,99	23,86	23,88	23,84	23,91	23,98	23,92	23,92	23,78	23,83
24	0,95	24,81	24,71	24,69	24,87	24,69	24,74	24,70	24,66	24,79
25	0,9	0,9	0,97	0,84	0,86	0,89	0,91	0,93	0,87	0,85

Додаток Д

Таблиця Д.1 – Рівняння функцій за якими здійснювались вимірювання X (до практичної роботи №7)

Варіант	$Y=f(X, k, b)$
1	$Y = k + X^2 / b$
2	$Y = b/k + \sqrt{X}$
3	$Y = \frac{k \cdot X}{b}$
4	$Y = b + X/\sqrt{k}$
5	$Y = kb/\sqrt{X}$
6	$Y = k/(X + \sqrt{b})$
7	$Y = k + b\sqrt{X + k}$
8	$Y = k/\sqrt{X + b}$
9	$Y = \sqrt{k + X^2} / b$
10	$Y = X + b\sqrt{k + bX}$
11	$Y = \frac{k \cdot b}{\sqrt{X}} + X$
12	$Y = k + \frac{b + X}{\sqrt{X}}$
13	$Y = b + X^2 / (X + k)$
14	$Y = \frac{X}{\sqrt{b}} + \frac{k}{X}$
15	$Y = \sqrt[3]{X} + k\sqrt{b + X}$
16	$Y = kX/\sqrt{X + b}$
17	$Y = \sqrt{X + b^2} / k$
18	$Y = 1/b + k^2 / X^3$
19	$Y = b/X + \sqrt{k^3 X}$
20	$Y = X^2 / (b^3 + \sqrt{kX})$
21	$Y = X + \frac{bX^4}{\sqrt{k}}$
22	$Y = (X - 1) / \sqrt{k^4 + b^3 X}$
23	$Y = \frac{k \cdot X^5}{\sqrt{b}} - \ln k$
24	$Y = bX / (\ln X + k)$

Додаток Е

Таблиця Е.1 – Початкові дані для перерахунку похибки у невизначеність (до практичної роботи №8)

Варіант	$\Delta_{0,95}$	$\Delta_{0,99}$	γ	n	m
1	1,5	1,0	0,8	5	2
2	2,3	1,8	1	10	1
3	3,1	2,6	2	20	3
4	2,7	1,05	3	25	4
5	2,0	0,95	4	30	5
6	1,8	0,9	5	45	2
7	1,4	0,85	6	50	3
8	1,2	0,8	7	100	4
9	0,8	0,15	8	15	6
10	0,5	0,09	0,8	90	2
11	0,3	0,005	1	25	3
12	0,1	0,002	2	35	4
13	0,05	0,045	8	29	7
14	0,03	0,0013	0,4	26	4
15	0,01	0,0067	6	18	3
16	0,07	0,035	2	16	2
17	1,4	0,558	3	11	1
18	1,6	0,427	16	9	9
19	3,45	0,085	4	8	4
20	5,05	0,075	1	44	3
21	4,32	0,0065	7	35	2
22	3,25	0,089	8	30	3
23	3,99	0,077	0,1	29	4
24	2,95	0,022	6	4	5
25	10,55	0,025	9	28	1

Додаток Ж

Методика розрахунку коефіцієнтів m_k , S_0 та r методом найменших квадратів

1. Оскільки математичне очікування нестабільності МХ ЗВ за час t описується рівнянням (2.1), яке у відповідності з варіантами завдань має апроксимуючий поліном другого порядку, то для знаходження коефіцієнтів m_k (m_0 , m_1 , m_2) складається така система рівнянь:

$$\begin{cases} m_0 + m_1\alpha_1[t_i] + m_2\alpha_2[t_i] = \alpha_1[m_i(t_i)]; \\ m_0\alpha_1[t_i] + m_1\alpha_2[t_i] + m_2\alpha_3[t_i] = \alpha_{11}[t_i, m_i(t_i)]; \\ m_0\alpha_2[t_i] + m_1\alpha_3[t_i] + m_2\alpha_4[t_i] = \alpha_{21}[t_i, m_i(t_i)], \end{cases}$$

$$\text{де } \alpha_1[t_i] = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}; \quad \alpha_2[t_i] = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^2}{n}; \quad \alpha_3[t_i] = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^3}{n}; \quad \alpha_4[t_i] = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^4}{n};$$
$$\alpha_1[m_i(t_i)] = \frac{\sum_{i=1}^n m_i(t_i)}{n}; \quad \alpha_{11}[t_i, m_i(t_i)] = \frac{\sum_{i=1}^n t_i m_i(t_i)}{n}; \quad \alpha_{21}[t_i, m_i(t_i)] = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^2 m_i(t_i)}{n}.$$

Після розрахунку і підстановки у наведену систему вказаних коефіцієнтів, визначаються постійні коефіцієнти m_0 , m_1 , m_2 шляхом розв'язку трьох рівнянь із трьома невідомими. Далі знайдені числові значення постійних коефіцієнтів підставляють в апроксимуючий поліном другого порядку і таким чином отримують часову залежність математичного очікування нестабільності МХ ЗВ

$$m(t) = m_0 + m_1 t + m_2 t^2.$$

2. Для визначення постійних коефіцієнтів σ_0 і r , що входять до залежності для визначення СВК нестабільності МХ ЗВ, методом найменших квадратів, вираз (2.2) запишемо у вигляді

$$\ln \sigma(t) = \ln \sigma_0 + rt.$$

Замінімо $\ln \sigma_0$ на b і розрахуємо коефіцієнти r та b за формулами:

Продовження додатку Ж

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \sigma_i(t_i) - \frac{\sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n \sigma_i(t_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_i\right)^2}{n}};$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i(t_i)}{n} - r \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}.$$

Після підстановки вибірових характеристик розподілу нестабільності МХ ЗВ одержимо числові значення постійних коефіцієнтів r та b . Для визначення постійного коефіцієнту σ_0 , що входить до залежності СКВ МХ ЗВ, над числовим значенням b виконаємо таку математичну операцію

$$\sigma_0 = e^b.$$

Після цього знаходимо залежність СКВ нестабільності МХ ЗВ за час t за виразом

$$\sigma(t) = e^b e^{rt}.$$

Навчальне видання

Олександр Миколайович Васілевський

Володимир Олександрович Поджаренко

Практикум з метрологічного нагляду за засобами вимірювання

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготував О.М. Васілевський

Редактор ініціали та прізвище редактора

Навчально-методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку
Формат 29,7x42 $\frac{1}{4}$
Друк різнографічний
Тираж прим.
Зам. №

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. М. Васілевський,
В. О. Поджаренко

Практикум з метрологічного нагляду за засобами вимірювання

Навчальний посібник

Усі цитати, цифровий, фактичний матеріал та бібліографічні відомості перевірені, написання одиниць відповідає стандартам.

Зауваження рецензентів враховані.

Вимогам, які висуваються до навчальної літератури, відповідає.

До друку і в світ дозволяю на підставі § 2 п.15 "Єдиних правил..."

Автор: _____ В. О. Поджаренко
(підпис)

_____ О.М.Васілевський
(підпис)

Проректор з науково-педагогічної роботи по організації навчального процесу та його наукового забезпечення

_____ В.О.Леонтєв

Затверджено
на засіданні кафедри МПА
Протокол № 4 від «02» 10 2007р.
Зав. кафедрою

_____ В.О.Поджаренко
(підпис)

Вінниця ВНТУ 2007