

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК  
ІМЕНІ ГЕТЬМАНА ПЕТРА САГАЙДАЧНОГО

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

АРКУШЕНКО ПАВЛО ЛЕОНІДОВИЧ

УДК 681.7.08; 536.6.081

**ДИСЕРТАЦІЯ**

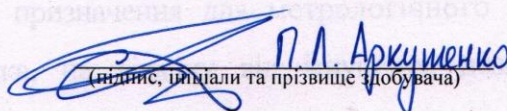
**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ  
ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ  
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИК ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ**

05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення

05 «Технічні науки»

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник –  
Яковлев Максим Юрійович  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник

Ідентичність всіх примірників дисертації  
ЗАСВІДЧУЮ:  
Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради /Т. Бубела/



Львів – 2018

## АНОТАЦІЯ

Аркушенко П.Л. Підвищення ефективності метрологічної експертизи військової техніки зв'язку на основі удосконалення методик її проведення. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» (05 – Технічні науки). – Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, 2018.

**Зміст анотації.** Дисертація присвячена питанням підвищення оперативності та зменшення витрат на метрологічне обслуговування при встановленні реального технічного стану військової техніки зв'язку. Для цього розроблено комплексну методику проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку на основі використання методів технічної діагностики, яка базується на: удосконаленій методиці обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку, що на відміну від існуючих дозволяє оцінювати комплексний показник параметра як ймовірність його першочергового вибору під час метрологічного обслуговування та додатково враховує роздільну оцінку впливу часу і вартості вимірювання параметрів; удосконаленій методиці вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку, яка, на відміну від існуючих, дозволяє визначати мінімально припустимі значення метрологічних характеристик з урахуванням метрологічної надійності; удосконаленій методиці вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку, яка враховує вплив якості алгоритмів обслуговування і ремонту військової техніки зв'язку на показники її метрологічного обслуговування та помилки діагностування.

Використання отриманих результатів дозволило підвищити оперативність оцінки технічного стану військової техніки зв'язку на 30 % та знизити вартість її засобів вимірювальної техніки військового призначення під час ТО-2 до 13 тисяч гривень.

У першому розділі *«Аналіз стану та тенденцій розвитку метрологічного забезпечення військової техніки зв'язку»* проведено структурно-функціональний аналіз системи метрологічного забезпечення військової техніки зв'язку, проаналізовано існуючі методики вибору складу вимірюваних параметрів складних технічних систем під час метрологічної експертизи та методики вибору номенклатури засобів вимірювальної техніки для метрологічного обслуговування складних технічних систем. Визначено основні протиріччя і напрями удосконалення системи метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку та наведено обґрунтування напрямів і методів досліджень. Сформульовано наукове завдання, об'єкт, предмет і мета, а також показник ефективності і цільова функція дослідження.

У підрозділі 1.1 *«Структурно-функціональний аналіз системи метрологічного забезпечення військової техніки зв'язку»* проведено структурно-функціональний аналіз існуючої системи метрологічного забезпечення військової техніки зв'язку. Показано, що метрологічне забезпечення військової техніки зв'язку Збройних Сил України займає важливе місце в системі експлуатації військової техніки зв'язку, тому її удосконалення є одним з найважливіших напрямів підвищення ефективності та готовності військової техніки зв'язку.

У підрозділі 1.2 *«Аналіз методик метрологічної експертизи складних технічних систем»* проведено аналіз відомих методик метрологічної експертизи складних технічних систем, визначено їх основні переваги та недоліки. Встановлено, що вони не в повній мірі враховують специфіку експлуатації сучасних складних технічних систем, особливо військової техніки зв'язку. Удосконалення методик метрологічної експертизи складних технічних систем має здійснюватись у комплексі, з урахуванням їх взаємного впливу, що дозволить підвищити її ефективність.

У підрозділі 1.3 *«Основні протиріччя і напрями удосконалення системи метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку»* за результатами аналізу існуючого науково-методичного апарату щодо обґрунтування технічних рішень з метрологічного забезпечення військової техніки зв'язку показано, що він

не дозволяє встановити мінімальну кількість вимірюваних параметрів та їх послідовність, а також те, що допустиме значення ймовірності правильної оцінки результату вимірюваних параметрів визначається орієнтовно у припущенні реалізації умовного алгоритму діагностування лише досконалої форми.

У підрозділі 1.4 *«Обґрунтування напрямів і методів досліджень. Постановка наукового завдання дослідження»* показано, що актуальним є завдання удосконалення часткових методик метрологічної експертизи військової техніки зв'язку на основі методів технічної діагностики з метою підвищення оперативності та зменшення витрат на метрологічне обслуговування при встановленні реального технічного стану військової техніки зв'язку.

У другому розділі *«Часткова методика обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку»* удосконалено методику обґрунтування послідовності і кількості параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку, а також проведено оцінку ефективності від її застосування на прикладі радіостанції тактичної ланки управління Р-173.

У підрозділі 2.1 *«Вибір та обґрунтування методу визначення рангів параметрів військової техніки зв'язку»* для вирішення завдання обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів при метрологічному обслуговуванні військової техніки зв'язку пропонується поряд із теорію ймовірностей використовувати теорію множин для моделювання структури військової техніки зв'язку і теорію нечітких множин для обробки результатів експертного опитування та визначення переліку параметрів для оцінки її технічного стану. Показано, що розв'язання поставленої задачі передбачає проведення експертного опитування з метою формалізації процесу оцінки важливості параметрів військової техніки зв'язку та отримання кількісних значень вагових коефіцієнтів параметрів.

У підрозділі 2.2 *«Обґрунтування методу визначення вагових коефіцієнтів параметрів військової техніки зв'язку»* встановлено, що для проведення експертного опитування стосовно дослідження, яке проводиться, доцільно

використовувати послідовну ітеративну процедуру, а для обробки експертних оцінок – методи теорії нечітких множин.

*У підрозділі 2.3 «Визначення рангів параметрів військової техніки зв'язку на основі теорії множин»* показано, що аналіз структурних схем військової техніки зв'язку методом теорії множин виконується з метою виключення залежних та визначення незалежних параметрів, а також визначення множин елементів, які впливають на значення окремих параметрів. Запропоновано класифікацію структур військової техніки зв'язку на основі теоретико-множинного аналізу їх геометричних моделей і досліджено різні типи теоретико-множинних моделей та відносин між підмножинами елементів військової техніки зв'язку. Врахування наведеного дозволяє в подальшому встановити ранг параметра за кількістю використовуваних для його формування елементів (потужність підмножини елементів в теоретико-множинній моделі військової техніки зв'язку).

*У підрозділі 2.4 «Визначення вагових коефіцієнтів параметрів військової техніки зв'язку на основі теорії нечітких множин»* показано, що порядок вимірювання параметрів і їх мінімально необхідна кількість для оцінки реального технічного стану військової техніки зв'язку в процесі її метрологічного обслуговування визначається з урахуванням експертного опитування спеціалістів, результати якого обробляються з використанням математичного апарату теорії нечітких множин. Наведено етапи процесів підготовки та проведення експертизи з подальшою обробкою отриманих результатів.

*У підрозділі 2.5 «Основні етапи часткової методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку»* удосконалено методику обґрунтування послідовності і кількості параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку. Відмінність удосконаленої методики від відомих полягає в тому, що вона дозволяє оцінювати комплексний показник параметра як ймовірність його першочергового вибору під час метрологічного обслуговування та додатково враховує роздільну оцінку впливу часу і вартості вимірювання



параметрів. Вона дозволяє встановити мінімально необхідну кількість параметрів військової техніки зв'язку, оптимізувати порядок і скоротити час їх вимірювання, а також кількість засобів вимірювальної техніки військового призначення, які необхідні для оцінки технічного стану військової техніки зв'язку.

У третьому розділі *«Часткові методики визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку»* встановлено, що при вирішенні задачі обґрунтування метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку загальноприйнятим підходом є застосування теорії вимірювань без врахування особливостей визначення технічного складу. Показано, що відомі методики використовують наближені аналітичні вирази для оцінки впливу послідовності виконання вимірювань при визначенні технічного стану військової техніки зв'язку, що призводить до завищення класу точності і, як наслідок, вартості засобів вимірювальної техніки військового призначення, які використовуються. Встановлено необхідність удосконалення методик визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку. Удосконалено методики визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням метрологічної надійності та впливу якості алгоритмів обслуговування і їх ремонту.

У підрозділі 3.1 *«Підхід щодо визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку»* запропоновано підхід щодо визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку, що заснований на використанні методів теорії ймовірностей, теорії дискретного пошуку, теорії графів і дискретної математики для отримання функціональних залежностей математичного сподівання відхилення технічного стану військової

техніки зв'язку від його істинного значення при врахуванні можливості виникнення не більше однієї помилки в оцінці результату вимірювання значення параметра.

У підрозділі 3.2 «*Часткова методика визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням метрологічної надійності*» удосконалено часткову методику вибору номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку. Її відмінність від відомих полягає в тому, що вона враховує метрологічну надійність, чим відрізняється від відомих робіт та дозволяє більш обґрунтовано задавати вимоги до технологічного обладнання апаратних зв'язку та апаратних технічного забезпечення для гарантованого виконання поточного ремонту військової техніки зв'язку з потрібною якістю у встановлені строки і забезпечує зменшення витрат на її метрологічне обслуговування.

У підрозділі 3.3 «*Часткова методика визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і ремонту*» отримала подальший розвиток часткова методика визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і ремонту. Вона дозволяє врахувати вплив якості алгоритмів обслуговування і ремонту військової техніки зв'язку на показники її метрологічного обслуговування за рахунок отриманих залежностей середнього часу оцінки технічного стану військової техніки зв'язку і кількісної оцінки діагностичних помилок від ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань.

У четвертому розділі «*Комплексна методика проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку та її експериментальні дослідження*» запропоновано використання розроблених часткових методик комплексно.

Приведені результати експериментального дослідження запропонованих методик, техніко-економічна оцінка та оцінка їх достовірності. Обґрунтовані рекомендації щодо практичного використання результатів дослідження та розроблено блок-схему алгоритму їх реалізації.

*У підрозділі 4.1 «Основні етапи комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку»* розкрито основні етапи комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку. Реалізація зазначених етапів комплексно дозволяє мінімізувати кількість вимірювальних параметрів та встановити раціональну послідовність їх вимірювання, що зменшить час встановлення технічного стану військової техніки зв'язку, а обґрунтування значення ймовірності правильної оцінки вимірюваного параметра дозволяє обирати дешевші засоби вимірювальної техніки військового призначення.

*У підрозділі 4.2 «Експериментальне дослідження ефективності комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку»* виконано для підтвердження працездатності запропонованої комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку на прикладі короткохвильової радіостанції Р-1150.

*У підрозділі 4.3 «Техніко-економічна оцінка результатів впровадження комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку»* проведена техніко-економічна оцінка для одного типу військової техніки зв'язку, а саме для короткохвильової радіостанції Р-1150. Встановлено, що запропонована комплексна методика проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку у порівнянні з існуючими, дозволяє задовольнити потреби Збройних Сил України щодо швидкого управління військами, завдяки скороченню часу встановлення технічного стану військової техніки зв'язку, зменшенню номенклатури та вартості засобів вимірювальної техніки військового призначення, які застосовуються при її метрологічному обслуговуванні.

*У підрозділі 4.4 «Практичні рекомендації щодо застосування комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку»*



показано, що запропоновану комплексну методику доцільно використовувати для прийняття науково-обґрунтованих рішень при: складанні (проектуванні) тактико-технічних, технічних завдань на виконання науково-дослідних, дослідно-конструкторських робіт зі створення (модернізації) зразків військової техніки зв'язку; проведенні метрологічної експертизи документації військової техніки зв'язку; проектуванні та розробці технічної документації існуючих і перспективних зразків військової техніки зв'язку на підприємствах, організаціях та установах.

***Ключові слова:** метрологічна експертиза, військова техніка зв'язку, засоби вимірювальної техніки військового призначення, метрологічне забезпечення, метрологічне обслуговування, метрологічна надійність, вимірювальні параметри, метрологічні характеристики, умовний алгоритм.*

## **СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Статті у наукових фахових виданнях України**

1. Аркушенко П. Л. Економічні аспекти оцінки ефективності метрологічного забезпечення / П. Л. Аркушенко, В. А. Дружинін, В. В. Хіміч, О. Т. Гордієвський // Збірник наукових праць: Державна прикордонна служба України. Національна академія Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. Серія: Військові та технічні науки. – Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2012. – № 57. – С. 146-148.
2. Аркушенко П. Л. Математична модель експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення / П. Л. Аркушенко, О. П. Флорін, О. О. Воронін // Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ВКФ «Фавор ЛТД», 2016. – № 6(62). – С. 62-66.
3. Аркушенко П. Л. Методика обґрунтування обмінного фонду засобів вимірювальної техніки військового призначення / П. Л. Аркушенко, О. П. Флорін, К. В. Власов // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – Харків: НАНГУ, 2016. – № 1. – С. 38-44.

**Статті у наукових періодичних виданнях України, що індексуються міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних**

4. Аркушенко П. Л. Аналіз методик метрологічної експертизи складних технічних систем / О. В. Ходич, М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Український метрологічний журнал. Науково-технічне видання. – Харків: ННЦ «Інститут метрології», 2015. – № 2. – С. 12-16.

5. Аркушенко П. Л. Вимоги до метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку в апаратних технічного забезпечення / Л. М. Сакович, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко, О. В. Ходич // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 1(26). – С. 150-152.

6. Яковлев М.Ю. Удосконалення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку / М. Ю. Яковлев, Л. М. Сакович, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 3 (28). – С. 92-99.

7. Яковлев М.Ю. Удосконалення методу завдання вимог до мінімально припустимого значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки під час діагностування / М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов, Л. М. Сакович, П. Л. Аркушенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 4 (29). – С. 136-142.

8. Аркушенко П.Л. Формирование требований к средствам измерений диагностических параметров аппаратной связи при техническом обслуживании и текущем ремонте/ Л. Н. Сакович, П. Л. Аркушенко, А. В. Ходич // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 1(50). – С. 108-111.

**Тези доповідей на конференціях**

9. Аркушенко П. Л. Пропозиції щодо синтезу оптимальної системи метрологічного обслуговування озброєння / В. О. Сіроткін, П. Л. Аркушенко, К. А. Костюков, Д. В. Кривельов // Збірник тез доповідей 13 науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 5-6 вересня 2013 р. – Феодосія : ДНВЦ ЗСУ. – 2013. – С. 418.

10. Аркушенко П. Л. Аналіз методик метрологічної експертизи складних технічних систем / П. Л. Аркушенко. // Збірник тез доповідей 15 науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 17–18 вересня 2015 р. – Чернігів: ДНВЦ ЗСУ, 2015. – С. 35-36.

11. Аркушенко П. Л. Питання метрологічного забезпечення спеціальних інформаційно-вимірювальних систем для контролю параметрів озброєння і військової техніки / П. Л. Аркушенко // Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ», 14-15 травня 2015 р. – Львів: АСВ, 2015. – С. 177-178.

12. Рижов Є.В. Комплексна методика метрологічної експертизи документації складних технічних систем / Є. В. Рижов, М. Ю. Яковлев, П. Л. Аркушенко, О. В. Ходич // Збірник тез доповідей 16 науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 8-9 вересня 2016 р. – Чернігів: ДНВЦ ЗСУ, 2016. – С. 202-203.

13. Аркушенко П.Л. Метрологічна експертиза документації складних технічних систем / О. В. Ходич, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Застосування Сухопутних військ Збройних сил України у конфліктах сучасності», 17 листопада 2016р. – Львів: НАСВ, 2016. – С. 60.

14. Аркушенко П.Л. Підхід щодо удосконалення метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку / О. В. Ходич, Л. М. Сакович, П. Л. Аркушенко // Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ». Львів, 11-12 травня 2017 р. – Львів: НАСВ, 2017. – С. 238.

15. Яковлев М. Ю. Удосконалена методика обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку / М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Збірник тез 17 науково-технічної конференції «Створення та модернізація

озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 7-8 вересня 2017 р. – Чернігів: ДНВЦ ЗСУ, 2017. – С. 389-390.

16. Яковлев М. Ю. Обґрунтування мінімально необхідних вимог до засобів вимірювань при двоступеневій системі діагностування в процесі поточного ремонту військової техніки зв'язку / М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Застосування Сухопутних військ Збройних сил України у конфліктах сучасності», 16 листопада 2017 р. – Львів: НАСВ, 2017. – С. 103.

17. Аркушенко П.Л. Підхід щодо формування вимог до метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку в апаратних технічного забезпечення / П.Л. Аркушенко, Л.М. Сакович, О.В. Ходич // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Актуальні проблеми проектування, виготовлення і експлуатації озброєння та військової техніки». – Вінниця, 17-19 травня 2017. – Вінниця: ВНТУ. – 2017. – С. 270-272.

18. Аркушенко П. Л. Способ формирования требований к средствам измерительной техники диагностических параметров аппаратной связи при техническом обслуживании и текущем ремонте / Л. М. Сакович, П. Л. Аркушенко, О. В. Ходич // Збірник тез доповідей 13 наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору», 12-13 квітня 2017 р. – Харків: ХНУПС, 2017. – С. 242.

### **Науково-дослідні роботи**

19. Дослідження можливостей застосування безпілотного авіаційного комплексу «Spectrator» у Збройних Силах України шифр «Струга»: Звіт про НДР (остаточний) / Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України; кер. Камак Ю. О.; вик.: Шлапацький В. О. [та ін.]. – Чернігів. – 2014. –71 с. – № держреєстрації 0101U001843. – Інв. №155.

20. Дослідження з формування типового програмно-методичного забезпечення випробувань безпілотних авіаційних комплексів різного

класифікаційного і функціонального призначення іноземного і вітчизняного виробництва та вимог до експериментальної бази для забезпечення їх оцінювання на відповідність оперативно-тактичним вимогам до БпАК шифр «Алюр»: Звіт про НДР (остаточний) / Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України; кер. Камак Ю. О. ; вик.: Шлапацький В. О. [та ін.]. – Чернігів. – 2015. – 200 с. – № держреєстрації 0101U001849. – Інв. №802.

21. Розробка інтелектуально-діагностичної системи безпілотних авіаційних комплексів шифр «Інтеграл»: Звіт про НДР (остаточний) / Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України; кер. Камак Ю. О.; вик.: Нестеренко С. О. [та ін.]. – Чернігів. – 2016. – 74 с. – № держреєстрації 0101U001998. – Інв. № 1343.

22. Дослідження можливих варіантів створення перспективного віртуального реконфігуруємого вимірювача параметрів та характеристик озброєння та військової техніки Повітряних Сил шифр «Вимірювач 2017»: Звіт про НДР (остаточний) / Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України; кер. Коваленко А. В.; вик.: Борщ В. В. [та ін.]. – Чернігів, 2017. –188 с. – № держреєстрації 0101U002288. – Інв. № 1669.

## ANNOTATION

**Arkushenko P.L.** Improving the effectiveness of metrological examination of military communication technology on the basis of improving the methods of conducting it. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

The thesis for a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences by specialty 05.01.02 - Standardization, Certification and Metrological Assurance. Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Ministry of Defence of Ukraine, Lviv, 2018.

**The content of the dissertation.** The dissertation is devoted to the issues of increasing efficiency and reducing the cost of metrological services in establishing the actual technical state of military communication equipment. To this end, a

comprehensive methodology for carrying out the metrological examination of military communication technology has been developed on the basis of the use of methods of technical diagnostics, which is based on: an improved method of justification of the sequence and the number of minimum required parameters for metrological maintenance of military communication equipment, which, unlike the existing ones, allows us to evaluate the complex the parameter of the parameter as the probability of its primary choice during the metrological service and additionally takes into account the separate assessment influence of time and cost of measuring parameters; an advanced method of selecting the means of measuring equipment for military use for the metrological service of military communication equipment, which, unlike the existing, allows to determine the minimum acceptable values of metrological characteristics taking into account the metrological reliability; an advanced method of selecting the means of measuring equipment for military use for the metrological maintenance of military communication equipment, which takes into account the quality of the algorithms of maintenance and repair of military equipment of communication on the indicators of its metrological service and diagnostic errors.

The use of the obtained results allowed to increase the efficiency of the assessment of the technical condition of military equipment of communication by 30% and reduce the cost of its means of measuring equipment military purposes during the TO-2 by 13000 hryvnia.

In the first chapter "*Analysis of the state and trends of the development of metrological support of military communication equipment*", a structural and functional analysis of the system of metrological support of military communication equipment was carried out, the methods of choosing the composition of measured parameters of complex technical systems during the metrological examination and the method of selecting the nomenclature of measuring instruments machinery for metrological maintenance of complex technical systems. The main contradictions and directions of improvement of the system of metrological service of military communication equipment are determined, and the justification of directions and methods of research is given. The scientific task of the research is formulated.



*"Structural-functional analysis of the system of metrological support of military communication technique"* was carried out in section 1.1. Structural-functional analysis of the existing system of metrological support of military communication equipment. It is shown that the metrological support of the military equipment of communication of the Armed Forces of Ukraine occupies an important place in the system of exploitation of military communication equipment, therefore its improvement is one of the most important directions of increasing the efficiency and combat readiness of military communication equipment.

In section 1.2 *"Analysis of methods of metrological examination of complex technical systems"* an analysis of known methods of metrological examination of complex technical systems was carried out, their main advantages and disadvantages were determined. It is established that they do not take into account the specifics of the operation of modern complex technical systems, especially military communication equipment. Improvement of methods of metrological examination of complex technical systems should be carried out in a complex, taking into account their mutual influence, which will increase its efficiency.

In section 1.3 *"The main contradictions and directions of improvement of the system of metrological service of military communication equipment"*, based on the results of an analysis of the existing scientific and methodical apparatus on the justification of technical solutions for the metrological support of military communication equipment, it is shown that it does not allow the establishment of a minimum number of measured parameters and their consistency, as well as the fact that the permissible value of the probability of correct estimation of the result of measured parameters is determined roughly in the assumption of realization conditional algorithm only in perfect shape.

In section 1.4 *"Justification of the directions and methods of research. Statement of the scientific task of the study"* shows that the task of improving the partial methods of metrological examination of military communication technology based on the methods of technical diagnostics is actual in order to increase the efficiency and reduce the cost of metrological maintenance when establishing the actual technical state of

military communication equipment.

In the second chapter "*Partial methodology for the justification of the sequence and the number of minimum required parameters for metrological maintenance of military communication equipment*", the method of justification of the sequence and number of parameters for the metrological maintenance of military communication equipment has been improved, as well as an assessment of the effectiveness of its use on the example of the tactical radio station control units R-173.

In subsection 2.1. "*Choosing and justifying the method for determining the ranks of parameters of military communication equipment*", in order to solve the problem of substantiation of the sequence and the number of minimum required parameters in the metrological maintenance of military equipment of communication, along with the theory of probabilities, it is proposed, together with the theory of probabilities, to use the set theory for modeling the structure of military equipment. the theory of fuzzy sets for the processing of the results of an expert survey and the definition of a list of parameters for assessing its technical condition. It is shown that solving the problem involves holding an expert survey in order to formalize the process of assessing the importance of the parameters of the military communication technique and obtain the quantitative values of the weight parameters of the parameters.

In section 2.2 "*Justification of the method for determining weight coefficients of parameters of military communication equipment*" it was established that for conducting an expert survey in relation to the research it is expedient to use a consistent, iterative procedure, and for the processing of expert evaluations, the methods of the theory of fuzzy sets.

In section 2.3 "*Determination of the rank of parameters of military equipment on the basis of the theory of sets*" it is shown that the analysis of the structural schemes of military equipment of communication by the method of the theory of sets is performed in order to exclude dependent and determination of independent parameters, as well as determination of sets of elements that affect the value of individual parameters. The classification of structures of military equipment of communication on the basis of the theoretical and plural analysis of their geometric models is proposed and various types

of theoretical multi-model and relations between subsets of elements of military communication technique are investigated. Consideration of the above allows to further determine the rank of the parameter by the number of elements used for its formation (power subset of elements in the theory-plural model of military communication technique).

In section 2.4 "*Determination of weight factors of parameters of military equipment of communication on the basis of the theory of fuzzy sets*" it is shown that the order of measurement of parameters and their minimum required amount for estimation of the real technical condition of military communication technique in the process of its metrological service is determined taking into account expert survey specialists whose results are processed using the mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets. The stages of the preparation and conducting of the examination with the further processing of the obtained results are presented.

In section 2.5 "Basic stages of the partial method of justification of the sequence and the number of minimum required parameters for metrological maintenance of military communication equipment", the method of substantiation of the sequence and number of parameters for metrological maintenance of military communication equipment has been improved. The difference between the advanced technique and the known methodology is that it allows us to evaluate the complex parameter of the parameter as the probability of its primary choice during the metrological service and additionally takes into account the separate assessment of the influence of time and cost of measuring parameters. It allows to establish the minimum required number of parameters of military equipment of communication, to optimize the order of their measurement, to reduce the time and quantity of means of measuring equipment for military use, which are necessary for assessing the technical condition of military communication equipment.

In the third chapter "*Partial methods for determining the nomenclature of military equipment for measuring equipment of military use for metrological maintenance of military communication equipment*" it was established that in solving the task of substantiation of metrological characteristics of military equipment

measuring equipment for the metrological maintenance of military communication equipment, the generally accepted approach is the application of the theory of measurements without taking into account the features of the definition of the technical composition. It is shown that well-known techniques use approximate analytical expressions to assess the effect of a sequence of measurements in determining the technical state of military communication equipment, which leads to an overstatement of the accuracy class and, as a consequence, the cost of the measuring equipment used for military purposes. The necessity of improving the methods of determining the nomenclature of military equipment for measuring equipment for metrological maintenance of military communication equipment was established. The methods of determining the nomenclature of military equipment measuring equipment for metrological maintenance of military equipment of communication with the consideration of metrological reliability and influence of quality of maintenance algorithms and their repair are improved.

In section 3.1 "*Approach to the definition of the nomenclature of military equipment for measuring equipment of military purpose for metrological maintenance of military communication equipment*", an approach was proposed for the definition of a nomenclature of military equipment measuring equipment for the metrological maintenance of military communication equipment, based on the use of methods of probability theory, theory discrete search, graph theory and discrete mathematics for obtaining functional dependences of mathematical expectation from ylennya technical condition of military equipment due to its true value taking into account the possibility of no more than one error in assessing the value of the measurement result.

In section 3.2 "*Partial methodology for determining the nomenclature of military equipment for measuring equipment for metrological maintenance of military equipment of communication with regard to metrological reliability*", partial method of selecting the nomenclature of military equipment for measuring equipment for the metrological service of military communication technology has been improved. Its difference from the known is that it takes into account the metrological reliability, which differs from the known works and allows more reasonably to set requirements to

the technological equipment of hardware communications and hardware technical support for the guaranteed performance of the current repair of military equipment communication with the required quality in established terms and provides reduction of expenses for its metrological service.

In section 3.3 "*Partial methodology for determining the nomenclature of military equipment for measuring equipment for metrological maintenance of military communication equipment, taking into account the influence of the quality of maintenance algorithms and their repair*", further development of partial methodology for determining the nomenclature of military equipment for measuring equipment for the metrological service of military equipment, taking into account the influence of the quality of service algorithms and their repair. It allows to take into account the influence of the quality of the algorithms of service and repair of military communication equipment on the indicators of its metrological maintenance due to the received dependencies of the average time of evaluation of the technical condition of military equipment communication and quantitative assessment of diagnostic errors from the likelihood of a correct assessment of the results of the measurements.

In the fourth chapter "*Integrated method of metrological examination of military communication technology and its experimental research*", it was proposed to use the developed partial techniques in a complex way. The results of experimental research of proposed methods, technical and economic evaluation and evaluation of their reliability are presented. The recommendations on practical use of research results are substantiated and a block diagram of the algorithm for their implementation is developed.

In section 4.1 "*Basic stages of the complex methodology of conducting metrological examination of military equipment of communication*" the main stages of the complex method of conducting a metrological examination of military communication equipment are disclosed. Implementation of these stages in a complex way allows to minimize the number of measuring parameters and establish a rational sequence of their measurement, which will reduce the time of establishing the technical state of military communication equipment, and justification of the value of the

probability of correct measurement of the measured parameter allows you to choose cheaper means of measuring equipment for military use.

In section 4.2 "*Experimental study of the effectiveness of a comprehensive methodology for conducting metrological examination of military communication equipment*" for confirmation of the efficiency of the proposed comprehensive methodology for carrying out the metrological examination of military communication technology, its experimental study is presented on the example of the short-wave radio station R-1150.

In section 4.3 "*Technical appraisal of the results of the implementation of a comprehensive methodology for conducting a metrological examination of military communication equipment*", a feasibility study for one type of military communication equipment, namely for the short-wave radio station R-1150, was conducted. It has been established that the proposed comprehensive method of carrying out the metrological examination of military communication technique in comparison with the existing ones allows to satisfy the needs of the Armed Forces of Ukraine regarding the rapid management of troops, due to the reduction of the time of establishing the technical condition of military communication equipment, the reduction of the nomenclature and the cost of measuring equipment of the military Appointments that are used in its metrological service.

In section 4.4 "*Practical recommendations for the application of a comprehensive methodology for conducting a metrological examination of military communication equipment*", it has been shown that the proposed comprehensive methodology should be used to make scientifically sound decisions when: compiling (designing) tactical and technical, technical tasks for the implementation of scientific research , research and development works on the creation (modernization) of samples of military communication equipment; conducting metrological examination of military equipment documentation; design and development of technical documentation of existing and perspective samples of military communication equipment at enterprises, organizations and institutions.

**Key words:** *metrological examination, military equipment of communication,*



*means of measuring equipment of military purpose, metrological support, metrological service, metrological reliability, measuring parameters, metrological characteristics, conditional algorithm.*

#### **LIST OF BUILDERS PUBLICATIONS ON THE THEME OF THE DIRECTORY**

##### **Articles in scientific professional editions of Ukraine**

1. Arkushenko P. L. Economic aspects of estimating the efficiency of metrological assurance / P. L. Arkushenko, V. A. Druzhinin, V. V. Khimich, O. T. Gordievsky // Collection of scientific works: State Border Guard Service of Ukraine. National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after B. Khmelnytsky. Series: Military and Technical Sciences. – Khmelnytsky: Publishing House NASBGSU, 2012. – № 57. – P. 146-148.

2. Arkushenko P. L. Mathematical model of operation of means of measurement equipment for military purposes / P. L. Arkushenko, O. P. Florin, O. Voronin // Metrology and instruments. Scientific and production magazine. – Kharkiv: VVF "Favor LTD.", 2016. - № 6 (62). – P. 62-66.

3. Arkushenko P. L. Procedure of substantiation of the exchange fund of means of measuring equipment for military purposes / P. L. Arkushenko, O. P. Florin, K. V. Vlasov // Collection of scientific works of the National Academy of the National Guard of Ukraine. – Kharkiv: NANGU, 2016. – № 1. - P. 38-44.

##### **Articles in scientific periodicals of Ukraine indexed by international bibliometric and science-based databases**

4. Arkushenko P. L. Analysis of procedures of metrological examination of complex technical systems / O. V. Khodich, M. Yu. Yakovlev, E. V. Ryzhov, P. L. Arkushenko // Ukrainian metrological journal. Scientific and technical publication. – Kharkiv: NSC "Institute of Metrology", 2015. – № 2. – P. 12-16.

5. Arkushenko P. L. Requirements for metrological maintenance of special communications means in hardware technical ensuring / L. M. Sakovich, E. V. Ryzhov, P. L. Arkushenko, O. V. Khodich // Science and technology of Air Forces of the Armed The forces of Ukraine. – Kharkiv: KNUPS, 2017. – № 1 (26). - P. 150-152.

6. Yakovlev M. Yu. Improvement of metrological examination of military

equipment of communication / M. Yu. Yakovlev, L. M. Sakovich, E. V. Ryzhov, P. L. Arkushenko // Science and technology of Air Forces of the Armed Forces of Ukraine. – Kharkiv: KNUPS, 2017 – №. 3 (28). – P. 92-99.

7. Yakovlev M. Yu. Improvement of the method of task requirements to the minimum acceptable value of probability of correct estimation of the results of the verification during diagnosis / M. Yu. Yakovlev, E. V. Ryzhov, L. M. Sakovich, P. L. Arkushenko // Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces Of Ukraine. – Kharkiv: KNUPS, 2017 – № 4 (29). – P. 136-142.

8. Arkushenko P. L. Formation of requirements to measuring instruments of diagnostic parameters of hardware communication at technical maintenance and current repairs / L. M. Sakovich, P. L. Arkushenko, O. V. Khodych // Collection of scientific works of the Kharkiv National Air Forces University. – Kharkiv: KNUPS, 2017. – № 1 (50). – P. 108-111.

#### **Abstracts at conferences**

9. Arkushenko P. L. Proposals concerning synthesis of the optimum system of metrological maintenance of weapons / VO Syrotekin, P. L. Arkushenko, K. A. Kostiukov, D.V. Krivelyov // Collection of abstracts of 13 scientific and technical conferences "Creation and modernization of armament and military equipment in modern conditions", September 5-6, 2013 – Theodosius: SSTC of the Armed Forces. – 2013. – P. 418.

10. Arkushenko P. L. Analysis of procedures of metrological examination of complicated technical systems / P. L. Arkushenko. // Collection of abstracts of 15 scientific and technical conferences "Creation and modernization of armament and military equipment in modern conditions", September 17-18, 2015 – Chernihiv: SSTC of the Armed Forces, 2015 - PP. 35-36.

11. Arkushenko P. L. Questions of metrological assurance of special information and measuring systems for control the parameters of weapons and military equipment / P. L. Arkushenko // Collection of abstracts of the international scientific and technical conference "Prospects for the development of armament and military equipment of the ground forces", 14-15 May 2015. – Lviv: ASA, 2015. – P. 177-178.

12. Ryzhov E.V. Complex procedure of metrological examination of documentation of complicated technical systems / E. V. Ryzhov, M. Yu. Yakovlev, P. L. Arkushenko, O. V. Khodych // Collection of abstracts of 16 scientific and technical conferences "Creation and modernization of armament and military equipment in modern conditions ", September 8-9, 2016 – Chernihiv: SSTC of the Armed Forces, 2016. – P. 202-203.

13. Arkushenko P. L. Metrological examination of documentation of complicated technical systems / O. V. Khodych, E. V. Ryzhov, P. L. Arkushenko // Collection of abstracts of scientific and practical conference "Application of the Ground Forces of the Armed Forces of Ukraine in Contemporary Conflict", November 17, 2016. – Lviv: NASV, 2016. – P. 60.

14. Arkushenko P. L. Approach to improvement of metrological maintenance of special communications means / O. V. Khodych, L. M. Sakovich, P. L. Arkushhenko // Collection of abstracts of the international scientific and technical conference "Prospects for the development of armament and military equipment of the ground forces". Lviv, May 11-12, 2017 – Lviv: NASA, 2017. – P. 238.

15. Yakovlev M. Yu. Improved procedure for the substantiation of the sequence and number of minimum required parameters for the metrological maintenance of military equipment of communication / M. Yu. Yakovlev, E. V. Ryzhov, P. L. Arkushenko // Collection of abstracts of the 17 scientific and technical conference "Creation and modernization of armament and military equipment in modern conditions", September 7-8, 2017. – Chernihiv: SSTC of the Armed Forces, 2017. – P. 389-390.

16. Yakovlev M. Yu. Substantiation of the minimum necessary requirements for measuring instruments at the two-stage diagnostic system in the process of the current repair of military equipment of communication / M. Yu. Yakovlev, E. V. Ryzhov, P. L. Arkushenko // Collection of abstracts of scientific- practical conference "Application of the Ground Forces of the Armed Forces of Ukraine in the Contemporary Conflict", November 16, 2017 – Lviv: NASV, 2017. – P. 103.

17. Arkushenko P. L. Approach to the formation of requirements to metrological

maintenance of special communication means in hardware technical ensuring / P. L. Arkushenko, L. M. Sakovich, O. V. Khodich // All-Ukrainian scientific and technical conference "Actual problems of designing, manufacturing and exploitation of armaments and military equipment". – Vinnytsya, May 17-19, 2017. – Vinnitsa: VNTU. – 2017. – P. 270-272.

18. Arkushenko P. L. A method for forming the requirements for the means of measuring equipment for the diagnostic parameters of hardware communications at maintenance and current repair / L. M. Sakovich, P. L. Arkushenko, O. V. Khodych // Collection of abstracts of 13th scientific conference of Ivan Kozhedub Kharkiv National University of Air Forces "New technologies for airspace protection", April 12-13, 2017 – Kharkiv: KhNUPS, 2017 – P. 242.

### **Research work**

19. Research of the possibilities of using the unmanned aeronautical complex "Spectrator" in the Armed Forces of Ukraine "Struga" cipher: Report on research work (final) / State Research and Test Center of the Armed Forces of Ukraine; manager Kamak Yu. O.; executors : Shlapatsky V.O. [and others]. – Chernihiv – 2014. –71 p. – State registration number 0101U001843. – Inv. №155.

20. Research on the formation of standard software and methodological assurance for testing of unmanned aeronautical complexes of different classification and functional purpose of foreign and domestic production and requirements to the experimental base to ensuring their evaluation of compliance with the operational and tactical requirements for the BPAC Alur cipher: Report on research work (final) / State Research and Test Center of the Armed Forces of Ukraine; manager Kamak Yu. O.; executors: Shlapatsky V.O. [and others]. Chernihiv – 2015. – 200 p. – State registration number 0101U001849. – Inv. № 802.

21. Development of intelligent diagnostic system of unmanned aeronautical complexes "Integral" cipher: Report on research work (final) / State Research and Test Center of the Armed Forces of Ukraine; manager Kamak Yu. O.; executors: Nesterenko S. O. [and others]. Chernihiv – 2016. – 74 p. – State registration number

0101U001998. – Inv. № 1343.

22. Research of possible options of creation of perspective virtual reconfigurable meter of parameters and characteristics of weapons and military equipment of the Air Force “Meter 2017” cipher: Report on research work (final) / State Research and Test Center of the Armed Forces of Ukraine; manager Kovalenko A. V.; executors: Borsh V. V. [and others]. Chernihiv – 2017. – 188 p. – State registration number 0101U002288. – Inv. № 1669.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	29
ВСТУП .....	30
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ТА НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ .....	36
1.1 Структурно-функціональний аналіз системи метрологічного забезпечення військової техніки зв'язку .....	36
1.2 Аналіз методик метрологічної експертизи складних технічних систем .....	45
1.2.1 Аналіз методик вибору складу вимірюваних параметрів складних технічних систем під час метрологічної експертизи.....	46
1.2.2 Аналіз методик вибору номенклатури засобів вимірювальної техніки для метрологічного обслуговування складних технічних систем .....	50
1.3 Основні протиріччя і напрями удосконалення системи метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку .....	53
1.4 Обґрунтування напрямів і методів досліджень. Постановка наукового завдання дослідження .....	56
Висновки до розділу 1.....	63
РОЗДІЛ 2 ЧАСТКОВА МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ І КІЛЬКОСТІ МІНІМАЛЬНО НЕОБХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ .....	64
2.1 Вибір та обґрунтування методу визначення рангів параметрів військової техніки зв'язку .....	65
2.2 Обґрунтування методу визначення вагових коефіцієнтів параметрів військової техніки зв'язку .....	67
2.3 Визначення рангів параметрів військової техніки зв'язку на основі теорії множин .....	71



2.4	Визначення вагових коефіцієнтів параметрів військової техніки зв'язку на основі теорії нечітких множин .....	78
2.5	Основні етапи часткової методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку .....	88
	Висновки до розділу 2.....	103
<b>РОЗДІЛ 3 ЧАСТКОВІ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ НОМЕНКЛАТУРИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ .....</b>		
		105
3.1	Підхід щодо визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку .....	106
3.2	Часткова методика визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням метрологічної надійності.....	119
3.3	Часткова методика визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і ремонту .....	128
	Висновки до розділу 3.....	137
<b>РОЗДІЛ 4 КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ ТА ЇЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</b>		
		139
4.1	Основні етапи комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку .....	139
4.2	Експериментальне дослідження ефективності комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку.....	144

4.3 Техніко-економічна оцінка результатів впровадження комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку.....	156
4.4 Практичні рекомендації щодо застосування комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку.....	159
Висновки до розділу 4.....	162
ВИСНОВКИ .....	164
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	167
Додаток А. Матеріали отримання та обробки результатів експертного опитування спеціалістів з метрологічної експертизи військової техніки зв'язку .....	182
Додаток Б. Акти впровадження результатів дослідження.....	197
Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	201

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

АТЗ – апаратна технічного забезпечення

ВП – вимірювальні параметри

ВТЗ – військова техніка зв'язку

ЗВТ – засоби вимірювальної техніки

ЗВТВП – засоби вимірювальної техніки військового призначення

ЗС – Збройні Сили

МЗ – метрологічне забезпечення

МЕ – метрологічна експертиза

МН – метрологічна надійність

МОб – метрологічне обслуговування

МХ – метрологічні характеристики

ОВТ – озброєння і військова техніка

ОМЗ – опорна мережа зв'язку

ПР – поточний ремонт

СЗ – система зв'язку

СКВ – середньоквадратичне відхилення

СМОб – система метрологічного обслуговування

СТС – складна технічна система

ТЕЗ – типовий елемент заміни

ТО – технічне обслуговування

ТС – технічний стан

УА – умовний алгоритм

ФПЗ – фельд'єгерсько-поштовий зв'язок

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасні і перспективні зразки озброєння і військової техніки (ОВТ) належать до найбільш наукоємних і високотехнологічних видів промислової продукції, до яких висувуються підвищені вимоги за якістю та ефективністю застосування. Ефективне функціонування системи науково-технічного супроводження розробок (модернізації) ОВТ базується на основних видах забезпечення, до яких належить і метрологічне забезпечення (МЗ). При цьому важливими є аналіз та оцінка правильності завдання вимог до МЗ зразків ОВТ та контроль їх виконання. Контроль (вимірювання) параметрів ОВТ та вибір потрібних засобів вимірювальної техніки військового призначення (ЗВТВП) відбувається під час метрологічного обслуговування (МОБ), коли встановлюється її технічний стан (ТС), що є основним завданням технічної діагностики. При відхиленні значень параметрів від норми вирішується наступне завдання технічної діагностики – пошук та заміна несправного елемента. При цьому, для зменшення кількості вимірювань використовують умовні алгоритми (УА) діагностування. Основний склад робіт щодо обґрунтування вимог до МЗ складається з вибору параметрів та номенклатури ЗВТВП.

До найважливіших і найбільш актуальних завдань у розвитку ОВТ Збройних Сил (ЗС) України належать завдання, пов'язані з управлінням військами, зокрема – з розробкою нової та модернізацією існуючої військової техніки зв'язку (ВТЗ). Інструкції з технічного обслуговування (ТО) ВТЗ з повним комплектом експлуатаційної документації, як правило, виготовляє завод-виробник. Тому перелік вимірювальних параметрів (ВП) та ЗВТВП, які використовуються, відрізняються надлишковістю, що при ТО в польових умовах і особливо при веденні бойових дій призводить до збільшення трудовитрат, часу та вартості. Таким чином, актуальним завданням є мінімізація кількості ВП при необхідній достовірності визначення реального ТС зразка ВТЗ та зниження до мінімально допустимої межі класу точності й кількості розрядів ЗВТВП за

визначений керівними документами час, що дозволить мінімізувати номенклатуру і вартість останніх.

Технічний рівень сучасної ВТЗ та ЗВТВП дозволяє врахувати значну кількість факторів, які суттєво впливають на визначення ТС ВТЗ. Це стало можливим завдяки працям таких відомих учених, як Камінський В.Ю., Віткін Л.М., Ігнаткін В.У. – в області визначення контрольованих параметрів якості ЗВТВП; Ксенз С.П., Креденцер Б.П., Сакович Л.М. – в області технічної діагностики ВТЗ; Чинков В.М., Столярчук П.Г., Володарський Є.Т. – в області розвитку цифрових ЗВТВП для потреб ОВТ; Яковлев М.Ю., Фридман А.З., Новицький П.В. – в області розвитку теорії метрологічної надійності ЗВТВП.

Поряд з тим, слід відзначити недосконалість існуючих методик метрологічної експертизи (МЕ) при розробці (модернізації) ВТЗ, оскільки вони не враховують окремо час і вартість проведення її МОБ, а також завищують вимоги до значення ймовірності правильної оцінки результатів вимірювань параметрів. Тобто, на сьогоднішній день немає цілісної формалізованої методики проведення МЕ ВТЗ, яка забезпечує комплексність у прийнятті рішень.

Таким чином, зазначені обставини вимагають вирішення актуального наукового завдання, сутність якого полягає в удосконаленні часткових методик метрологічної експертизи військової техніки зв'язку на основі методів технічної діагностики з метою підвищення оперативності та зменшення витрат на метрологічне обслуговування при встановленні її реального технічного стану.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основні теоретичні та практичні дослідження проводилися автором згідно з планом Міністерства оборони України в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт: шифр «Струга» – «Дослідження можливостей застосування безпілотного авіаційного комплексу «Spectrator» у Збройних Силах України» (2014 р., ДР № 0101U001843) – виконавець окремих розділів; шифр «Алюр» – «Дослідження з формування типового програмно-методичного забезпечення випробувань безпілотних авіаційних комплексів різного класифікаційного і

функціонального призначення іноземного і вітчизняного виробництва та вимог до експериментальної бази для забезпечення їх оцінювання на відповідність оперативно-тактичним вимогам» (2015 р., ДР № 0101U001849) – виконавець окремих розділів; шифр «Інтеграл» – «Розробка інтелектуально-діагностичної системи безпілотних авіаційних комплексів» (2016р., ДР № 0101U001998) – виконавець окремих розділів; шифр «Вимірювач 2017» – «Дослідження можливих варіантів створення перспективного віртуального реконфігуруемого вимірювача параметрів та характеристик озброєння та військової техніки Повітряних Сил» (2017р., ДР № 0101U002288) – виконавець окремих розділів.

**Мета і завдання дослідження.** *Метою дисертаційної роботи є підвищення оперативності та зменшення витрат на метрологічну експертизу (МЕ) ВТЗ.*

Відповідно до поставленої мети, частковими завданнями дослідження є:

- аналіз існуючої системи МЗ ВТЗ та методик МЕ складних технічних систем (СТС);
- удосконалення методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ;
- удосконалення методики вибору ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням метрологічної надійності;
- удосконалення методики вибору ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і ремонту ВТЗ на показники її МОБ та помилки діагностування;
- удосконалення комплексної методики МЕ ВТЗ;
- обґрунтування практичних рекомендацій щодо застосування комплексної методики МЕ ВТЗ.

*Об'єкт дослідження* – проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку.

*Предмет дослідження* – часткові методики метрологічної експертизи військової техніки зв'язку.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої в роботі мети використані наступні методи дослідження:

– теорія аналізу і синтезу СТС, методи системного та порівняльного аналізу – для аналізу сучасного стану й визначення основних тенденцій розвитку МОБ ВТЗ, а також обґрунтування напрямів, методів та постановки наукового завдання дослідження;

– теорія множин – для визначення залежних параметрів та їх ранжування по збільшенню кількості елементів у ВТЗ, які впливають на їх формування;

– теорія нечітких множин – для обробки результатів експертного опитування та визначення незалежних параметрів у ВТЗ;

– теорія ймовірностей – для визначення критерію завершення оцінки ТС ВТЗ;

– багатокритеріальні рішення, оптимальні за Парето – для прийняття компромісного рішення при наявності великої кількості варіантів дій;

– теорія дискретного пошуку, теорія графів і дискретна математика – для отримання функціональних залежностей математичного сподівання відхилення встановленого значення ТС ВТЗ від їх істинного значення;

– методи теорії ефективності – для оцінювання ефекту запропонованої комплексної методики МЕ ВТЗ та мінімізації витрат.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що в дисертації:

– удосконалено часткову методика обґрунтування послідовності та кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ, яка, на відміну від існуючих, враховує комплексний показник параметра як ймовірність його першочергового вибору під час МОБ та додатково враховує роздільну оцінку впливу часу та вартості вимірювання параметрів і дозволяє підвищити достовірність та зменшити витрати на її МЗ;

– отримала подальший розвиток часткова методика вибору ЗВТВП для МОБ ВТЗ, яка, на відміну від існуючих, враховує метрологічну надійність та дозволяє знизити клас точності ЗВТВП і зменшити витрати на МОБ ВТЗ в цілому;

– удосконалено часткову методика вибору ЗВТВП для МОБ ВТЗ, яка, на відміну від існуючих, враховує вплив якості алгоритмів обслуговування і ремонту ВТЗ на показники її МОБ та помилки діагностування ВТЗ, що дозволило знизити витрати на МОБ ВТЗ та підвищити його оперативність.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що використання розроблених теоретичних і практичних положень дисертаційної роботи дозволяє:

- знизити час і трудовитрати процесу оцінки ТС ВТЗ;
- знизити клас точності ЗВТВП, які використовуються при МОБ ВТЗ, що дозволяє обрати значно дешевші ЗВТВП;
- обрати мінімальну кількість розрядів цифрових ЗВТВП, які використовуються при МОБ ВТЗ, що дозволяє знизити витрати на них;
- застосовувати розроблені методики як окремо, так і в комплексі, що забезпечує підвищення ефективності МЕ ВТЗ.

Практичне значення отриманих результатів підтверджується відповідними актами реалізації: у Державному науково-дослідному інституті спеціального зв'язку (акт від 27.12.2017 р.); у Метрологічному центрі військових еталонів Збройних Сил України (акт від 16.01.2018 р.); в Державному науково-випробувальному центрі Збройних Сил України (акт від 26.02.2018 р.). Отримані результати дослідження, доведені до формалізованих методик і технічних реалізацій, мають високий рівень готовності до використання у промисловості.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати дисертації отримані автором самостійно. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: в [1] – аналіз існуючих методик метрологічної експертизи СТС та визначено шляхи їх удосконалення; в [2] – удосконалена методика вибору ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням метрологічної надійності; в [3] – методика формування вимог до ЗВТВП для МОБ ВТЗ; в [4] – удосконалена методика вибору ЗВТВП для МОБ ВТЗ, з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і ремонту ВТЗ на показники її МОБ та помилки діагностування ВТЗ; в [5] – удосконалена методика обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ; в [6] – комплекс показників ефективності МОБ; в [7] – удосконалена математична модель експлуатації ЗВТВП з урахуванням специфіки їх МОБ; в [8] – удосконалена методика обґрунтування обмінного фонду ЗВТВП.



**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дослідження оприлюднені на 15 науково-технічній конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах» (м. Чернігів, 2015 р.) [9]; 16 науково-технічній конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах» (м. Чернігів, 2016 р.) [10]; науково-практичній конференції «Застосування Сухопутних військ Збройних сил України у конфліктах сучасності» (м. Львів, 2016 р.) [11]; 17 науково-технічній конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах» (м. Чернігів, 2017 р.) [12]; науково-практичній конференції «Застосування Сухопутних військ Збройних сил України у конфліктах сучасності» (м. Львів, 2017 р.) [13] та на засіданнях науково-технічної ради Наукового центру Сухопутних військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного (2013-2017 рр., м. Львів).

**Публікації.** Основні наукові результати дисертації опубліковано у 13 працях, зокрема: у 8 статтях у фахових наукових виданнях [1-8], а також додатково відображено у 5 тезах доповідей на наукових, науково-технічних і науково-практичних конференціях [9-13] та у 4 звітах з науково-дослідних робіт [108, 120-122].

**Структура та обсяг дисертації:** Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел і додатки. Загальний обсяг роботи 204 сторінки, у тому числі 45 рисунків (тих, що займають повну сторінку – 10), 15 таблиць (тих, що займають повну сторінку – 1), список використаних джерел зі 142 найменувань на 14 сторінках і 2 додатки на 22 сторінках.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ

#### 1.1 Структурно-функціональний аналіз системи метрологічного забезпечення військової техніки зв'язку

Питання забезпечення ЗС України сучасною ВТЗ протягом багатьох років залишалося пріоритетним напрямом технічної модернізації армії. Якість виробництва ВТЗ ЗС України, ефективність застосування за призначенням багато в чому залежить від стану її МОБ [14].

Від ефективного функціонування системи метрологічного обслуговування (СМОБ) залежить оперативність і достовірність отримання інформації про технічний стан ВТЗ ЗС України, що нерозривно пов'язано з ухваленням рішення з бойового застосування військ при підготовці та в ході проведення військової операції. Тому, відповідно, сучасний розвиток ЗС України, вимагає удосконалення і СМОБ ВТЗ ЗС України.

Якість зв'язку, як процесу, визначається набором властивостей. Найбільш суттєвими властивостями військового зв'язку є його своєчасність, достовірність і безпека. Виходячи з інтересів органів управління, зазначені властивості повинні відповідати певному заданому рівню, при якому буде забезпечуватись ефективно управління військами (силами) та зброєю.

Для забезпечення управління військами (силами) і зброєю в мирний час у процесі їх приведення у вищі ступені бойової готовності, підготовки та ведення операцій (бойових дій) створюється система зв'язку (СЗ), яка є найважливішою складовою системи управління військами (силами). Система зв'язку – це складова системи управління військами (силами), зброєю, що є сукупністю взаємопов'язаних вузлів та ліній зв'язку різного призначення, які діють узгоджено щодо завдань, місця, часу та розгортаються або створюються за єдиним планом для вирішення завдань забезпечення управління військами (силами) і зброєю [15].

Загальна структура СЗ ЗС України представляє собою багаторівневу систему. Розглядаючи загальну СЗ ЗС України як СТС, необхідно враховувати, що вона є сукупністю СЗ об'єднань, з'єднань, військових частин, організацій, установ, вищих військових навчальних закладів (ВВНЗ) ЗС України.

СЗ Сухопутних військ є складовою СЗ ЗС України і, як правило, містить складові частини:

- вузли зв'язку пунктів управління;
- лінії прямого зв'язку між пунктами управління;
- мережу фельд'єгерсько-поштового зв'язку (ФПЗ);
- лінії прив'язки вузлів зв'язку пунктів управління до опорної мережі зв'язку (ОМЗ);
- опорну мережу зв'язку;
- резерв сил і засобів зв'язку;
- мережу контролю безпеки зв'язку і інформації;
- систему технічного забезпечення зв'язку й автоматизовану систему управління (АСУ);
- систему управління зв'язком.

Кожна складова СЗ об'єднань (з'єднань, частин організацій та установ, ВВНЗ ЗС України) включає в себе різну за типом і призначенням ВТЗ. ВТЗ – технічний пристрій, що здійснює передавання, оброблення та приймання, а також доставку повідомлень у системі військового зв'язку [15]. На сьогодні серед загальної кількості ВТЗ ЗС України нові (модернізовані) зразки становлять приблизно 1,5%. Аналіз кількісного та якісного стану ВТЗ показує, що термін її експлуатації (від загальної чисельності) більший, ніж 20 років мають: 90% засобів радіозв'язку всіх діапазонів виробництва часів Радянського Союзу; 85% радіорелейних, тропосферних і станцій супутникового зв'язку; 80% одиниць техніки контролю безпеки зв'язку; 100% засобів ремонту. Проводові засоби каналотворення на 90% аналогові, старого парку і на 75% вичерпали свій експлуатаційний ресурс. Засоби комутації на 80% від загальної чисельності старого парку і вичерпали свій ресурс [15].

Звідси випливає, що сучасний стан СЗ ЗС України не дає змоги в повному обсязі виконувати покладені на неї завдання. Основним недоліком існуючої СЗ ЗС України є оснащення її морально і технічно застарілою ВТЗ та засобами передачі даних. На даний момент проводиться значна робота щодо впровадження сучасних технологій у виробництво ВТЗ. Але темпи переозброєння ЗС України сучасною ВТЗ не дають можливості розраховувати на швидке створення сучасної СЗ [15] (табл. 1.1). З метою забезпечення надійного функціонування СЗ потрібно провести модернізацію існуючої аналогової ВТЗ та переоснащення на широкополосові цифрові радіостанції з шумоподібним сигналом, перепрацювати технічну документацію на модернізовану ВТЗ [15, 16].

Таблиця 1.1 – Динаміка розвитку ВТЗ Збройних Сил України

Військова техніка зв'язку	2011 – 2015 рр.		2016 – 2020 рр.		2021 – 2025 рр.	
	Кількісна зміна	Загальний стан	Кількісна зміна	Загальний стан	Кількісна зміна	Загальний стан
Нові	+13%	15%	+20%	35%	+25%	60%
Модернізовані	+5%	5%	+10%	15%	+15%	30%
Існуючі	–	80%	-30%	50%	-40%	10%

Відомо, що життєвий цикл ВТЗ (зокрема, ВТЗ ЗС України) зазвичай ділять на два важливих етапи: створення й експлуатацію. Мета експлуатації – підтримання ВТЗ в справному стані і постійній готовності до бойового застосування для забезпечення зв'язком органів управління у встановлені строки, за будь-яких умов обстановки. Основу експлуатації ВТЗ складають три головних експлуатаційних процеси: приведення в готовність до бойового застосування, підтримання в готовності до застосування та застосування за призначенням. Ці процеси дозволяють реалізувати закладені при створенні властивості ВТЗ і забезпечують досягнення необхідної їх ефективності.

Для управління експлуатацією ВТЗ необхідна інформація про ТС їх підсистем і елементів, а також про фактори зовнішнього середовища, які впливають на експлуатаційні процеси. Вимоги до обсягу, достовірності і оперативності подання цієї інформації постійно зростають, що пов'язано з

істотним підвищенням складності ВТЗ і глибини процесів, які в них відбуваються, необхідністю підтримання високого рівня її бойової готовності протягом тривалого терміну експлуатації та досягнення найвищої ефективності, все більш широким використанням систем вимірювання та контролю і збереженням безпосередньої участі людини у вирішенні завдань експлуатації [17]. Основним джерелом інформації про стан підсистем і елементів ВТЗ служить вимірювальний контроль параметрів і характеристик [18], що проводиться під час їх МОБ.

Враховуючи викладене можна стверджувати, що ВТЗ ЗС України як об'єкт МОБ має ряд особливостей, найважливішими з яких є:

- складність та ієрархічність структури, наявність великої кількості підсистем і елементів;
- різноманітність і складність виконуваних функцій підсистем і елементів;
- високий ступінь надійності агрегатів і підсистем, стійкість до зовнішніх впливів;
- наявність електронних, електричних та механічних елементів у складі ВТЗ;
- різноманітність і складність протікаючих фізичних, енергетичних та інформаційних процесів;
- великий обсяг інформації, необхідної для управління ВТЗ з метою досягнення її високої ефективності і бойової готовності.

Отже, відповідальні завдання, що вирішуються ВТЗ ЗС України, вимагають високого ступеня достовірності та оперативності контролю ТС їх підсистем, точності вимірювання значень параметрів при жорстких обмеженнях за часом проведення вимірювань. Ці завдання вирішуються СМОБ ВТЗ ЗС України, технічною основою цієї системи є ЗВТВП.

Під системою будемо розуміти сукупність деяких об'єктів довільної природи, зазначених властивостей об'єктів і відносин між ними [19]:

$$F = [\lambda, \sum(\lambda), \tau(\lambda)],$$

де  $\lambda$  – множина деяких об'єктів;

$\sum(\lambda)$  – множина зазначених властивостей об'єктів  $\lambda$ ;

$\tau(\lambda)$  – множина відносин між об'єктами множини  $\lambda$ .

Виходячи з цього, визначити СМОБ ВТЗ ЗС України – означає задати множини об'єктів, що входять до неї, виділити коло властивостей цих об'єктів і встановити характер відносин між ними. СМОБ ВТЗ ЗС України як основний компонент повинна містити: об'єкт МОБ, активні засоби МОБ та органи управління МОБ. Стосовно ВТЗ, об'єктом МОБ є контрольована частина її підсистем і елементів. В якості активних засобів МОБ використовуються ЗВТВП, засоби їх МОБ та ресурси, що виділяються на МОБ ВТЗ. Управління МОБ ВТЗ здійснюється відповідними органами на підставі організаційних вказівок вищих ланок управління за допомогою технічних засобів.

Повнота врахування властивостей підсистем і елементів ВТЗ залежить від завдань дослідження. При удосконаленні СМОБ ВТЗ ЗС України найбільший інтерес представляють властивості, що впливають на ефективність її застосування. Для ВТЗ такими є режими експлуатації та контролепридатність; для ЗВТВП – точність, швидкість, надійність, вартість; для органів управління – оперативність, компетентність, мобільність.

На підставі вищевикладеного можна сформулювати наступне визначення: СМОБ ВТЗ ЗС України – сукупність структурно взаємопов'язаних і функціонально взаємодіючих методичних та організаційних основ, технічних засобів, підрозділів і служб, які вирішують завдання МОБ ВТЗ ЗС України.

Розгляд ВТЗ ЗС України, органів і засобів їх МОБ в рамках однієї системи можливий і доцільний, так як їх сукупність має основні ознаки і характерні особливості великих систем [19]:

- має спільну мету – функціонування, яке відображає основне призначення СМОБ ВТЗ, а також цілі для кожної підсистеми і етапу експлуатації, при цьому цілі підсистем підпорядковані загальносистемним цілям;

- відрізняється цілісністю, яка проявляється в тому, що властивості СМОБ ВТЗ залежать від властивостей всіх вхідних в неї елементів, але не є їх сумою: СМОБ ВТЗ притаманні якісно нові властивості в порівнянні з вхідними в неї компонентами;

- має ієрархічну структуру, що складається з декількох рівнів підсистем і елементів;
- має розгалужену мережу стійких, істотних інформаційних, енергетичних і речових зв'язків між підсистемами, елементами та їх властивостями, що перевершують за потужністю зв'язки цих об'єктів із зовнішнім середовищем;
- характеризується наявністю управління, що є процесом цілеспрямованого впливу на ВТЗ.

Стан ВТЗ ЗС України в цілому схильний до постійних змін, причиною і джерелом яких є протиріччя між компонентами СМОб, її структурою та функціями, а також еволюція цілей цієї системи при вдосконаленні процесів експлуатації ВТЗ ЗС України [20].

СМОб ВТЗ ЗС України входить в систему МЗ військ і є підсистемою системи управління експлуатацією ВТЗ ЗС України. Мета СМОб ВТЗ ЗС України в рамках системи експлуатації ВТЗ полягає в підтриманні на необхідному рівні її показників ефективності та постійної готовності до застосування в будь-яких умовах обстановки при мінімальних витратах часу та коштів. Ця мета досягається за допомогою отримання інформації про стан підсистем і елементів ВТЗ і використання цієї інформації для управління її експлуатацією. Тому мета функціонування СМОб ВТЗ ЗС України в складі системи управління експлуатацією ВТЗ полягає в своєчасному і точному визначенні тактико-технічних характеристик підсистем і елементів ВТЗ за умови мінімальних витрат.

Сукупність об'єктів, що не входять в СМОб ВТЗ ЗС України, але взаємодіють з нею в процесі експлуатації, становить зовнішнє середовище. Об'єктами зовнішнього середовища СМОб ВТЗ ЗС України є (рис. 1.1):

- підсистеми і елементи ВТЗ;
- система управління експлуатацією ВТЗ;
- вищі метрологічні ланки;
- умови експлуатації та фактори протидії супротивника.

Входи СМОб ВТЗ ЗС України утворюються впливом на неї об'єктів зовнішнього середовища. СМОб ВТЗ ЗС України має чотири групи входів. Першу

групу складають параметри, що характеризують стан підсистеми і елементи ВТЗ. Друга група включає керуючі впливи системи управління експлуатацією, що визначають вимоги до одержуваної інформації, а також виділені для цієї мети ресурси. Третю групу входів СМОБ ВТЗ ЗС України представляють розміри (вимірювані значення) контрольованих фізичних величин  $Z_{\Phi B}$  та організаційні вказівки, які надходять в СМОБ від вищих метрологічних ланок. Четверта група входів СМОБ ВТЗ ЗС України утворюється впливом на СМОБ умов експлуатації ВТЗ, об'єктів живої і неживої природи і супротивника  $V_{BVE}$ .

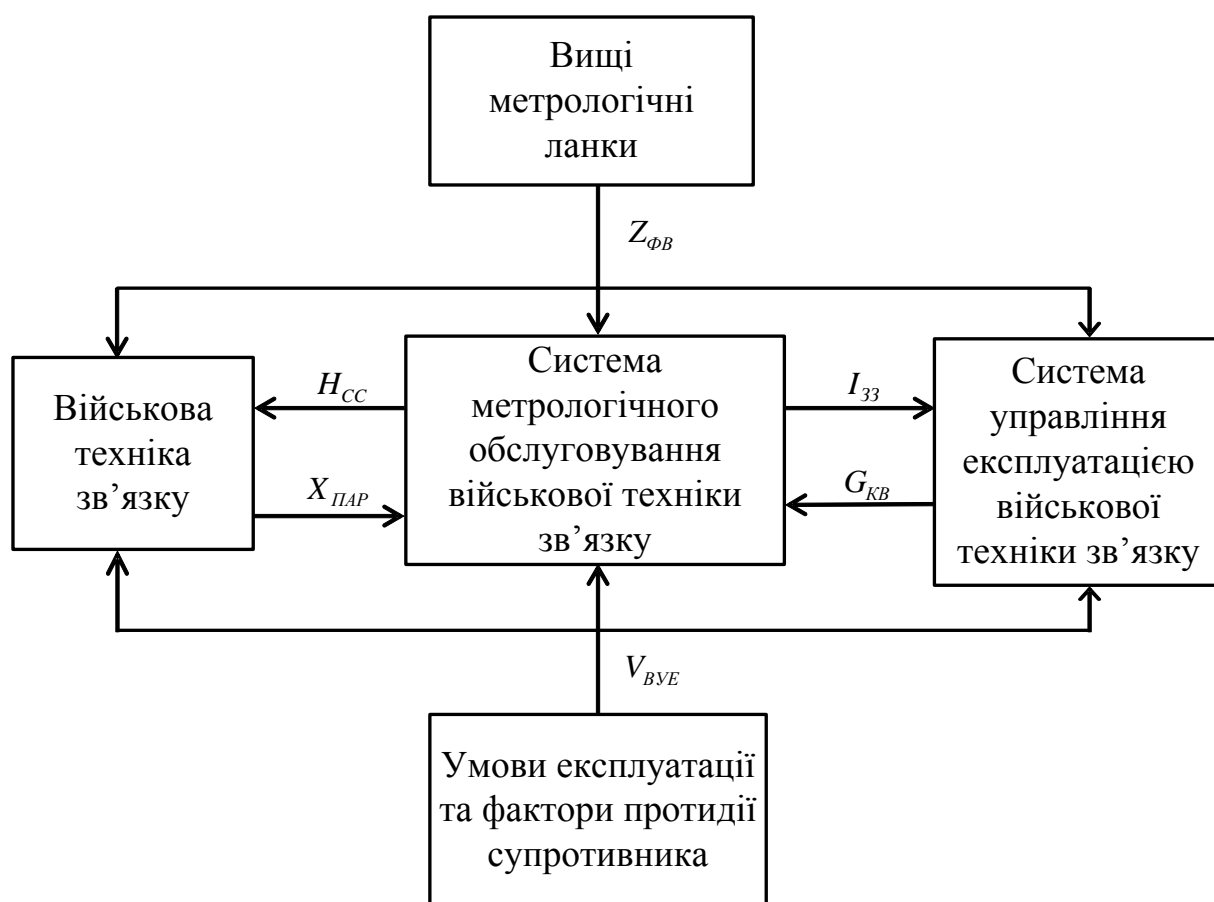


Рисунок 1.1 – Зовнішнє середовище системи метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку Збройних Сил України

СМОБ ВТЗ ЗС України впливає на інші об'єкти через виходи, серед яких найважливішими є:

– стимулюючі сигнали  $H_{CC}$ , що використовуються в процесі вимірювального контролю підсистем і елементів ВТЗ;



– інформація  $I_{33}$  про стан підсистем і елементів ВТЗ, що надходить в систему управління їх експлуатацією.

СМОБ ВТЗ ЗС України займає важливе місце в системі експлуатації ВТЗ, організовуючи зворотний зв'язок між системою управління експлуатацією і ВТЗ. Тому вдосконалення СМОБ ВТЗ ЗС України є одним з найважливіших, системних напрямів підвищення ефективності та бойової готовності ВТЗ ЗС України.

Структура СМОБ ВТЗ ЗС України визначається функціями, які вона повинна виконувати. Функція системи характеризує вияв її властивостей у даній сукупності стосунків і є способом дії системи при взаємодії з зовнішнім середовищем [21].

Для дослідження функцій СМОБ ВТЗ ЗС України використовувався метод дерева функцій. Дерево функцій СМОБ ВТЗ ЗС України є декомпозицією цільової функції системи на основні і додаткові функції. Основні функції представляють загальні функції для системи даного класу. Їх подальша декомпозиція відображає проблемну орієнтацію і спеціалізацію створеної системи [22].

Узагальнене дерево функцій СМОБ ВТЗ ЗС України представлено на рис. 1.2, на якому виділені функції, що розглядаються у цьому дисертаційному дослідженні.

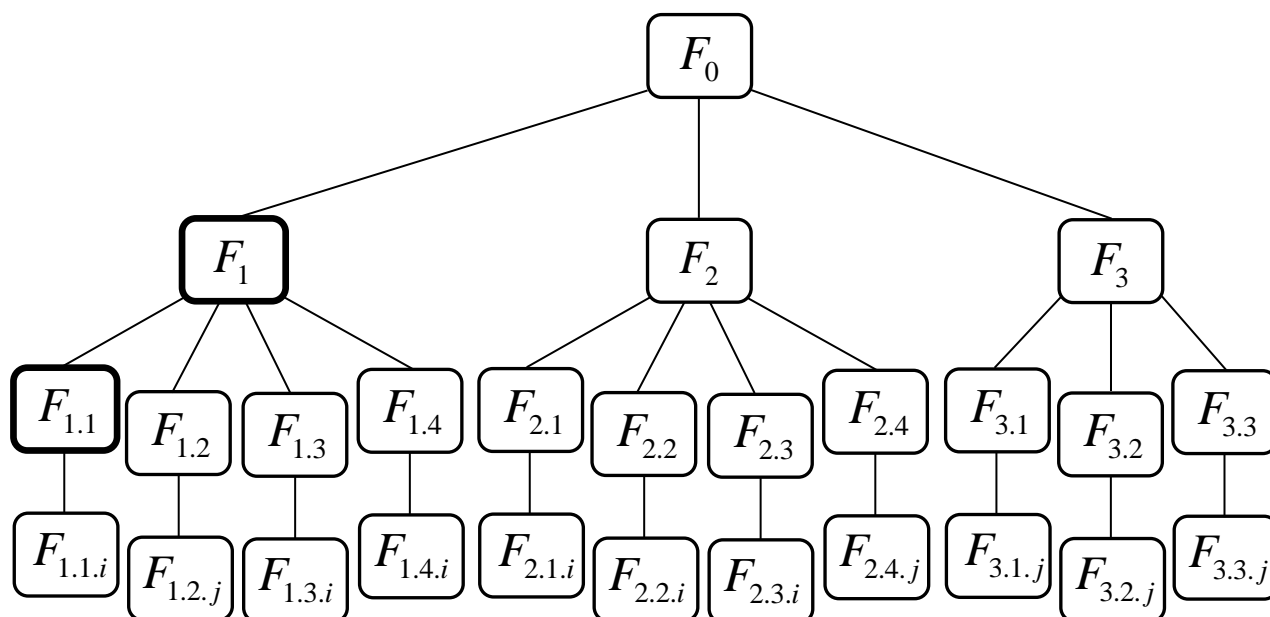


Рисунок 1.2 – Узагальнене дерево функцій системи метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку Збройних Сил України

Цільова функція відповідає основному функціональному призначенню системи – своєчасне і повне МОБ ВТЗ ЗС України. Цільова функція може бути реалізована шляхом виконання трьох наступних функцій:

- отримання інформації про стан ВТЗ;
- аналіз інформації і прийняття рішення;
- формування керуючих дій процесами МОБ ВТЗ.

Отримання інформації про стан СМОБ ВТЗ може бути досягнуте шляхом реалізації таких функцій:

$F_{1.1}$  – проведення контрольних вимірювань характеристик ВТЗ (інспекційна метрологічна перевірка ВТЗ);

$F_{1.2}$  – спостереження (контроль) за проведенням операцій МОБ ВТЗ;

$F_{1.3}$  – збирання даних про відмови ВТЗ;

$F_{1.4}$  – накопичення інформації про зміни стану ВТЗ після впливу керуючих дій СМОБ.

Функція  $F_2$  може бути реалізована при виконанні складових:

$F_{2.1}$  – накопичення інформації про об'єкт управління (організація обліку засобів МОБ, об'єктів МОБ і особового складу, що виконують операції МОБ);

$F_{2.2}$  – обробка інформації;

$F_{2.3}$  – аналіз отриманої інформації;

$F_{2.4}$  – вироблення рішень із вдосконалення СМОБ ВТЗ.

Формування керуючих дій  $F_3$  можливо шляхом реалізації таких функцій:

$F_{3.1}$  – планування проведення операцій МОБ ВТЗ і прогнозування стану СМОБ ВТЗ;

$F_{3.2}$  – організація робіт із МОБ ВТЗ;

$F_{3.3}$  – координація і регулювання заходів щодо МОБ ВТЗ.

Подальша декомпозиція дозволяє виділити функції третього рівня:

$F_{1.1.i}$ ,  $F_{1.1.j}$ ,  $F_{1.3.i}$ ,  $F_{1.4.i}$  – відповідно проведення контрольних вимірювань на  $i$ -й ВТЗ, спостереження (контроль) за виконанням  $j$ -тої операції МОБ, збирання даних про відмову  $i$ -ї ВТЗ;

$F_{2.1.i}$ ,  $F_{2.2.i}$ ,  $F_{2.3.i}$ ,  $F_{2.4.j}$  – відповідно накопичення необхідної інформації щодо  $i$ -ї ВТЗ, її оброблення, аналіз і приймання рішення з виконання  $j$ -тої операції МОБ ВТЗ;

$F_{3.1.j}$ ,  $F_{3.2.j}$ ,  $F_{3.3.j}$  – відповідно планування  $j$ -тої операції МОБ і прогнозування стану СМОБ ВТЗ після її виконання, організація її виконання, координація і регулювання робіт із МОБ при виникненні відхилень від заданого стану.

Запропоноване дерево функцій дозволяє детально досліджувати функціональні можливості СМОБ ВТЗ ЗС України і проводити аналіз сукупності її функцій, що реалізуються на різних рівнях ієрархії цієї системи. На базі дерева функцій здійснюється формування структури СМОБ ВТЗ ЗС України [22].

Таким чином, в підрозділі проведено аналіз СМОБ ВТЗ на основі структурно-функціонального підходу та виявлено, що існуюча СМОБ не урахує всіх особливостей ВТЗ.

## 1.2 Аналіз методик метрологічної експертизи складних технічних систем

У забезпеченні необхідних значень якісних показників складних технічних систем на всіх етапах життєвого циклу важлива роль відводиться їх метрологічному обслуговуванню при встановленні реального ТС [23]. На теперішній час єдиної методики вибору ВП та мінімізації їх кількості, вибору номенклатури засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) для визначення ТС СТС при обґрунтуванні вимог до метрологічного забезпечення, зважаючи на складність і різноманіття завдань [1, 24-28], що вирішуються, не існує [29-39].

1.2.1 Аналіз методик вибору складу вимірюваних параметрів складних технічних систем під час метрологічної експертизи.

Існуючі методики вибору складу ВП під час встановлення ТС СТС не дозволяють встановити мінімально необхідну їх кількість при проведенні МОБ, оптимізувати порядок їх вимірювання та скоротити час оцінки ТС СТС [30, 33-37]. Все це призводить до збільшення витрат на МОБ СТС.

У роботах [30, 33-37] розглянуто методики вибору складу ВП СТС для встановлення їх ТС.

У [33] пропонується методика визначення кількості ВП радіоелектронної апаратури для оцінки її ТС із заданою ймовірністю. Встановлено, що обґрунтування кількості ВП, які необхідно контролювати, є одним з найважливіших етапів досліджень в області експлуатації авіаційної техніки за станом. Технічний стан радіоелектронної апаратури авіаційної техніки визначається шляхом оцінки зразка на основі вимірювання значень деяких параметрів із сукупності можливих. Формалізація процесу визначення необхідної кількості ВП забезпечується введенням поняття значущості кожного параметра, під якою розуміється ступінь впливу зміни значення параметра на характеристики зразка. Показано, що коефіцієнт значущості визначається як ймовірність оцінки характеристики зразка авіаційної техніки при вимірюванні тільки одного  $l$ -го параметра:

$$k_l = 1 - \sigma_{ul}^* / \sigma_u,$$

де  $\sigma_{ul}^*$  – апостеріорне середньоквадратичне відхилення оцінюваної характеристики  $u$  при вимірюванні тільки одного  $l$ -го параметра;

$\sigma_u$  – середньоквадратичне відхилення (СКВ) оцінюваної характеристики  $u$ .

Недоліком запропонованої методики є те, що не враховується кількість елементів, які формують параметр та час вимірювання параметрів, що також впливає на важливість параметрів і забезпечує можливість встановити порядок перевірки параметрів за ступенем зростання комплексного коефіцієнту.

У [34] запропоновано методику оптимізації кількості ВП для оцінки якості продукції у процесі метрологічної експертизи технічної документації з використанням імовірнісних методів та методів функціонального аналізу. Її недоліком є те, що виключаються неінформативні параметри, які також можуть впливати на оцінку ТС продукції, що розглядається.

Робота [35] присвячена знаходженню коефіцієнтів залежності ВП СТС шляхом побудови та аналізу атрибутивного бінарного дерева. Недоліком є те, що оптимізація кількості ВП відбувається за рахунок того, що вимірюються тільки незалежні параметри, які також можуть впливати на оцінку ТС СТС.

В роботі [36] запропоновано методику встановлення раціональної номенклатури параметрів, які необхідно контролювати при розробці та експлуатації виробів. Виключення параметрів при розробці та експертизі нормативних документів полягає в наступному: визначають ймовірність того, що якщо виміряне в процесі контролю СТС значення параметра  $X_1(X_2)$  знаходиться в межах заданих допусків, то і значення параметра  $X_2(X_1)$  також є в межах заданих для нього допусків. Загальним принципом вирішення даного завдання є визначення умовних ймовірностей

$$P_{11}(X_{n1} \leq X_2 \leq X_{v2} / X_1 = X);$$

$$P_{12}(X_{n2} \leq X_2 \leq X_{v2} / X_1 = X_{v1}).$$

Якщо отримані значення ймовірностей  $P_{11}$  і  $P_{12}$  більші (або рівні) допустимого значення  $P_{дон}$ , тоді доцільно здійснювати контроль лише параметра  $X_1$ , не контролюючи  $X_2$ . Тобто параметр  $X_2$  з раціональної номенклатури виключається. Як недолік слід відмітити те, що зазначену методику складно застосувати на етапі розробки СТС, оскільки конструктор-розробник не має в своєму розпорядженні достатньої кількості вихідних даних [36], необхідних для її реалізації. Тому вона дозволяє здійснити лише наближені розрахунки з урахуванням низки спрощуючих припущень.

У [30] представлено цілий комплекс методик обґрунтування вимог до вибору ВП ОВТ. Ці методики базуються на оцінюванні показників надійності, якості та чутливості ВП зразків ОВТ.

Перша методика заснована на оцінці надійності елементів виробу ОВТ. Її перевагою є те, що вона дозволяє оцінити надійність виробу ОВТ, проводити порівняння різних варіантів його виконання, знайти оптимальні рішення на самих ранніх етапах розробки і проектування. Методика вимагає наявності даних про надійність елементів системи та зводиться до розробки і дослідження статистичної моделі виробу ОВТ. Таким чином, отримують оцінки надійності виробу ОВТ при обмежених витратах коштів і часу. Її перевагою є те, що в процесі дослідження можуть визначатися не тільки надійнісні характеристики і показники, а й показники ефективності. Основний недолік методики полягає в тому, що отримані результати розв'язання представлені не у вигляді аналітичних виразів, що відображають вплив різних чинників, а у вигляді чисельних оцінок.

Наступною є методика, що ґрунтується на оцінці показника якості виробу ОВТ. Вона використовується для завдань контролю ТС виробів ОВТ із застосуванням вимірювального підходу, що базується на інформації, яка отримується при використанні ЗВТ. З її допомогою визначається більшість показників якості. Основною перевагою запропонованої методики є забезпечення високої достовірності та необхідної точності отриманих результатів. Вона дозволяє отримувати легко відтворювані числові значення показників якості. Недоліками слід вважати складність і тривалість операцій вимірювання деяких параметрів, необхідність спеціальної підготовки персоналу, придбання складного, зазвичай коштовного устаткування, а в ряді випадків – і необхідність демонтажу та розбирання зразків ОВТ.

І остання методика, яка базується на оцінці чутливості параметрів до зміни функцій передач виробу ОВТ. У виробі ОВТ функції передачі залежать від його структури і параметрів. Будь-яка їх зміна призводить до корегування відповідних функцій передачі. У зв'язку з цим різна чутливість функцій передачі визначається як ступінь їх зміни при варіюванні будь-якого параметра. Порівнюючи чутливості

функцій передачі впорядковуюють ВП за впливом на зміну стану ОВТ, що дає можливість скласти алгоритм пошуку дефекту. Реалізація алгоритмів пошуку дефекту при цьому здійснюється шляхом визначення коефіцієнтів передачі всього виробу ОВТ з подальшою локалізацією дефектів через рівняння зв'язку між коефіцієнтами і параметрами. Поряд з тим, недоліком є те, що при застосуванні методики виникають незручності, які полягають у складності отримання функцій чутливості динамічних характеристик до зміни параметрів, що характеризують стан ОВТ. Причому зі збільшенням глибини пошуку дефекту або складності структури ОВТ ці незручності зростають.

Загальним недоліком запропонованих у [30] методик є те, що вони не дозволяють встановити мінімально необхідну кількість ВП, які слід контролювати. Їхній зміст викладений не в повній мірі та незрозуміло, що не дає можливості використати їх практично при обґрунтуванні вимог до МЗ ОВТ.

Найбільш доступним, з можливістю подальшого використання на практиці є підхід, викладений у [37]. Він дозволяє із заданою ймовірністю та за мінімальний час оцінити реальний ТС техніки зв'язку під час проведення її ТО. Запропонована формула розрахунку ймовірності першочергового вибору ВП  $i$ :

$$W_i = \frac{T_{TO} C_{TO} v_i p_i}{t_i c_i q_i}, \quad (1.1)$$

де  $W_i$  – ймовірність першочергового вибору ВП  $i$ ;

$T_{TO}$ ,  $C_{TO}$  – тривалість та вартість проведення ТО відповідно до інструкції;

$v_i$  – значимість впливу параметра  $i$  на працездатність техніки зв'язку;

$p_i$  – ймовірність того, що техніка зв'язку працездатна, якщо параметр  $i$  в нормі;

$t_i$ ,  $c_i$  – тривалість та вартість вимірювання значення параметра  $i$ ;

$q_i$  – ймовірність помилки оператора в оцінці значення параметра  $i$ .

Недоліком зазначеного підходу є те, що не використовуються відмінності вагових коефіцієнтів параметрів техніки зв'язку, які формують порядок та час її вимірювання, що в свою чергу зменшує достовірність отриманих результатів.

1.2.2 Аналіз методик вибору номенклатури засобів вимірювальної техніки для метрологічного обслуговування складних технічних систем.

Відомі методики вибору номенклатури ЗВТ та обґрунтування їх МХ для МОБ СТС завищують вимоги до значення ймовірності правильної оцінки результатів вимірювань параметрів. Це в кінцевому результаті призводить до збільшення витрат на експлуатацію ЗВТ, які обираються для проведення МОБ СТС. Відомі методики вибору номенклатури ЗВТ та обґрунтування їх МХ не відповідають умовам сучасності, так як спрямовані переважно на аналогові ЗВТ [26, 28, 31, 32, 38].

У роботах [26, 28, 31, 32, 38] розглянуто методики вибору номенклатури ЗВТ для МОБ СТС. Наприклад, у [31, 32] представлено методики щодо оцінки відповідності МХ та вибору номенклатури ЗВТ.

В роботі [31] пропонується методика розрахунку допустимої похибки вимірювань при оцінюванні правильності вибору ЗВТ за точністю. Вона використовується при розробці нових ЗВТ. Запропонована методика полягає у розрахунку допустимого значення сумарної похибки результату вимірювань параметру при контролі двостороннього ( $\pm \delta_{II}$ ) та одностороннього ( $+\delta_{II}$  чи  $-\delta_{II}$ ) допуску

$$\Delta_{\Sigma \text{don}} = |\delta_{II}| \cdot D,$$

де  $D$  – допустиме співвідношення між сумарною похибкою вимірювань і допустимим відхиленням параметру, що контролюється.

Недоліком запропонованої методики є те, що її складно застосувати конструктору-розробнику, оскільки вона потребує великої кількості вихідних даних [31] (наприклад, інформація про середньоквадратичне відхилення параметру, що контролюється, невідомий закон розподілу параметру тощо) для розрахунку допустимих значень сумарної похибки результату вимірювань, необхідних для її реалізації. Тому вона дозволяє здійснити лише наближені розрахунки при виконанні ряду спрощуючих припущень.



У [32] запропоновано методику оцінювання правильності визначення складу необхідних для контролю МХ ЗВТ, яка полягає у наступному. Введена скорочена програма повірки ЗВТ, яка передбачає мінімально допустимий її об'єм у залежності від конкретних умов застосування на зразках ОВТ. Тобто, ті МХ ЗВТ, які не передбачається калібрувати, відкидають. За рахунок цього і відбувається мінімізація об'єму повірки. Недоліком вважається те, що розробка ЗВТ під конкретні умови застосування збільшує їх різнотипність.

Загальним недоліком методик, наведених у [31, 32] є те, що вони завищують час на проведення вимірювань та потребують великих фінансових ресурсів. Результати, які отримуються при використанні зазначеного комплексу методик, завищені та не відповідають дійсності сьогодення. Їх зміст викладений не в повній мірі і незрозуміло, що не дає можливості використати їх практично при проведенні МОБ та застосувати в цілому для обґрунтування вимог до МЗ СТС.

У [38] наведено методику вибору ЗВТ за точністю для МОБ під час експлуатації СТС. Завдання вирішується вибором ЗВТ за заданим значенням сумарної похибки вимірювань, що складається з методичної та суб'єктивної похибок, які вносяться оператором, а також похибки ЗВТ. Її недоліком є відсутність можливості врахування впливу МХ ЗВТ на час визначення ТС обслуговуваних і ремонтваних СТС, хоча в ряді робіт показаний тісний взаємозв'язок МХ ЗВТ і середнього часу відновлення працездатності СТС [25, 26, 28].

Найбільш доступним, з можливістю подальшого використання на практиці є підхід, запропонований у [28]. Він дозволяє при виконанні ремонту агрегатним методом врахувати вплив МХ ЗВТ на час визначення ТС СТС, що обслуговуються і ремонтуються. Проведено аналіз з урахуванням УА діагностування будь-якого виду (а саме бінарного, однорідного, групового досконалої форми), що дозволяє оцінити ймовірність правильної оцінки результату ВП ЗВТ. Його недоліком є те, що врахування впливу МХ ЗВТ на час визначення ТС обслуговуваних і ремонтваних СТС не залежить від послідовності вимірювання параметрів, допустиме значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання параметрів визначається орієнтовно у припущенні реалізації УА лише досконалої форми. Тобто, для всіх

видів і форм УА діагностування використовується одна і та ж формула, яка розроблена тільки для досконалої форми УА

$$\rho(m \geq 2) = 0,5 \left( K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)p^{K-1}, \quad (1.2)$$

де  $\rho$  – математичне сподівання відхилення у визначенні ТС СТС;

$m$  – модуль вибору алгоритму (кількість можливих оцінок результату ВП);

$K$  – середня кількість вимірювань значень параметрів СТС;

$L$  – кількість можливих станів СТС, включаючи справний стан;

$p$  – значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання параметру СТС.

Однак використання виразу (1.2) призводить до завищення оцінки значень математичного сподівання відхилення визначеного ТС від істинного і завищення вимог до МХ ЗВТ.

Відомо, що достовірність встановлення ТС СТС визначається МХ вбудованих і зовнішніх ЗВТ, які використовуються у процесі їх МОБ, а саме класом точності і значенням  $p$ . Значення  $p$  змінюється від 0,6 до 0,9997 в залежності від ЗВТ, які використовуються, і це впливає на їх вартість. Так, наприклад, для універсальних вольтметрів зміна класу точності з 0,02 до 0,002 збільшує їх вартість у 7,5 разів [25, 27].

Слід зазначити, що значний внесок у вирішення проблеми розробки методик вибору складу ВП СТС під час встановлення їх технічного стану, методик вибору номенклатури ЗВТ та обґрунтування їх МХ для МОБ СТС внесли Л.М. Віткін, В.А. Кузнецов, С.П. Ксенз, В.М. Чинков, С.В. Герасимов, М.Ю. Яковлев, А.В. Воронін, С.С. Войтенко, А.Б. Гаврилов, В.М. Дзюба, В.У. Ігнаткін, О.В. Коновалов, Н.І. Косач, О.М. Крюков, Л.М. Сакович та багато інших учених і фахівців. На сучасному етапі продовжують працювати потужні наукові школи з питань вибору складу ВП, номенклатури ЗВТ та обґрунтування їх МХ у Метрологічному центрі військових еталонів ЗС України, м. Харків, Харківському національному університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Інституті метрології, м. Харків, Національній академії Національної гвардії України,

м. Харків, Інституті спеціального зв'язку та захисту інформації, м. Київ, Київському коледжі зв'язку, Центральному науково-дослідному інституті Збройних Сил України, м. Київ, Національному університеті «Львівська політехніка», Вінницькому національному технічному університеті, Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут», Харківському національному університеті радіоелектроніки, Дніпровському державному технічному університеті, м. Кам'янське, Національній академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Військовій академії зв'язку, м. Санкт-Петербург тощо.

Таким чином, у цьому підрозділі проведено аналіз відомих методик МЕ СТС, визначено їх основні переваги та недоліки. Встановлено, що відомі методики не завжди є оптимальними, оскільки не враховують специфіки експлуатації сучасних СТС, особливо це стосується ОВТ. Слід відзначити, що удосконалення методик МЕ СТС має виконуватись у комплексі, з урахуванням їх взаємного впливу, що дозволить суттєво підвищити ефективність їх МЗ.

### 1.3 Основні протиріччя і напрями удосконалення системи метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку Збройних Сил України

Для розгляду напрямів удосконалення СМОБ ВТЗ ЗС України необхідно виявити основні протиріччя, характерні при синтезі цієї системи, та шляхи їх усунення. Протиріччя, що мають місце при синтезі будь-якої системи і, зокрема, для СМОБ ВТЗ ЗС України – це протиріччя між необхідністю ефективної та економічної реалізації заданої сукупності функцій (рис. 1.2) і складністю відповідної структури, призначеної для їх реалізації (рис. 1.1). Вони зумовлюють взаємозалежність і суперечливий характер показників якості систем. Конкретні технологічні можливості, обмеження на енергетичні, матеріальні і трудові ресурси загострюють зазначені протиріччя.

Основними протиріччями при створенні СМОБ ВТЗ ЗС України є.

1. Протиріччя між функціональною повнотою і вимогами мінімізації структури системи, яке проявляється у формі протиріччя між кількістю типів

модулів, необхідних для реалізації заданих функцій, і їх загальною кількістю. Це протиріччя вирішується шляхом мінімізації або оптимізації кількості модулів, що входять до складу СМОБ, і використанням багатофункціональних модулів.

2. Протиріччя між якістю використовуваних ЗВТВП при МОБ ВТЗ та їх вартістю. Вирішення цього протиріччя можливо шляхом вибору оптимального співвідношення основних характеристик системи (точність, достовірність, швидкодія, вартість), при якому досягається необхідна ефективність МОБ ВТЗ.

3. Протиріччя між вимогою мінімального часу зниження бойової готовності ВТЗ при проведенні МОБ ВТЗ і обсягом та достовірністю інформації про стан ВТЗ, необхідної для ефективного управління МОБ. Воно проявляється через суперечності між досконалістю методів управління МОБ ВТЗ і витратами коштів і часу на їх реалізацію, між обсягом одержуваної інформації і тривалістю вимірювального контролю, між достовірністю одержуваної інформації та періодичністю вимірювального контролю. Ці протиріччя вирішуються шляхом вибору оптимальної стратегії МОБ ВТЗ.

4. Протиріччя між постійним зростанням складності МОБ ВТЗ і кваліфікацією обслуговуючого персоналу. Ці протиріччя вирішуються автоматизацією операцій МОБ та впровадженням оптимальних алгоритмів управління МОБ ВТЗ.

Розглянута СМОБ ВТЗ ЗС України відноситься до класу інформаційно-керуючих систем. Основне протиріччя системи даного класу можна сформулювати так: необхідно при мінімумі витрат створити СМОБ з оптимальною структурною організацією, яка реалізує задану сукупність функцій і забезпечує необхідну ефективність МОБ ВТЗ.

Проведений аналіз існуючої ВТЗ ЗС України та динаміки її розвитку, а також основних протиріч, що мають місце при синтезі СМОБ ВТЗ ЗС України, дозволяє окреслити основні напрями її удосконалення, які зводяться до наступного:

1. Підвищення точності вимірювальних операцій при МОБ ВТЗ, яке може бути досягнуто впровадженням як високоточних військових засобів вимірювальної

техніки, так і нових методів проведення вимірювань, що завжди пов'язано зі значними матеріальними витратами.

2. Підвищення достовірності одержуваної в процесі МОБ ВТЗ вимірювальної інформації. Достовірність такої інформації багато в чому залежить від правильної організації МОБ ВТЗ, кваліфікації персоналу, застосовуваних засобів і методів МОБ ВТЗ.

3. Підвищення оперативності проведення основних заходів МОБ ВТЗ, отримання інформації та доведення керуючих впливів. Оперативність проведення МОБ ВТЗ визначається його тривалістю та періодичністю, при цьому зменшення тривалості і збільшення періодичності МОБ не повинно призводити до погіршення його якості. Підвищення оперативності отримання та доведення інформації при управлінні МОБ ВТЗ також не повинно зменшувати її достовірність.

4. Забезпечення необхідної повноти МОБ ВТЗ, що дозволяє підтримувати необхідний рівень якості МОБ, точного дотримання вимог нормативних документів, організації контролю за проведенням МОБ ВТЗ.

5. Зменшення енергетичних, часових і матеріальних витрат на операції МОБ ВТЗ і на організацію управління МОБ ВТЗ.

Таким чином, напрями удосконалення СМОБ ВТЗ ЗС України дійсно мають чимало протиріч, які можуть бути в значній мірі усунуті на основі оптимізації за обраним критерієм з урахуванням всіх обмежень, що виникають в процесі функціонування цієї системи.

Перераховані напрями удосконалення СМОБ ВТЗ ЗС України вимагають вирішення комплексу часткових наукових завдань, які можна умовно об'єднати в три групи.

1. Удосконалення структури СМОБ ВТЗ ЗС України:

- мінімізація номенклатури та кількості ВП ВТЗ;
- зменшення номенклатури та кількості ЗВТВП;
- зменшення номенклатури і кількості метрологічних частин та підрозділів, а також їх організаційно-штатної структури.

2. Удосконалення стратегії управління МОБ ВТЗ ЗС України:

- наукове обґрунтування значень показників точності ЗВТВП;
- вдосконалення методів оцінки ефективності СМОб;
- зменшення тривалості МОб;
- зменшення періодичності МОб.

### 3. Автоматизація управління МОб ВТЗ ЗС України:

- автоматизація операцій МОб;
- автоматизація обробки результатів МОб;
- автоматизація обліку ВТЗ та операцій МОб;
- автоматизація розрахунку оптимальних характеристик МОб.

Деякі з цих завдань (наприклад, оптимізація номенклатури та кількості метрологічних частин та підрозділів, оптимізація тривалості МОб, оптимізація періодичності МОб, автоматизація обробки результатів та операцій МОб) частково вирішуються в роботах [40-43], інші завдання вимагають проведення додаткових досліджень та обґрунтування, що може бути зроблено під час обґрунтування вимог до МЗ ВТЗ.

Слід відзначити, що важливе значення для удосконалення СМОб ВТЗ ЗС України має можливість вирішення цих завдань у комплексі, з урахуванням їх взаємного впливу.

## 1.4 Обґрунтування напрямів і методів досліджень. Постановка наукового завдання дослідження

Метрологічне забезпечення ВТЗ проводиться на етапах розробки, виробництва, випробувань, експлуатації та ремонту.

Під час обґрунтування вимог до МЗ передбачено вирішення великої кількості завдань, а саме [24]:

- попередня оцінка відповідності одержаних значень параметрів виробу ОВТ, які контролюються, визначеним у тактико-технічному завданні;
- оцінка повноти і достатності вибраного переліку параметрів, які вимірюються (контролюються);

- оцінка правильності встановлення значень похибки (невизначеності) вимірювань кожного параметру, що контролюється;
- оцінка номенклатури ЗВТВП, які підлягають періодичній повірці в процесі експлуатації, правильності вибору періодичності повірки і змісту розроблених документів з повірки;
- оцінка трудовитрат і часу, які витрачаються на вимірювання та контроль параметрів виробу ОВТ;
- оцінка відповідності характеристик ЗВТВП експлуатаційним вимогам до них, включаючи виконання заданих вимог до точності вимірювань і достовірності контролю;
- оцінка сумісності виробу ОВТ та ЗВТВП, ступеня автоматизації і зручності вимірювань.

Завдяки цьому можна внести певні корективи у конструкторську документацію зі створення перспективного зразка ВТЗ. Експертизу робочої конструкторської документації для виготовлення дослідного зразка проводять з метою оцінки її відповідності вимогам МЗ зразка ВТЗ. Адже, окремі завдання мають вирішуватись до початку виробництва зразка ВТЗ. Як наслідок – зменшення витрат на МОБ та часу на його проведення веде до підвищення ефективності МЗ в цілому. Загальна структура метрологічного забезпечення вимірювань наведена на рис. 1.3.

Системний підхід щодо удосконалення МЗ ВТЗ вказує на необхідність врахування вимог підвищення її ефективності. Ступінь відповідності системи її цільовому призначенню визначається показником ефективності – кількісною характеристикою, яка оцінює пристосованість системи до виконання



Рисунок 1.3 – Загальна структура метрологічного забезпечення вимірювань



поставлених завдань. До нього пред'являються вимоги: показовість (врахування оцінки ефективності вирішення основного завдання), максимальна простота, критичність до зміни параметрів [44-49]. Виходячи із цільового призначення МЗ ВТЗ і з урахуванням існуючого економічного становища в Україні, а також перелічених вимог показник ефективності доцільно представити у вигляді відносного зниження вартості МОБ ВТЗ при  $T_v \leq T_{v_{дон}}$  і без втрати якості

$$\eta = \frac{C' - C}{C'} \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

де  $C'$  – витрати на МОБ ВТЗ в існуючій системі обслуговування;

$C$  – витрати на МОБ ВТЗ після впровадження результатів роботи;

$T_v$  – отриманий час визначення ТС ВТЗ;

$T_{v_{дон}}$  – потрібний час визначення ТС ВТЗ (задається керівним технічним матеріалом).

Нерівність  $T_v \leq T_{v_{дон}}$  забезпечується раціональним часом проведення МОБ, обґрунтованим вибором методик МОБ, а також розподілом сил і засобів.

Для аналогових ЗВТВП вартість є обернено пропорційною класу точності  $C_a \equiv 1/Km$ , а для цифрових прямо пропорційна кількості розрядів  $C_c \equiv r$ , тоді вираз (1.3) перетворюється до виду:

$$\eta = \begin{cases} \frac{Km - Km'}{Km'} \cdot 100\% & \text{для аналогових,} \\ \frac{r' - r}{r'} \cdot 100\% & \text{для цифрових,} \end{cases} \quad (1.4)$$

де  $Km > Km'$ ,  $r < r'$ ;

$Km$  – клас точності аналогових ЗВТВП;

$r$  – кількість розрядів цифрових ЗВТВП.

Метою дослідження є підвищення оперативності та зменшення витрат на МЕ ВТЗ.

Об'єкт досліджень – проведення метрологічної експертизи ВТЗ.

Предмет досліджень – часткові методики метрологічної експертизи ВТЗ.

Представлення цілей і завдань МЗ ВТЗ дозволяють здійснити розробку цільової функції. Цільова функція – параметр оптимізації, який характеризує ступінь досягнення мети, виражений функціональною залежністю. До цільових функцій складних систем висуваються вимоги: однозначність, відповідність реальному процесу, запис через параметри управління, наявність тільки одного екстремуму, відсутність розривів і неоднорідностей, співставність основній характеристиці якості [44-49].

На практиці найбільш поширеним завданням є досягнення максимуму показника ефективності за рахунок раціонального розподілу обмежених ресурсів на створення системи. Оскільки основні трудовитрати при визначенні технічного стану ВТЗ визначаються їх МОБ, то підвищення ефективності МЗ в цілому досягається скороченням витрат на проведення МОБ за необхідний час.

З урахуванням наведених міркувань цільову функцію МЗ ВТЗ можна представити у вигляді мінімізації витрат на МОБ ВТЗ при обмеженні часу його виконання

$$C(X) = \min_{X^* \in \Delta} C(X^*) \text{ при } T_v \leq T_{v_{\text{дон}}}, \quad (1.5)$$

де  $X = \{K, t, t_y, p, T_{v_{\text{дон}}}\}$  – параметри, що впливають на витрати під час проведення МОБ ВТЗ ( $K, t, t_y, p$  – керовані параметри, залежать від кваліфікації виконавця;  $T_{v_{\text{дон}}}$  – задається керівним технічним матеріалом);

$t$  – середній час виконання вимірювання параметра;

$t_y$  – середній час усунення несправності;

$X^*$  – значення параметрів при яких вартість МОБ ВТЗ мінімальна;

$\Delta$  – область допустимих значень зміни параметрів.

При розв'язанні оптимізаційної задачі в якості основного обмеження використовується потрібний час визначення ТС ВТЗ  $T_{v_{\text{дон}}}$  (задається керівним технічним матеріалом) [50, 51]. Після формування цільової функції здійснюється вибір оптимального розв'язку, що забезпечує виконання завдання при мінімальних або допустимих матеріальних витратах [44-49].

Проведений в п. 1.2 аналіз методик обґрунтування вимог до МЗ СТС і встановлені в п. 1.3 основні протиріччя МОБ ВТЗ ЗС України показують, що науковим завданням роботи є удосконалення методик оцінки обґрунтованості вибору параметрів та ЗВТВП при встановленні реального ТС ВТЗ.

В дисертаційній роботі потрібно вирішити такі взаємопов'язані часткові завдання:

- провести аналіз існуючої системи МЗ ВТЗ та методик МЕ СТС;
- удосконалити методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ;
- удосконалити методики вибору ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням метрологічної надійності;
- удосконалити методику вибору ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і ремонту ВТЗ на показники її МОБ та помилки діагностування;
- обґрунтувати практичні рекомендації щодо застосування комплексної методики МЕ ВТЗ.

Для вирішення поставленого в роботі наукового завдання враховано наступні умови і прийнято такі припущення:

- під час встановлення ТС ВТЗ використовуються штатні ЗВТВП з комплекту апаратної зв'язку або технічного забезпечення;
- вибір параметрів ВТЗ, що перевіряються, здійснюється із сукупності передбачених технічною документацією;
- реалізація поточного ремонту ВТЗ проводиться агрегатним методом;
- при наявності помилки в оцінці результату вимірювання параметра несправний елемент повинен знаходитись в агрегаті, що замінюється;
- кваліфікація спеціалістів відповідає займаній посаді;
- організаційні втрати часу не враховуються;
- ЗВТВП, які застосовуються, заздалегідь технічно та метрологічно справні;
- ВТЗ, яка перевіряється, має повний комплект технічної документації (технічний опис, інструкцію з експлуатації та всі необхідні схеми);

– у процесі визначення ТС ВТЗ допускається наявність не більше однієї помилки в оцінці результату вимірювання параметра;

– порядок ВП ВТЗ задається УА будь-якого виду та форми.

Для вирішення сформульованого наукового завдання передбачається використовувати блок-схему алгоритму дослідження, представлену на рис. 1.4.

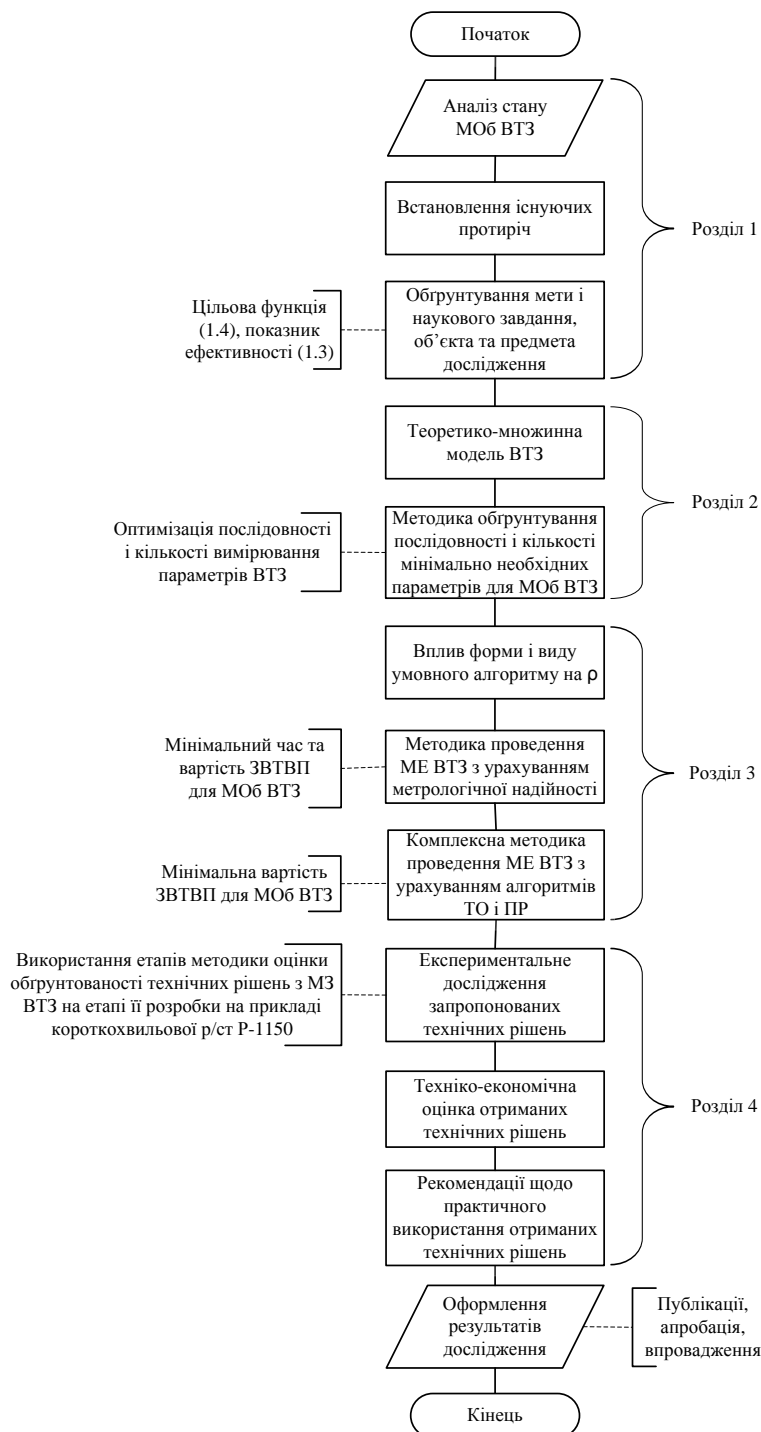


Рисунок 1.4 – Блок-схема алгоритму формування і вирішення наукового завдання дослідження

Наукове завдання дослідження сформульовано у вигляді сукупності самостійних, але в той же час взаємопов'язаних часткових завдань, що дозволяють найбільш повно формалізувати основні напрями забезпечення можливості визначення технічного стану ВТЗ в процесі її МОБ.

## Висновки до розділу 1

1. ВТЗ відведена важлива роль в управлінні військами у всіх ланках управління. Якість показників ВТЗ ЗС України на всіх етапах життєвого циклу, ефективність її застосування за призначенням багато в чому залежить від МОБ при встановленні її реального ТС. Аналіз сучасного стану МОБ ВТЗ виявляє ряд існуючих недоліків, що знижують його ефективність і збільшують експлуатаційні витрати: велика кількість ВП, що контролюються; відводиться багато часу та трудовитрат на проведення МОБ; завищена точність ЗВТВП, які використовуються для МОБ. Тому МОБ ВТЗ, яке існує в ЗС України, не в повній мірі відповідає сучасним вимогам до системи зв'язку та автоматизованого управління військами і потребує його удосконалення, що є можливим під час обґрунтування вимог до МЗ ВТЗ.

2. Аналіз відомих методик проведення МЕ та існуючого науково-методичного апарату показав, що він не дозволяє встановити мінімальну кількість ВП та їх послідовність, а також те, що допустиме значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання параметру визначається орієнтовно у припущенні реалізації УА лише досконалої форми. Зважаючи на складність і різноманіття завдань, що вирішуються на теперішній час, єдиної практично реалізуємої та формалізованої методики проведення МЕ ВТЗ не існує.

Тому, зазначені обставини вимагають вирішення актуального наукового завдання, сутність якого полягає в удосконаленні часткових методик МЕ ВТЗ на основі методів технічної діагностики з метою підвищення оперативності та зменшення витрат на МОБ при встановленні реального ТС ВТЗ.

Основні результати розділу опубліковано у [1, 4, 6, 9, 11].

## РОЗДІЛ 2

### ЧАСТКОВА МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ І КІЛЬКОСТІ МІНІМАЛЬНО НЕОБХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ

Цей розділ присвячено обґрунтуванню послідовності застосування методів теорії множин та теорії нечітких множин для обробки інформації, отриманої від експертного опитування; проведенню розрахунків вагових коефіцієнтів параметрів та вибору критерію завершення процесу оцінки ТС ВТЗ; проведенню експертного опитування щодо визначення важливості вагових коефіцієнтів параметрів, які формують порядок та час вимірювання в процесі оцінки ТС ВТЗ; розробці методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ.

Математична постановка завдання розділу полягає у визначенні рангу кожного параметру ВТЗ в залежності від його відносної важливості  $R_{l_i}$ , кількості елементів, що використовуються для його формування  $R_{e_i}$ , часу вимірювання параметрів  $R_{c_i}$  та вартості вимірювання параметрів  $R_{v_i}$ . На основі цього складається список послідовності вимірювання параметрів у порядку зростання значення їх комплексного коефіцієнту  $W_i(R_{l_i}, R_{e_i}, R_{c_i}, R_{v_i})$ .

МОБ закінчується після досягнення заданого значення ймовірності правильної оцінки ТС ВТЗ ( $P_{don}$ ) залежно від справності визначеної кількості елементів

$$P = \frac{R}{\bigcup_{i=1}^R L_i} / L \geq P_{don},$$

де  $R$  – кількість параметрів, які вимірюються;

$L_i$  – кількість елементів, які впливають на формування параметра  $i$ ;

$L$  – загальна кількість елементів.

## 2.1 Вибір та обґрунтування методу визначення рангів параметрів військової техніки зв'язку

На основі аналізу існуючих методів вибору послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ в розділі 1 виявлено їх основні недоліки:

- відсутність загального показника, який враховується при оцінці важливості параметрів ВТЗ;
- вони не враховують вагові коефіцієнти параметрів ВТЗ, що формують порядок та час його перевірки, що зменшує достовірність отриманих результатів;
- вони не враховують окремо час та вартість вимірювання параметрів, що не дозволяє оптимізувати послідовність вимірювання параметрів та мінімізувати час і як наслідок витрати на проведення МОБ;
- відсутність формалізації порядку обробки експериментальних даних по кількісній оцінці значущості параметра, що не дозволяє мінімізувати кількість необхідних параметрів, які вимірюються в процесі МОБ ВТЗ.

Дослідження з обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів при МОБ ВТЗ пов'язані з удосконаленням порядку проведення вимірювань значень параметрів ВТЗ, мінімізації їх кількості і, відповідно, зменшення кількості ЗВТВП, їх вартості та часу проведення вимірювань в процесі встановлення ТС ВТЗ при проведенні МОБ, розробкою технології МОБ існуючих і перспективних зразків ВТЗ [24]. При розв'язанні задачі обґрунтування послідовності і необхідної кількості параметрів загальноприйнятим підходом є застосування теорії ймовірностей [33, 37].

Особливість даного підходу для розв'язання задачі обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів при МОБ ВТЗ полягає в тому, що можливість отримання та узагальнення статистичних даних дуже часто обмежені. Також умови отримання законів розподілу статистичних даних характеризуються низкою методичних, обчислювальних та інформаційних

складностей [52]. Вихідна інформація, яку вдається зібрати та підготувати для розв'язання ймовірнісних задач виявляється, як правило, не повною і не завжди точною, тобто невизначеною [53].

Отже, умови використання сучасної ВТЗ та їх чутливість до зовнішнього впливу обґрунтовують необхідність розглядати зразки ВТЗ, як СТС. Тобто, спроба використати існуючі математичні підходи для завдання обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів при МОБ ВТЗ дозволила виявити їх недостатню коректність при розв'язанні складно формалізованих задач із нечітким показником [33, 37]. В подібних ситуаціях при некоректності використання формальних математичних методів слід покладатися на судження експертів за умови, що ці судження отримані за допомогою спеціально розроблених процедур [52, 54-58]. Використання наближених, нечітких словесних понять, якими оперує експерт, дозволяє ввести у розгляд якісні описання та врахувати невизначеність, досягти повного описання всіх факторів, які мають відношення до рішення поставленої задачі [59].

На сьогоднішній день засобом формалізації нечітких понять та відношень є теорія нечітких множин [60-68]. Вказана теорія не конкурент теорії ймовірностей, а є її логічним доповненням. Вона заповнює прогалину в області невизначеності там, де не можна коректно застосовувати існуючі математичні підходи.

Результати експертного опитування обробляються з використанням математичного апарату теорії нечітких множин, але будується не функція належності, а проводиться нормування отриманих від експертів оцінок, які далі розраховуються за допомогою теорії ймовірностей. Як показано у [69, 70] теорія нечітких множин зводиться до теорії випадкових множин. З кожною випадковою множиною можна пов'язати деяку функцію – ймовірність того, що елемент належить множині. Ця функція має всі властивості функції належності нечіткої множини. Виявляється, має місце і зворотне – для будь-якої розмитої множини можна підібрати випадкову множину так, що ймовірність належності елемента випадкової множини усюди збігається з функцією належності заданої розмитої множини.



Таким чином, для вирішення завдання обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів при МОБ ВТЗ пропонується поряд із теорією ймовірностей використовувати теорію множин для моделювання структури ВТЗ і теорію нечітких множин для обробки результатів експертного опитування та визначення переліку параметрів для оцінки її ТС [4, 11, 12].

Розв'язання поставленої задачі передбачає проведення експертного опитування з метою формалізації процесу оцінки важливості параметрів ВТЗ при МОБ та отримання кількісних значень вагових коефіцієнтів параметрів.

## 2.2 Обґрунтування методу визначення вагових коефіцієнтів параметрів військової техніки зв'язку

Безперечно, що для прийняття обґрунтованих рішень необхідно опиратися на досвід, знання та інтуїцію фахівців, які звичайно, виражені частково у кількісній, частково в якісній формі [71].

Однією з найскладніших проблем у галузі експертного оцінювання є проблема підбору експертів. На сьогоднішній день загальноприйнятих методів формування експертної комісії, які гарантують об'єктивність експертизи, не існує.

Вважається, що основними показниками експертного потенціалу є високий рівень інтелекту, великий досвід роботи, визнання колег, активна наукова діяльність, наявність серйозних публікацій, престижна освіта, високий особистий статус.

У проблемі підбору експертів можна видокремити дві складові – складання списку можливих експертів та формування з цього списку експертної комісії на підставі аналізу компетентності кандидатів.

При виборі процедури експертного опитування, насамперед, проведемо аналіз існуючих процедур. Відомі типи процедур експертного опитування розрізняються між собою, головним чином, в залежності від того, є вони однотурові або багатотурові (ітеративні) із зворотнім зв'язком, допускають або не допускають анонімність відповідей експертів [52, 54-58].

Найбільш перспективними визнаються ітеративні процедури зі зворотнім зв'язком, які передбачають анонімність відповідей експертів [52, 54-58]. Вважається, що такі ітеративні процедури дозволяють зменшити вплив домислів та підвищити роль обміркованої думки, максимілізувати ефект групової кооперації, мінімізувати значення негативних факторів процедур, які не передбачають анонімності відповідей експертів (таких, як пристосування до думки багатьох, знаходження під впливом авторитетів, небажання переглянути думку, яка вже висловлена).

Основним представником таких процедур є метод «Дельфі» [72, 73], який набув широкого розповсюдження при вирішенні різних завдань. Перш ніж перейти до недоліків методу «Дельфі», слід зазначити, що метою ітеративних процедур є створення ефективної системи інформаційного забезпечення експертів, яка дозволяє кожному з них висловити найбільш інформовану, аргументовану думку та зробити на її основі оцінку. При практичному застосуванні методу «Дельфі» в багатьох випадках спостерігається зменшення розкиду оцінок, але це відбувається, ймовірно, із причин певного тиску на експертів «середньої думки» групи. Крім того, як зазначено в [74], у деяких випадках збіжності оцінок немає взагалі. Якщо виходити з вимог високої якості обміну інформацією, то до недоліків методу «Дельфі» можна віднести можливий тиск «думки більшості», складність сприйняття будь-яким експертом узагальненої інформації всіх експертів. В [75] вказано на доцільність усунення недоліків методу «Дельфі».

Якщо для проведення експертного опитування у певній галузі в організації не має спеціалістів, то їх треба шукати поза організацією. За таких умов підбір експертів значно ускладнюється [76]. Тому в даному дослідженні для отримання якісних оцінок опитування проводилось на спеціальній кафедрі №4 «Теоретичних основ експлуатації засобів спеціальних телекомунікаційних систем» Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації НТУУ «КПІ» імені Ігоря Сікорського (м. Київ) та у 10 територіальному вузлі урядового зв'язку (сmt. Миропіль Житомирської області).

Для експертиз, які періодично проводяться, існують реєстри експертів. Якщо такі реєстри з тих чи інших причин не задовольняють організаторів експертизи, то для формування свого списку розроблено метод «снігового кому», який і пропонується використати для підбору кандидатів у експерти [52, 58, 76]. Цей метод виходить із передумови того, що дослідник, який займається організацією експертизи, заздалегідь знає хоча б декілька осіб, які є фахівцями в питанні, що досліджується. Кожну з цих осіб просять назвати відомих їм фахівців у даному питанні. Названих осіб просять у свою чергу зробити те ж саме і т.д. Цей процес повинен закінчитися на тій ітерації, в результаті якої список, що має місце на той момент, не поповниться жодною новою особою за тієї умови, що коло кандидатів обмежене. Але можливий випадок, коли на кожному турі з'являється одна або декілька нових осіб, і це може продовжуватись багато турів. Тоді необхідно буде розплачуватись більшими витратами часу та засобів на проведення опитування. Виникає потреба знайти компроміс між бажанням досягти раціонального повного списку та небажанням витратити надлишковий час та засоби. Вихід полягає в тому, щоб зупинити процедуру на тому турі, на якому кількість нових осіб, які можуть з'явитися в подальших турах, мала.

Однією з вдаливих спроб подолання зазначених недоліків є послідовна ітеративна процедура опитування експертів [52, 76], яку і пропонується використовувати в даному дослідженні. Ця процедура ґрунтується на почерговому включенні в опитування все більшої кількості експертів аж до стабілізації їхніх оцінок.

Вважається, що досягнення інформованості експертів та стабілізації суджень може бути забезпечено залученням деякої визначеної кількості експертів, збільшення якої не внесе нової інформації. Тому пропонується залучати наявних експертів почергово до тих пір, поки судження введених в опитування експертів не стабілізуються. Це особливо актуально, коли експертами є спеціалісти високої кваліфікації, діяльність яких у якості експертів передбачає великі витрати.

Оцінка компетентності експертів – не менш важливе питання. Для цього застосовуються такі методи: самооцінка, взаємооцінка, судійський метод, документальний метод [52].

Оскільки судійський метод враховує особисті якості людей, симпатії та антипатії, то з метою оцінки компетентності експертів будемо використовувати методи самооцінки, взаємооцінки та в якості допоміжного – документальний метод (посада, науковий ступінь і вчене звання, стаж, кількість публікацій та нагороди).

При використанні методу самооцінки експерт сам дає інформацію про те, в яких областях він компетентний, а в яких – ні. З одного боку, хто краще може знати можливості експерта, ніж він сам? З іншого боку, при самооцінці компетентності швидше оцінюється ступінь самовпевненості експерта, ніж його реальна компетентність. Але завдяки обмеженому місцю проведення експертної оцінки, де експерти знають можливості один одного, під час взаємооцінки можна вирахувати середню оцінку компетентності експерта.

Після підбору експертної групи та оцінки компетентності експертів необхідно розрахувати коефіцієнт конкордації Кенделла  $W$ , одну з найсуттєвіших характеристик якості результатів експертизи, який потрібен для того, щоб виявити ступінь узгодженості думок експертів щодо питання, яке розглядається [55, 59, 69].

Зазначені підходи доцільніше застосовуються в задачах кількісної оцінки об'єктів. Знання експертів та різний опис предметної області неминуче містять ті чи інші невизначеності. Будь-яка передача знань експертом неможлива без помилок [77]. Останні три десятиріччя набула розповсюдження точка зору, згідно якої людині складно давати судження кількісного виду, а значно легше якісного [78]. Кількісна форма експертних оцінок має суттєві недоліки. Справа в тому, що експерт здійснює оцінку інтуїтивно, неявним способом та ґрунтується на всіх знаннях, отриманих раніше. Уникнути зазначених недоліків дозволяє застосування теорії нечітких множин, яка допускає в оцінках наявність неточності, сумнівів, подвійного розуміння. Сутність цієї теорії полягає в тому,

що стає можливим оперувати даними, які є продуктом суб'єктивних уявлень людини [61, 69, 78-80].

Отже, для проведення експертного опитування стосовно дослідження, яке проводиться, доцільно використовувати послідовну ітеративну процедуру, а для обробки експертних оцінок – методи теорії нечітких множин.

### 2.3 Визначення рангів параметрів військової техніки зв'язку на основі теорії множин

Аналіз структурних схем ВТЗ методом теорії множин виконується з метою виключення залежних та визначення незалежних параметрів ВТЗ, а також визначення множин елементів, які впливають на значення окремих параметрів [4, 11, 12].

Сучасна ВТЗ характеризується наявністю багатьох режимів роботи та виходів [81]. Кількість параметрів ВТЗ визначається способами обробки та обміну інформацією, видами повідомлень, які передаються, формою сигналів, потужністю, джерелами електроживлення, що використовуються. Тому в період розробки необхідно виділяти основні параметри ВТЗ. У роботах [25, 82-84] досліджено питання опису та кількісної оцінки ТС ВТЗ при її МОБ з позиції теорії множин, комбінаторного аналізу та теорії дискретного пошуку. Комбінаторний аналіз – розділ математики, присвячений вирішенню завдань вибору та розміщення елементів деякої, зазвичай скінченної множини відповідно до заданих правил. Саме для цього дослідження під комбінаторним аналізом розуміється розгляд всіх можливих варіантів розв'язання типових задач, встановлення загальних закономірностей з метою отримання аналітичних виразів від керованих змінних. Проте питання скорочення часу оцінки ТС ВТЗ і його вартості за рахунок мінімізації кількості параметрів при МОБ у відомих роботах не вирішувалися.

Встановлено, що при теоретико-множинному опису ВТЗ розрізняються найбільш характерні структури, наведені на рис. 2.1 [81-83].

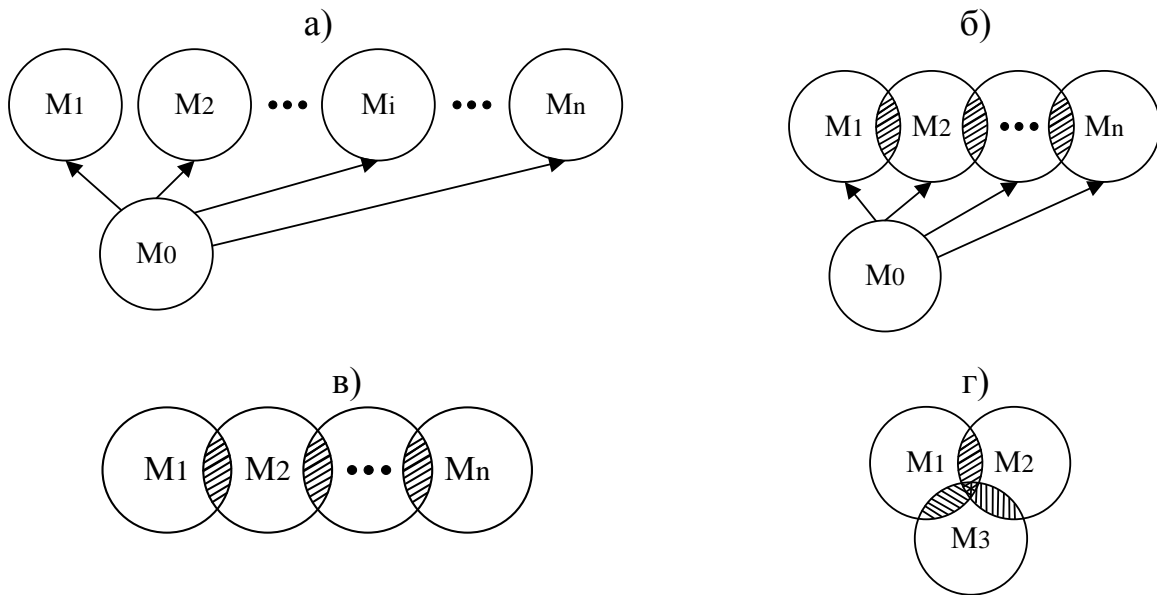


Рисунок 2.1 – Геометричні моделі військової техніки зв'язку: а) з ядром без перетину підмножин елементів; б) з ядром і з перетином підмножин елементів; в) без'ядерний ланцюг підмножин елементів; г) без'ядерний з сильними перетинами підмножин елементів

В якості ядер розглянутих геометричних моделей ВТЗ представлені загальні для всіх режимів роботи джерела електроживлення, генераторне обладнання, кінцеві пристрої, антени тощо.

При оцінці ТС під час МОБ ВТЗ містяться перетини підмножин елементів, перевірка яких виконується в порядку зменшення потужності підмножин елементів, які впливають на формування параметра, що вимірюється (рис. 2.2) [81-83].

Для моделі, наведеної на рис. 2.1 г, спочатку перевіряється параметр, що формується підмножиною елементів  $M_1$ , потім  $M_2 \setminus (M_1 \cap M_2)$  і завершується перевіркою працездатності неперевіреної частини останньої підмножини  $M_3$  (рис. 2.2 в):

$$M_3 \setminus \left( (M_2 \cap M_3) \cup \left( (M_1 \cap M_3) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i \right) \right).$$

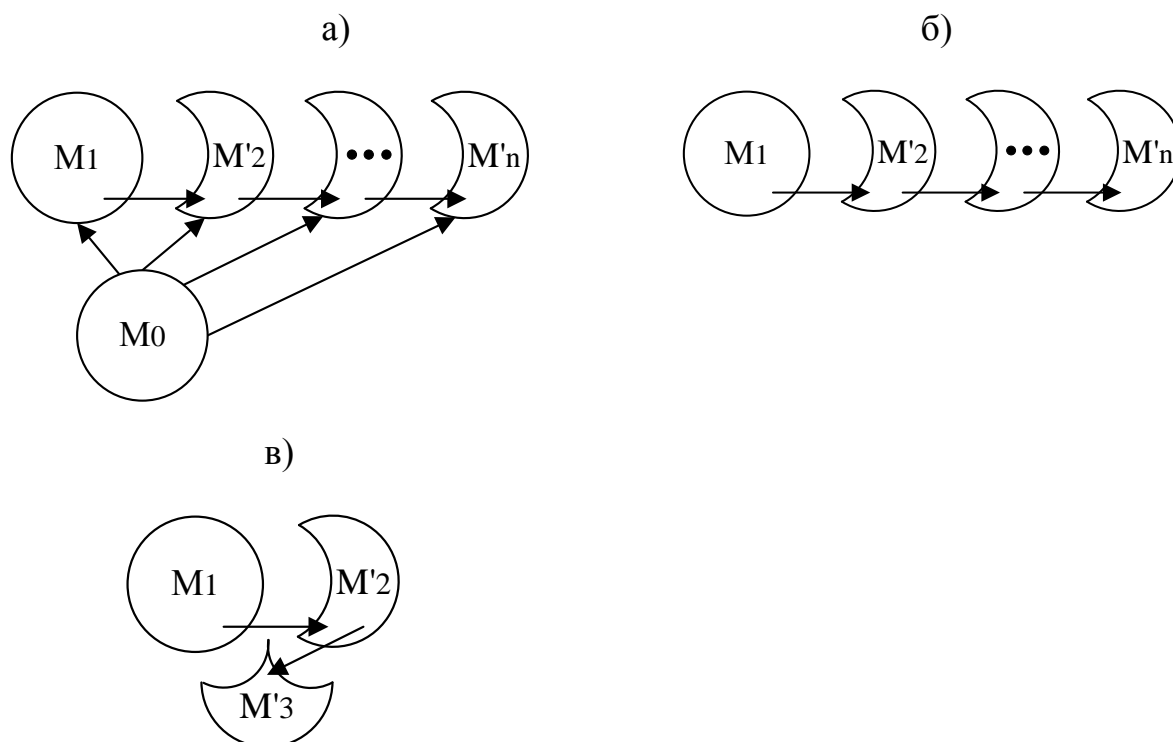


Рисунок 2.2 – Зменшення потужності підмножин елементів в ході перевірки параметрів

Подібне представлення ВТЗ дозволяє в процесі оцінки ТС по аналізу результатів перевірки параметрів визначити підмножини елементів, що містять дефект. Так, для прикладу, що розглядається (рис. 2.1 г), при відхиленні всіх трьох параметрів від норми робиться звичайний висновок про наявність дефекту в

підмножині елементів  $\bigcap_{i=1}^3 M_i$ , що значно звужує коло пошуку [45, 85].

Розглянемо класифікацію структур ВТЗ на основі теоретико-множинного аналізу їх геометричних моделей (рис. 2.1). ВТЗ використовує одні й ті ж елементи блоків для формування декількох параметрів або змінює їх конфігурацію і внутрішній зміст залежно від режиму (прийом, передача та інші) в якому вона знаходиться. Якщо змінюється тільки конфігурація структури ВТЗ, то перетинів підмножин елементів, що працюють в різних режимах, не має. При цьому ВТЗ можна розглядати як єдиний об'єкт, послідовно переводячи його з одного режиму в інший. Якщо при зміні режиму відбувається часткове запозичення елементів з підмножин елементів, що відносяться до інших режимів, то має місце перетин таких підмножин, і виникає дещо інша задача, пов'язана з

тим, що перехід з одного режиму в інший призводить не тільки до зміни конфігурації, але й до зміни змісту підмножин елементів в різних режимах.

У першому випадку ВТЗ може розглядатися як множина

$$M_L = M_0 \cup \left( \bigcap_{i=1}^R M_i \right), \quad (2.1)$$

де  $M_L$  – множина елементів ВТЗ;

$M_0$  – незмінна частина  $M_L$  (ядро);

$M_i$  – змінюється в різних режимах підмножина множини  $M_L$ ;

$R$  – загальна кількість режимів роботи зразка ВТЗ.

У другому випадку  $M_L$  також визначається за виразом (2.1), але умова  $M_i \cap M_j = \otimes$  не виконується. Можливі довільні або закономірні перетини виду  $M_i \cap M_j \neq \otimes$ . Ці перетини призводять до того, що при оцінці стану ВТЗ в певних умовах відбуваються зміни порядку проведення МОБ. При цьому повну кількість елементів в  $M_L$  для випадку, коли  $M_i \cap M_j = \otimes$ ,  $M_i, M_j \subset M_L$ , можна знайти із співвідношення

$$L(M_L) = L(M_0) + \sum_{i=1}^R L(M_i),$$

яка є сталою.

Для другого випадку відбуваються зміни, пов'язані з перетинами. Наприклад, якщо існує ланцюговий перетин підмножин  $M_i$  виду

$$M_i \cap M_{i+1} \neq \otimes,$$

тоді можна записати ряд:

$$M_0; M_1; M_2 \setminus (M_1 \cap M_2); M_3 \setminus (M_2 \cap M_3); \dots; M_i \setminus (M_{i-1} \cap M_i); \dots; M_R \setminus (M_{R-1} \cap M_R).$$



В цьому випадку

$$L(M_L) = L(M_0) + L(M_1) + L(M_2 \setminus (M_1 \cap M_2)) + L(M_3 \setminus (M_2 \cap M_3)) + \dots \\ + L(M_R \setminus (M_{R-1} \cap M_R)) = L(M_0) + L(M_1) + \sum_{i=2}^R L(M_i \setminus (M_{i-1} \cap M_i)),$$

де

$$L(M_i \setminus (M_{i-1} \cap M_i)) < L(M_i).$$

Остання обставина істотно впливає на проведення МОБ.

Типово для елементів, які впливають на формування параметрів, наявність одного або декількох стійких підмножин  $M_0$ , які беруть участь у формуванні загальної структури ВТЗ у всіх режимах. Такі підмножини виконують функції ядер, що забезпечують зв'язки між рештою підмножинами  $M_i \subset M_L$ . При наявності ядер  $M_0 \subset M_L$  можуть бути виділені декілька характерних зв'язкових структур  $M_L$ , серед яких виділяються наступні:

– конвергуюча структура з одним ядром

$$\forall M_i \subset M_L \Rightarrow M_1 < M_0, i = 1, 2, \dots, R;$$

– дивергуюча структура з одним ядром

$$\forall M_i \subset M_L \Rightarrow M_0 < M_1, i = 1, 2, \dots, R;$$

– дво- або більше ядерна структура з проміжними конвергенціями та дивергенціями

$$\forall M_i \subset M_L \text{ чи } \exists M_i \subset M_L \Rightarrow M_{01} < M_i < M_{02}.$$

Слід зазначити, що у всіх випадках розглядаються ситуації без взаємних перетинів  $M_i \subset M_L$ . Якщо звернутись до ситуацій з перетинами  $M_i \subset M_L$ , то виявиться, що не може мати місце

$$\forall (M_i \cap M_0) \subset M_L \Rightarrow M_i \cap M_0 \neq \otimes;$$

оскільки  $M_0 \subset M_L$  завжди строго локалізовано при переході з режиму в режим. Тому можливі лише співвідношення виду  $M_i \cap M_j \neq \otimes$ , які реалізуються поза  $M_0 \subset M_L$ . Найбільш простий випадок описаний раніше:

$$\forall M_i, M_j \subset M_L \Rightarrow M_i \cap M_{i+1} \neq \otimes,$$

$$M_{i-1} \cap M_{i+1} = \otimes, M_{i-1} \cap M_i \neq \otimes.$$

У загальних ситуаціях можливі різноманітні перетини

$$\forall M_i \subset M_L \Rightarrow M_i \cap M_{i-1}, \dots,$$

причому, може мати місце наявність або відсутність ядер  $M_0$ .

Наведені відносини між підмножинами  $M_i$  множини  $M_L$  мають прямий вплив на види процедур декомпозиції елементів, що впливають на формування параметрів у ВТЗ. Врахування і виключення елементів  $x_i \in M_i \subset M_L$  з чергових підмножин при декомпозиції дозволяє істотно спростити процедуру МОБ, що не вдається зробити іншими методами.

Різні типи теоретико-множинних моделей та відносин між підмножинами елементів ВТЗ представлені на рис. 2.3 [81-83].

Ланцюгові перетини множин  $M_i \subset M_{Rei}$ , що утворюють "гірлянди", відносяться до числа найбільш часто зустрічаючихся випадків, коли простір станів кількох завдань розпізнавання мають спільні результати або можливі рішення. Однак у логіці відомі більш сильні перетини, які відносяться до взаємодії в цьому сенсі трьох або більше  $M_i \subset M_{Rei}$  ( $R \geq 3$ ). На рис. 2.3а показані геометричні моделі таких перетинів і їх метаморфози при обході  $M_i$  в порядку зростання значень індексів  $i$ . Обхід множин  $M_i$ , що здійснюється послідовно, призводить до того, що кожна наступна окрема підмножина видозмінюється, і, як у випадку декомпозиції ланцюга ("гірлянди"), кількість елементів в  $M'_i$  скорочуються. Але скорочення відбуваються більш інтенсивно, ніж у виразах для процедур декомпозиції "гірлянд", так як з розгляду виключаються не тільки  $M_{(i-1)i} = M_{(i-1)} \cap M_i$ , а й різні більш складні комбінаційні підмножини.

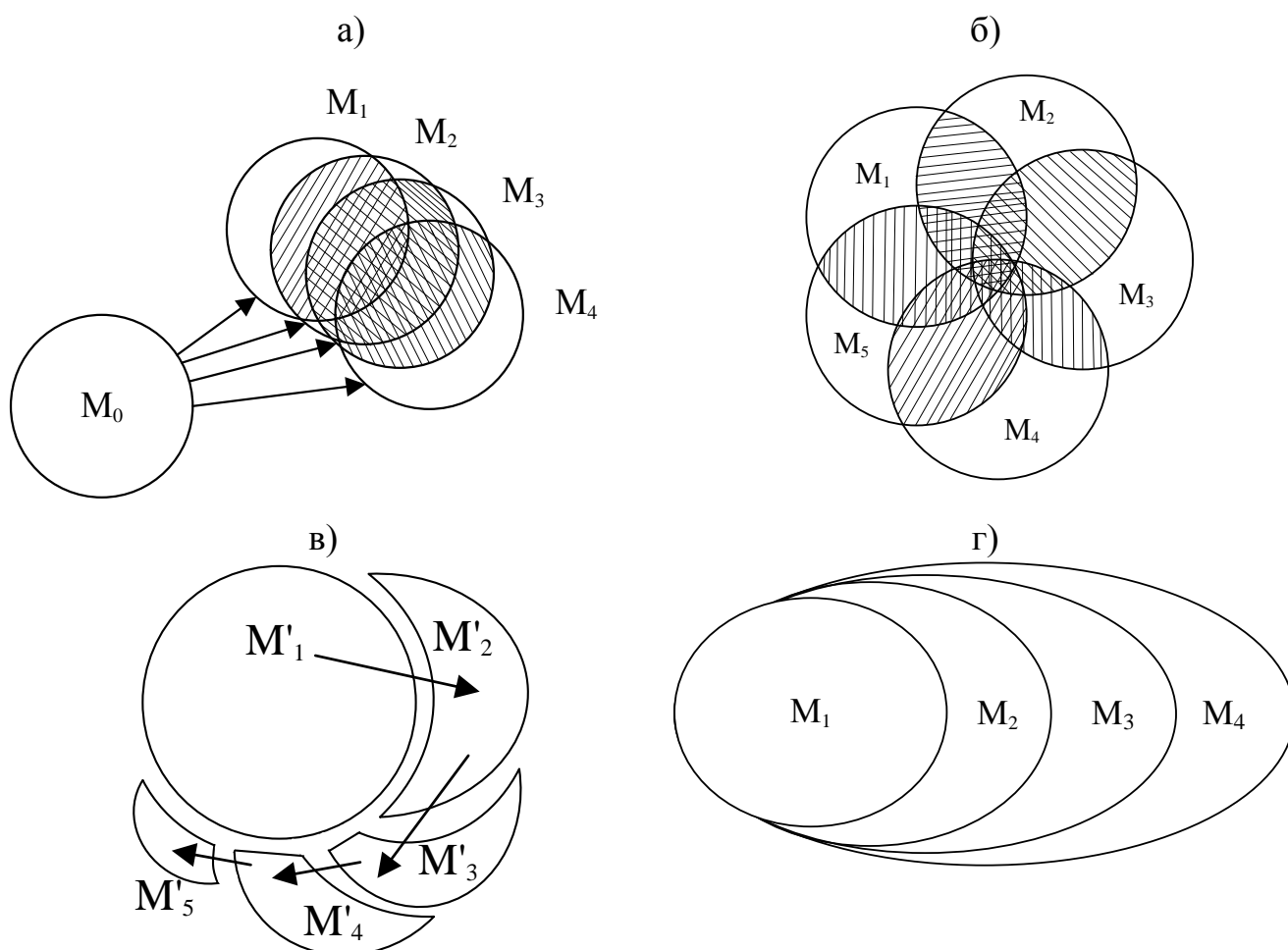


Рисунок 2.3 – Геометричні теоретико-множинні моделі структури  
військової техніки зв'язку

Звідси випливає, що в ряді випадків можливе вирішення оберненого завдання: по деформації значень параметрів при МОБ в різних режимах роботи ВТЗ визначення сукупності неправильно функціонуючих елементів (рис. 2.3 в) [25, 45, 82, 84, 85].

У випадку, коли мають місце залежні параметри, тобто елементи, які формують попередні параметри та входять в підмножини елементів, що впливають на наступні (рис. 2.3 г), для оцінки ТС ВТЗ в цілому досить перевірити параметр, на формування якого впливають всі елементи (у даному прикладі це підмножина  $M_4$ ).

Врахування наведеного дозволяє в подальшому встановити ранг параметра за кількістю використовуваних для його формування елементів (потужність підмножини елементів в теоретико-множинній моделі ВТЗ).

## 2.4 Визначення вагових коефіцієнтів параметрів військової техніки зв'язку на основі теорії нечітких множин

Порядок вимірювання параметрів і їх мінімально необхідна кількість для оцінки реального ТС ВТЗ в процесі її МОБ визначається з урахуванням експертного опитування спеціалістів, результати якого обробляються з використанням математичного апарату теорії нечітких множин.

Аналіз літератури показав, що методам теорії експертних оцінок присвячено велика кількість робіт [52, 54, 55, 69, 77, 86-93].

Підготовка та проведення експертизи з подальшою обробкою її результатів [86] виконуються дисертантом. Проведення опитування включає [56-58]:

- підбір експертів, що беруть участь в опитуванні;
- вибір форми і методу проведення опитування і заповнення анкет;
- оцінку якості роботи та компетентності експертів;
- складання шкали оцінки важливості параметрів;
- розрахунок узгодженості думок експертів (коефіцієнт конкордації).

Підбір експертів є одним з найбільш складних завдань експертного аналізу.

Бажано, щоб кандидати до експертів задовольняли наступним вимогам [56-58]:

- мати стаж на посадах керівного або науково-педагогічного складу не менше 5 років;
- бути фахівцем з зазначеного питання експертизи, мати як теоретичний так і практичний досвід у його вирішенні;
- виявляти здатність до творчого мислення та щирий інтерес до своєї роботи;
- відрізнятись вдумливістю та рішучістю;
- вміти і бути схильним відстоювати свою думку при мінімальній схильності примикати до чієї-небудь думки без внутрішньої переконливості в його правильності;
- мати рівний товариський характер, позбавлений жовчності та мстивості;

– мати «документальні дані» (публікації та посилання на ці роботи, вчену ступінь, стаж, посаду тощо);

– не мати безпосередньої зацікавленості в результатах експертизи;

– бути згодним брати участь в експертизі.

З метою підбору кандидатів до експертної групи, для участі в опитуванні з питання «Метрологічне обслуговування», а саме визначення вагових коефіцієнтів параметрів, які формують порядок, час та вартість вимірювання в процесі оцінки ТС ВТЗ, проведено перший етап експертного опитування (картка експертного опитування наведена у додатку А). В ході експертного опитування були застосовані наступні методи: очне, заочне опитування; індивідуальне опитування, метод «сніжного кома». Для експертного опитування було відібрано 23 експерта. Зведена відомість відбору кандидатів до експертної групи наведена в додатку (табл. А.1).

В ході проведення другого етапу експертного опитування було визначено коефіцієнти авторитету всіх експертів, які наведено в додатку А. При визначенні оцінки експертів застосовувались наступні методи: метод самооцінки; метод взаємооцінки; документальний метод. Зведена відомість коефіцієнтів авторитетів експертів наведено в додатку А (табл. А.2).

Під час аналізу літератури встановлено, що у результаті проведення експертизи отримується набір оцінок  $x_i$ , які підлягають статистичній обробці. Середнє значення оцінки  $\bar{x}$  визначають за формулою [86]

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k \omega_i x_i}{\sum_{i=1}^k \omega_i}, \quad (2.2)$$

де  $x_i$  – оцінка  $i$ -го експерта;

$\omega_i$  – коефіцієнт авторитету  $i$ -го експерта;

$k$  – кількість експертів.

Середнє значення оцінки  $\bar{x}$  виражає колективну думку групи експертів. Ступінь узгодженості думок експертів можна характеризувати величиною [85]

$$\sigma^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2, \quad (2.3)$$

яка відповідає оцінці дисперсії в математичній статистиці. По аналогії величину  $\sigma^2$ , отриману в результаті експертизи, називають дисперсією експертних оцінок, а  $\sigma$  – СКВ цих оцінок.

Зрозуміло, що чим менше значення  $\sigma$ , тим з більшою ймовірністю можливо опиратись на знаходження оцінки  $\bar{x}$ . Надійність експертизи тим вище, чим меншою долю середнього значення складає середньоквадратичний розкид. Тому в якості міри надійності проведення експертизи приймають величину [86]

$$\beta = \sigma/\bar{x}, \quad (2.4)$$

яка називається варіацією. На основі досвіду застосування методу експертних оцінок для розв'язання задачі встановлено, що результати експертизи можливо рахувати задовільними при  $\beta \leq 0,3$  та добрими, якщо  $\beta \leq 0,2$  [86, 94]. Виходячи з цього, при визначенні кількості складу експертної групи значення варіації має бути не більш  $0,2 \div 0,3$ .

Для визначення кількості складу експертної групи відповідно методики [86], необхідно розрахувати параметри  $\alpha$  (відносна ширина довірчого інтервалу, має бути в межах  $0,1 \div 0,2$ ) та  $\beta$  (варіація, якість міри надійності, має бути не більш  $0,2 \div 0,3$ ). Це означає, що межі зміни відношення складають  $1 \leq \beta/\alpha \leq 3$ . Проведемо розрахунки зазначених параметрів:

$$a = \Delta x/\bar{x} = 0,072/0,6 = 0,12;$$

$$\beta = \sigma/\bar{x} = 0,2/0,6 = 0,3;$$

$$\beta/a = 0,3/0,12 = 2,5;$$

та використовуємо їх в якості вихідних даних для визначення кількості експертної групи.

В подальшому потрібно вибрати довірчу ймовірність в межах  $0,8 \div 0,9$  (достатньо приймати довірчу ймовірність  $p = 0,8$ ). Відповідно [86] по графікам визначається чисельний склад експертної групи. Для отриманих значень  $\beta/\alpha$  та

$p$  знаходимо  $k=12$ , тобто потрібно сформувати групу експертів в кількості 12 чоловік.

Коефіцієнтом авторитета прийнято називати число, що показує, з якою вагою потрібно включати в статистичну обробку кількісні оцінки даного експерта. Коефіцієнт авторитету характеризує ступінь компетентності експерта. Коефіцієнти авторитета виражаються в нормованій формі, коли максимальному авторитету приписується коефіцієнт  $\omega = 1$ , а менш компетентні експерти мають  $\omega < 1$ . Некомпетентний експерт повинен отримати  $\omega = 0$ . З формули (2.2) слідує, що коефіцієнти авторитета безпосередньо входять у вираз для усередненої експертної оцінки.

Відомо ряд способів визначення коефіцієнтів авторитета на основі статистики попередніх експертиз [69, 86, 89, 95], один із яких базується на основі близькості індивідуальної оцінки до середньої [86, 96].

З метою вибору раціонального способу визначення коефіцієнтів авторитету експертів за результатами самої експертизи сформулюємо особливості цього коефіцієнту:

- він має знаходитись в межах  $0 \div 1$ ;
- бути монотонною функцією різниці між індивідуальною та середньою оцінкою досліджуваної системи;
- при однаковій різниці індивідуальної та середньої оцінки коефіцієнта авторитета повинен бути тим менше, чим менше дисперсія середнього значення критерію;
- у випадку збігу індивідуальної і усередненої оцінки коефіцієнт авторитета повинен прирівнюватись до 1, тобто приймати своє найбільше значення.

Цим вимогам задовольняє коефіцієнт авторитету, що обчислюється за формулою [86]

$$\omega_i = \exp\left[-(x_i - \bar{x})^2 / (2\sigma^2)\right], \quad (2.5)$$

де  $\omega_i$  – коефіцієнт авторитета  $i$ -го експерта;

$x_i$  – самооцінка  $i$ -го експерта;

$\bar{x}$  – середня оцінка що дана  $i$ -м експертом;

$\sigma^2$  – дисперсія оцінки.

Перед початком експертизи коефіцієнт авторитета невідомий. Тому початкове значення приймається  $\omega_i = 1, i = 1 \div k$ . Отримані від експертів оцінки  $x_1, x_2, \dots, x_k$  використовуються при обрахуванні за формулами (2.2) та (2.3) середнього значення оцінки  $x_1$  та її дисперсії  $\sigma_1^2$  в першому приближенні. Потім розраховуються за формулою (2.5) коефіцієнт авторитету експертів  $\omega_{i1}$ .

Використовуючи знайдені коефіцієнти авторитета за формулами (2.2) та (2.3) вираховують уточнені величини середнього значення оцінки  $x_2$  та дисперсії  $\sigma_2^2$ . Зміна величини середнього значення та дисперсії, як слідує з (2.4), приведе, в свою чергу, до уточнення коефіцієнтів авторитета. Отже, пошук  $\bar{x}, \sigma^2$  та  $\omega_i$  є ітераційним процесом, який швидко сходиться: після 2-3 ітерації середнє значення оцінки, її дисперсія та коефіцієнти авторитету експертів приймають свої граничні значення  $\bar{x}_2, \sigma_2$  та  $\omega_{i2}$  відповідно. Однак граничне значення коефіцієнта авторитета буде мати стільки ж різних значень, скільки експерту виставлено оцінок. Між тим, як зазначалось, коефіцієнт авторитету характеризує експерта і повинен мати єдине граничне значення.

Для виконання цієї вимоги, граничні коефіцієнти авторитета  $\omega_{i2}$   $i$ -го експерта, необхідно усереднити [86]:

$$\bar{\omega}_{i2} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \omega_{i2}. \quad (2.6)$$

На основі методики [86] проведено розрахунки (лістинг програми – в дод. А) та отримано результати граничного значення коефіцієнта авторитета. Відомість ітерацій знаходження коефіцієнта авторитета експертів наведено в додатку (табл. А.3), а отримані результати представлені на рис. 2.4.



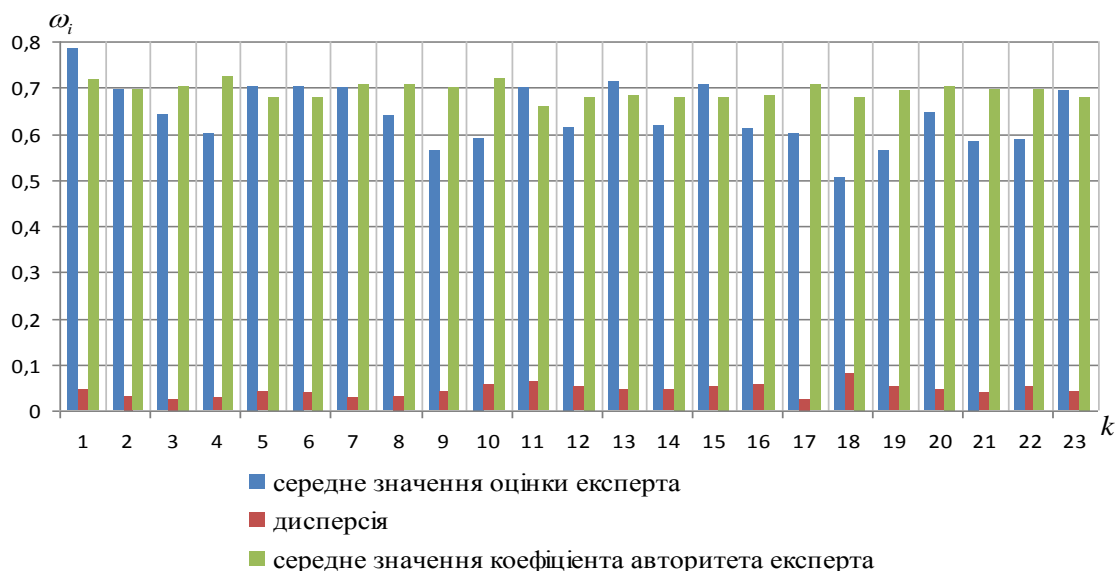


Рисунок 2.4 – Діаграма отриманих граничних значень  $\bar{x}_2$ ,  $\sigma_2^2$ ,  $\bar{\omega}_2$

Для відбору експертної групи у кількості 12 чоловік необхідно скласти рейтинг експертів. В свою чергу рейтинг  $i$ -го експерта визначається за формулою [86]:

$$R_i = \bar{x}_{i2} \bar{\omega}_{i2}, \quad (2.7)$$

де  $R_i$  – рейтинг  $i$ -го експерта;

$\bar{x}_{i2}$  – середня гранична оцінка що отримана  $i$ -м експертом;

$\bar{\omega}_{i2}$  – середній граничний коефіцієнт, що отримано  $i$ -м експертом.

Отримані результати наведені на рис. 2.5 та в додатку А.

На основі отриманих результатів (дод. табл. А.4) відбираємо 12 експертів, які мають найбільший рейтинг. Відомість відібраної експертної групи наведено в додатку А (табл. А.5).

В ході проведення третього етапу експертного опитування було визначено відносну важливість параметрів ВТЗ (для прикладу було використано радіостанцію тактичної ланки управління Р-173). Відносна важливість параметра кількісно оцінює його вплив на працездатність ВТЗ.

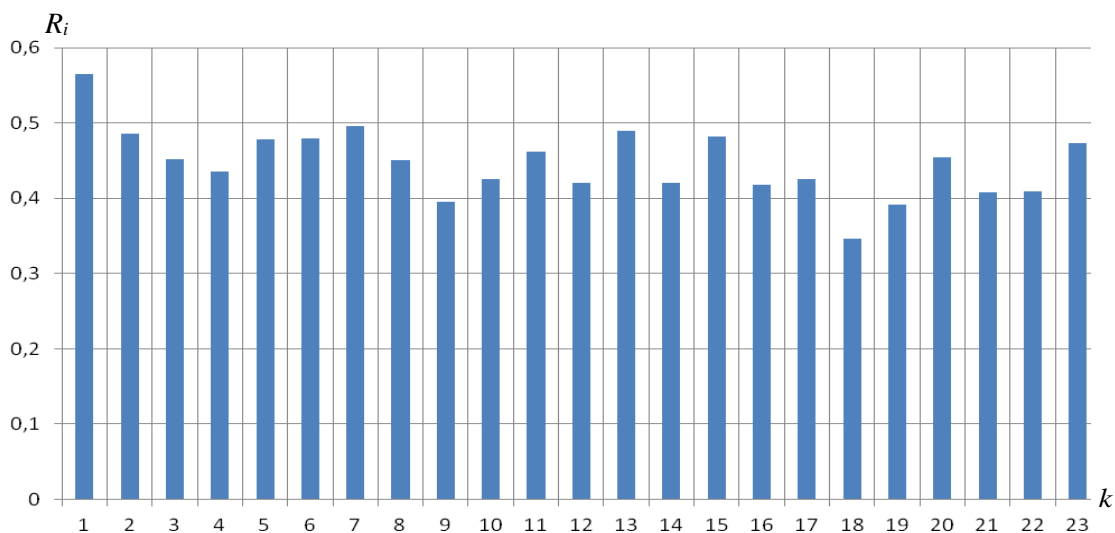


Рисунок 2.5 – Графік рейтингу експертів

Розглянемо відомі підходи до вирішення завдання класифікації об'єктів при неповних та недостовірних даних, що отримуються в результаті експертного опитування фахівців [27, 68, 79, 80, 97-99]. Відомості про відносну важливість параметрів, що перевіряються, одержують у вигляді нечітких оцінок в термінології розпливчастих категорій, які задаються у вигляді фіксованих чисел, графіків або аналітичних функцій [27, 68, 79, 80, 97, 99]. У реальних умовах для експертів бажаніше використовувати попарне порівняння важливості параметрів, ніж ранжування всіх параметрів ВТЗ відразу. У цьому випадку для оцінки важливості параметрів доцільно використовувати градації, наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Шкала оцінки важливості параметрів

Кількісна оцінка	Якісна оцінка	Пояснення
1	Однакова важливість	Параметри однакові за важливістю
3	Мало важливі	Існують не надто переконливі дані про перевагу одних параметрів перед іншими
5	Значно важливіше	Існує хороше підтвердження того, що параметри більш важливі
7	Очевидно важливіше	Існує переконливий доказ, що параметр більш важливий
9	Абсолютно важливіше	Максимально підтверджується відчутність переваги параметрів
2, 4, 6, 8	Проміжні оцінки	Необхідність компромісів

Із застосуванням шкали табл. 2.1 складається матриця [A] попарних порівнянь рангів важливості параметрів, що перевіряються:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \frac{P_2}{P_1} & \frac{P_3}{P_1} & \dots & \frac{P_n}{P_1} \\ \frac{P_1}{P_2} & 1 & \frac{P_3}{P_2} & \dots & \frac{P_n}{P_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{P_1}{P_n} & \frac{P_2}{P_n} & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix};$$

де  $P_i$  – параметри ВТЗ ( $i = \overline{1, n}$ );

$n$  – загальна кількість параметрів ВТЗ;

$P_i/P_j$  – важливість параметра  $i$  щодо параметра  $j$  по табл. 2.1 ( $P_i$  – верхній параметр матриці;  $P_j$  – нижній параметр матриці).

Далі порядково підсумовуються елементи матриці [A] і за спаданням одержуваних сум виконується ранжування відносної важливості параметрів.

Наприклад, проведено ранжування параметрів радіостанції тактичної ланки управління Р-173:

- а)  $P_1$  – чутливість радіоприймача;
- б)  $P_2$  – нестабільність частоти радіопередавача;
- в)  $P_3$  – потужність радіопередавача;
- г)  $P_4$  – енергоспоживання;
- д)  $P_5$  – девіація частоти радіопередавача.

Результати роботи експерта представлені в табл. 2.2, де  $R_{Pi}$  ранг параметра  $i$ . При однакових значеннях суми (в табл. 2.2 параметри  $P_4$  і  $P_5$ ) ранг визначається попарним порівнянням цих параметрів.

Запропонований підхід дозволяє формалізувати і кількісно оцінити область суб'єктивних суджень людини. Надалі узагальнюються результати роботи групи експертів, що дозволяє отримати досить об'єктивну оцінку важливості параметру.

Таблиця 2.2 – Матриця попарних порівнянь параметрів радіостанції

	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>	П <sub>5</sub>	Σ	$R_{Pi}$
П <sub>1</sub>	1	7	5	9	7	29	1
П <sub>2</sub>	2	1	5	5	7	20	3
П <sub>3</sub>	4	4	1	7	5	21	2
П <sub>4</sub>	2	4	2	1	2	11	5
П <sub>5</sub>	2	2	2	4	1	11	4

Тепер визначаємо ранг параметра за кількістю елементів радіостанції тактичної ланки управління Р-173, що використовуються для його формування ( $Re_i$ ). Врахування наведеного у підрозділі 2.3 дозволяє встановити ранг параметра за кількістю використовуваних для його формування елементів (потужність підмножини елементів в теоретико-множинній моделі об'єкта).

Для комплексної оцінки кожного параметра ВТЗ необхідно також враховувати його ранжування за ступенем збільшення часу ( $Rч_i$ ) та вартості вимірювання ( $Rв_i$ ), що визначено документацією (інструкцією з ТО ВТЗ) або шляхом дослідження у результаті проведення експерименту.

Після отримання значень  $R_{Pi}$ ,  $Re_i$ ,  $Rч_i$  і  $Rв_i$  для кожного параметра визначаються експертним опитуванням значення їх вагових коефіцієнтів  $Kп$ ,  $Ке$ ,  $Кч$ ,  $Кв$ . Порядок обробки результатів аналогічний узагальненню роботи експертів по визначенню  $R_{Pi}$  (табл. 2.2). Картка експертного опитування для визначення відносної важливості параметрів  $R_{Pi}$ , кількості елементів, що використовуються для його формування  $Re_i$ , часу вимірювання параметрів  $Rч_i$  та вартості вимірювання параметрів  $Rв_i$  радіостанції тактичної ланки управління Р-173 наведено в додатку А.

Зведена відомість результатів експертного опитування відібраних дванадцяти фахівців з спеціальної кафедри №4 «Теоретичних основ експлуатації засобів спеціальних телекомунікаційних систем» Інституту спеціального зв'язку

та захисту інформації НТУУ «КПІ» імені Ігоря Сікорського (м. Київ) та 10 територіального вузла урядового зв'язку (сmt. Миропіль Житомирської області) з оцінки важливості вагових коефіцієнтів радіостанції тактичної ланки управління Р-173 за десятибальною системою [97] представлена в додатку А (табл. А.6).

Для подальшого використання отриманих від експертів значень важливості вагових коефіцієнтів необхідно їх піддати процедурі нормування [87] (дод. табл. А.7).

Після підбору експертної групи та проведення опитування шляхом анкетування необхідно розрахувати коефіцієнт конкордації Кендалла  $W$ , який потрібен для того, щоб виявити узгодженість думок експертів за декількома факторами. Коефіцієнт конкордації Кендалла може приймати значення в межах  $0 \div 1$ , при цьому значення  $W=0$  означає повну неузгодженість оцінок експертів, а значення  $W=1$  відповідно означає наявність повної узгодженості думок експертів [58, 69, 74, 86].

Оцінку ступеня значущості вагових коефіцієнтів параметрів експерти проводять шляхом присвоєння їм рангового номера. Якщо експерт визнає кілька факторів рівнозначними, то їм присвоюється однаковий ранговий номер.

Розрахунок коефіцієнта конкордації Кендалла наведено в додатку А та становить  $W=0,99$ , що свідчить про наявність високого ступеня узгодженості думок експертів. Далі необхідно оцінити статистичну значущість отриманого коефіцієнта конкордації з використанням  $\chi^2$ -критерію Пірсона. Значення  $\chi^2$ -критерію Пірсона розрахуємо за формулою [100]:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12}kn(n+1) + \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{L_i} T_i} = \frac{698}{\frac{1}{12}12 \cdot 4(4+1) + \frac{1}{4-1}1} = 35,49.$$

Обчислений  $\chi^2$  порівняємо з табличним значенням для кількості ступенів свободи  $K = n - 1 = 4 - 1 = 3$  і при заданому рівні значимості  $\alpha = 0,05$ .

Так як розрахунковий  $\chi^2 = 35,49$  значно більше табличного 7,81473 [100], то  $W = 0,99$  – величина не випадкова, а тому отримані результати мають сенс і можуть використовуватися в подальших дослідженнях.

2.5 Методика обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку

Необхідність оцінки реального ТС ВТЗ виникає при МОБ, ТО і поточному ремонті (ПР) [101-103]. У цих випадках потрібно за мінімальний час із заданою або максимально можливою ймовірністю оцінити ТС ВТЗ шляхом вимірювання у встановленій послідовності значень деякої кількості параметрів із сукупності можливих (рекомендованих технічною документацією). Тому під час розробки або модернізації ВТЗ одним із важливих завдань є оцінка правильності вибору параметрів, які необхідно контролювати [101]. При вирішенні цього завдання необхідно враховувати відносну важливість ВП для користувача, кількість формуючих їх елементів у ВТЗ, а також тривалість виконання вимірювань, що було представлено у попередньому пункті.

На основі наведеного у пп. 2.1-2.4 розроблено методику обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ.

1. Методика використовується під час обґрунтування вимог до МЗ ВТЗ, що дозволяє мінімізувати трудовитрати, сили і засоби при оцінці її реального ТС із заданою ймовірністю в процесі їх МОБ.

2. Сутність методики полягає в науковому обґрунтуванні послідовності вимірювання значень параметрів ВТЗ та визначенні їх мінімально необхідної кількості для встановлення реального ТС із заданою ймовірністю. Структура методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ наведена на рис. 2.6.

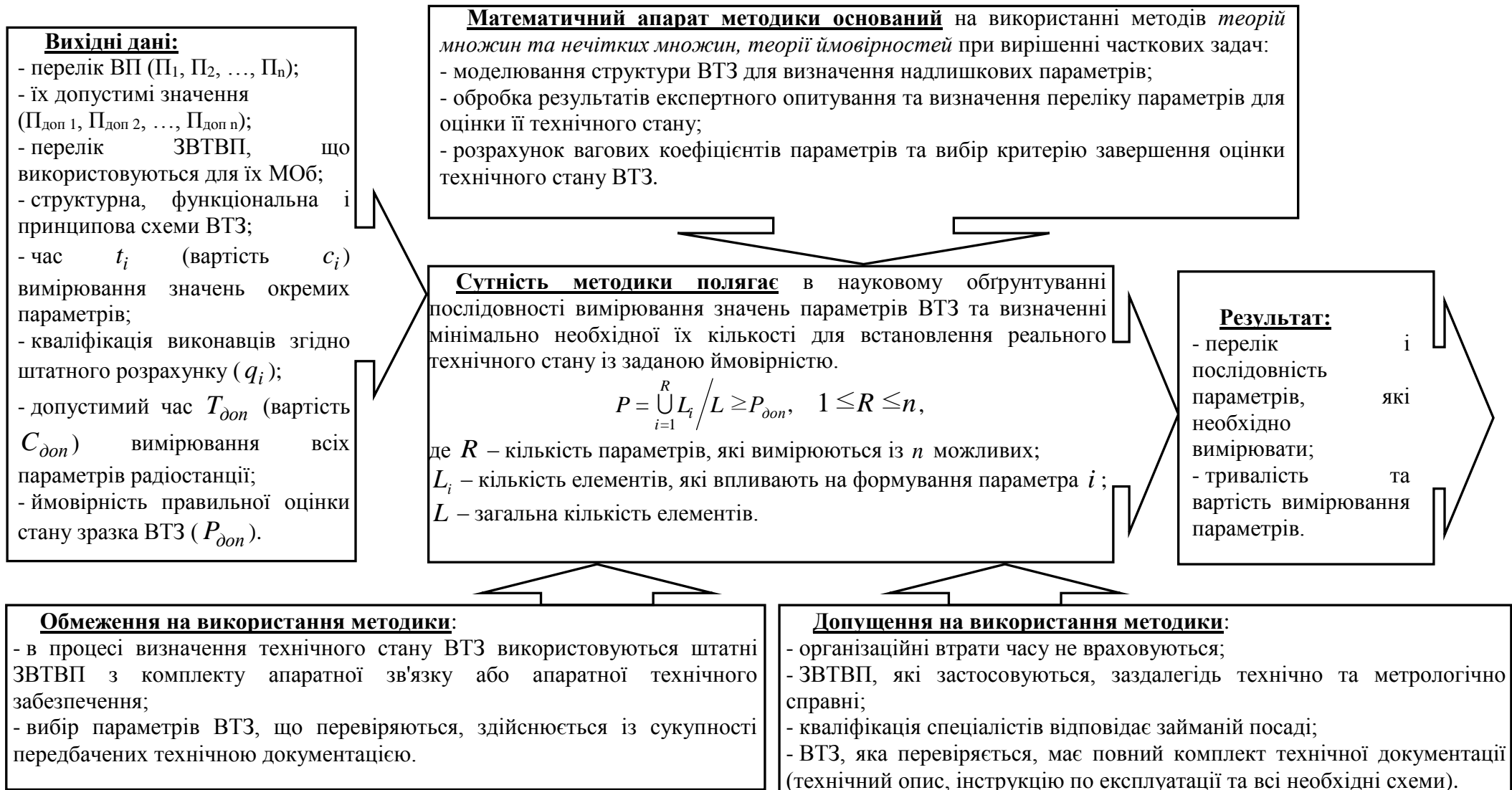


Рисунок 2.6 – Структура методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку

3. Методика обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ передбачає урахування таких обмежень:

- в процесі визначення ТС ВТЗ використовуються штатні ЗВТВП з комплекту апаратної зв'язку (АЗ) або апаратної технічного забезпечення (АТЗ);
- вибір параметрів ВТЗ, що перевіряються, здійснюється із сукупності передбачених технічною документацією.

Крім того, при використанні методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ введено такі допущення:

- кваліфікація спеціалістів відповідає займаній посаді;
- організаційні втрати часу не враховуються;
- ЗВТВП, які застосовуються, заздалегідь технічно та метрологічно справні;
- ВТЗ, яка перевіряється, має повний комплект технічної документації (технічний опис, інструкцію по експлуатації та всі необхідні схеми).

Прийняті обмеження та припущення відповідають реальним умовам експлуатації ВТЗ силами штатних екіпажів апаратних зв'язку та АТЗ.

4. Вихідні дані отримують із технічного опису на ВТЗ, інструкції щодо її ТО та з керівного технічного матеріалу:

- перелік ВП ( $P_1, P_2, \dots, P_n$ );
- допустимі значення ВП ( $P_{\text{доп } 1}, P_{\text{доп } 2}, \dots, P_{\text{доп } n}$ );
- перелік ЗВТВП, що використовуються для МОБ ВТЗ;
- структурна, функціональна і принципова схеми ВТЗ;
- час  $t_i$  вимірювання значень окремих параметрів;
- вартість  $c_i$  вимірювання значень окремих параметрів;
- кваліфікація виконавців згідно штатного розрахунку;
- допустимий час  $T_{\text{доп}}$  вимірювання всіх параметрів ВТЗ;
- допустима вартість  $C_{\text{доп}}$  вимірювання всіх параметрів ВТЗ;
- ймовірність правильної оцінки стану ВТЗ ( $P_{\text{доп}}$ ).



Дані про відносну важливість ВП отримують із експертного опитування фахівців.

5. Використання методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ передбачає реалізацію наступних етапів (рис. 2.7):

- отримання і аналіз необхідних даних про зразок ВТЗ, та вимоги до вартості ( $C_{don}$ ), часу ( $T_{don}$ ) і ймовірність правильної оцінки його ТС ( $P_{don}$ ) за результатами МОБ;

- встановлення рангу всіх параметрів ВТЗ за їх важливістю, кількістю елементів, що впливають на формування параметра і часом (вартістю) його вимірювання за результатами експертного опитування;

- розрахунок кількісних вагових коефіцієнтів всіх параметрів ВТЗ;

- у разі їх рівності перехід до вибору раціонального варіанту ВП, які задовольняють вимогам (функція  $F_I$ ) (рис. 2.8), та визначення послідовності вимірювань параметрів за збільшенням значення комплексного коефіцієнта;

- розрахунок ймовірності оцінки ТС зразка ВТЗ після перевірки  $1 \leq R \leq n$  параметрів;

- при виконанні умови  $P \geq P_{don}$  робиться висновок про кількість ВП  $R$  і послідовність їх вимірювання;

- оцінка ефективності використання методики за блок-схемою алгоритму наведеного на рис. 2.9, де  $T_{don}$  – загальний час перевірки  $n$  параметрів, а  $T$  – тільки  $R$  параметрів;

- виведення результатів щодо кількості і послідовності ВП, часу і витрат на МОБ ВТЗ, а також результату порівняння отриманого з існуючим порядком МОБ.

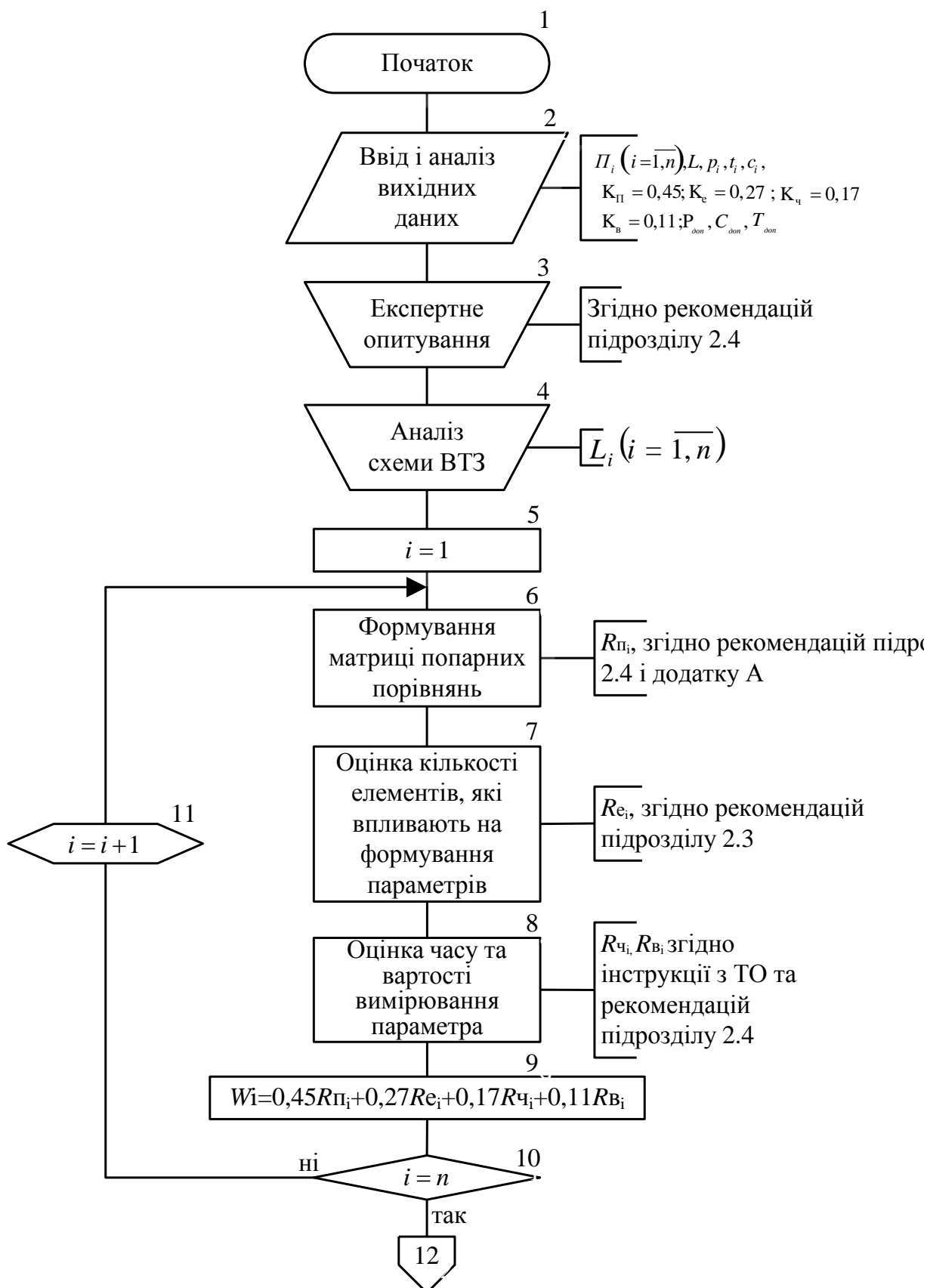


Рисунок 2.7 – Блок-схема алгоритму реалізації методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку (початок)

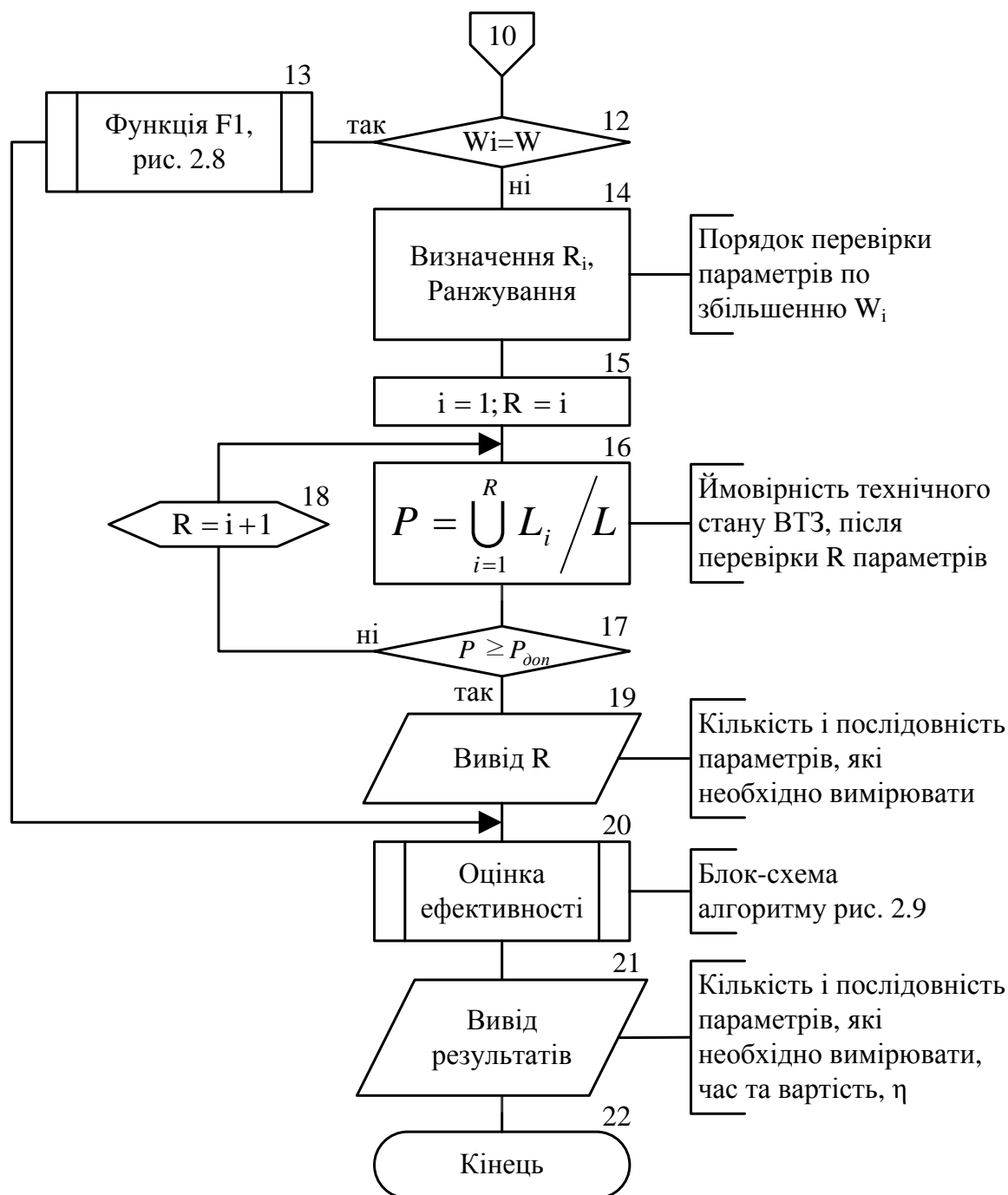


Рисунок 2.7 – Блок-схема алгоритму реалізації методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку (закінчення)

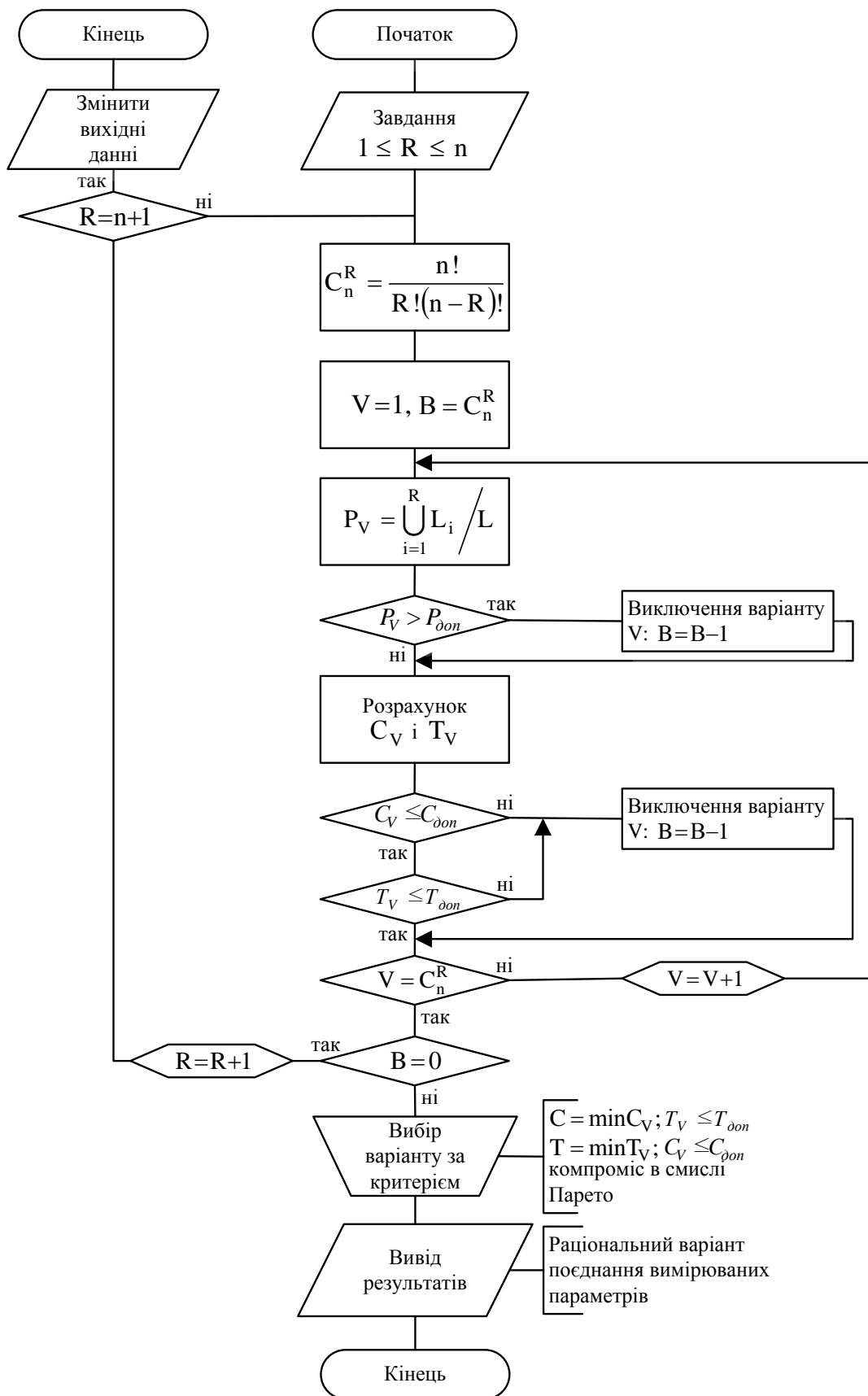


Рисунок 2.8 – Блок-схема алгоритму вибору раціонального варіанту набору вимірювальних параметрів (функція  $F_1$ )

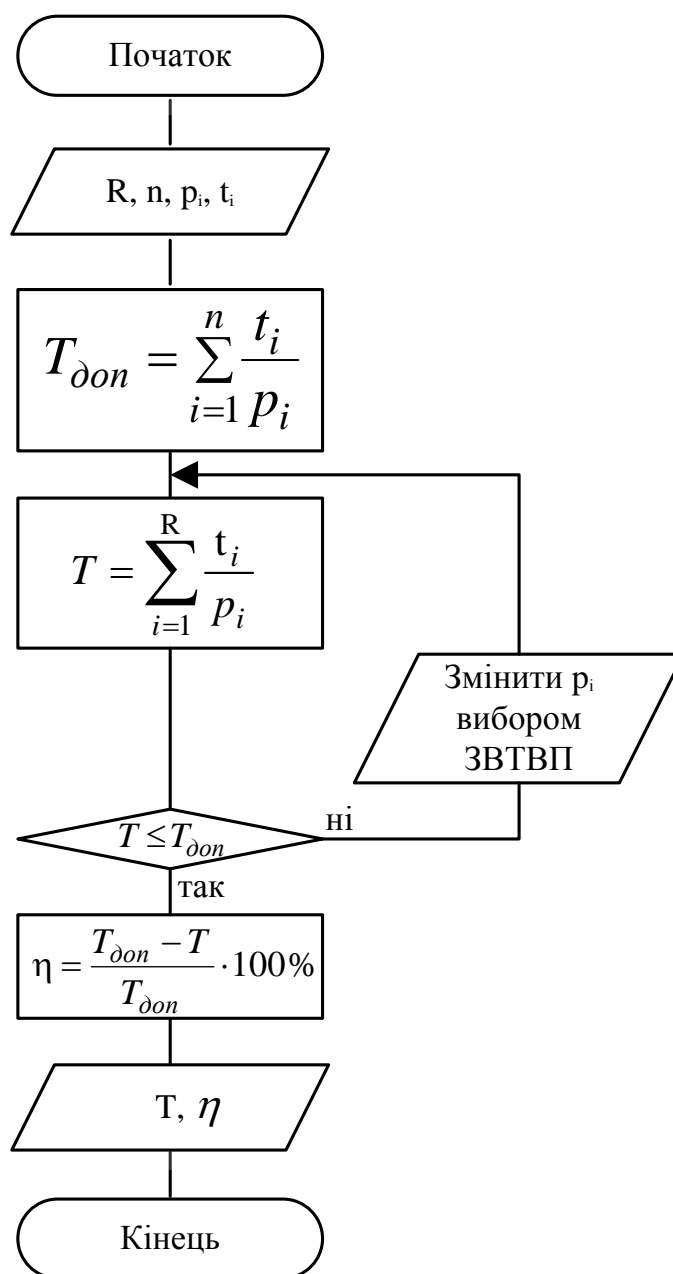


Рисунок 2.9 – Блок-схема алгоритму оцінки ефективності застосування методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку

6. Порядок застосування методики розглянемо на прикладі радіостанції тактичної ланки управління Р-173, структурна схема якої наведена на рис. 2.10 [104], її укрупнена схема на рис. 2.11, а теоретико-множинна модель на рис. 2.12, де  $M_i$  – множина елементів блоків укрупненої схеми.

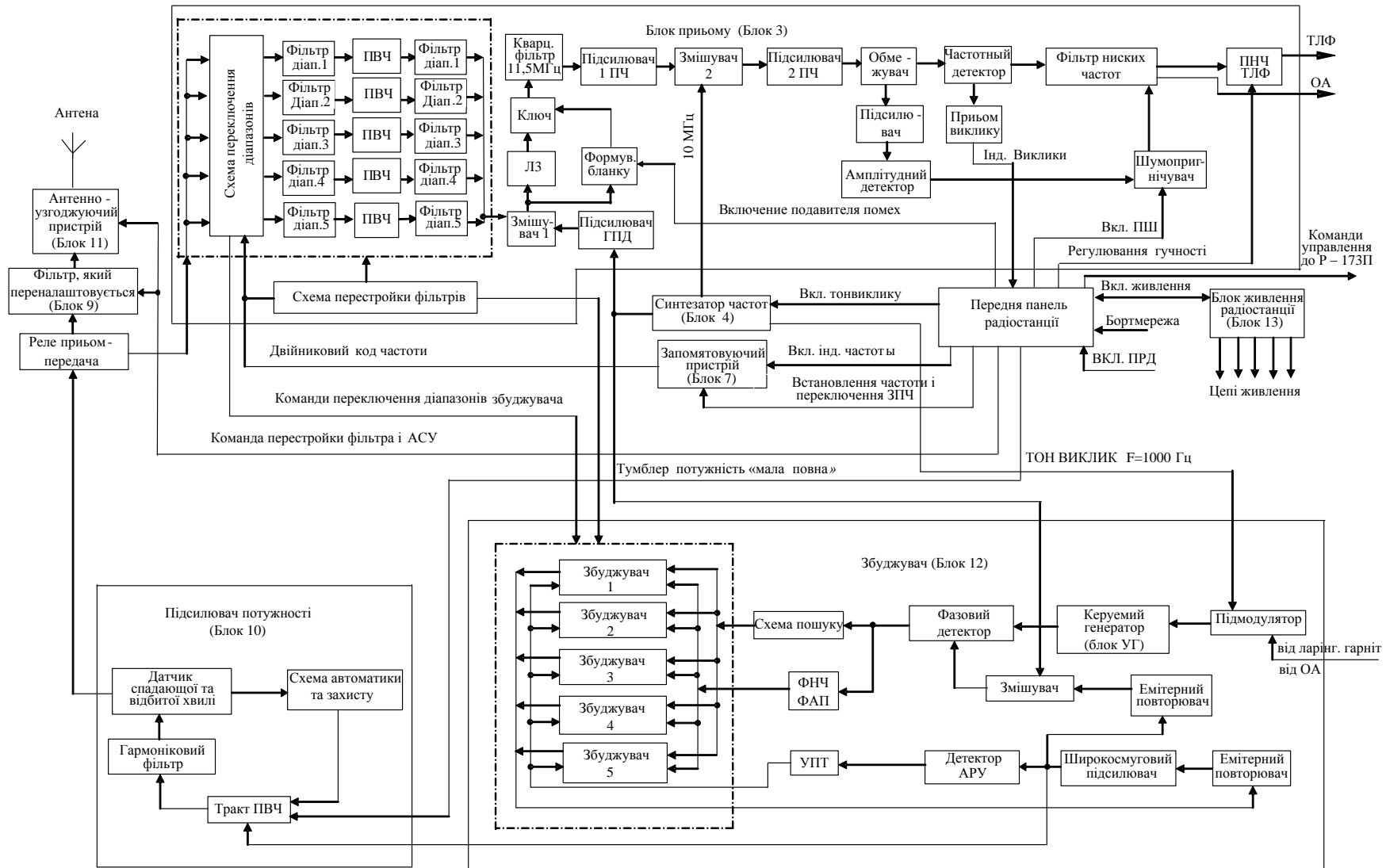


Рисунок 2.10 – Структурна схема радіостанції тактичної ланки управління Р-173

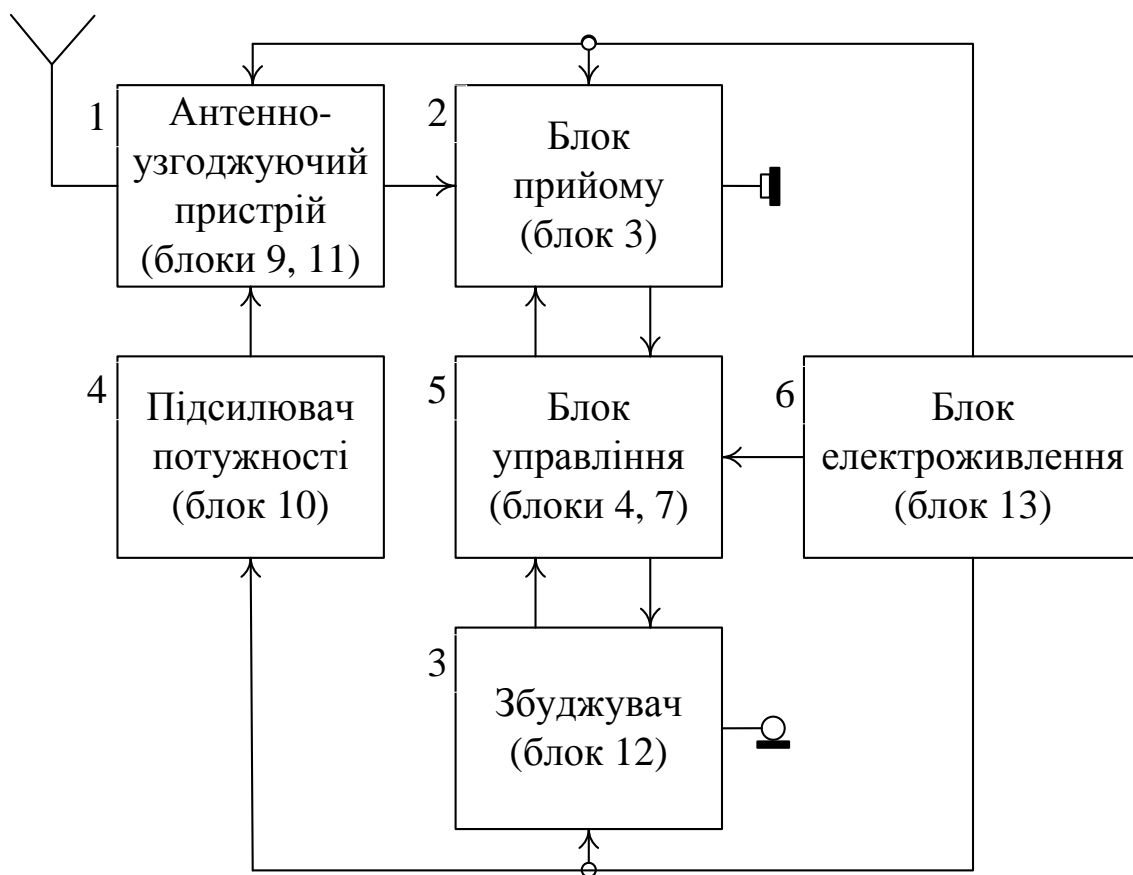


Рисунок 2.11 – Укрупнена структурна схема радіостанції тактичної ланки управління Р-173

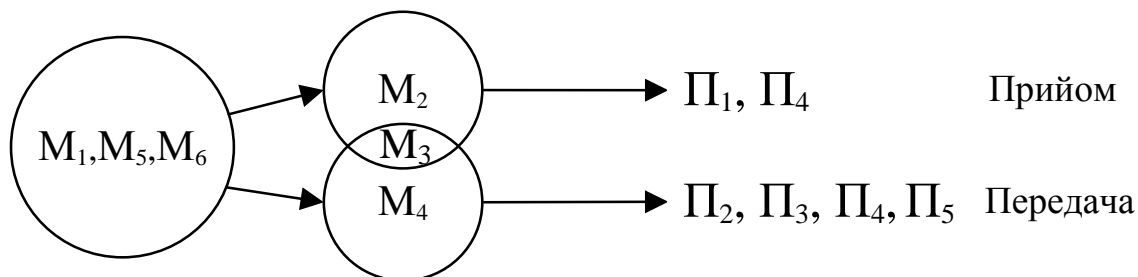


Рисунок 2.12 – Теоретико-множинна модель радіостанції тактичної ланки управління Р-173

Перелік ВП радіостанції ( $P_i$ ), їх допустимі значення і час вимірювання наведено в табл. 2.3.

Загальні витрати часу на виконання вимірювань всіх параметрів складають 90 хвилин (без урахування помилок вимірювань).

Таблиця 2.3 – Перелік вимірюваних параметрів радіостанції тактичної ланки управління Р-173

$i$	Параметр	Допустимі значення	Час вимірювання, $t_i$
1	Чутливість приймача з виключеним шумоподавачем	Не більше 1,5 мкВ	25 хв
	Чутливість приймача з включеним шумоподавачем	Не більше 3 мкВ	
2	Нестабільність частоти радіостанції	Не більше $\pm 1,5$ кГц	22 хв
3	Потужність передавача при номінальній напрузі борт мережі	Не менше 30 Вт	18 хв.
4	Струм споживання радіостанції при номінальній напрузі борт мережі не повинен перевищувати:		10 хв
	в режимі прийому	1,5 А	
	в режимі передачі	9 А	
5	Девіації частоти передавача	В межах 4-6 кГц	15 хв

Перелік використовуваних ЗВТВП наведено в табл. 2.4, де  $p$  - ймовірність правильної оцінки результату вимірювання параметру апаратури згідно табл. 2.5 [97], а схема вимірювання параметрів радіостанції Р-173 представлена на рис. 2.13 [104]. Всі вихідні дані отримані з технічного опису та інструкції з експлуатації Р-173 [104].

Таблиця 2.4 – Перелік контрольно-вимірювальної апаратури радіостанції Р-173

№ з/п	Назва засобів вимірювальної техніки	$p_i$	Параметри, які вимірюються
1	Амперметр Д5014	0,95	4
2	Вольтметр В7-15 з трійниковим переходом	0,85	3
3	Генератор НЧ сигналів Г3-102	0,834	5
4	Генератор сигналів ВЧ Г4-116	0,725	1
5	Вимірювач девіації СК3-43	0,9993	5
6	Мілівольтметр В3-41	0,834	1
7	Навантаження Э9-4А	-	3
8	Частотомір електронно-лічильний Ч3-54	0,9993	2



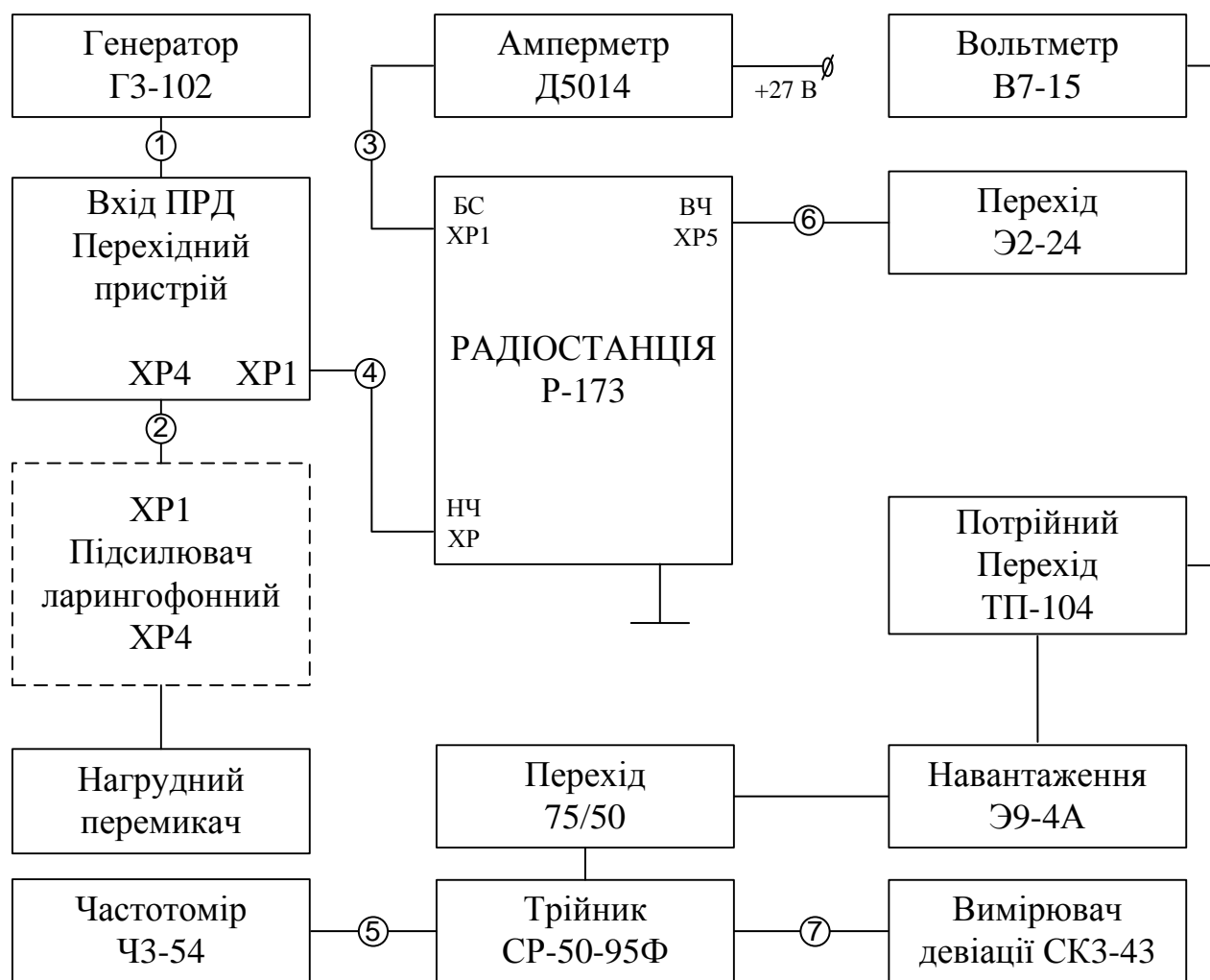


Рисунок 2.13 – Схема вимірювання параметрів радіостанції Р-173

Таблиця 2.5 – Узагальнені відомості про безпомилковість виконання вимірюваних операцій

№ з/п	Вимірювані операції	<i>P</i>
1	2	3
1	Сприйняття до оцінки показань одиночного стрілочного приладу:	
	багатоканального	0,84...0,852
	простого	0,944...0,960
	з вертикальною лінійною шкалою	0,645
	з горизонтальною лінійною шкалою	0,725
	з круговою шкалою	0,891
	з напівкруглою шкалою	0,834
з шкалою у вигляді вікна	0,995	
2	Визначення значення "норма" по сектору на шкалі приладу	0,971
3	Пошук, сприйняття і оцінка стану індикаторів:	
	від одного до семи	0,995

Продовження таблиці 2.5

1	2	3
	від п'яти до п'ятнадцяти	0,99
4	Сприйняття і оцінка показань цифрового приладу з кількістю розрядів:	
	від одного до трьох	0,9997
	від чотирьох до шести	0,9993
	від семи і більше	0,9985
5	Прийняття рішення при декількох логічних умовах:	
	одне, два	0,995
	три, чотири	0,950
	п'ять і більше	0,900

У такому випадку після нормування оцінок отриманих від експертного опитування (додаток А) математичне сподівання ( $M(R)_i$ ) і СКВ  $R_{\Pi_i}$ ,  $Re_i$ ,  $R\chi_i$ ,  $R\vartheta_i$  значень вагових коефіцієнтів ( $\sigma_i$ ) дорівнюють:

$$M(R_{\Pi})_1=0,4487; \quad M(Re)_2=0,2680; \quad M(R\chi)_3=0,1667; \quad M(R\vartheta)_4=0,1164;$$

$$\sigma_1=0,0662; \quad \sigma_2=0,0344; \quad \sigma_3=0,0345; \quad \sigma_4=0,0409.$$

Ступінь узгодженості експертів характеризується варіацією  $\nu$  та становить для вагових коефіцієнтів  $R_{\Pi_i}$ ,  $Re_i$ ,  $R\chi_i$ ,  $R\vartheta_i$ :

$$\nu_1 = \sigma_1 / M_1 = 0,1476; \quad \nu_3 = \sigma_3 / M_3 = 0,2069;$$

$$\nu_2 = \sigma_2 / M_2 = 0,1283; \quad \nu_4 = \sigma_4 / M_4 = 0,3513,$$

що достатньо [80, 99]. Остаточо вибираємо значення важливості вагових коефіцієнтів окремих показників ВТЗ  $K_{\Pi} = 0,45$ ;  $Ke = 0,27$ ;  $K\chi = 0,17$ ,  $K\vartheta = 0,11$ , при цьому  $K_{\Pi}$  відрізняється від математичного сподівання на 0,3%,  $Ke$  на 0,7%  $K\chi$  на 1,9% і  $K\vartheta$  на 5,5%. Оскільки ці значення потрапляють в область відхилення від математичного сподівання не більше, ніж на  $\sigma$ , то з достовірною ймовірністю  $P=0,97$  можна стверджувати про правильність прийняття рішення [105].

Узагальнення отриманих результатів дозволяє визначити порядок перевірки параметрів ( $R_i$ ) за ступенем зростання комплексного коефіцієнта  $W_i$  (табл. 2.6)

$$W_i = 0,45R_{\Pi_i} + 0,27Re_i + 0,17R\chi_i + 0,11R\vartheta_i. \quad (2.8)$$

Таблиця 2.6 – Узагальнені відомості щодо важливості параметрів радіостанції Р-173

Параметр	$R_{л_i}$	$Re_i$	$Rч_i$	$Rв_i$	$W_i$	$R_i$
П <sub>1</sub>	1	2	5	5	2,39	1
П <sub>2</sub>	3	2	2	4	2,67	2
П <sub>3</sub>	2	3	4	3	2,72	3
П <sub>4</sub>	5	1	3	1	3,14	5
П <sub>5</sub>	4	2	1	2	2,73	4

Отже, можливо зробити висновок, що використання вагових коефіцієнтів параметрів, які формують порядок та час перевірки параметрів, відповідає реальним умовам оцінки ТС ВТЗ і збільшує достовірність отриманих результатів.

Далі за блок-схемою алгоритму рис. 2.7 отримуємо значення  $R_{л_i}$  (табл. 2.3),  $Re_i$ ,  $Rч_i$ ,  $Rв_i$  і  $W_i$  (табл. 2.6), після чого визначається порядок ВП  $R_i$ :

- чутливість радіоприймача;
- нестабільність частоти радіопередавача;
- потужність радіопередавача;
- девіація частоти радіопередавача;
- енергоспоживання.

З аналізу, який проведено на теоретико-множинній моделі рис. 2.12 випливає, що при номінальних значеннях П<sub>1</sub>, П<sub>2</sub>, П<sub>3</sub>, П<sub>5</sub> параметр П<sub>4</sub> можна не контролювати, оскільки він завчасно буде в допустимих межах, де  $M_i$  – множина елементів блоків укрупненої схеми радіостанції тактичної ланки управління Р-173.

З проведеного експериментального дослідження встановлено, що цілком достатньо буде перевірити чотири з п'яти наявних параметрів з послідовністю, наведеною у табл. 2.6. Відповідно зменшується кількість ЗВТВП, а саме амперметр Д5014, який згідно з рис. 2.13 [104] використовується для вимірювання П<sub>4</sub> (струму споживання) можливо виключити.

Перераховані операції реалізує функція  $F_1$  (рис. 2.8):

- після встановлення кількості параметрів, що перевіряються  $1 \leq R \leq n$  обчислюється кількість варіантів їх поєднання  $B = C_n^R$  ( $B$  – загальна кількість варіантів);
- обчислення ймовірності правильної оцінки стану зразка ВТЗ, перевірка умови  $P_V > P_{\text{дон}}$  і виключення варіантів, які не відповідають цій нерівності;
- розрахунок часу  $T_V$  та вартості  $C_V$  реалізації кожного варіанту  $V$  і виключення варіантів, які не відповідають умовам  $C_V \leq C_{\text{дон}}$  і  $T_V \leq T_{\text{дон}}$ ;
- з решти варіантів вибирається найкращий за критерієм мінімуму часу  $T_V$  або вартості  $C_V$  залежно від поставленого завдання;
- можливий вибір компромісного варіанту при вирішенні багатокритеріальної задачі оптимальною за Парето;
- якщо після перевірки всіх варіантів при заданому  $R$  жоден з них не задовольняє умовам, то необхідно збільшити  $R$  та провести повтор операцій;
- якщо при цьому  $R = n$  і задача не має розв'язку, то необхідно провести перегляд вихідних даних по обмеженню  $T_{\text{дон}}$  або  $C_{\text{дон}}$ ;
- вивід раціонального варіанту поєднань вимірюваних параметрів.

7. Оцінка ефекту від застосування запропонованої методики здійснюється відповідно до алгоритму блок-схема якого наведена на рис. 2.9.

Допустимий час проведення вимірювань ( $T_{\text{дон}}$ ) в ідеальних умовах відповідно до інструкції з ТО радіостанції Р-173 [104] становить:

$$T_{\text{дон}} = 25 + 22 + 18 + 10 + 15 = 90 \text{ хв.}$$

Відповідно час вимірювання чотирьох параметрів дорівнює  $T = 80 \text{ хв}$ , при цьому ефект від застосування методики становить  $\eta = 14\%$ , отже знижується час і відповідні трудовитрати на оцінку ТС радіостанції Р-173 на 14 %.

При врахуванні похибок вимірювання (людський фактор, стрибки напруги і т.д) підвищується достовірність оцінки ТС ВТЗ за рахунок чого пропорційно збільшується час проведення вимірювань і становить:

$$T_{\text{дон}} = \frac{25}{0,725 \cdot 0,834} + \frac{22}{0,9993} + \frac{18}{0,85} + \frac{10}{0,95} + \frac{15}{0,843} = 113 \text{ хв.}$$

За умови вимірювання чотирьох параметрів час проведення вимірювань дорівнює  $T = \frac{25}{0,725 \cdot 0,834} + \frac{22}{0,9993} + \frac{18}{0,85} + \frac{15}{0,843} = 99$  хв, при цьому ефект від застосування методики становить,  $\eta = \frac{113 - 99}{113} \cdot 100\% = 11,1\%$ , тобто знижується час і трудовитрати на оцінку ТС радіостанції Р-173 на 14 %.

Оцінка ефекту від застосування запропонованої методики показала, що із зменшенням існуючої кількості параметрів, які необхідно вимірювати при МОБ ВТЗ, зменшується час і трудовитрати на оцінку ТС ВТЗ.

8. Методика відрізняється від відомих [33, 37] використанням нового математичного апарату та алгоритму реалізації, комплексним урахуванням факторів, що впливають на послідовність виконання вимірювань, можливістю вирішення завдання за критерієм мінімуму часу та витрат на МОБ.

9. Наукова новизна приведених результатів полягає в тому, що отримала подальший розвиток методика обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ в напрямку підвищення ефективності МОБ ВТЗ за рахунок комплексної оцінки параметрів в процесі їх аналізу. Це дозволило на 11-14% знизити час і трудовитрати на МОБ ВТЗ.

## Висновки до розділу 2

1. Аналіз функціонування СМОБ показав, що від її ефективності залежить оперативність і достовірність отримання інформації про ТС ВТЗ, що нерозривно пов'язано з ухваленням рішення з бойового застосування військ при підготовці та в ході проведення військової операції. Оперативність проведення МОБ ВТЗ залежить від кількості ВП, так як необґрунтовано велика їх кількість призводить до збільшення часу на оцінку ТС ВТЗ і, як наслідок, до підвищення витрат на її експлуатацію. Це викликає необхідність удосконалення методики обґрунтування послідовності і кількості параметрів для МОБ ВТЗ.

2. У розділі удосконалено методику обґрунтування послідовності і кількості параметрів для МОБ ВТЗ. Відмінність удосконаленої методики від відомих полягає в тому, що вона дозволяє оцінювати комплексний показник параметра як

ймовірність його першочергового вибору під час МОб та додатково враховує роздільну оцінку впливу часу і вартості вимірювання параметрів.

3. Удосконалена методика дозволяє встановити мінімально необхідну кількість параметрів при МОб ВТЗ, оптимізувати порядок їх вимірювання, скоротити час та ЗВТВП, які необхідні для оцінки ТС ВТЗ.

4. Наукова новизна полягає в комплексній оцінці кожного параметра ВТЗ, вимірюваного під час її МОб, застосуванні нового алгоритму реалізації на основі використання апробованого математичного апарату теорій множин та нечітких множин.

5. Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості їх використання в подальшому при розробці документації на ТО нових та модернізуємих зразків ВТЗ, що знижує загальні трудовитрати на оцінку ТС ВТЗ.

Основні наукові результати, отримані в даному розділі, опубліковані у [4, 11, 12] і впроваджені у [108].

**РОЗДІЛ 3**

**ЧАСТКОВІ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ НОМЕНКЛАТУРИ**

**ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ**

**ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ**

Цей розділ присвячено рішенням другого часткового завдання: використанню методів теорії ймовірностей, теорії дискретного пошуку, теорії графів і дискретної математики для кількісної оцінки мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань під час метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з метою мінімізації вартості засобів вимірювальної техніки військового призначення при обмеженнях на час встановлення реального технічного стану військової техніки зв'язку та подальшої формалізації результатів у вигляді методик визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення.

Математична постановка завдання розділу полягає у визначенні мінімальної вартості аналогових та цифрових засобів вимірювальної техніки військового призначення  $C(X)$  згідно цільової функції роботи (1.5):

$$C(X) = \min_{X^* \in \Delta} C(X^*) = \begin{cases} \max K_m(X^*), & \text{для аналогових ЗВТВП} \\ \min r(X^*), & \text{для цифрових ЗВТВП} \end{cases}, \text{ при } T_v \leq T_{\text{дон}}.$$

При розв'язанні задачі обґрунтування МХ ЗВТВП для МОБ ВТЗ загальноприйнятим підходом є застосування теорії вимірювань без врахування особливостей визначення технічного складу. Теорія вимірювань – теорія, що пояснює, чому із зміною значення деякої змінної потрібно чекати і змін у значеннях показника, що її відображає.

Обмеженість існуючого математичного апарату полягає в тому, що відомі методики не враховують, або використовують наближені аналітичні вирази для оцінки впливу послідовності виконання вимірювань при визначенні ТС ВТЗ в

процесі її МОБ, що призводить до завищення класу точності і, як наслідок, вартості ЗВТВП, які використовуються.

При розробці запропонованих методик був використаний математичний апарат заснований на використанні методів теорії ймовірностей, теорії дискретного пошуку, теорії графів і дискретної математики [25, 105-107, 109] для отримання функціональних залежностей математичного сподівання відхилення ТС ВТЗ від його істинного значення при врахуванні можливості виникнення не більше однієї помилки в оцінці результату вимірювання значення параметра [2]. На практиці залежно від особливостей конкретного зразка ВТЗ при визначенні ТС з заданою точністю використовують УА різного виду та форми для реалізації одним або групою фахівців. При цьому внаслідок відсутності аналітичних виразів для точної оцінки необхідних значень показників якості ЗВТВП на етапі розробки технології МОБ у всіх випадках використовуються наближені оцінки, які значно завищують вимоги до класу точності. Тому доцільно усунути цей недолік отриманням та використанням функціональних залежностей МХ ЗВТВП від реалізації процесу визначення ТС ВТЗ при її МОБ.

3.1 Підхід щодо визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку

В підрозділі пропонується підхід до вибору ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань за УА довільної форми з метою зменшення витрат.

Оцінка ТС ВТЗ проводиться з використанням ЗВТВП при перевірці її працездатності, проведенні МОБ, в процесі ТО і ПР екіпажами апаратних зв'язку та АТЗ [110]. Достовірність оцінки ТС ВТЗ залежить від обраного ЗВТВП. Обґрунтування вибору ЗВТВП з урахуванням вимог до точності вимірювань є одним із найбільш актуальніших завдань проведення МЕ документації ВТЗ.



Питанням вибору ЗВТВП присвячена велика кількість робіт, наприклад [25, 26, 28, 31, 32, 97, 112-118]. Однак вони не враховують специфіки експлуатації та МОБ ВТЗ, що в свою чергу призводить до неможливості визначення достовірних значень параметрів під час експлуатації ВТЗ та збільшення вартості МОБ ВТЗ.

При обґрунтуванні необхідного значення  $Km$  використовуються ймовірнісні показники ЗВТВП – ймовірність правильної оцінки значення вимірюваного параметра ( $p$ ), яка для застосовуваних в процесі МОБ і ПР ЗВТВП змінюється в межах від 0,645 до 0,9997 (табл. 2.5) [26, 28, 97, 112-118] і впливає на значення ймовірності правильного визначення ТС ( $P$ ), середнього ( $\rho$ ) і максимального ( $\rho_M$ ) відхилення у визначенні ТС ВТЗ від його істинного значення.

Послідовність і порядок проведення вимірювань параметрів при МОБ, ТО і ПР ВТЗ залежать від результатів виконання попередніх перевірок і представляються у вигляді УА. При відхиленні значень ВП від норми здійснюється пошук дефектів з використанням штатних ЗВТВП за програмами, які реалізують УА діагностування.

Умовні алгоритми, що застосовуються під час оцінки ТС ВТЗ, розрізняють за видами (бінарні, однорідні, групові) і формами (досконала  $F=1$ , мінімальна  $F=2$ , довільна  $F=3$ , максимальна  $F=4$ ). Вид УА визначається кількістю можливих результатів виконання перевірки – модулем вибору ( $m$ ) і кількістю одночасно ВП ( $\mu$ ). Групові алгоритми використовують у разі застосування багатоканальних ЗВТВП: наприклад, дво- або чотири- канальних осцилографів. При  $m = 2$  (норма або не норма) УА називають бінарним, а при  $m > 2$  (менше норми, норма, більше норми або відсутність сигналу, менше норми, норма, більше норми і так далі) – однорідним. Однорідні УА легко реалізуються при  $m = 3$ , коли номінальне значення параметра виділено сектором на шкалі ЗВТВП. Чим більше значення  $m$ , тим менша середня кількість перевірок  $K$  по УА для визначення елемента, що відмовив у ВТЗ, із сукупності можливих станів  $L$ , включаючи справний [25].

На рис. 3.1 наведені приклади видів і форми УА:

– бінарний ( $m = 2$ ) досконалої форми ( $K = \log_2 L$ ) (рис. 3.4а);

– бінарний мінімальної форми (різниця максимальної  $K_{\max}$  і мінімальної  $K_{\min}$  кількості перевірок дорівнює одиниці) (рис. 3.4б);

– бінарний довільної форми ( $K = \frac{1}{L} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} i \cdot l_i$ ,  $l_i$  - кількість результатів пошуку після виконання  $i$  перевірок) (рис. 3.4в);

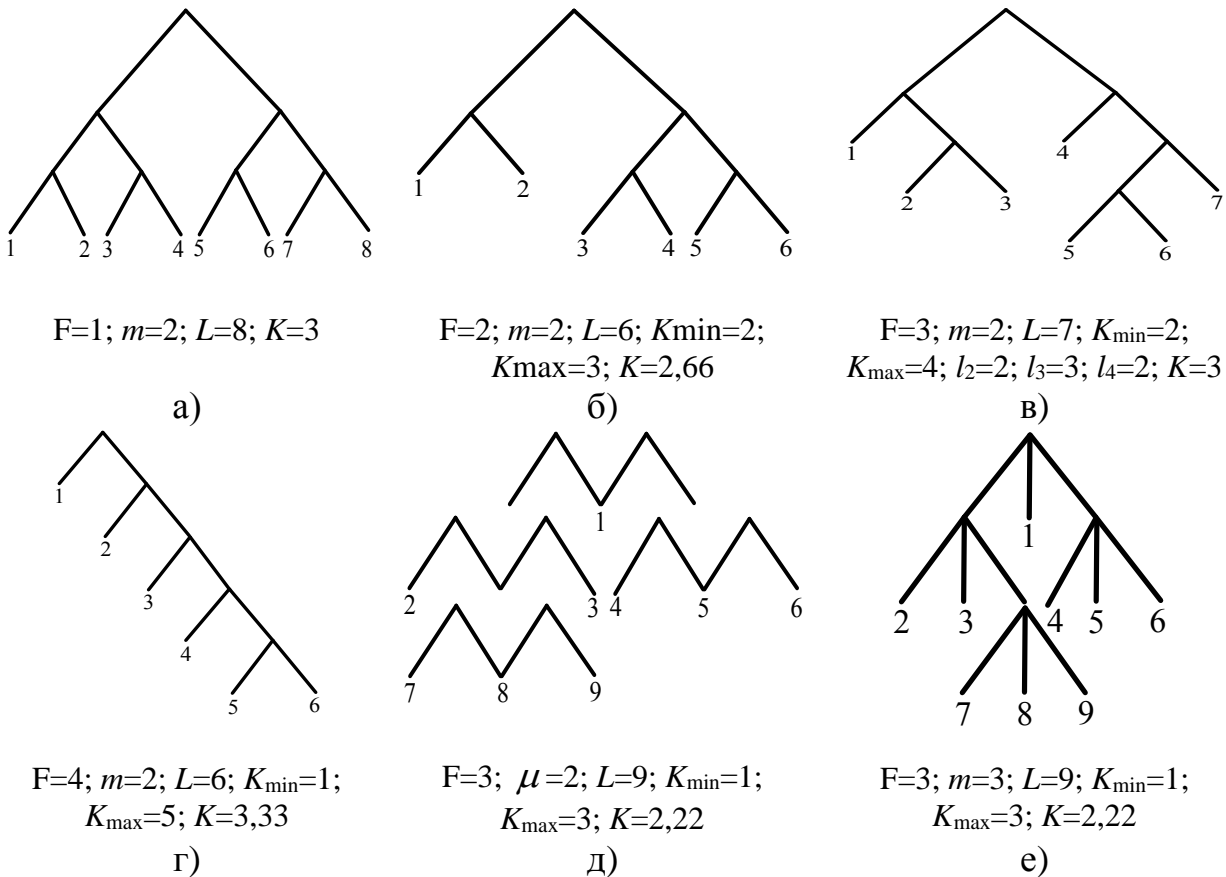


Рисунок 3.1 – Приклади видів і форми умовних алгоритмів

– бінарний максимальної форми ( $K_{\min} = 1$ ,  $K_{\max} = \frac{L-1}{m-1}$ ,

$$K(m=2) = \frac{(L-1)(L+2)}{2L} \text{ (рис. 3.4г);}$$

– груповий (одночасна перевірка  $\mu$  параметрів) довільної форми ( $K_{\min} < K < K_{\max}$ ) (рис. 3.4д);

– однорідний ( $m = 3$ ) довільної форми (рис. 3.4е).

Застосування групових УА дещо знижує значення ймовірності правильної постановки діагнозу, але значно скорочує середню кількість перевірок і тривалість оцінки ТС ВТЗ.

Найбільш досліджені бінарні алгоритми досконалої форми [25, 27, 44-47, 50, 97, 111], як досить прості та зручні для використання у військових умовах. У відомих методиках обґрунтування значення  $Km$  ЗВТВП [26, 28, 97, 112-114] для обчислення середнього ( $\rho$ ) і максимального ( $\rho_M$ ) значень відхилення у визначенні ТС ВТЗ при допущенні однієї помилки виконавця в оцінці значення параметра, що перевіряється, для УА будь-якої форми використані функціональні залежності, наведені в табл. 3.1, де  $P$  – ймовірність правильного визначення ТС ВТЗ, які завищують необхідне значення  $p$  і як наслідок, вартість обраних ЗВТВП.

Таблиця 3.1 – Співвідношення для кількісної оцінки відхилення результату визначення технічного стану об'єкта по умовному алгоритму досконалої форми ( $F = 1$ )

Вид алгоритму	Середнє значення відхилення, $\rho$	Максимальне значення відхилення, $\rho_M$	$K$	$L$	$P$
Бінарний $m = 2$	$0,5(L + K - 1)(1 - p)p^{K-1}$	$(L - 1)(1 - p)p^{K-1}$	$\log_2 L$	$2^K$	$p^K$
Однорідний $2 \leq m = \text{const}$	$\frac{m-1}{m} \left( K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)p^{K-1}$	$\left( K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)p^{K-1}$	$\log_m L$	$m^K$	$p^K$
Груповий $m = \mu + 1$	$\frac{\mu}{\mu+1} \left( K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)p^{\mu K-1}$	$\left( K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)p^{\mu K-1}$	$\log_{\mu+1} L$	$(\mu+1)^K$	$p^{\mu K}$

Завищення значення  $p$  пояснюється тим, що при  $m > 2$  передбачалося рівноймовірне прийняття рішення по будь-якому можливому результату виконання перевірки (наприклад, при відсутності сигналу рівноймовірно передбачалося ухвалення рішення “більше норми”, що на практиці виключено). Ця обставина врахована в [115-117], де отримані більш точні розрахункові вирази для УА досконалої форми (при помилці передбачається відхилення в оцінці значення параметра тільки на одну градацію в кожную сторону з ймовірністю  $0,5(1 - p)$ ):

$$\rho(m \geq 2) = 0,5 \left( K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p) p^{K-1}; \quad (3.1)$$

$$\rho(\mu \geq 1) = 0,5 \left( K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p) p^{\mu K-1}. \quad (3.2)$$

Для практичних розрахунків з досить високою точністю (похибка не більше 0,2% при  $K \leq 7$ ) можна використовувати наближені вирази [115-117]:

$$\rho(m \geq 2) \approx 0,5 \left( K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p) (1 - (1-p)(K-1));$$

$$\rho(\mu \geq 1) \approx 0,5 \left( K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p) (1 - (1-p)(\mu K - 1)).$$

У загальному випадку при допущенні декількох помилок в оцінці результатів вимірювань верхня межа можливого відхилення оцінки ТС ВТЗ:

$$\max \rho = 0,5(L + K - 1) \left( 1 - p^K \right),$$

де  $\left( 1 - p^K \right)$  – ймовірність помилкової оцінки ТС ВТЗ.

З аналізу виразів (3.1) і (3.2) отримуємо область існування рішень для існуючих ЗВТВП (табл. 2.5):  $0,6 \leq \frac{\mu K - 1}{\mu K} \leq p < 1$ .

Очевидно, що зі збільшенням значень  $\mu$  мінімально допустиме значення  $p$  зростає (рис. 3.2) внаслідок збільшення ймовірності виникнення помилки.

Визначимо область існування розв'язків для обчислення мінімально допустимого значення  $p$  в процесі оцінки ТС ВТЗ за УА досконалої форми при дотриманні вимог до можливості реалізації ПР ВТЗ агрегатним методом, коли навіть при постановці помилкового діагнозу несправний елемент знаходиться в агрегаті, що замінюється (блоці або модулі) [25, 26, 28, 97, 112-117]:

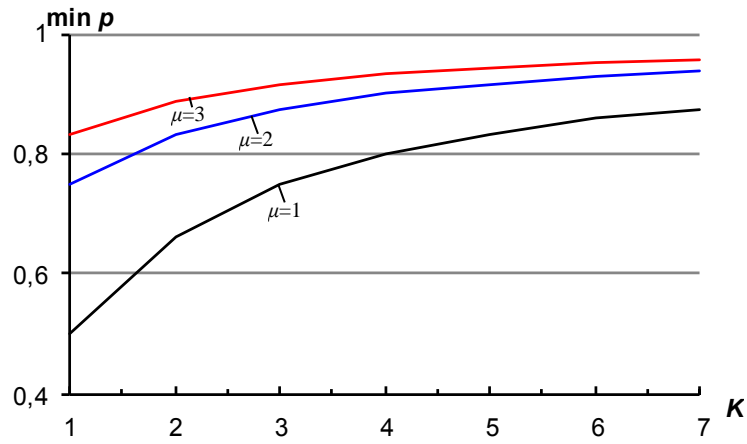


Рисунок 3.2 – Залежність мінімально допустимого значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювання від кількості одночасно вимірювальних параметрів

1. Середнє значення відхилення встановленого ТС від його істинного значення  $\rho \leq 0,5$

$$\text{для } m = 2 \text{ маємо: } (1-p)p^{K-1} \leq (K+L-1)^{-1};$$

$$\text{для } m \geq 2 \text{ маємо: } (1-p)p^{K-1} \leq \frac{m-1}{K(m-1)+L-1};$$

$$\text{для } m = \mu + 1 \text{ маємо: } (1-p)p^{\mu K-1} \leq \frac{\mu}{K\mu+L-1}.$$

2. Максимальне значення відхилення встановленого ТС від його істинного значення  $\rho_M \leq 1$

$$\text{для } m = 2 \text{ маємо: } (1-p)p^{K-1} \leq (L-1)^{-1};$$

$$\text{для } m \geq 2 \text{ маємо: } (1-p)p^{K-1} \leq \frac{m-1}{L-1};$$

$$\text{для } m = \mu + 1 \text{ маємо: } (1-p)p^{\mu K-1} \leq \frac{\mu}{L-1}.$$

Отже, якщо виконується умова  $\rho \leq 0,5$ , то умову  $\rho_M \leq 1$  можна не перевіряти, так як вона реалізується при більшому значенні  $p$ , ніж у першому випадку.

3. Оцінювання ТС ВТЗ за допустимий час  $T_{дон}$ . Розрахунковий час визначення ТС [25]:

$$T = \frac{Kt + t_y}{P} = \frac{Kt + t_y}{p^K},$$

тобто з умови  $T \leq T_{\text{дон}}$  отримуємо:

$$\left( \frac{Kt + t_y}{T_{\text{дон}}} \right)^{\frac{1}{K}} \leq p < 1.$$

Узагальнюючи отримані результати розроблена блок-схема алгоритму обчислення мінімально необхідного значення  $p$  при оцінці ТС ВТЗ по УА досконалої форми (рис. 3.3), де  $\Delta p$  – крок зміни значення  $p$ .

У роботах [115-117] отримані розрахункові вирази для орієнтовної оцінки значення  $\rho$  при використанні УА довільної форми ( $F = 3$ ):

$$\rho(m \geq 2) = \frac{1-p}{2(m-1)pL} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} l_i \left[ m^i + i(m-1) - 1 \right] p^i; \quad (3.3)$$

$$\rho(\mu \geq 1) = \frac{1-p}{2\mu pL} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} l_i \left[ (\mu+1)^i + i\mu - 1 \right] p^{i\mu}. \quad (3.4)$$

Подальші дослідження [111, 119] спрямовані на отримання більш простих розрахункових залежностей шляхом введення припущень  $p \approx 1$ , що справедливо для цифрових мікропроцесорних ЗВТВП ( $p \geq 0,9997$ ). У такому випадку для УА мінімальної форми ( $F=2$ ) з відносною похибкою до 4% при  $m = 2$ :

$$\rho \approx 0,5(1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1} \left[ \left( 2^{\lceil K \rceil} + \lfloor K \rfloor \right) - \left( 2^{\lceil K \rceil} + 1 \right) \frac{l}{L} \right],$$

а для УА максимальної форми ( $F=4$ ) з похибкою до 5% при  $m = 2$ :

$$\rho \approx \frac{(1-p)(L^2 - 1)}{6} + \frac{p - (2p-1)p^{L-2}}{L};$$

$$\rho_M \approx 0,5L(L-1)(1-p),$$

де  $K_{\min} = \lfloor K \rfloor$  – ціла частина числа  $K$ ;

$K_{\max} = \lceil K \rceil$  – округлення  $K$  до цілого числа.

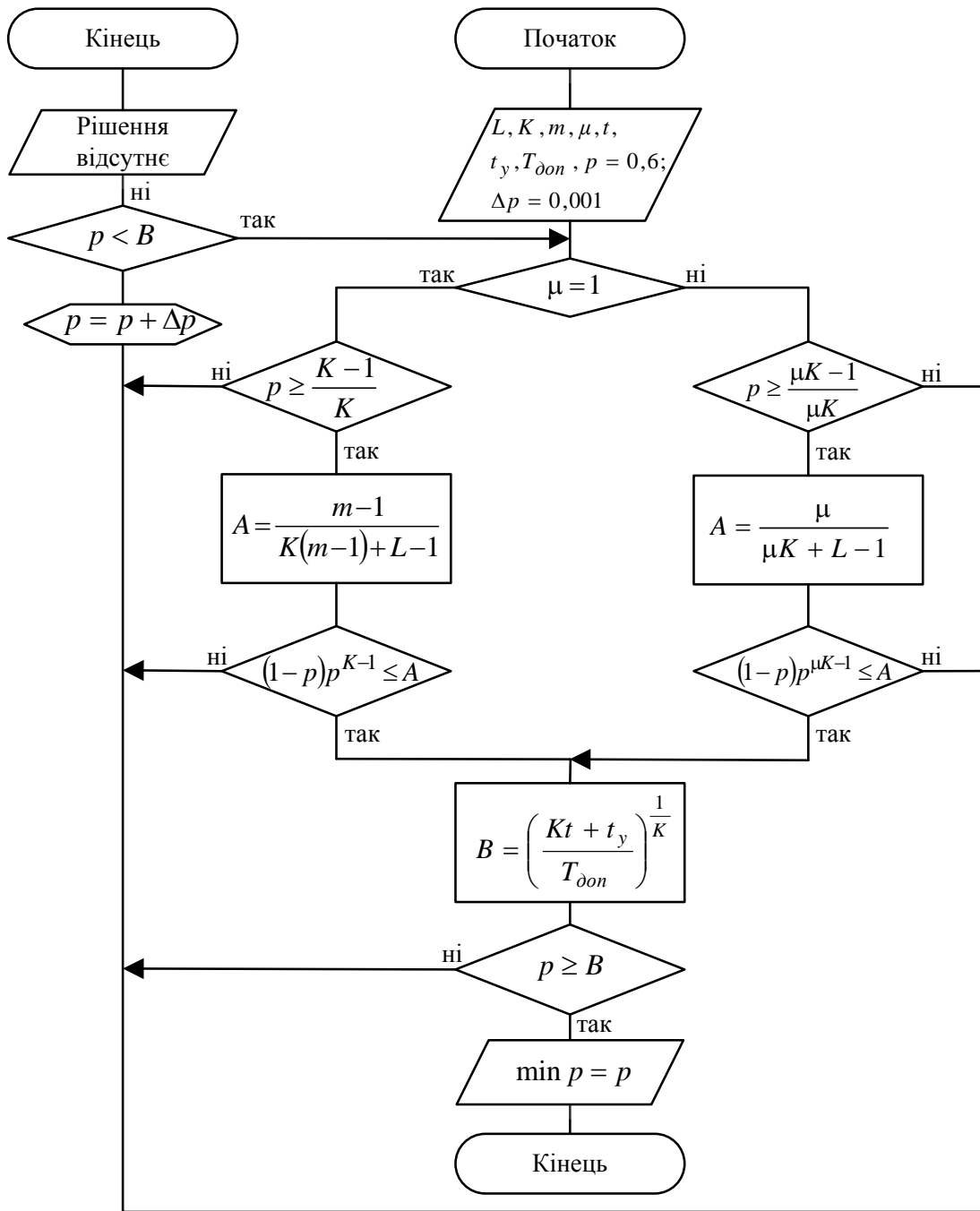


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму обчислення мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки для умовного алгоритму досконалої форми (F=1)

Проведений комбінаторний аналіз результатів прямих обчислень значень  $\rho$  для УА довільної форми (F=3) дозволив отримати аналітичні вирази:

$$\rho(m=2) = \frac{1-p}{2p} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} \frac{l_i(2^i + i - 1)p^i}{2^i}; \quad (3.5)$$

$$\rho(m \geq 2) = \frac{0,5(1-p)}{p(m-1)} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} \frac{l_i(m^i + i(m-1) - 1)p^i}{m^i};$$

$$\rho(m = \mu + 1) = \frac{1-p}{2p\mu} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} \frac{l_i[(\mu+1)^i + i\mu - 1]p^{i\mu}}{(\mu+1)^i}.$$

Звідси отримуємо розрахункові вирази для оцінки  $\rho$  за УА мінімальної форми (F=2), коли  $K_{\max} - K_{\min} = 1$  і  $K_{\min} \leq K \leq K_{\max}$ :

$$\begin{aligned} \rho(m=2) &= \frac{1-p}{2p} \left[ l \frac{2^{\lfloor K \rfloor + \lfloor K \rfloor - 1}}{2^{\lfloor K \rfloor}} p^{\lfloor K \rfloor} + (L-l) \frac{2^{\lceil K \rceil + \lceil K \rceil - 1}}{2^{\lceil K \rceil}} p^{\lceil K \rceil} \right] = \\ &= \frac{(1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1}}{2} \left[ \left( 1 + \frac{\lfloor K \rfloor - 1}{2^{\lfloor K \rfloor}} \right) l + \left( 1 + \frac{\lfloor K \rfloor}{2^{\lceil K \rceil}} \right) (L-l)p \right], \end{aligned}$$

де  $l$  – кількість станів ВТЗ після виконання  $K_{\min}$  перевірок.

Для однорідних УА аналогічним чином отримуємо:

$$\begin{aligned} \rho(m \geq 2) &= \frac{0,5(1-p)}{p(m-1)} \left[ \frac{l(m^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor(m-1) - 1)}{m^{\lfloor K \rfloor}} p^{\lfloor K \rfloor} + \frac{(L-l)(m^{\lceil K \rceil} + \lceil K \rceil(m-1) - 1)}{m^{\lceil K \rceil}} p^{\lceil K \rceil} \right] = \\ &= \frac{(1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1} [ml(m^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor(m-1) - 1) + (L-l)(m^{\lceil K \rceil} + \lceil K \rceil(m-1) - 1)p]}{2(m-1)m^{\lceil K \rceil}}. \end{aligned}$$

Звідси після підстановки  $m = \mu + 1$  для групових УА мінімальної форми (F=2) отримуємо:

$$\rho(\mu \geq 1) = \frac{(1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1} [(\mu+1)l((\mu+1)^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor\mu - 1) + (L-l)((\mu+1)^{\lceil K \rceil} + \lceil K \rceil\mu - 1)p]}{2\mu(\mu+1)^{\lceil K \rceil}}. \quad (3.6)$$

З виразів (3.3) і (3.4) після підстановки  $l_i = m - 1$  отримуємо розрахункові формули для оцінки значення  $\rho$  для УА максимальної форми (F=4):

$$\rho(m=2) = \frac{1-p}{2p} \sum_{i=1}^{L-1} \frac{2^i + i - 1}{2^i} p^i = \frac{1-p}{2p} \left[ \frac{(1-p^{L-1})p}{1-p} + \sum_{i=1}^{L-1} \frac{i-1}{2^i} p^i \right].$$



$$\text{При } p \rightarrow 1: \rho(m=2) \approx \frac{1-p}{2p} \left[ \frac{1-p^{L-1}}{1-p} + \frac{2^{L-1}-L}{2^{L-1}} \right];$$

$$\rho(m \geq 2) = \frac{1-p}{2p(m-1)} \sum_{i=1}^{L-1} \frac{(m-1)[m^i + i(m-1) - 1]}{m^i} p^i = \frac{1-p}{2p} \left[ \frac{p(1+p^{L-1/m-1})}{1-p} + \sum_{i=1}^{L-1} \frac{i(m-1)-1}{m^i} p^i \right];$$

$$\rho(\mu \geq 1) = \frac{1-p}{2p} \left[ \frac{p(1+p^{L-1/\mu})}{1-p} + \sum_{i=1}^{\mu} \frac{\mu i - 1}{(\mu+1)^i} p^i \right].$$

Порівняння отриманих аналітичних виразів для кількісної оцінки середнього відхилення у визначенні ТС ВТЗ від його істинного значення з відомими (табл. 3.1) для бінарних ( $m=2$ ) УА мінімальної форми ( $F=2$ ) показує, що їх використання зменшує відносну похибку ( $\delta\rho$ ) до 10% при зміні кількості елементів  $L$  від 8 до 16, при чому зі збільшенням ймовірності правильної оцінки значення вимірюваного параметра ( $p$ ) похибка також зростає (рис. 3.4).

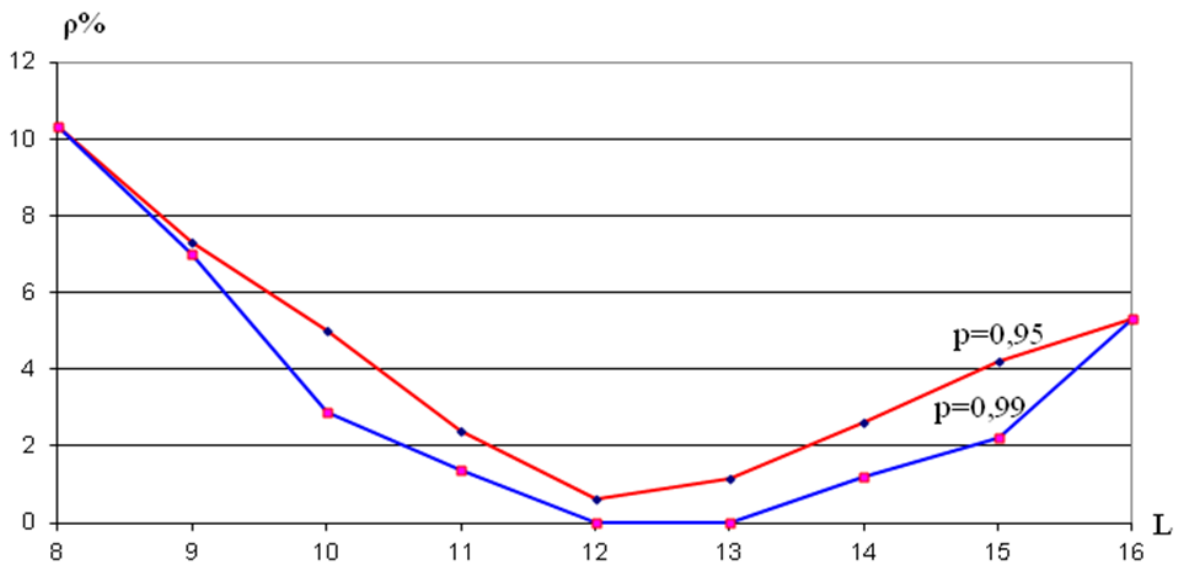


Рисунок 3.4 – Залежності відносної похибки в оцінці значення середнього відхилення у визначенні технічного стану ВТЗ від кількості елементів та ймовірності правильної оцінки значення вимірюваного параметра

Порядок застосування отриманих теоретичних результатів розглянемо на прикладі оцінки ТС тракту прийому станції тропосферного зв'язку Р-423 по УА:

довільної форми (рис. 3.5) для  $\mu = 1$  і мінімальної (рис. 3.6) для  $\mu = 2$  (перевірка і відновлення працездатності двома майстрами в АТЗ К9). Для розрахунків використано такі вихідні дані:  $L = 51$ ;  $T_{дон} = 25$  хв;  $t = 3$  хв;  $t_y = 5$  хв.

Для рис. 3.5:  $F = 3$ ;  $m = 2$ ;  $\mu = 1$ ;  $K_{\min} = 5$ ;  $K = 5,765$ ;  $K_{\max} = 7$ ;  $l_5 = 14$ ;  $l_6 = 35$ ;  $l_7 = 2$ .

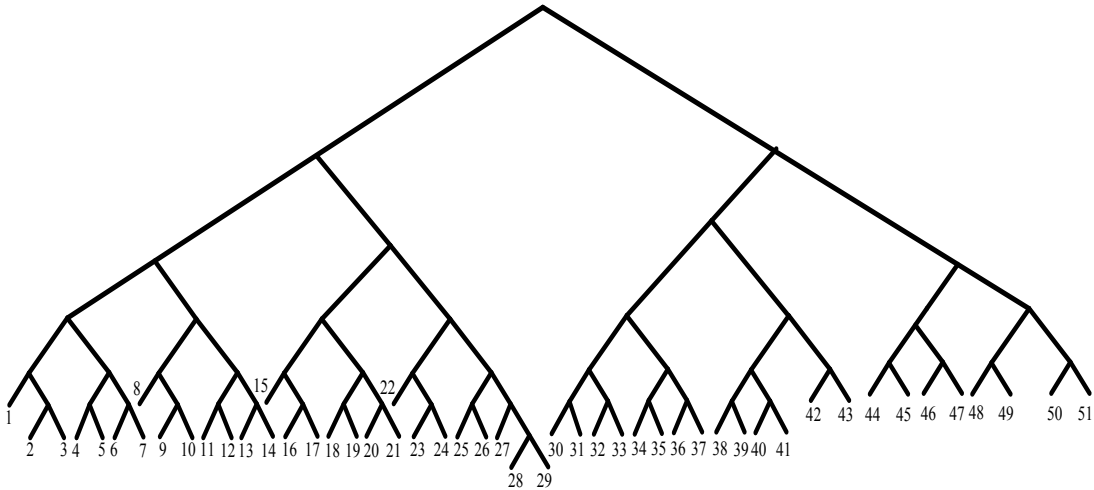


Рисунок 3.5 – Умовний бінарний алгоритм оцінки технічного стану

Для рис. 3.6:  $F = 2$ ;  $\mu = 2$ ;  $K_{\min} = 3$ ;  $K = 3,882$ ;  $K_{\max} = 4$ ;  $l = 6$ ;  $L - l = 45$ .

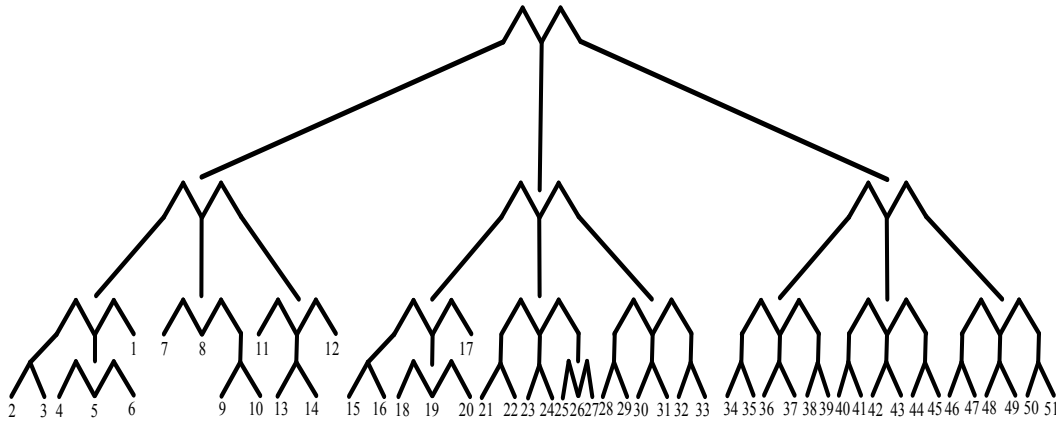


Рисунок 3.6 – Умовний груповий алгоритм оцінки технічного стану

Для алгоритму рис. 3.5 за виразом (3.5) отримуємо:

$$\rho = \frac{1-p}{2p} \sum_{i=5}^7 \frac{l_i(2^i + i - 1)}{2^i} p^i =$$

$$= 0,5(1-p)p^4(15,75 + 37,73p + 2,09p^2)$$

Далі з умови  $\rho \leq 0,5$  отримуємо нерівність:

$$15,75(1-p)(1 + 2,395p + 0,133p^2)p^4 \leq 1.$$

Результати розв'язання цієї нерівності представлені графічно на рис. 3.7, звідки слідує мінімально необхідне значення  $p \geq 0,98$ .

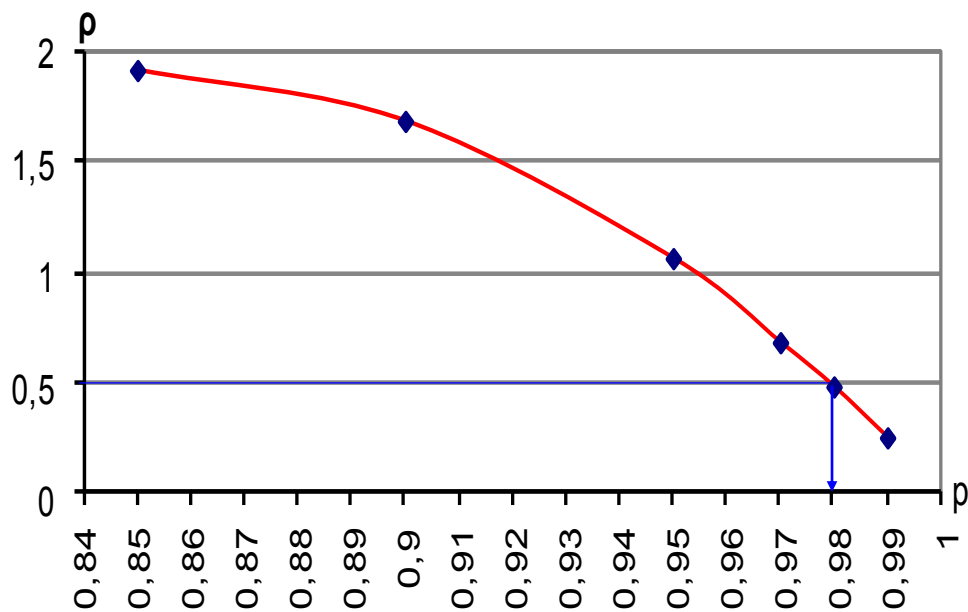


Рисунок 3.7 – Визначення мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання параметра

Перевірка умови  $T \leq T_{дон} = 25$  хв показує, що значення  $p \geq 0,98$  недостатньо:

$$T = \frac{5,765 \cdot 3 + 5}{0,98^{5,765}} = 25,2 \text{ хв} > T_{дон},$$

тому після збільшення значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання параметра до  $p = 0,982$  отримуємо  $T = 24,9$  хв  $< T_{дон}$ .

Застосування нових залежностей дозволяє знизити вимоги до  $Km$  ЗВТВП за значенням  $p$  на 1,3%.

У другому випадку при оцінці ТС ВТЗ за алгоритмом рис. 3.3 і виразом (3.6) отримуємо:

$$\rho(\mu=2) = \frac{(1-p)p^2 \left[ 3 \cdot 6 \cdot (3^3 + 3 \cdot 2 - 1) + 45(3^4 + 4 \cdot 2 - 1)p \right]}{2 \cdot 2 \cdot 3^4} = (1-p)p^2(1,78 + 12,22p).$$

Далі з умови  $\rho \leq 0,5$  по рис. 3.8 визначаємо  $p \geq 0,96$ .

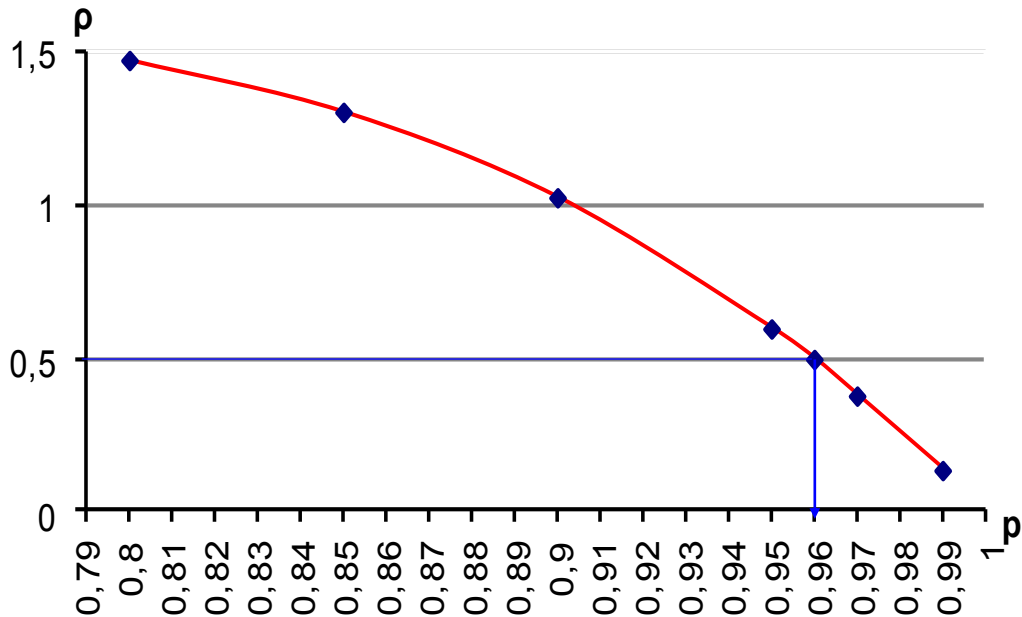


Рисунок 3.8 – Визначення мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання параметра

Перевірка умови  $T \leq T_{дон}$  показує, що значення  $p = 0,96$  є достатнім:

$$T = \frac{3,882 \cdot 3 + 5}{0,96^{3,882}} = 19,7 \text{ хв} < T_{дон}.$$

Отже, встановлено, що при оцінюванні ТС тракту прийому станції тропосферного зв'язку Р-423 доцільно використовувати груповий алгоритм рис. 3.6 і ЗВТВП з  $p \geq 0,96$ , що значно економічніше ніж в першому випадку.

Ефект від застосування отриманих результатів полягає в зниженні вимог до ЗВТВП за значенням  $p$  порівняно з методикою-прототипом [26, 28, 97, 111, 112-114] на

$$\eta = \frac{0,995 - 0,96}{0,995} \cdot 100\% = 3,5\%.$$

В підрозділі розроблено підхід до вибору ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань за УА довільної форми, що забезпечить зменшення витрат на встановлення її ТС. Показано, що достовірність отриманих результатів під час експериментального дослідження запропонованого підходу підтверджується використанням апробованого математичного апарату, обґрунтованою постановкою завдання і зведенням результатів до відомих в окремих випадках: зворотня підстановка  $\mu = m + 1$ ,  $\lfloor K \rfloor = \lceil K \rceil = K$ ,  $l_i = L$ ,  $m = 2$  при зміні форми УА від  $F=4$  до  $F=1$  приведе до отримання вихідних виразів (3.1) і (3.2), адекватність яких підтверджується результатами прямих обчислень.

Подальшим завданням дослідження є розроблення на основі отриманих результатів методик проведення МЕ ВТЗ.

3.2 Часткова методика визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням метрологічної надійності

При МОБ, ТО і в процесі ПР ВТЗ відповідність її якості і функціонування технічним умовам визначається вимірюванням значень діагностичних параметрів. Оцінка ТС ВТЗ проводиться з використанням ЗВТВП при перевірці її працездатності, ТО і ПР, проведенні МОБ екіпажами апаратних зв'язку та АТЗ. Достовірність оцінки ТС ВТЗ залежить від обраних ЗВТВП [25-28, 118]. Обґрунтування вибору ЗВТВП з урахуванням вимог до точності вимірювань є одним із напрямів удосконалення МОБ ВТЗ [1] та актуальним завданням проведення МЕ ВТЗ [24]. Ймовірність визначення справжнього ТС ВТЗ, а також вартість її МОБ залежить від МХ ЗВТВП. На теперішній час єдиної методики вибору ЗВТВП для визначення ТС ВТЗ в процесі МОБ зважаючи на складність і різноманіття завдань [1, 25-28, 120-122], що вирішуються, а також у зв'язку із переходом до обслуговування СТС за станом, до яких належить і ВТЗ [123], не існує.

Відомі підходи до визначення допусків на значення параметрів ВТЗ [31, 38] і досліджено взаємозв'язок показників ремонтпридатності ВТЗ з ймовірністю безпомилкової оцінки результату виконання вимірювань за допомогою ЗВТВП [2, 5, 11, 13]. У [26, 28, 31, 97] використано підхід, що базується на оцінці впливу значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань ( $p$ ) на математичне сподівання відхилення реального ТС ВТЗ ( $\rho$ ) від визначеного в процесі вимірювання параметрів за наближеними аналітичними виразами, що не дозволяє з достатньою точністю задати мінімально необхідне значення  $p$ .

Мета підрозділу полягає у вирішенні другого завдання – розробці часткової методики визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням метрологічної надійності з використанням підходу, запропонованого в [2, 5], та результатів попереднього підрозділу.

Достовірність визначення ТС ВТЗ визначається МХ вбудованих і зовнішніх ЗВТВП, які використовуються у процесі її МОБ, а саме класом точності ( $Km$ ) і значенням  $p$ .

Значення  $p$  змінюється від 0,6 до 0,9997 в залежності від ЗВТВП, які використовуються (табл. 2.5) і впливає на їх вартість [25, 27].

Часткова методика визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням метрологічної надійності призначена для визначення мінімально необхідних значень МХ ЗВТВП, які використовуються при МОБ ВТЗ. Її сутність полягає в обґрунтуванні вимог до МХ ЗВТВП на основі використання отриманих функціональних залежностей [2, 5], що пов'язують значення часу відновлення ВТЗ при ПР ( $T_g$ ) з ймовірністю безвідмовної роботи за міжповірочний інтервал ( $P(t)$ ). Поставлене завдання виконується за умови дотримання вимог до допустимого часу відновлення ( $T_{вн}$ ) та з врахуванням того, що вимірювання параметрів проводяться за УА будь-якої форми та виду. При цьому послідовність і порядок вимірювання параметрів залежать від результатів, отриманих раніше. Структура часткової методики визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ наведена на рис. 3.9.

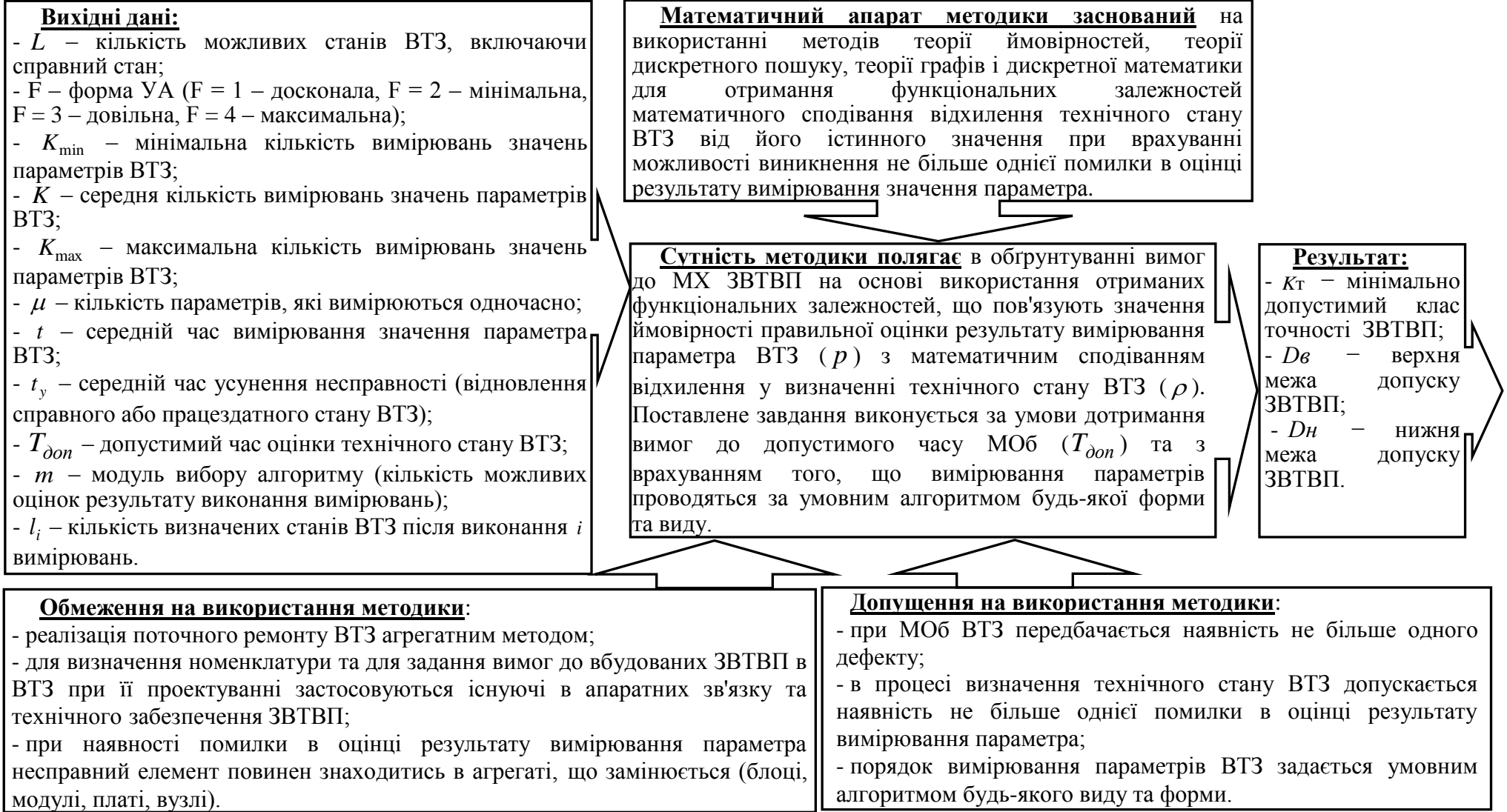


Рисунок 3.9 – Структура часткової методики визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням метрологічної надійності

Використання часткової методики визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням метрологічної надійності передбачає визначення таких обмежень:

- для вибору номенклатури ЗВТВП та для задання вимог до вбудованих ЗВТВП в ВТЗ при їх проектуванні застосовуються існуючі в апаратних зв'язку та технічного забезпечення ЗВТВП;
- наявність симетричного або одностороннього допуску контрольованих параметрів;
- реалізація ПР ВТЗ агрегатним методом;
- при наявності помилки в оцінці результату вимірювання параметра несправний елемент повинен знаходитись в агрегаті, що замінюється (блоці, модулі, платі, вузлі).

Крім того, в частковій методиці визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням метрологічної надійності введено такі допущення:

- при МОБ ВТЗ передбачається наявність не більше одного дефекту;
- в процесі визначення ТС ВТЗ допускається наявність не більше однієї помилки в оцінці результату вимірювання параметра;
- порядок вимірювання параметрів ВТЗ задається УА будь-якого виду та форми.

Обмеження та допущення відповідають ТО та ПР у польових умовах.

Часткова методика визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням метрологічної надійності обґрунтування вимог до МХ ЗВТВП для проведення МОБ ВТЗ передбачає реалізацію наступних етапів: ввід вихідних даних; розрахунок  $p$  за умови  $\rho \leq 0,5$ ; розрахунок  $p$  за умови  $T \leq T_{don}$ ; розрахунок  $\rho, P, T$ ; вивід результатів  $p, \rho, P, T$ .

Під час ПР, а також усунення аварійних ВТЗ в польових умовах в процесі її діагностування використовують ЗВТВП зі складу апаратних зв'язку або апаратних технічного забезпечення. Найчастіше виникає необхідність виконання ПР, тому для комплектування АЗ і АТЗ перспективних зразків ВТЗ необхідно обґрунтувати вимоги до ЗВТВП.



Традиційно для цього використовують вимоги щодо необхідного часу відновлення згідно [2]

$$T_{\text{в}} = \frac{tK + t_y}{P} \leq T_{\text{вн}}, \quad P = p^K.$$

Значення  $p$  є зв'язком між технічною діагностикою і метрологією [2, 5], що дозволяє визначити клас точності ЗВТВП [1] і їх вид (табл. 2.5) [11, 13].

Але для реалізації ПР ВТЗ агрегатним методом необхідне виконання ще однієї умови – наявність несправного елемента в конструктивній одиниці, яку замінюють відповідно до діагнозу, навіть при помилці фахівця в оцінці результату виконання перевірки (табл. 3.1) [1, 11, 13].

Реалізація ПР ВТЗ можлива, якщо  $\rho \leq 0,5$ .

Для припустимих розрахунків з досить високою точністю (похибка не більше 0,2% при  $K \leq 7$ ) доцільно використовувати наближені вирази [2, 4]

$$\rho(m \geq 2) = 0,5 \left( K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)(1-(1-p)(K-1));$$

$$\rho(\mu \geq 1) = 0,5 \left( K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)(1-(1-p)(\mu K - 1)).$$

Слід відмітити, що приведені в відомих роботах [1-13] обмеження на реалізацію ПР ВТЗ відповідають вимогам відновлення працездатності в стаціонарних умовах на пунктах технічного обслуговування і ремонту. У польових умовах на результати вимірювання значень параметрів ВТЗ під час діагностування при ПР істотно впливає метрологічна надійність ЗВТВП, яка знижується в порівнянні зі стаціонарними умовами роботи через різкі коливання температури навколишнього середовища, вологості, наявності забруднення повітря і інших несприятливих чинників.

Метрологічна надійність – властивість ЗВТВП зберігати встановленні значення метрологічних характеристик протягом певного часу при нормальних режимах та робочих умовах експлуатації. Вона характеризується інтенсивністю відмов, ймовірністю безвідмовної роботи та напрацюванням на відмову [2, 11].

В процесі експлуатації метрологічні характеристики і параметри ЗВТВП зазнають змін. Ці зміни носять випадковий монотонний характер і призводять до відмов, тобто до неможливості ЗВТВП виконувати свої функції. Відмови діляться на не метрологічні і метрологічні.

Не метрологічною називається відмова, обумовлена причинами, не пов'язаними зі зміною метрологічних характеристик ЗВТВП. Вони носять головним чином явний характер, проявляються раптово і можуть бути виявлені без проведення повірки.

Метрологічною називається відмова, викликана виходом метрологічних характеристик за встановлені межі. Як показують проведені дослідження, метрологічні відмови трапляються значно частіше, ніж не метрологічні. Це обумовлює необхідність розробки спеціальних методів їх прогнозування і виявлення. Метрологічні відмови підрозділяються на раптові і поступові.

Сутність удосконалення методики полягає у врахуванні метрологічної надійності ЗВТВП під час визначення їх мінімально припустимих метрологічних характеристик. В цьому і полягає наукова новизна пропозицій цього підрозділу.

Метрологічну надійність ЗВТВП кількісно оцінюють імовірністю безвідмовної роботи за міжповірочний інтервал  $t$ , яка кількісно дорівнює  $0,95 \leq P(t) \leq 0,99$  [22]. Врахування попередніх міркувань збільшує розрахунковий час відновлення ВТЗ при ПР, якщо використовують один тип

$$\text{ЗВТВП} \quad T_{\theta} = \frac{tK + t_y}{p^K P_i(t)}.$$

При використанні під час діагностування  $N$  типів ЗВТВП отримуємо

$$T_{\theta} = \frac{tK + t_y}{p^K \prod_{i=1}^N P_i(t)}.$$

Також приведені в табл. 3.1 значення  $\rho$  отримані у припущенні, що ЗВТВП завчасно справні. З врахуванням метрологічної надійності ЗВТВП ці значення також необхідно ділити на  $\prod_{i=1}^N P_i(t)$ .

Розглянемо залежності показників ремонтпридатності виробів від метрологічної надійності ЗВТВП при вихідних даних:  $L = 64$ ,  $K = 6$ ,  $t = 2$  хв,  $t_y = 3$  хв,  $p = 0,99$ . Залежності  $T_g(P_i(t))$  і  $\rho(P_i(t))$  приведені на рис. 3.10 і рис. 3.11, відповідно.

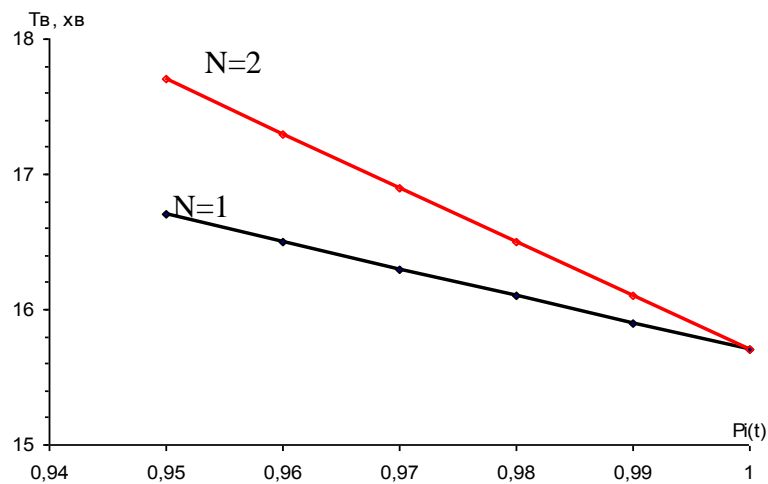


Рисунок 3.10 – Залежності середнього часу відновлення від метрологічної надійності ЗВТВП

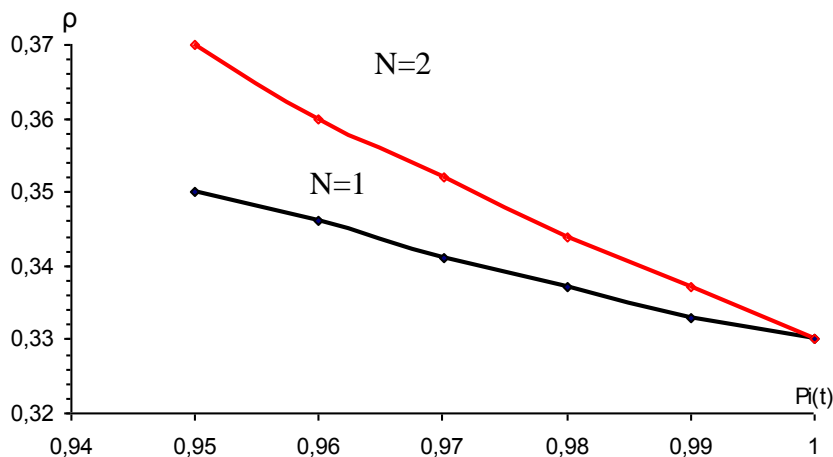


Рисунок 3.11 – Залежності математичного сподівання відхилення діагнозу при помилці фахівця в оцінці результату перевірки від метрологічної надійності ЗВТВП

В такому випадку залежності відносних похибок розрахунків показників ремонтпридатності ВТЗ без врахування метрологічної надійності ЗВТВП приведено на рис. 3.12 і рис. 3.13.

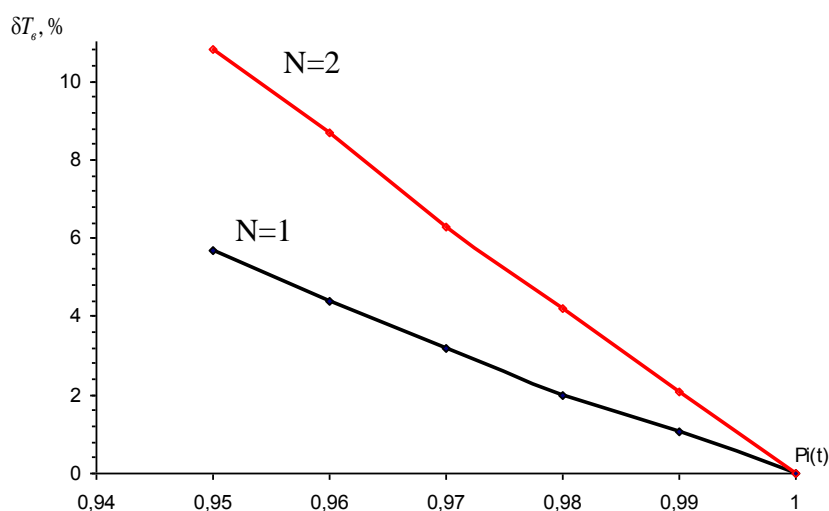


Рисунок 3.12 – Залежності відносної похибки розрахунку середнього часу відновлення від метрологічної надійності ЗВТВП

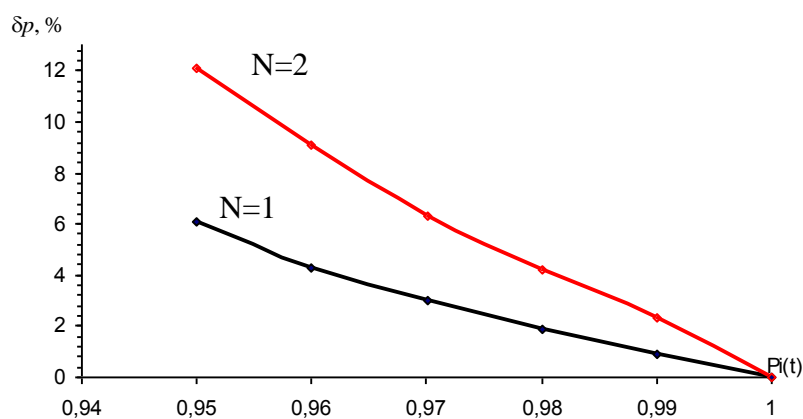


Рисунок 3.13 – Залежності відносної похибки математичного сподівання відхилення діагнозу при помилці фахівця в оцінці результату перевірки від метрологічної надійності ЗВТВП

Вочевидь, що навіть при використанні двох ЗВТВП похибка розрахунків перевищує 10%. Тобто, під час кількісної оцінки показників ремонтпридатності ВТЗ необхідно враховувати якість її МЗ.

Загальний алгоритм формування вимог до мінімально припустимого значення імовірності правильної оцінки результату виконання перевірки під час діагностування ВТЗ в процесі ПР приведено на рис. 3.14, а алгоритм мінімізації  $p$  за умови  $T_e \leq T_{en}$  або  $\rho \leq 0,5$  наведено на рис. 3.15.

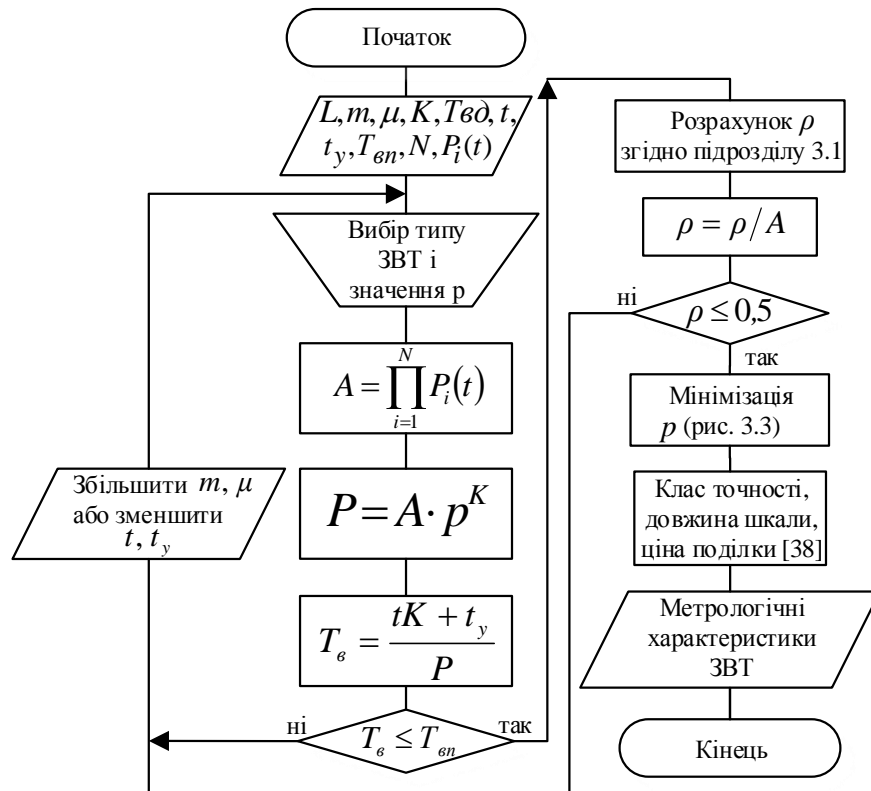


Рисунок 3.14 – Блок-схема алгоритму формування мінімально припустимих вимог до ЗВТВП

Розроблена в цьому підрозділі методика [2, 5, 11, 13] є основою вибору ЗВТВП для МОБ ВТЗ екіпажами апаратних зв'язку та АТЗ. Її доцільно використовувати для прийняття науково-обґрунтованих рішень при завданні МХ ЗВТВП для МОБ на етапах проектування та розробки існуючих і перспективних зразків ВТЗ. Запропонована методика на відміну від відомих враховує метрологічну надійність ЗВТВП, чим відрізняється від відомих робіт та дозволяє більш обґрунтовано задавати вимоги до технологічного обладнання АЗ і АТЗ для гарантованого виконання ПР ВТЗ з потрібною якістю у встановлені строки і забезпечує зменшення витрат на МОБ ВТЗ.

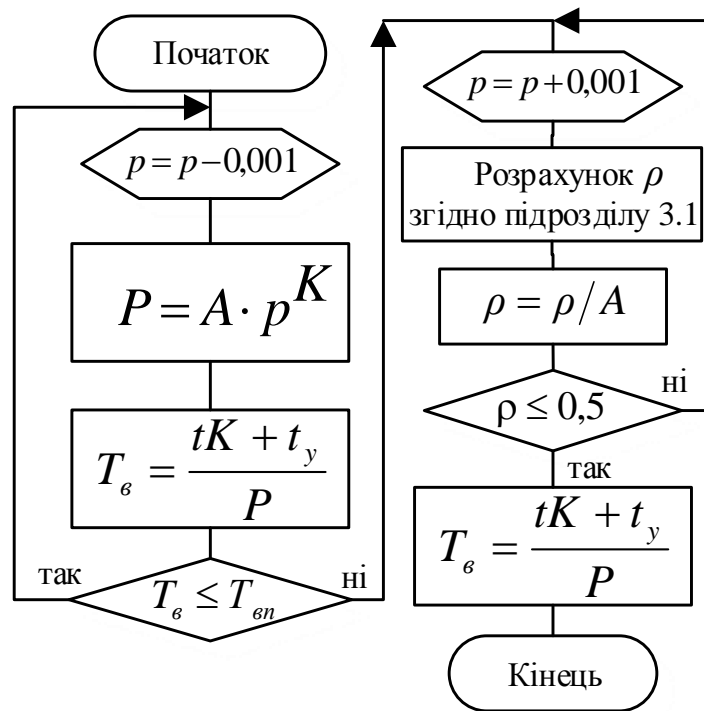


Рисунок 3.15 – Блок-схема алгоритму мінімізації  $p$  за умови  $T_e \leq T_{en}$   
або  $\rho \leq 0,5$

3.3 Часткова методика визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і ремонту

Апаратні польових вузлів зв'язку складаються з тисяч елементів і відносяться до об'єктів великої розмірності, ТО і ПР яких виконується екіпажами із залученням фахівців ремонтних органів з АТЗ. У цих випадках визначення ТС об'єктів здійснюється групою фахівців за УА. При ТО за станом, що пропонується керівними документами [3], в заданій послідовності перевіряється значення діагностичних параметрів і при їх відхиленні від норми виконується пошук дефектів з подальшим усуненням несправності. При цьому реалізуються різні види групового пошуку дефектів (ГПД) за УА [3, 4].

У відомих роботах вирішуються завдання підвищення ефективності діяльності екіпажів в процесі встановлення реального технічного стану АЗ.

Мета підрозділу – наукове обґрунтування і формалізація методики щодо формування вимог до ЗВТВП зі складу АЗ та АТЗ за критерієм мінімуму їх вартості при обмеженнях на час визначення технічного стану існуючих і перспективних зразків ВТЗ, що задається в керівному технічному матеріалі з ремонтпридатності ВТЗ, яку будуть модернізувати або розробляти [50].

Методика призначена для мінімізації витрат при формуванні складу ЗВТВП, які забезпечать необхідну якість МОБ, ТО і ПР за допустимий час. Її сутність полягає в обґрунтуванні вибору складу ЗВТВП та значень їх МХ на основі використання отриманих функціональних залежностей, що враховують різні ГПД за УА. Структура часткової методики визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і їх ремонту наведена на рис. 3.16.

Часткова методика визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і їх ремонту передбачає використання таких обмежень:

- вибір номенклатури ЗВТВП з числа прийнятих на озброєння;
- кількість розрядів цифрових ЗВТВП від 3 до 9.

Також, при використанні часткової методики визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і їх ремонту введено такі допущення: перевірка ТС та відновлення працездатності ВТЗ за УА будь-якого виду та форми.

Часткова методика визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і їх ремонту передбачає виконання наступних етапів.

У відомих роботах вирішуються завдання підвищення ефективності діяльності екіпажів в процесі встановлення реального технічного стану АЗ.

Відомо, що вартість ЗВТВП визначається класом точності аналогових або кількістю розрядів цифрових приладів, які в свою чергу, залежать від мінімального значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки ( $p$ ) [3, 4].

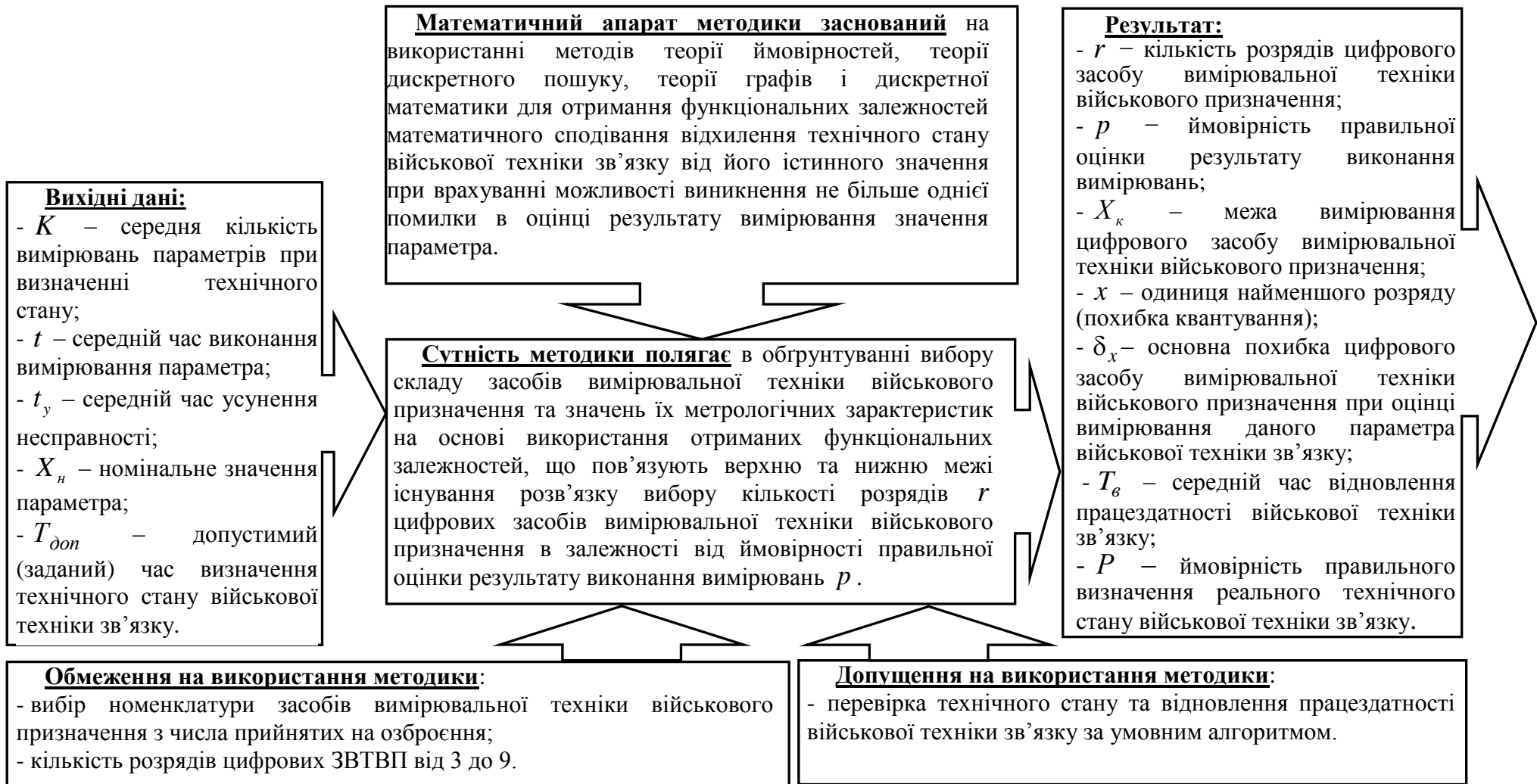


Рисунок 3.16 – Структура часткової методики визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і їх ремонту



У практиці ТО і ПР АЗ знаходять застосування всі види ГПД [3, 4]:

- незалежний (НГПД) – при ТО АЗ та ПР різних типів технічних об'єктів в універсальних АТЗ;
- загальний (ЗГПД) – при ПР об'єктів великої розмірності з просторово рознесеними елементами;
- зонний (ЗнГПД) – при ремонті однотипних об'єктів модульної конструкції в спеціалізованих АТЗ.

Цільова функція завдання приймає вид

$$p(X) = \min_{X \in A} p(X^*) \text{ при } T_v \leq T_{v_0},$$

де  $X$  – сукупність параметрів, що впливають на значення  $p$ ;

$X^*$  – значення параметрів, при яких  $p$  мінімальна;

$T_v$  – реальний час визначення технічного стану об'єкта.

Завдання вирішується при обмеженнях на число фахівців  $1 \leq \mu \leq R_\phi$ ,

де  $R_\phi$  – кількість членів екіпажу АЗ або АТЗ;

$\rho \leq 0,5$  – математичне очікування відхилення діагнозу при одній помилці фахівця в оцінці результату виконання перевірки при ПР агрегатним методом;

$0,6 \leq p_{\min} \leq 0,9997$  – можливі значення для використовуваних в військових ремонтних органах ЗВТВП (табл.2.5).

Допущення при вирішенні завдання відповідають умовам функціонування військових ремонтних органів:

- розглядається найгірший варіант з точки зору діагностики, випадок рівномірного розподілу дефектів в об'єкті;
- при діагностуванні нових дефектів в об'єкті не виникає;
- організаційні витрати часу не враховуються;
- кваліфікація фахівців відповідає посаді;
- при оцінці стану об'єкта допускається можливість не більше однієї помилки в оцінці результату виконання перевірки.

Принципова відмінність ЗнГПД і ЗГПД полягає в тому, що в першому випадку помилка шукача збільшує трудовитрати тільки для нього і не впливає на

якість роботи інших, а в другому випадку помилка одного впливає на результат роботи всіх і збільшує загальні трудовитрати. Крім того, ЗГПД не залежить від поділу спеціального зв'язку на конструктивні одиниці.

Незалежний ГПД використовують, наприклад, при ТО радіостанцій середньої потужності (Р-140, Р-161 та інших), коли фахівці незалежно один від одного перевіряють параметри радіоприймача, збудника, електроживлення та інших підсистем апаратної зв'язку. У цих випадках кожен фахівець працює на певній ділянці зі своїми ЗВТВП, перевіряючи параметри за бінарним або однорідним УА. Тоді при рівномірному завантаженні фахівців можна вважати, що фахівець перевіряє підмножину з  $L/\mu$  елементів, де  $L$  – загальна кількість елементів в об'єкті, і роботи по ТО або ПР завершуються одночасно. При цьому

$$T_{\text{в}} = \frac{Kt + t_y}{p^K} \leq T_{\text{в}\delta},$$

$$\rho = 0,5 \left( \frac{L}{\mu} + K - 1 \right) \cdot (1 - p) p^{K-1} \leq 0,5;$$

$$K = \log_m \frac{L}{\mu}.$$

З першої нерівності випливає, що

$$\left( \frac{Kt + t_y}{T_{\text{в}\delta}} \right)^{\frac{1}{K}} \leq p < 1.$$

З урахуванням виконання обмежень на умови реалізації ПР агрегатним методом на рис. 3.17 приведена блок-схема алгоритму пошуку мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки.

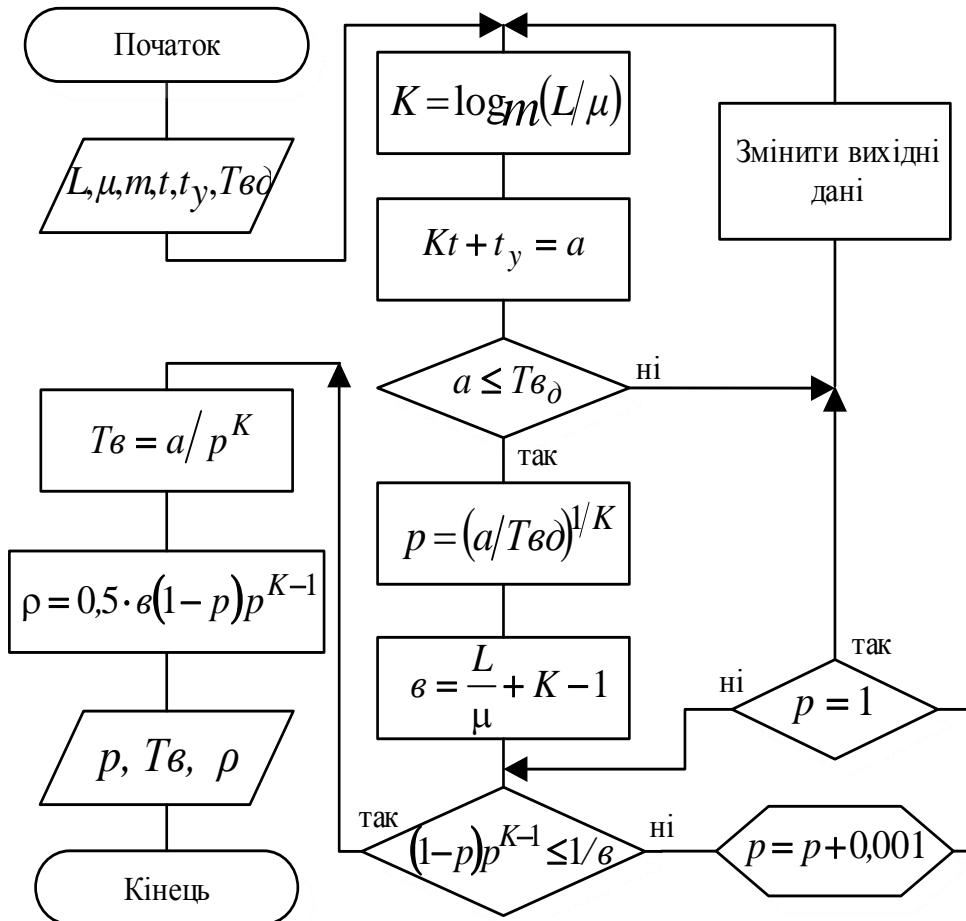


Рисунок 3.17 – Блок-схема алгоритму визначення мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки при незалежному груповому пошуку дефектів

У разі реалізації ЗнГПД при ПР АЗ кожен фахівець також аналізує стан  $L/\mu$  елементів, які поділяються на  $n$  блоків або типових елементів заміни. Спочатку перевіряється працездатність блоку і в разі його несправності здійснюється перехід до перевірки наступного. При відхиленні параметрів від норми виконується пошук дефекту в підмножині з  $L/\mu n$  елементів з реалізацією  $K = \log_m(L/\mu n)$  перевірок, що менше ніж за НГПД (рис. 3.18).

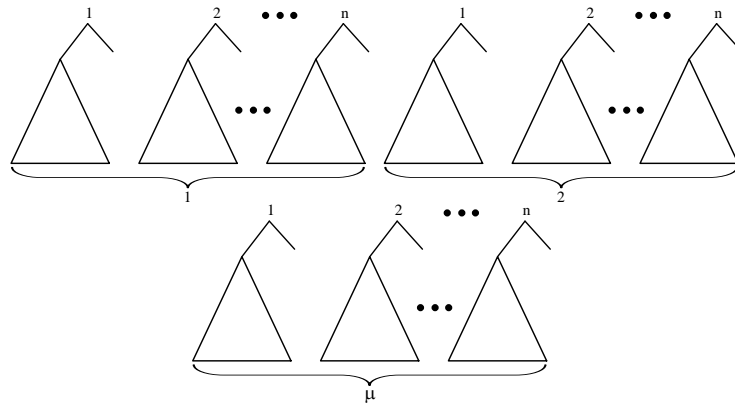


Рисунок 3.18 – Зонний пошук дефектів при поточному ремонті

В цьому випадку при наявності одного дефекту загальна кількість перевірок усіма фахівцями становить

$$K = n\mu + k; \quad K = 1 + \log_m \left( \frac{L}{\mu n} \right),$$

де  $k$  – кількість перевірок в несправному блоці.

Загальний час оцінки технічного стану об'єкта в порівнянні з НГПД зменшується до значення

$$T_{\text{в}} = \frac{(n\mu + k)t + t_y}{p^K} \leq T_{\text{в}0}.$$

Друга умова реалізації ПР агрегатним методом набирає вигляду

$$\rho = 0,5 \left( \frac{L}{n\mu} + K - 1 \right) \cdot (1 - p)p^{K-1} \leq 0,5;$$

звідки слідує умова існування розв'язку

$$\left( \frac{L}{n\mu} + K - 1 \right) \leq \frac{1}{(1 - p)p^{K-1}}.$$

Блок-схема алгоритму знаходження мінімально необхідного значення  $p$  при ЗнГПД приведена на рис. 3.19.

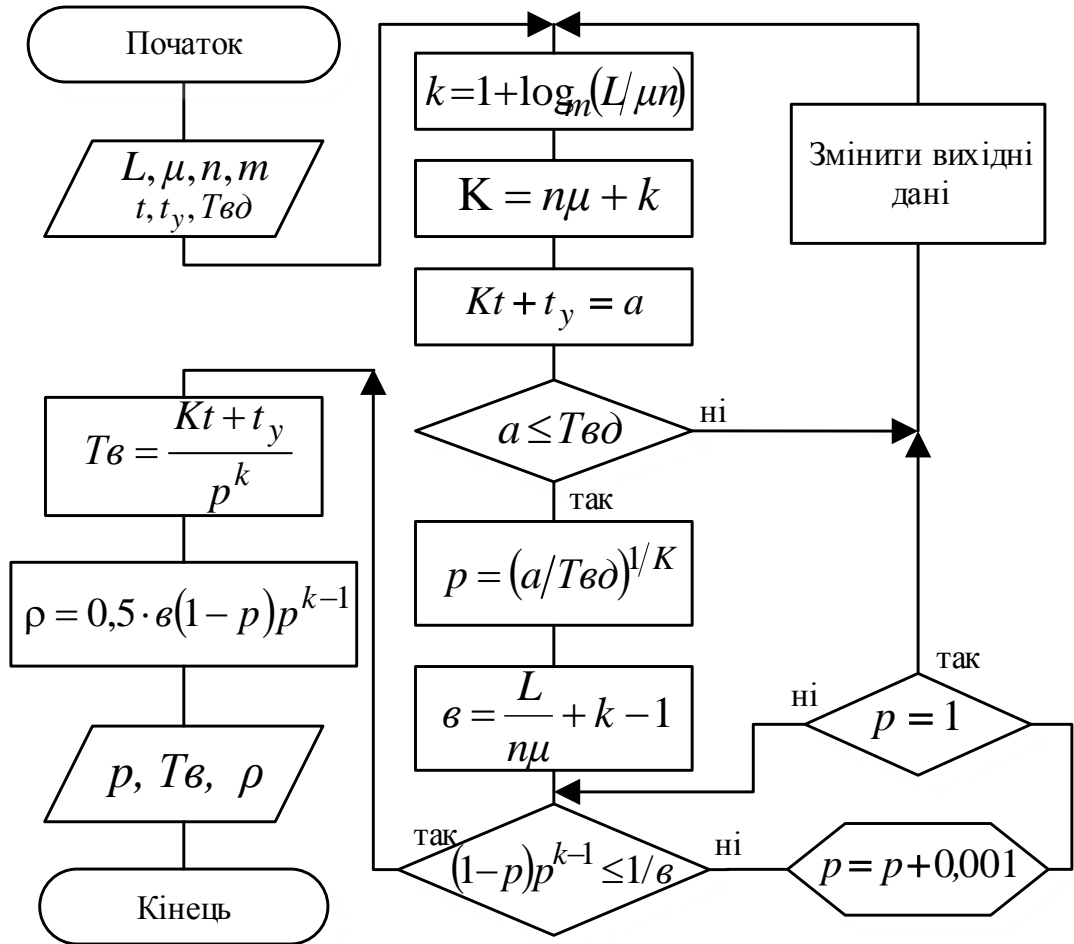


Рисунок 3.19 – Блок-схема алгоритму знаходження мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки при зонному груповому пошуку дефектів

У роботі [3] досліджено ЗГПД і отримані наступні функціональні залежності

$$T_v = \frac{Kt + t_y}{p^{\mu K}} \leq T_v \delta;$$

$$K = \log_{\mu+1} L; P = p^{\mu K};$$

$$\rho = 0,5 \left( K + \frac{L-1}{\mu} \right) \cdot (1-p) p^{\mu K - 1} \leq 0,5.$$

За другою нерівністю розв'язок існує, якщо

$$\left( \frac{Kt + t_y}{T_v} \right)^{\frac{1}{\mu K}} \leq p < 1.$$

Блок-схема алгоритму знаходження  $p_{\min}$  для цього випадку наведена на рис. 3.20.

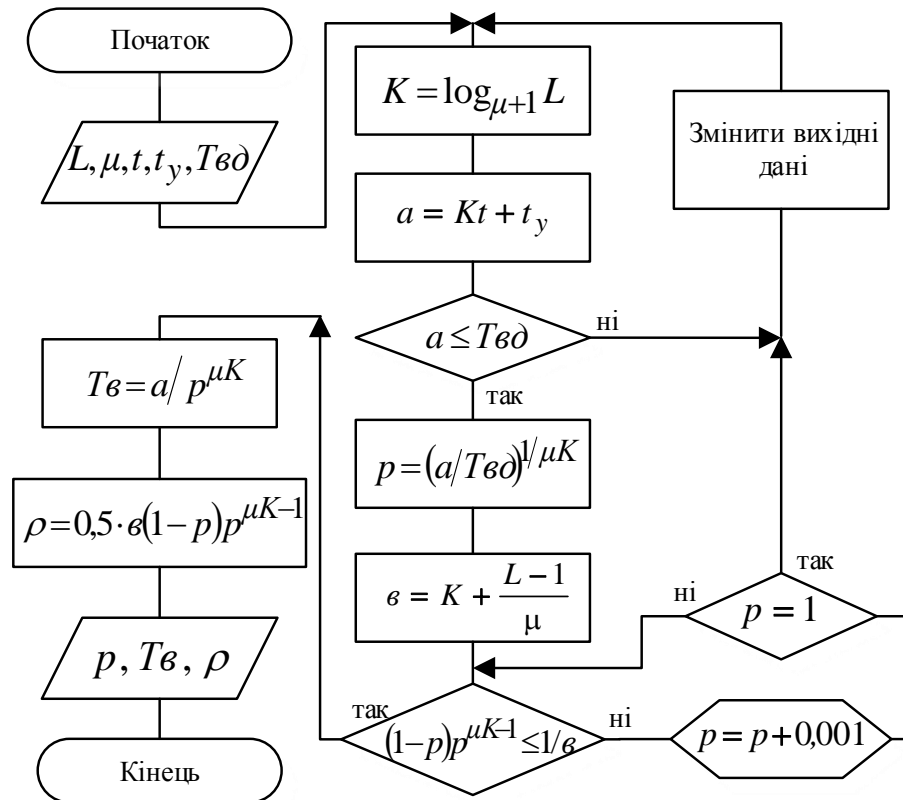


Рисунок 3.20 – Блок-схема алгоритму знаходження мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки при спільному груповому пошуку дефекту

Запропонована часткова методика визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і їх ремонту [3, 4] на відміну від відомих [28, 38, 114, 124-127] дозволяє визначати значення основної похибки для різних видів ГПД в ВТЗ.

Наукова новизна запропонованої методики полягає у використанні нових функціональних залежностей середнього часу оцінки технічного стану ВТЗ  $T_v$  і кількісної оцінки діагностичних помилок  $\rho$  в залежності від ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань  $p$ .

### Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що при вирішенні задачі обґрунтування МХ ЗВТВП для МОБ ВТЗ загальноприйнятим підходом є застосування теорії вимірювань без врахування особливостей визначення технічного складу. Відомі методики використовують наближені аналітичні вирази для оцінки впливу послідовності виконання вимірювань при визначенні ТС ВТЗ в процесі її МОБ, що призводить до завищення класу точності і, як наслідок, вартості ЗВТВП, які використовуються. Це викликає необхідність удосконалення методик вибору номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ.

2. У цьому розділі удосконалено часткову методику вибору номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ. Її відмінність від відомих полягає в тому, що вона враховує метрологічну надійність ЗВТВП, чим відрізняється від відомих робіт та дозволяє більш обґрунтовано задавати вимоги до технологічного обладнання АЗ і АТЗ для гарантованого виконання ПР ВТЗ з потрібною якістю у встановлені строки і забезпечує зменшення витрат на МОБ ВТЗ.

3. У даному розділі отримано подальший розвиток часткової методики визначення номенклатури ЗВТВП для МОБ ВТЗ з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і ремонту. Вона дозволяє врахувати вплив якості алгоритмів обслуговування і ремонту ВТЗ на показники її МОБ за рахунок отриманих залежностей середнього часу оцінки технічного стану ВТЗ і кількісної оцінки діагностичних помилок від ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань.

4. Наукова новизна отриманих методик, полягає в:

– обґрунтуванні мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань за УА довільної форми, що дозволило обґрунтовано знизити клас точності ЗВТВП та зменшити витрати на встановлення ТС ВТЗ;

– визначенні впливу метрологічної надійності ЗВТВП на показники ремонтпридатності ВТЗ під час ПР і показана необхідність її врахування при оцінці якості діагностичного забезпечення;

– формалізації процесу вибору складу МХ ЗВТВП, які використовуються під час МОБ, ТО і ПР ВТЗ.

5. Практична цінність отриманих результатів полягає у мінімізації вартості ЗВТВП, які забезпечують необхідну якість МОБ, ТО і ПР при обмеженнях на час встановлення реального ТС ВТЗ. Отримані результати доцільно використовувати при обґрунтуванні метрологічних показників ЗВТВП під час розробки технологічного обладнання перспективних АЗ і АТЗ, а також при удосконаленні діагностичного забезпечення існуючої ВТЗ.

Основні наукові результати розділу опубліковані в [3, 4], впроваджені у [120].



## РОЗДІЛ 4

### КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ ТА ЇЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

У розділі запропоновано використання розроблених часткових методик комплексно. Приведені результати експериментального дослідження запропонованих методик, техніко-економічна оцінка та оцінка їх достовірності. Обґрунтовані рекомендації щодо практичного використання результатів дослідження та розроблено блок-схему алгоритму їх реалізації.

#### 4.1 Основні етапи комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку

Особливістю отриманих в попередніх розділах роботи методик є зменшення витрат на МОБ при встановленні реального ТС ВТЗ за необхідний час.

У загальному випадку можлива оптимізація по кожній окремо взятій методиці, але максимальний ефект може бути досягнутий лише при їх спільному (комплексному) застосуванні. При цьому результати розрахунків, отримані по одним методикам частково застосовуються в інших методиках. Структурна схема взаємозв'язку запропонованих методик МЕ ВТЗ показана на рис. 4.1.

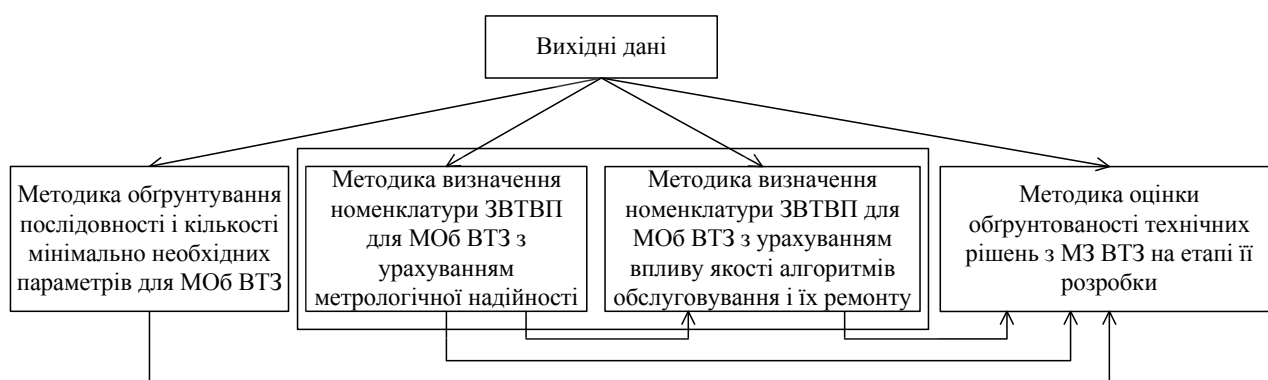


Рисунок 4.1 – Структурна схема взаємозв'язку запропонованих методик метрологічної експертизи ВТЗ

Метрологічна експертиза охоплює багато завдань, але основні з них [36]: мінімізація кількості параметрів, які необхідно вимірювати; встановлення технічних і економічних обґрунтувань норм точності для вибору номенклатури ЗВТВП.

Реалізувати зазначені напрямки необхідно сумісно, використовуючи комплексну методику проведення МЕ ВТЗ [10, 11], яка включає в себе сім основних етапів:

1. Збирання і обробка вихідних даних.
2. Обґрунтування послідовності вимірювання параметрів під час проведення МОБ ВТЗ.
3. Розрахунок мінімально необхідної кількості вимірювальних параметрів під час проведення МОБ ВТЗ.
4. Визначення мінімально необхідних значень МХ ЗВТВП, які використовуються при МОБ ВТЗ.

Етап 5. Формування вимог до МХ ЗВТВП для МОБ існуючих і перспективних зразків ВТЗ.

6. Визначення номенклатури (типу) ЗВТВП для МОБ ВТЗ;
7. Оцінка ефекту застосування комплексної методики проведення МЕ ВТЗ.

Розглянемо кожний з цих етапів окремо.

1-й етап. Вихідні дані отримуються із технічного опису на зразок ВТЗ, інструкції щодо її ТО, керівного технічного матеріалу чи шляхом експериментальних досліджень.

Для етапів 2 і 3 вихідними даними є:

- перелік ВП ( $P_1, P_2, \dots, P_n$ );
- їх допустимі значення ( $P_{\text{доп } 1}, P_{\text{доп } 2}, \dots, P_{\text{доп } n}$ );
- перелік ЗВТВП, що використовуються для їх МОБ;
- структурна, функціональна чи принципова схеми зразка ВТЗ;
- час  $t_i$  (вартість  $c_i$ ) вимірювання значень окремих параметрів;
- кваліфікація виконавців згідно штатного розрахунку;
- допустимий час  $T_{\text{доп}}$  та вартість  $C_{\text{доп}}$  вимірювання всіх параметрів ВТЗ;

– ймовірність правильної оцінки стану зразка ВТЗ ( $P_{don}$ ).

Додаткові дані про відносну важливість ВП отримують із експертного опитування фахівців.

Для етапу 4 вихідними даними є:

$L$  – кількість можливих станів ВТЗ, включаючи справний стан;

$F$  – форма УА ( $F = 1$  – досконала,  $F = 2$  – мінімальна,  $F = 3$  – довільна,  $F = 4$  – максимальна);

$K_{min}$  – мінімальна кількість вимірювань значень параметрів ВТЗ;

$K$  – середня кількість вимірювань значень параметрів ВТЗ;

$K_{max}$  – максимальна кількість вимірювань значень параметрів ВТЗ;

$\mu$  – кількість параметрів, які вимірюються одночасно;

$t$  – середній час вимірювання значення параметра ВТЗ;

$t_y$  – середній час усунення несправності (відновлення справного або працездатного стану ВТЗ);

$T_{don}$  – допустимий час оцінки ТС ВТЗ;

$m$  – модуль вибору алгоритму (кількість можливих оцінок результату виконання вимірювань);

$l_i$  – кількість визначених станів ВТЗ після виконання  $i$  вимірювань.

Для етапу 5 вихідними даними додатково є:

$X_n$  – номінальне значення параметра;

$T_{don}$  – допустимий час оцінки ТС ВТЗ.

Частково вихідні дані співпадають з 4 етапом.

2-й етап. Визначення послідовності вимірювання параметрів під час проведення МОБ ВТЗ для чого потрібно виконати наступні операції [2].

Підібрати фахівців у напрямку МОБ ВТЗ та провести експертне опитування у визначенні рангу кожного параметру ВТЗ в залежності від його важливості ( $R_{li}$ ), кількості елементів, що впливають на формування кожного параметру ( $R_{ei}$ ), часу виконання вимірювань ( $R_{ci}$ ) та вартості вимірювання ( $R_{vi}$ ). На основі

цього скласти список послідовності вимірювання параметрів у порядку зростання значення їх комплексного коефіцієнту  $W_i(R_{\text{л}i}, R_{\text{е}i}, R_{\text{ч}i}, R_{\text{в}i})$ . Далі для більш точної оцінки окремих показників ВТЗ  $R_{\text{л}i}, R_{\text{е}i}, R_{\text{ч}i}$  і  $R_{\text{в}i}$  кожного параметра визначити значення їх вагових коефіцієнтів шляхом проведення експертного опитування. В майбутньому, якщо будуть використовуються чотири окремі показники ( $R_{\text{л}i}, R_{\text{е}i}, R_{\text{ч}i}, R_{\text{в}i}$ ) при обґрунтуванні вагових коефіцієнтів ВТЗ, то приймаються значення отримані в підпункті 2.5, а саме:  $K_{\text{л}} = 0,45$ ;  $K_{\text{е}} = 0,27$ ;  $K_{\text{ч}} = 0,17$ ;  $K_{\text{в}} = 0,11$ .

Узагальнюючи отримані результати визначаємо послідовність перевірки параметрів ( $R_i$ ) за ступенем зростання комплексного коефіцієнта  $W_i$  використовуючи співвідношення (2.8). У разі рівності параметрів переходимо до вибору раціонального варіанту ВП, які задовольняють вимогам за блок-схемою алгоритму рис. 2.7.

3-й етап. Визначення мінімально необхідної кількості вимірювальних параметрів під час проведення МОБ ВТЗ.

Для використання методики, що викладена у [2], розробнику необхідно мати у своєму розпорядженні структурну, функціональну чи принципову схему зразка ВТЗ, яка модернізується або розробляється. З наявної схеми зразка ВТЗ зробити її укрупнену схему, як показано на прикладі рис. 2.11, яка необхідна для визначення множини елементів блоків, що впливають на формування того чи іншого параметру зразка ВТЗ. Після чого розробляється теоретико-множинна модель використовуючи підходи, які описані в [83], приклад наведено на рис. 2.12. З аналізу побудованої теоретико-множинної моделі робиться висновок про можливість не проводити контроль (перевірку) певної кількості залежних параметрів, при умові, що решта параметрів мають номінальні значення.

4-й етап. Визначення мінімально необхідних значень МХ ЗВТВП, які використовуються при МОБ ВТЗ.

Для встановлення ТС ВТЗ використовуються ЗВТВП, вартість яких залежить від МХ, зокрема, від класу точності ( $K_m$ ). Мінімально необхідні

значення МХ ЗВТВП визначаються алгоритмічно, оскільки не видається можливим отримати в явному вигляді функціональні залежності значень ймовірності правильної оцінки вимірюваного параметра ( $p$ ) і класу точності ( $Km$ ) від сукупності вихідних даних. Для цього необхідно:

- відповідно до підрозділу 3.1 та блок-схеми алгоритму рис. 3.3 розрахувати мінімально необхідне значення  $p$ , що забезпечить зменшення витрат на встановлення ТС ВТЗ;

- залежно від форми та виду УА розрахувати математичне сподівання відхилення у визначенні ТС ВТЗ ( $\rho$ ) за блок-схемою алгоритму рис. 3.11, де використано формули підрозділу 3.1;

- за блок-схемою алгоритму рис. 3.14 та підпункту 3.2 визначити мінімально необхідні значення МХ ЗВТВП.

5-й етап. Формування вимог до МХ цифрових ЗВТВП для МОБ існуючих і перспективних зразків ВТЗ проводиться відповідно до блок-схеми алгоритму рис. 3.17 та підпункту 3.3. Для цього необхідно:

- розрахувати мінімально необхідне значення  $p$ ;
- залежно від отриманого значення  $p$  вибрати мінімально-допустиму кількість розрядів  $r$  цифрового ЗВТВП по рис. 3.19;
- розрахувати середній час визначення ТС або відновлення працездатності ( $Tв$ ) ВТЗ;

- розрахувати ймовірність правильного визначення реального ТС  $P$  об'єкта.

6-й етап. Обґрунтування номенклатури (типу) ЗВТВП для МОБ ВТЗ здійснюється відповідно до визначеного за блок-схемою алгоритму рис. 3.14 мінімально допустимого значення  $p$ . Залежно від заданого  $T_{дон}$  за табл. 2.5 визначається  $Km$  і  $\varepsilon$ . Тоді з використанням методик [26, 28, 31, 97] обирається номенклатура (тип) ЗВТВП з мінімально необхідними значеннями МХ для МОБ ВТЗ.

7-й етап. Розрахунок ефекту застосування комплексної методики проведення МЕ ВТЗ здійснюється відповідно до алгоритму, блок-схема якого

наведена на рис. 2.10. Також при розрахунку часу встановлення ТС ВТЗ потрібно врахувати похибки вимірювання (згідно табл. 2.5) (людський фактор, стрибки напруги і т.д), завдяки чому підвищується достовірність оцінки ТС.

Розрахунок ефекту від обґрунтування вимог до МХ ЗВТВП для МОБ ВТЗ полягає в зниженні вартості ЗВТВП, які застосовуються в процесі МОБ ВТЗ при задоволенні вимог до часу оцінки ТС ( $T_e \leq T_{вдон}$ ) і реалізуємісті ремонту агрегатним методом ( $\rho \leq 0,5$ ).

Реалізація зазначених етапів комплексно дозволяє мінімізувати кількість вимірювальних параметрів та встановити раціональну послідовність їх вимірювання, що зменшить час встановлення ТС ВТЗ, а обґрунтування значення ймовірності правильної оцінки вимірюваного параметра ( $p$ ) дозволить обирати дешевші ЗВТВП.

Для підтвердження працездатності запропонованої комплексної методики проведення МЕ ВТЗ проведено її експериментальне дослідження на прикладі короткохвильової радіостанції Р-1150.

#### 4.2 Експериментальне дослідження ефективності комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку

Порядок застосування методик оцінки обґрунтованості технічних рішень з МЗ ВТЗ розглянемо на прикладі сучасної короткохвильової радіостанції Р-1150, яка призначена для забезпечення двостороннього завадозахищеного телефонно-телеграфного радіозв'язку й для передачі даних по радіоканалах короткохвильового діапазону. Короткохвильова радіостанція Р-1150 є одним з останніх зразків ВТЗ вітчизняного виробництва, яка прийнята на озброєння у Збройних Силах України в 2013 року наказом Міністра оборони України №127 від 20.02.2013 року. Її основні технічні характеристики приведені в табл. 4.1 згідно [136].

Таблиця 4.1 – Основні технічні характеристики короткохвильової радіостанції Р-1150

Найменування параметра	Значення параметра
1	2
Діапазон робочих частот радіостанції, кГц	від 1500 до 29999,99
Крок сітки частот, Гц	10
Відносна неточність робочої частоти	$3 \cdot 10^{-7}$
Класи випромінювань при прийманні	A1A, J3E, B8E, H3E, A3E, F1B у режимі FSK модему
Класи випромінювань при передаванні	A1A, J3E, B8E, H3E, F1B у режимі FSK модему
Чутливість приймального тракту радіостанції при роботі в класі випромінювання J3E на верхній і нижній бічній смузі при відношенні $U_c/U_{ш}$ , що дорівнює 10 дБ, мкВ, не гірше	1,0
Чутливість приймального тракту радіостанції при роботі в класі випромінювання A1A при відношенні $U_c/U_{ш}$ , що дорівнює 10 дБ, мкВ, не гірше	0,5
Чутливість приймального тракту радіостанції при роботі в класі випромінювання F1B у режимі FSK модему, мкВ, не гірше	1,0
Послаблення чутливості по дзеркальному каналу першої ПЧ, дБ, не менше	80
Послаблення чутливості по каналу першої ПЧ, дБ, не менше	80
Ширина смуг ПЧ при прийомі	300, 1100, 2400, 2750, 3100, 6000
Нерівномірність АЧХ прийомного тракту при прийомі випромінювань класу J3E на нижній і верхній бічній смузі, дБ, не більше	3
Нелінійні спотворення приймального тракту при прийомі випромінювань класу J3E, %, не більше	5
Діапазон ручного регулювання посилення, дБ, не менше	40
Діапазон автоматичного регулювання посилення (далі – АРП) приймального тракту, дБ, не менше	100
Постійна часу спрацьовування АРП, мс, не більше	12
Градації постійної часу відпускання АРП, мс, не менше	12, 100, 1000, 2500
Частота тону на виході приймача при прийомі випромінювань класу A1A, Гц	$1000 \pm 100$
Рівень несучої при роботі на передачу класом випромінювання J3E, дБ, не більше	40
Рівень невикористаної бічної смуги при роботі на передачу класом випромінювання J3E, дБ, не більше	40

Продовж. табл. 4.1

1	2
Пікова вихідна потужність передавального тракту радіостанції при роботі класами випромінювань А1А, J3E, виміряна в еквіваленті навантаження опором 50 Ом, Вт - при 100 % потужності - при 50 % потужності - при 25 % потужності - при 12,5 % потужності	від 107 до 214 від 53,5 до 107 від 27 до 53,5 від 13,5 до 27
Довжина штирьових антен, на які забезпечується робота радіостанції, м	від 4 до 6
Час настроювання радіостанції на антену, с, не більше	2,5
Кількість каналів для програмування, не менше	400
Відносний рівень гармонійних складових у спектрі вихідного сигналу, дБ, не більше	мінус 50
Рівень нелінійних спотворень передавального тракту при роботі класом випромінювання J3E, дБ, не більше	30
Інтерфейси для передавання даних	RS-232, ETHERNET
Швидкість передачі мови у цифровому вигляді, біт/с	1200, 2400
Час готовності до роботи після вмикання живлення, хвилин, не більше	5
Мережа живлення радіостанції	бортова мережа постійного струму 27 В з відхиленнями від 21,6 В до 30,5 В
Потужність споживання радіостанції від бортової мережі живлення, Вт, не більше	1000

Конструктивно радіостанція складається з 5 блоків з глибиною до яких вбудованою системою контролю здійснюється пошук дефекту. У комплект ЗП-О запасні типові елементи заміни (ТЕЗ) не входять.

Для реалізації експериментального дослідження використаємо етапи, які приведені в пункті 4.1:

1-й етап. Всі вихідні дані отримані із посібника по експлуатації короткохвильової радіостанції Р-1150 [136], а також із експертного опитування фахівців.

2-й етап. Для визначення послідовності вимірювання параметрів під час проведення МОБ ВТЗ залучені фахівці, які були підібрані у розділі 2 та проведено їх експертне опитування у визначенні рангу кожного параметру радіостанції Р-1150 за 4 показниками, а саме: за їх важливістю ( $R_{Pi}$ ), кількістю елементів, що



впливають на формування кожного параметру ( $Re_i$ ), часу виконання вимірювань ( $Rч_i$ ) та та вартості вимірювання ( $Rв_i$ ). Узагальненні результати експертного опитування приведені в табл. 4.2, які визначають порядок перевірки параметрів ( $R_i$ ) за ступенем зростання комплексного коефіцієнта  $W_i$  використовуючи співвідношення (2.8). Так як використано чотири окремі показники ( $Rл_i$ ,  $Re_i$ ,  $Rв_i$ ,  $Rч_i$ ) при знаходженні вагових коефіцієнтів ВТЗ, то приймаються значення отримані в пункті 2.5, а саме:  $Kл = 0,45$ ;  $Ke = 0,27$ ;  $Kч = 0,17$ ;  $Kв = 0,11$ .

Таким чином, з використанням вагових коефіцієнтів, які формують порядок та час перевірки параметрів визначаємо порядок ВП  $R_i$ .

Таблиця 4.2 – Узагальнені відомості щодо важливості параметрів короткохвильової радіостанції Р-1150

Параметр	$Rл_i$	$Re_i$	$Rв_i$	$Rч_i$	$W_i$	$R_i$
П <sub>1</sub>	1	2	4	5	1,9	1
П <sub>2</sub>	3	2	7	1	3,5	3
П <sub>3</sub>	4	2	6	2	3,8	4
П <sub>4</sub>	2	1	5	3	2,3	2
П <sub>5</sub>	5	2	8	7	4,7	5
П <sub>6</sub>	7	3	2	6	4,8	6
П <sub>7</sub>	8	3	1	4	5,1	8
П <sub>8</sub>	6	4	3	8	4,8	7

У разі їх рівності переходимо до вибору раціонального варіанту ВП, якій задовольняє вимогам за блок-схемою алгоритму рис. 2.8. Тоді визначаємо порядок ВП  $R_i$ :

- чутливість радіоприймача (П<sub>1</sub>);
- потужність радіопередавача (П<sub>4</sub>);
- діапазон ручного регулювання посилення (П<sub>2</sub>);
- діапазон автоматичного регулювання посилення (П<sub>3</sub>);
- частота опорного генератора (П<sub>5</sub>);
- нерівномірність АЧХ приймального тракту (П<sub>6</sub>);
- нелінійні спотворення (П<sub>7</sub>);
- енергоспоживання (П<sub>8</sub>).

3-й етап. Для визначення мінімально необхідної кількості ВП під час проведення МОБ ВТЗ скористаємось функціональною схемою короткохвильової радіостанції Р-1150, яка наведена на рис. 4.2, її укрупнена схема на рис. 4.3, а теоретико-множинна модель на рис. 4.4, де  $M_i$  – множина елементів блоків укрупненої схеми.

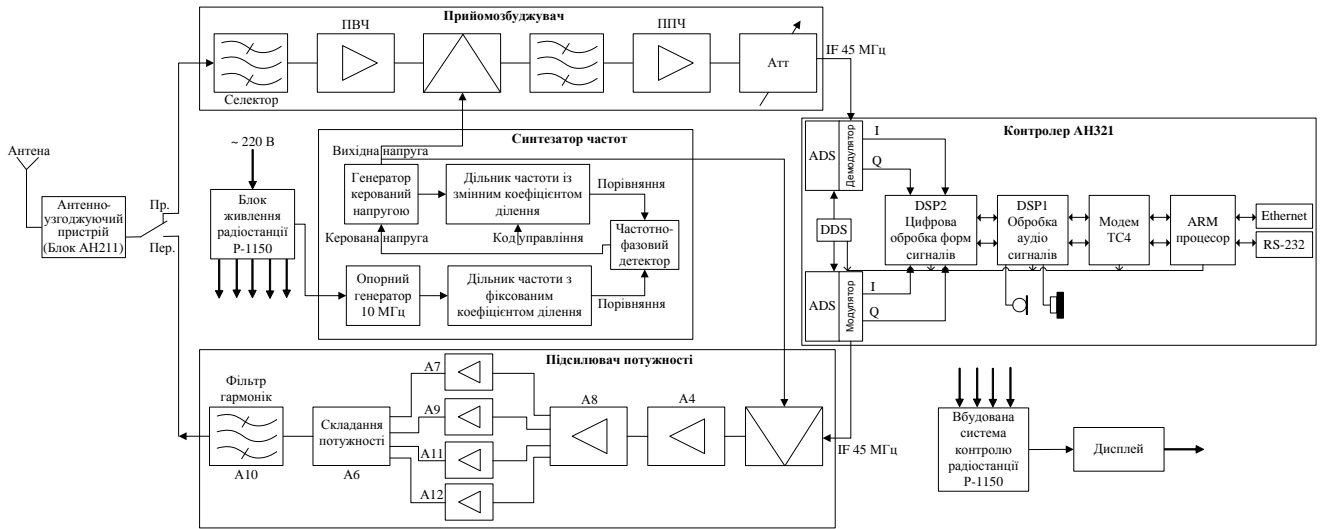


Рисунок 4.2 – Функціональна схема радіостанції Р-1150

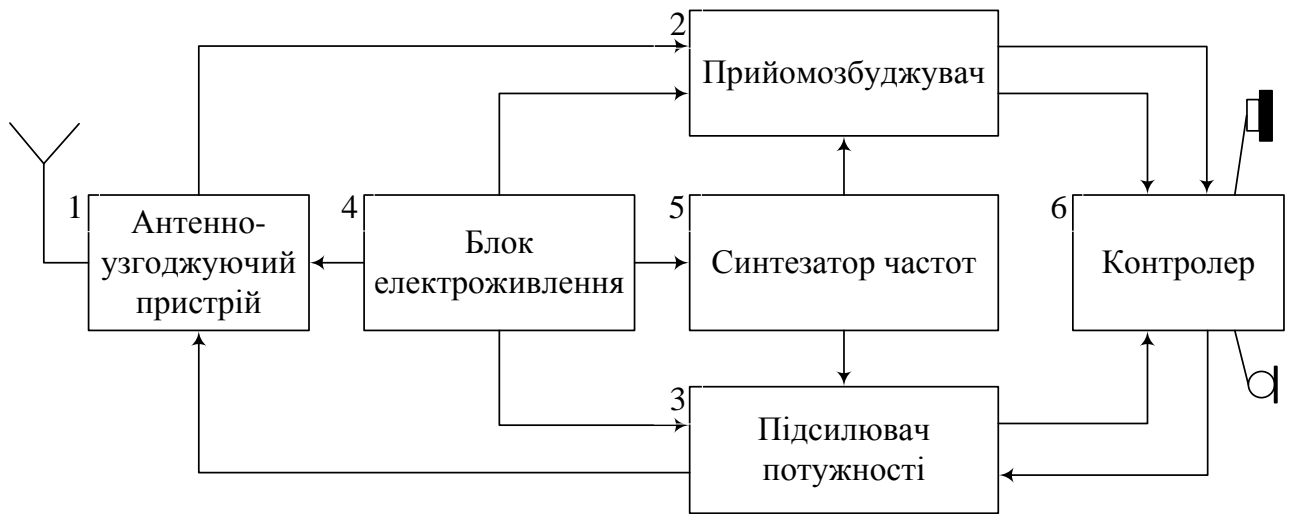


Рисунок 4.3 – Укрупнена функціональна схема радіостанції Р-1150

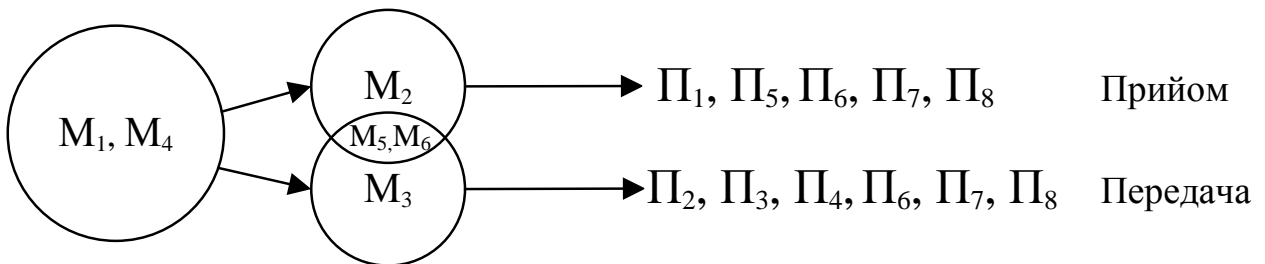


Рисунок 4.4 – Теоретико-множинна модель радіостанції Р-1150

З теоретико-множинної моделі рис. 4.4 випливає, що з послідовністю, наведеною у табл. 4.2 при номінальних значеннях  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5$  параметри  $\Pi_6, \Pi_7, \Pi_8$  можна не контролювати, оскільки вони завчасно будуть в допустимих межах.

Перелік всіх ВП радіостанції ( $\Pi_i$ ) і необхідні ЗВТВП згідно [136], комутація при вимірюванні параметрів (рис. 4.5), значення  $p$  (згідно табл. 2.5), допустимі значення та трудовитрати наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Перелік вимірюваних параметрів короткохвильової радіостанції Р-1150

$i$	Параметр	K1	K2	K3	K4	ЗВТВП	$p_i$	Межі вимірювання	Трудовитрати, люд/год ( $t_i$ )
1	Чутливість	1	2	2	1	С6-11	0,9993	Не гірше 1 мкВ	2,33
						Г4-151	0,834		
2	Потужність	0	4	0	2	М3-45	0,95	від 100 Вт до 214 Вт	3,00
3	Діапазон ручного регулювання посилення	2	2	2	1	В3-56	0,85	Не менше 40 дБ	0,25
						Г4-151	0,834		
4	Діапазон автоматичного регулювання посилення	2	1	1	1	В3-56	0,85	Не менше 100 дБ	0,16
						Г4-151	0,834		
5	Частота опорного генератору	0	3	0	2	ЧЗ-63, годинник	0,9985	Не більше $0,3 \cdot 10^{-6}$	0,25
6	Нерівномірність АЧХ приймального тракту	2	2	2	1	Г4-151	0,834	Не більше 3 дБ	1,15
						В3-56	0,85		
7	Нелінійні спотворення приймального тракту	1	2	2	1	Г4-151	0,834	Не більше 5 дБ	1,15
						С6-11	0,9993		
8	Електроживлення	0	4	0	2	Ц4353	0,845	27 В (від 21,6 В до 30,5 В) не менше 30 А	0,08

Загальні витрати часу на виконання вимірювань всіх параметрів одним фахівцем складають 10,05 годин (без врахування помилок вимірювань) [136].

Схема вимірювання параметрів короткохвильової радіостанції Р-1150 представлено на рис. 4.5.

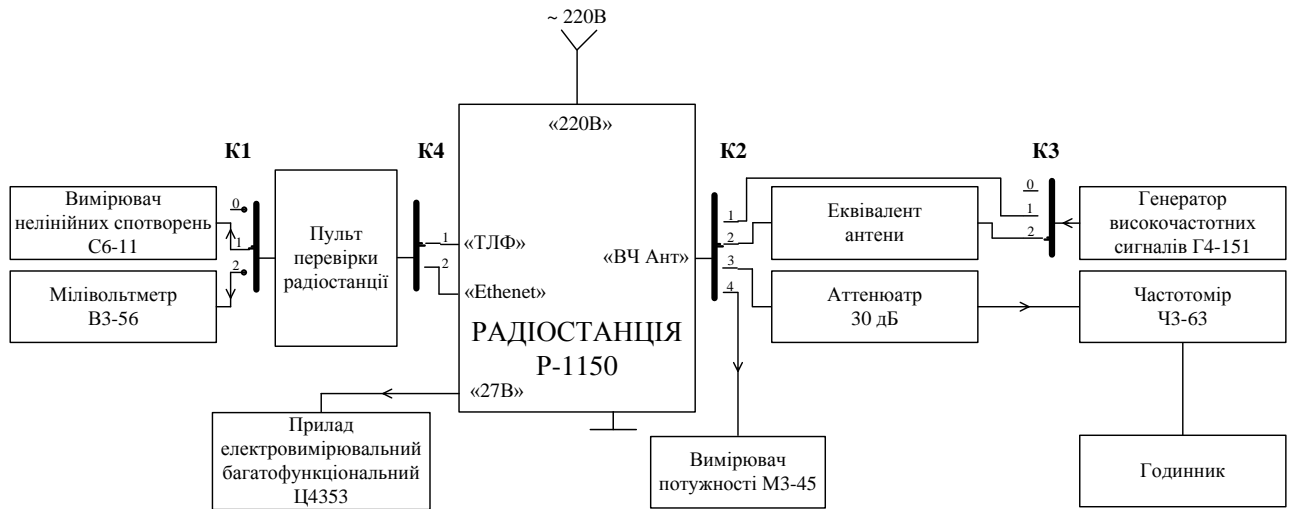


Рисунок 4.5 – Схема вимірювання параметрів короткохвильової радіостанції Р-1150

4-й етап. Визначення мінімально необхідних значень МХ аналогових ЗВТВП, які використовуються при МОБ ВТЗ. З функціональної схеми короткохвильової радіостанції Р-1150 (рис. 4.2) розробляється алгоритм діагностування до ТЕЗ. Після чого пошук несправностей до ТЕЗ здійснюється за УА діагностування наведеним на рис. 4.6.

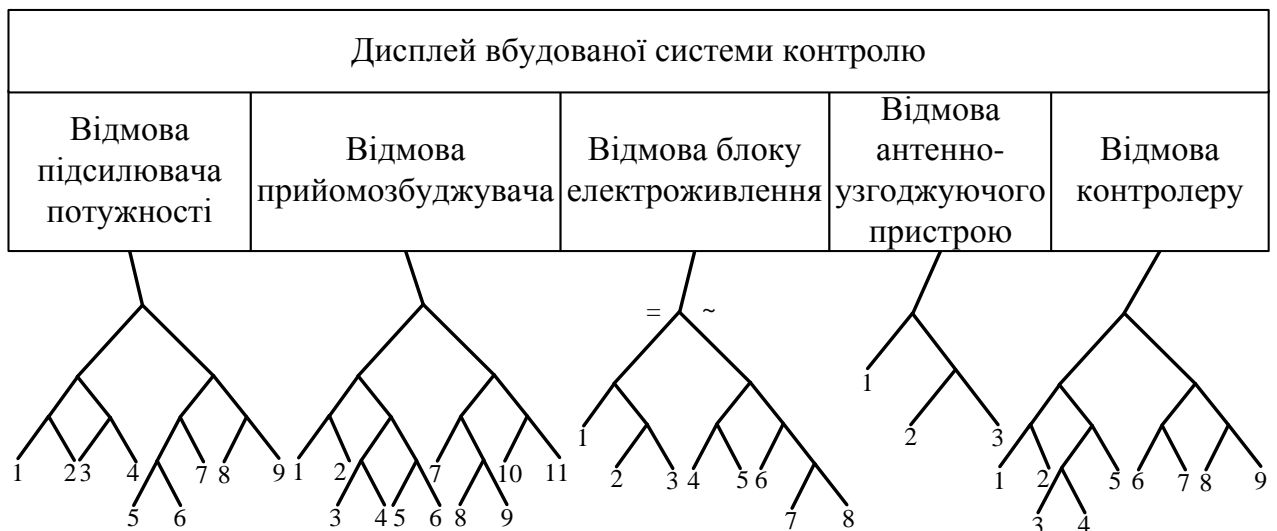


Рисунок 4.6 – Умовний алгоритм пошук несправностей до типового елемента заміни короткохвильової радіостанції Р-1150

В такому випадку максимальна кількість перевірок під час діагностування несправного блоку не більше чотирьох.

Спочатку розглянемо варіант зі справною системою вбудованого контролю. Для цього оберемо самий великий блок – прийомозбудувач, УА діагностування якого має наступні показники якості:  $F = 3$ ;  $L = 11$ ;  $K_{\min} = 3$ ;  $K = 3,54$ ;  $K_{\max} = 4$ . З його використанням після виконання  $i$  перевірок можливе знаходження дефектів:  $l_3 = 5$ ;  $l_4 = 6$ . Необхідний час оцінки його стану  $T_{в\partial on} = 30$  хв. У цьому випадку за блок-схемою алгоритму для УА довільної форми при  $\mu = 1$  за виразом маємо:

$$\rho(m=2) = \frac{1-p}{2p} \sum_{i=3}^4 l_i \frac{(2^i + i - 1)p^i}{2^i} = 0,5(1-p)(6,25p^2 + 7,12p^3)p.$$

Для аналогових ЗВТВП згідно табл. 2.5  $p = 0,845$ , при цьому  $\rho = 0,57$ . Якщо провести розрахунки для виконання умови, що максимально припустиме значення  $\rho = 0,5$ , то  $p = 0,8851$  і в даному випадку використання електровимірювального багатофункційного тестера Ц4353 можливе, але не доцільне під час ремонту агрегатним методом.

Перевірка умови  $T_v \leq T_{в\partial on}$  при  $t = 3$  хв і  $t_y = 5$  хв показує:

$$T_v = \frac{Kt + t_y}{P} = \frac{Kt + t_y}{p^K} = \frac{3,54 \cdot 3 + 5}{0,845^{3,54}} = 28,4 \text{ хв} < T_{в\partial on} = 30 \text{ хв}.$$

Тепер розглянемо найбільш складній випадок коли система вбудованого автоматичного контролю не працює. В такому разі пошук несправного ТЕЗ виконують за умовним алгоритмом рис. 4.7.

Цей алгоритм має наступні показники якості:  $F = 3$ ;  $L = 41$ ;  $K_{\min} = 3$ ;  $K = 5,9 \approx 6$ ;  $K_{\max} = 8$ . При цьому після виконання  $i$  перевірок можливе знаходження наступної кількості дефектів:  $l_3 = 1$ ;  $l_4 = 5$ ;  $l_5 = 10$ ;  $l_6 = 8$ ;  $l_7 = 15$ ;  $l_8 = 2$ .

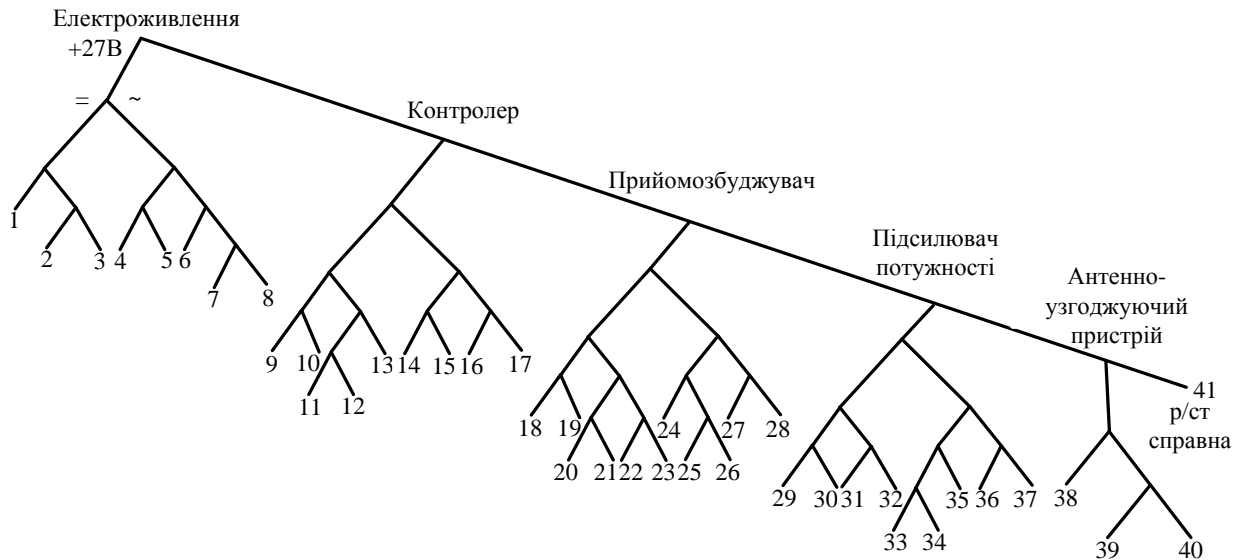


Рисунок 4.7 – Умовний алгоритм визначення технічного стану короткохвильової радіостанції Р-1150 при відмові вбудованої системи контролю

Об'єкт складається з  $L = 41$  елементу, необхідний час відновлення його працездатного стану  $T_{в\partial on} = 30 \text{ хв}$ , для чого використаний бінарний ( $m = 2$ ) УА. У цьому випадку за блок-схемою алгоритму рис. 3.11 для УА довільної форми при  $\mu = 1$  за виразом (5) табл. 3.2 маємо:

$$\rho(m=2) = \frac{1-p}{2p} \sum_{i=3}^8 \frac{(2^i + i - 1)p^i}{2^i} = 0,5(1-p)(1,25p^2 + 5,9p^3 + 11,25p^4 + 8,6p^5 + 15,7p^6 + 2,05p^7)p.$$

Для цифрових ЗВТВП згідно табл. 2.5  $p = 0,9993$  при цьому  $\rho = 0,015$ , для аналогових  $p = 0,845$  при цьому  $\rho = 1,32$ . Якщо провести розрахунки для виконання умови  $\rho = 0,5$  то максимально припустиме значення  $p = 0,9739$ . Тому в даному випадку використання аналогового мілівольтметра ВЗ-56 не можливе, оскільки велика ймовірність встановлення помилкового ТС.

Перевірка умови  $T_{в} \leq T_{в\partial on}$  при  $t = 3 \text{ хв}$  і  $t_y = 5 \text{ хв}$  показує:

$$T_{в} = \frac{Kt + t_y}{P} = \frac{Kt + t_y}{p^K} = \frac{6 \cdot 3 + 5}{0,9993^6} = 23,1 \text{ хв} < T_{в\partial on} = 30 \text{ хв}.$$

5-й етап. Формування вимог до МХ цифрових ЗВТВП для МОБ існуючих і перспективних зразків ВТЗ визначається за блок-схемою рис. 3.17. В

попередньому етапі було визначено, що для цифрових ЗВТВП  $p = 0,9993$ . Далі за формулами розраховуємо верхню  $r_1$  та нижню  $r_2$  межі існування розв'язку:

$$r_1 = \sqrt{59991 - 60000p} = \sqrt{59991 - 59961} = \sqrt{30} = 5,47;$$

$$r_2 = \sqrt{39989 - 40000p} = \sqrt{39989 - 39974} = \sqrt{15} = 3,87.$$

Далі за рис. 3.22 визначаємо, яку мінімально допустиму кількість розрядів повинен мати ЗВТВП для забезпечення необхідної точності визначення ТС ВТЗ. Отримаємо:  $r = 4$ .

6-й етап. Для визначення номенклатури (типу) ЗВТВП для МОБ ВТЗ приведемо технічні характеристики аналогового мілівольметра ВЗ-56 та багатофункційного приладу Ц4353 (табл. 4.4) [137].

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики засобів вимірювальної техніки військового призначення

Х-ки \ ЗВТВП	ВЗ-56	Ц4353	В7-22А
Діапазон вимірювання напруги постійного струму		0,075 В – 600 В	100 мкВ – 1000 В
Опір напруги постійного струму		20 кОм	не менше 100 МОм
Межі вимірювання напруги постійного струму		1,5 В; 3 В; 6 В; 15 В; 30 В; 60 В; 150 В; 300 В; 600 В	0,2 В; 2 В; 20 В; 200 В; 1000 В
Діапазон вимірювання напруги змінного струму	0,1 мВ – 300 В	0,075 – 600 В	100 мкВ – 300 В
Опір напруги постійного струму	1 МОм	4 кОм	не менше 10 МОм;
Межі вимірювання напруги змінного струму	1 мВ; 3 мВ; 10 мВ; 30 мВ; 100 мВ; 300 мВ; 1 В; 3 В; 10 В; 30 В; 100 В; 300 В	15 В; 30 В; 60 В; 150 В; 300 В; 600 В	0,2 В; 2 В; 20 В; 200 В; 300 В
Діапазон частот	20 Гц – 1 МГц	45 Гц – 10 кГц	45 Гц – 100 кГц
Вартість ЗВТВП	4800 грн.	1381 грн.	2000 грн.

Відповідно до 4 етапу у даному випадку використання аналогових ЗВТВП не доцільне, так як при цьому можливе помилкове встановлення ТС. Відповідно до 5 етапу для забезпечення необхідної точності визначення ТС ВТЗ потрібний

цифровий ЗВТВП, який повинен мати не менше як 4 розряди. Тому пропонується замінити два аналогових ЗВТВП на один цифровий універсальний вольтметр В7-22А, який забезпечить потрібну якість вимірювання параметрів (табл. 4.4).

Також можлива заміна інших ЗВТВП зі збереженням точності вимірювання. У табл. 4.5 приведені технічні характеристики вимірювачів нелінійних спотворень від С6-11 до С6-15.

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики вимірювачів нелінійних спотворень

Х-ки \ ЗВТВП	С6-11	С6-12	С6-13	С6-14	С6-15
Діапазон частот при вимірюванні коефіцієнту нелінійних спотворень	20 Гц – 199,9 кГц	10 Гц – 200 кГц	10 Гц – 120 кГц	10 Гц – 199 кГц	10 Гц – 120 кГц
Діапазон нелінійних спотворень, що вимірюються	0,03-100 %	0,03-100 %	0,003-100 %	0,02-100 %	0,003-100 %
Діапазон напруги при вимірюванні нелінійних спотворень	0,1 В – 100 В	0,1 В – 100 В	0,1 В – 100 В	0,1 В – 100 В	0,1 В – 100 В
Потужність споживання	95 Вт	110 Вт	90 Вт	60 Вт	15 Вт
Вартість ЗВТВП	16 400 грн.	91 200 грн.	11 480 грн.	11 412 грн.	33 333 грн.

7-й етап. Ефект застосування комплексної методики проведення МЕ ВТЗ покажемо окремо по часткових методиках.

1. Оцінка ефекту від визначення мінімально необхідної кількості ВП під час проведення МОБ ВТЗ здійснюється відповідно до алгоритму, блок-схема якого наведена на рис. 2.9.

Допустимий час проведення вимірювань ( $T_{дон}$ ) в ідеальних умовах відповідно до посібника по експлуатації короткохвильової радіостанції Р-1150 [136] становить:

$$T_{дон} = 503 \text{ хв.}$$



Відповідно час вимірювання обраних п'яти параметрів дорівнює  $T = 347$  хв, при цьому ефект від застосування методики становить,  $\eta = 31,0\%$ , отже знижується час і відповідні трудовитрати на оцінку ТС короткохвильової радіостанції Р-1150 на 31,0 %.

При врахуванні похибок вимірювання (табл. 2.5) (людський фактор, стрибки напруги і т.д) підвищується достовірність оцінки ТС ВТЗ за рахунок чого пропорційно збільшується час проведення вимірювань і становить:

$$T_{don} = \frac{140}{0,9993 \cdot 0,834} + \frac{180}{0,95} + \frac{15}{0,85 \cdot 0,834} + \frac{10}{0,85 \cdot 0,834} + \frac{15}{0,9985} + \frac{69}{0,834 \cdot 0,85} + \frac{69}{0,834 \cdot 0,9993} + \frac{5}{0,852} = 524,3 \text{ хв.}$$

За умови вимірювання п'яти параметрів час проведення вимірювань дорівнює  $T = 396,4$  хв, при цьому ефект від застосування методики становить,  $\eta = 24,4\%$ , тобто знижується час і трудовитрати на оцінку ТС короткохвильової радіостанції Р-1150 на 24,4 %.

Оцінка ефекту від застосування запропонованої методики показала, що із зменшенням існуючої кількості параметрів, які необхідно вимірювати при МОБ ВТЗ, зменшується час і трудовитрати на оцінку їх ТС зразка ВТЗ в цілому.

2. Оцінку ефекту від обґрунтування МХ аналогових та формування вимог до цифрових ЗВТВП для МОБ ВТЗ покажемо разом. Вона полягає в зниженні витрат на ЗВТВП, які застосовуються при МОБ ВТЗ при задоволенні вимог до часу оцінки ТС ( $T_v \leq T_{v_{don}}$ ) і реалізуємості ремонту агрегатним методом ( $\rho \leq 0,5$ ). При використанні цифрового універсального вольтметра В7-22А, який забезпечить потрібну якість вимірювання, витрати знижуються на 4181 гривню (табл. 4.4). Та при заміні вимірювача нелінійних спотворень С6-11 на С6-14 витрати знижуються ще на 4988 гривень (табл. 4.5). Тобто, загальні витрати на ЗВТВП зменшуються на 9169 гривень без зниження якості МОБ ВТЗ.

Таким чином, експериментальне дослідження ефективності комплексної методики проведення МЕ ВТЗ:

– підтвердити можливість мінімізації кількості ВП та встановити раціональну послідовність їх вимірювання, що зменшило час встановлення ТС ВТЗ на основі використання розробленої методики;

– підтвердити можливість обґрунтування мінімального значення ймовірності правильної оцінки вимірюваного параметра ( $p$ ) та обрання мінімально допустимої кількості розрядів, якими повинен володіти цифровий ЗВТВП для забезпечення необхідної точності визначення ТС ВТЗ, що дозволило обрати дешевші аналогові та цифрові ЗВТВП на основі використання розроблених часткових методик.

#### 4.3 Техніко-економічна оцінка результатів впровадження комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку

Створення та модернізація існуючого парку ВТЗ веде за собою розробку нових ЗВТВП, що супроводжується зростанням їхньої вартості. У зв'язку з цим важливого значення набуває техніко-економічна оцінка розробки виробів ВТЗ та засобів їх контролю.

При розробці ВТЗ оцінюються вимоги до економічної ефективності, які включають у себе визначення наступних оцінок [22, 138, 139]:

– оцінка трудовитрат та часу, який витрачається на вимірювання (контроль) параметрів ВТЗ;

– оцінка техніко-економічної доцільності та необхідності розробки (застосування) спеціальних та не стандартизованих ЗВТВП.

Для проведення техніко-економічної оцінки використаємо кількісний склад радіостанцій типу Р-1150 окремої бригади зв'язку.

Розроблені в дисертаційному дослідженні теоретичні положення спрямовані на зменшення часу встановлення реального ТС та витрат на МОБ ВТЗ шляхом мінімізації кількості ВП та ЗВТВП. Вартість ЗВТВП, які застосовуються для МОБ ВТЗ розраховано відповідно ринкових цін, викладених у [137].

Економічну ефективність від застосування комплексної методики обґрунтування вимог до МЗ ВТЗ проведемо за різними показниками [138]:

1. Ефект за рахунок скорочення кількості параметрів, що контролюються.

Для забезпечення надійної роботи в бригаді зв'язку ЗС України є 40 радіостанцій типу Р-1150 потужністю 1 кВт. Заробітна плата майстра ремонтного цеху засобів зв'язку ремонтної майстерні зв'язку в бригаді зв'язку складає 3000 гривень на місяць, це 18,75 гривень в годину. Таким чином, використання комплексної методики проведення МЕ ВТЗ зменшує витрати під час проведення МОБ на 2156 гривень щорічно. Ефект за рахунок скорочення кількості параметрів, що контролюються наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Ефект за рахунок скорочення параметрів короткохвильової радіостанції Р-1150

<i>i</i>	Параметр	Параметри, які використовуються при МОБ Р-1150	Параметри, які використовуються після застосування методики	Ефект, час, вартість
1	Чутливість	+	+	Зменшення часу та трудовитрат під час проведення МОБ короткохвильової радіостанції Р-1150 на 31,0 %.
2	Потужність	+	+	
3	Діапазон ручного регулювання посилення	+	+	
4	Діапазон автоматичного регулювання посилення	+	+	
5	Частота опорного генератора	+	+	
6	Нерівномірність АЧХ приймального тракту	+	–	
7	Нелінійні спотворення приймального тракту	+	–	
8	Електроживлення	+	–	
Всього час проведення МОБ Р-1150, хв		503	347	156

Але в умовах ведення бойових дій важливішу роль відіграє час приведення зразка ВТЗ до застосування за призначенням.

2. Ефект за рахунок скорочення ЗВТВП, що використовуються під час МОБ ВТЗ.

У [138] приведені ЗВТВП, які повинен мати майстер ремонтного цеху засобів зв'язку ремонтної майстерні зв'язку в бригаді зв'язку для проведення

МОБ на короткохвильовій радіостанції типу Р-1150. Але деякі ЗВТВП заводом розробником обрані необгрунтовано та з завищенням їх вартості.

Отже, пропонується з використанням комплексної методики проведення МЕ ВТЗ замінити деякі ЗВТВП, що дозволило зменшити вартість МОБ короткохвильової радіостанції Р-1150 на 7% при задоволенні вимог до часу оцінки ТС ( $T_v \leq T_{v_{дон}}$ ) і реалізуєності ремонту агрегатним методом ( $\rho \leq 0,5$ ). Застосування комплексної методики зменшує витрати на ЗВТВП під час проведення МОБ на 9169 гривні. Ефект за рахунок скорочення ЗВТВП, що використовуються під час МОБ ВТЗ наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Ефект за рахунок скорочення ЗВТВП короткохвильової радіостанції Р-1150

№ з/п	ЗВТВП, які використовуються при МОБ Р-1150	Вартість ЗВТВП, грн.	ЗВТВП, які використовуються при МОБ Р-1150	Вартість ЗВТВП, грн.	Ефект, грн.
1.	Вимірювач нелінійних спотворень С6-11	16400	Вимірювач нелінійних спотворень С6-14	11412	4988
2.	Генератор високочастотних сигналів Г4-151	14400	Генератор високочастотних сигналів Г4-151	14400	
3.	Вимірювач потужності М3-45	61080	Вимірювач потужності М3-45	61080	
4.	Мілівольтметр В3-56	4800	Цифровий універсальний вольтметр В7-22А	2000	4181
5.	Електровимірю-вальний багатофункціональний прилад Ц4353	1381			
6.	Частотомір Ч3-63	31199	Частотомір Ч3-63	31199	
Всього	129260		120091		9169

Техніко-економічна оцінка проведена для одного типу ВТЗ, а саме для короткохвильової радіостанції Р-1150. Застосування розробленої методики до інших радіостанцій буде давати інакший економічний ефект.

Тобто, загальна економія від зниження вартості ЗВТВП і трудовитрат на проведення вимірювань параметрів короткохвильової радіостанції Р-1150 під час ТО-2 становить близько тринадцяти тисяч гривень.

Таким чином, запропонована комплексна методика проведення МЕ ВТЗ у порівнянні з існуючими, дозволяє задовольнити потреби ЗС України щодо швидкого управління військами, завдяки скороченню часу встановлення ТС ВТЗ, зменшенню номенклатури та вартості ЗВТВП, які застосовуються при її МОБ.

#### 4.4 Практичні рекомендації щодо застосування комплексної методики проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку

Забезпечення необхідного рівня ефективності та боєздатності систем, комплексів, зразків ОВТ, підтримання їх тактико-технічних характеристик можливо тільки при системному підході щодо вирішення військово-наукових завдань розробки (модернізації) ОВТ [140]. Ефективне функціонування системи науково-технічного супроводження розробки (модернізації) ОВТ базується на основних видах забезпечення до яких належить і МЗ [140]. При цьому важливим є аналіз та оцінка правильності завдання вимог до МЗ зразків ОВТ (в рамках проведення МЕ ВТЗ) та контроль їх виконання. Контроль (вимірювання) параметрів ОВТ та вибір потрібних ЗВТВП відбувається під час МОБ. При МОБ в результаті вимірювання значень параметрів ОВТ встановлюється їх ТС, що є основним завданням технічної діагностики. При відхиленні значень параметрів від норми вирішується наступне завдання технічної діагностики – пошук та заміна несправного елемента. При цьому для зменшення кількості вимірювань використовують УА діагностування. Основний склад робіт щодо обґрунтування вимог до МЗ складається з вибору параметрів та номенклатури ЗВТВП. До найважливіших і найбільш актуальних задач у розвитку ОВТ ЗС України належать задачі, пов'язані з управлінням військами, а саме з розробкою нової ВТЗ. Так, як важливим завданням МЕ є [24, 36]: вибір (оптимізація) ВП та встановлення технічних і економічних обґрунтувань норм точності для вибору номенклатури ЗВТВП, то відповідне дисертаційне дослідження присвячене вирішенню зазначених

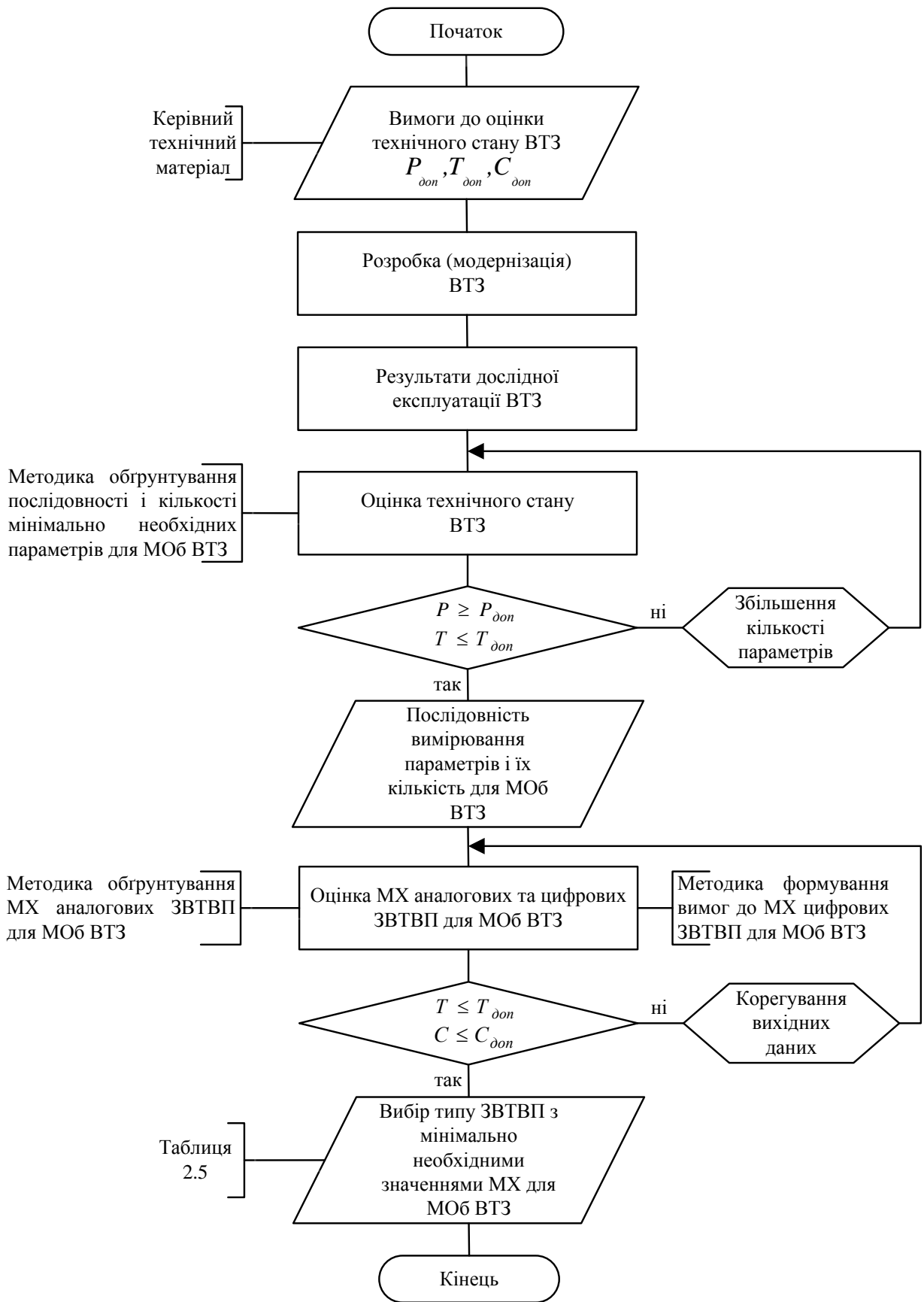


Рисунок 4.8 – Блок-схема алгоритму практичного використання результатів дисертаційного дослідження

напрямків під час розробки документації на перспективну або модернізовану ВТЗ. Блок-схема алгоритму їх практичного використання наведено на рис. 4.8.

В цей же час для забезпечення високих якісних показників ВТЗ на всіх етапах життєвого циклу важлива роль відводиться її МОБ [24]. Ефективність проведення МОБ ВТЗ залежить від кількості ВП. Водночас необґрунтовано велика кількість ВП призводить до збільшення часу проведення МОБ і, як наслідок, до підвищення витрат на експлуатацію ВТЗ. Тому при розробці документації на ТО нових та модернізованих зразків ВТЗ доцільно використовувати методику обґрунтування послідовності і кількості параметрів для МОБ ВТЗ, що дозволить встановити мінімально необхідну кількість параметрів при МОБ ВТЗ, оптимізувати порядок їх вимірювання та скоротити час оцінки ТС ВТЗ.

Прийняті обмеження та припущення відповідають реальним умовам експлуатації ВТЗ силами штатних екіпажів апаратних зв'язку та АТЗ.

Використання вагових коефіцієнтів параметрів, які формують порядок та час їх перевірки, відповідає реальним умовам оцінки ТС ВТЗ і збільшує достовірність отриманих результатів, як показано на прикладах радіостанції Р-173 та Р-1150.

Оцінка ТС ВТЗ проводиться з використанням ЗВТВП при перевірці її працездатності, проведенні МОБ. Достовірність оцінки ТС ВТЗ залежить від обраних ЗВТВП. В цей же час від МХ ЗВТВП залежить ймовірність визначення справжнього ТС ВТЗ, а також витрати на її МОБ. Тому, обґрунтування вибору ЗВТВП з урахуванням вимог до точності вимірювань враховується в методиці обґрунтування вимог до МХ аналогових ЗВТВП для МОБ ВТЗ, яка дозволяє обрати мінімально необхідне значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань за УА будь-якого виду та форми і забезпечує зменшення витрат на МОБ ВТЗ.

Для МОБ перспективних зразків ВТЗ і комплектування АТЗ необхідно науково-обґрунтовано сформулювати вимоги до МХ ЗВТВП, які забезпечують необхідну якість ТО при мінімальних витратах і обмежених ресурсах, що враховується в методиці формування вимог до МХ ЗВТВП для МОБ ВТЗ.

Отримані результати доцільно використовувати при завданні значень МХ аналогових та цифрових ЗВТВП для існуючих і перспективних зразків ВТЗ.

Всі розроблені методики відрізняється від відомих доступністю вихідних даних та не вимагають від користувача додаткової підготовки для їх використання, що підтверджено під час застосування на підприємствах, організаціях і установах. Отримані результати досліджень доведені до формалізованих методик і технічних реалізацій та мають високий рівень готовності до використання у промисловості та ЗС України.

Запропоновану комплексну методику доцільно використовувати для прийняття науково-обґрунтованих рішень при: складанні (проектуванні) тактико-технічних, технічних завдань на виконання науково-дослідних, дослідно-конструкторських робіт зі створення (модернізації) зразків ВТЗ у головному управлінні зв'язку та інформаційних систем Генерального штабу ЗС України; проведенні метрологічної експертизи документації ВТЗ у Метрологічному центрі військових еталонів ЗС України; проектуванні та розробці технічної документації існуючих і перспективних зразків ВТЗ на підприємствах, організаціях та установах.

#### Висновки до розділу 4

1. На основі часткових методик, викладених у підрозділах 2.5, 3.2, 3.3, показано комплексне використання методики проведення МЕ ВТЗ.

2. З метою підтвердження працездатності запропонованої комплексної методики проведення МЕ ВТЗ проведено її експериментальне дослідження на прикладі короткохвильової радіостанції Р-1150, що дозволило скоротити час і відповідні трудовитрати на оцінку ТС короткохвильової радіостанції Р-1150 на 31,0 %, а при врахуванні похибок вимірювання на 24,4%.

3. Достовірність отриманих результатів забезпечується коректним використанням вихідних даних, отриманих з практики, обґрунтованою постановкою завдання і зведенням результатів до відомих в окремих випадках,



обґрунтуванням обмежень та припущень, які відповідають реальним умовам використання розроблених методик та підтверджується аналітично з використанням апробованого математичного апарату, апробацією отриманих результатів на практиці, де було виявлено узгодженість теоретичних положень з практичними результатами.

4. За результатами проведеної техніко-економічної оцінки встановлено:

– за рахунок скорочення кількості параметрів, які контролюються під час МОБ короткохвильової радіостанції Р-1150, зменшується час встановлення її ТС на 31,0 % та витрати на 2156 гривень щорічно в бригаді зв'язку;

– за рахунок скорочення ЗВТВП, які використовуються під час МОБ короткохвильової радіостанції Р-1150, зменшується їх вартість на 7%, тобто на 9169 гривень.

Застосування розроблених методик до інших зразків ВТЗ буде давати інакший економічний ефект.

5. Проведення експериментального дослідження комплексної методики проведення МЕ ВТЗ дозволило розробити рекомендації щодо практичного їх використання та блок-схему алгоритму її реалізації.

Основні результати розділу опубліковані у [10, 11].

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення та нове вирішення актуального наукового завдання, сутність якого полягає в удосконаленні часткових методик МЕ ВТЗ на основі методів технічної діагностики з метою підвищення оперативності та зменшення витрат на МОБ при встановленні реального ТС ВТЗ.

Головні наукові й практичні результати роботи:

1. У дисертації проведений аналіз відомих методик проведення МЕ СТС, який показує, що на сьогоднішній день немає цілісних формалізованих методик її проведення, основні завдання якого виконуються на всіх етапах життєвого циклу та полягають в оцінці обґрунтованості вибору параметрів, які контролюються, та оцінці обґрунтованості вибору ЗВТВП, що не забезпечує комплексності в прийнятті рішень.

Враховуючи це, виникає завдання щодо розробки методик проведення МЕ ВТЗ.

2. Результати аналізу можливостей відомого науково-методичного апарату щодо мінімізації параметрів та встановлення технічних і економічних обґрунтувань норм точності для вибору номенклатури ЗВТВП показали, що він не враховує специфіки експлуатації ВТЗ або використовуються наближені аналітичні вирази для оцінки впливу послідовності виконання вимірювань при визначенні її ТС в процесі МОБ, що призводить до збільшення часу МОБ та витрат на обрані ЗВТВП.

У зв'язку з цим, наведений у роботі напрям вирішення наукового завдання обумовив необхідність використання додаткових математичних апаратів.

3. Удосконалено методику обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ яка, на відміну від існуючих, додатково враховує роздільну оцінку впливу часу і вартості вимірювання параметрів та скореговано вагові коефіцієнти параметрів. Новизна розробленої методики полягає в комплексній оцінці кожного параметра ВТЗ, вимірюваного під час їх

МОб, застосуванні нового алгоритму реалізації на основі використання апробованого математичного апарату теорій множин та нечітких множин, що знижує загальні трудовитрати на оцінку ТС ВТЗ.

Удосконалена методика дозволила оптимізувати порядок вимірювання параметрів, встановити мінімально необхідну їх кількість при МОб ВТЗ та скоротити час оцінки ТС ВТЗ.

4. Отримано подальший розвиток методики вибору ЗВТВП для МОб ВТЗ яка, за рахунок отриманих нових аналітичних співвідношень, дає можливість точніше обирати мінімально необхідне значення ймовірності правильної оцінки вимірювального параметра.

Новизна розробленої методики полягає в отриманні нових функціональних залежностей та дозволяє визначати мінімально припустимі значення метрологічних характеристик ЗВТВП з урахуванням метрологічної надійності, що дозволило знизити клас точності ЗВТВП та зменшити витрати на МОб ВТЗ в цілому.

5. Удосконалено методику вибору ЗВТВП для МОб ВТЗ, яка враховує вплив якості алгоритмів обслуговування і ремонту ВТЗ на показники її МОб та помилки діагностування ВТЗ, що дозволило знизити витрати на МОб ВТЗ та підвищити його оперативність.

Новизна розробленої методики полягає у використанні нових функціональних залежностей, які пов'язують середній час оцінки технічного стану ВТЗ і кількісну оцінку діагностичних помилок від ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань та, нового алгоритму реалізації методики.

У результаті проведення техніко-економічної оцінки встановлено, що використання розроблених у дисертаційній роботі наукових результатів дозволяє скоротити час оцінки ТС ВТЗ на 31,0%, зменшити витрати на ЗВТВП на 7%. Загальна економія на вимірювання параметрів (на прикладі радіостанції Р-1150) під час ТО-2 в бригаді зв'язку становить близько 13 тисяч гривень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що використання розроблених теоретичних і практичних положень дисертаційної

роботи дозволяє: знизити час і трудовитрати процесу оцінки ТС ВТЗ; знизити клас точності аналогових та кількість розрядів цифрових ЗВТВП, які використовуються при МОБ ВТЗ; застосовувати розроблені методики як окремо, так і в комплексі, що забезпечує підвищення ефективності МЗ ВТЗ.

Практичне використання запропонованої комплексної методики дозволяє на всіх етапах створення ВТЗ підвищити рівень обґрунтованості рішень, які приймаються при модернізації сучасної і розробці перспективної ВТЗ.

Достовірність отриманих результатів підтверджується аналітично з використанням апробованого математичного апарату, апробацією отриманих результатів на практиці, де було виявлено узгодженість теоретичних положень з практичними результатами.

Отримані в дисертаційній роботі наукові результати доцільно використовувати при розробці документації на ТО нових та модернізуємих зразків ВТЗ на підприємствах промисловості, а також при обґрунтуванні вимог до МЗ ВТЗ Метрологічним центром військових еталонів ЗС України.

Перспективним напрямом подальших досліджень може бути розробка методики для кількісної оцінки невизначеності вимірювання з урахуванням особливостей МОБ ВТЗ в польових умовах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аркушенко П. Л. Аналіз методик метрологічної експертизи складних технічних систем / О. В. Ходич, М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Український метрологічний журнал. Науково-технічне видання. – Харків: ННЦ «Інститут метрології», 2015. – № 2. – С. 12-16.
2. Аркушенко П.Л. Вимоги до метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку в апаратних технічного забезпечення / Л. М. Сакович, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко, О. В. Ходич // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 1(26). – С. 150-152.
3. Аркушенко П.Л. Формирование требований к средствам измерений диагностических параметров аппаратной связи при техническом обслуживании и текущем ремонте / Л. М. Сакович, П. Л. Аркушенко, О. В. Ходич // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 1(50). – С. 108-111.
4. Аркушенко П. Л. Удосконалення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку / М. Ю. Яковлев, Л. М. Сакович, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 3 (28). – С. 92-99.
5. Яковлев М. Ю. Удосконалення методу завдання вимог до мінімально припустимого значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки під час діагностування / М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов, Л. М. Сакович, П. Л. Аркушенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 4 (29). – С. 136-142.
6. Аркушенко П. Л. Економічні аспекти оцінки ефективності метрологічного забезпечення / П. Л. Аркушенко, В. А. Дружинін, В. В. Хіміч, О. Т. Гордієвський // Збірник наукових праць: Державна прикордонна служба України. Національна академія Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. Серія: Військові та технічні науки. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2012. – № 57. – С. 146-148.

7. Аркушенко П. Л. Математична модель експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення / П. Л. Аркушенко, О. П. Флорін, О. О. Воронін // Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ВКФ «Фавор ЛТД», 2016. – № 6(62). – С. 62-66.

8. Аркушенко П. Л. Методика обґрунтування обмінного фонду засобів вимірювальної техніки військового призначення / П. Л. Аркушенко, О. П. Флорін, К. В. Власов // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – Харків: НАНГУ, 2016. – № 1. – С. 38-44.

9. Аркушенко П. Л. Аналіз методик метрологічної експертизи складних технічних систем / П. Л. Аркушенко. // Збірник тез доповідей 15 науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 17–18 вересня 2015 р. – Чернігів: ДНВЦ ЗСУ, 2015. – С. 35-36.

10. Аркушенко П. Л. Комплексна методика метрологічної експертизи документації складних технічних систем / Є. В. Рижов, М. Ю. Яковлев, П. Л. Аркушенко, О. В. Ходич // Збірник тез доповідей 16 науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 8-9 вересня 2016 р. – Чернігів: ДНВЦ ЗСУ, 2016. – С. 202-203.

11. Аркушенко П.Л. Метрологічна експертиза документації складних технічних систем / О. В. Ходич, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Застосування Сухопутних військ Збройних сил України у конфліктах сучасності», 17 листопада 2016р. – Львів: НАСВ, 2016. – С. 60.

12. Яковлев М. Ю. Удосконалена методика обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку / М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Збірник тез 17 науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 7-8 вересня 2017 р. – Чернігів: ДНВЦ ЗСУ, 2017. – С. 389-390.

13. Яковлев М. Ю. Обґрунтування мінімально необхідних вимог до засобів вимірювань при двоступеневій системі діагностування в процесі поточного

ремонті військової техніки зв'язку / М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Застосування Сухопутних військ Збройних сил України у конфліктах сучасності», 16 листопада 2017 р. – Львів: НАСВ, 2017. – С. 103.

14. Біла книга 2014 Збройні Сили України [Текст] / [авт. тексту Експертна комісія Міністерства оборони України та Генерального штабу Збройних Сил України]. – К.: МО України, 2015. – 85 с.

15. Веб-сайт компанії «TWIRPX» [Електронний ресурс]: Основи організації зв'язку у Збройних Силах України – Режим доступу до книги: <http://www.twirpx.com/file/163937/?rand=8845466>

16. Аркушенко П. Л. Питання метрологічного забезпечення спеціальних інформаційно-вимірювальних систем для контролю параметрів озброєння і військової техніки / П. Л. Аркушенко // Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ», 14-15 травня 2015 р. – Львів: АСВ, 2015. – С. 177-178.

17. Чинков В.Н. Основные тенденции развития цифровой измерительной техники / В.Н. Чинков // Український метрологічний журнал. – 1996. – № 2. – С. 27-30.

18. Бабков Ю.П. Основы теории надежности, технического обслуживания и ремонта вооружения и военной техники войск ПВО Сухопутных войск / Ю.П. Бабков, Г.В. Иванец, Н.П. Клещеногов – Харьков: ХВУ, 1996. – 176 с.

19. Флейшман Б.С. Основы системологии / Б.С. Флейшман. – М.: Наука, 1982. – 386 с.

20. Аркушенко П. Л. Пропозиції щодо синтезу оптимальної системи метрологічного обслуговування озброєння / В. О. Сіроткін, П. Л. Аркушенко, К. А. Костюков, Д. В. Кривельов // Збірник тез доповідей 13 науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 5-6 вересня 2013 р. – Феодосія : ДНВЦ ЗСУ. – 2013. – С. 418.

21. Квейд Э. Анализ сложных систем / Э. Квейд. – М.: Сов. радио, 1969. – 196 с.

22. Яковлев М.Ю. Забезпечення експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення : Монографія / М.Ю. Яковлев, А.О. Левченко. – Львів : ЛІСВ НУ “ЛП”, 2008. – 241 с.

23. Кузнецов І.Б. Організація метрологічного забезпечення військ (сил): навч. посібн. у 2-х частинах. Ч.1 / І.Б. Кузнецов, П.М. Ябловський. – К.: НУОУ, 2009. – 356 с.

24. Наказ Міністра оборони України від 15 грудня 2006 року № 731 "Положення про метрологічне забезпечення в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України". – 8 с.

25. Ксёэнз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1989. – 248 с.

26. Сакович Л.Н. Выбор средств измерений согласно требований к ремонтпригодности средств связи / Л.Н. Сакович, В.Н. Дзюба, В.П. Павлов // Зв'язок. – 2003. – №2. – С.23-25.

27. Ксёэнз С.П. Теоретические и прикладные задачи диагностирования средств связи и автоматизации / Под ред. С.П. Ксёэнза. – Л.: ВАС, 1990. – 336 с.

28. Сакович Л.Н. Определение метрологических характеристик средств измерений для обслуживания и ремонта средств связи / Л.Н. Сакович, В.Н. Дзюба, В.П. Павлов // Зв'язок. – 2003. – №5. – С.17-19.

29. Типовые методики метрологической экспертизы образцов и комплексов вооружения и военной техники (рекомендательные). В 4 кн. / Кн. 1: Методика метрологической экспертизы тактико-технического задания на опытно-конструкторскую работу. – МО СССР. – М.: Воениздат, 1985. – 16 с.

30. Типовые методики метрологической экспертизы образцов и комплексов вооружения и военной техники (рекомендательные). В 4 кн. / Кн. 2: Методика оценки обоснованности выбора контролируемых параметров и их допустимых отклонений. – МО СССР. – М.: Воениздат, 1985. – 37 с.

31. Типовые методики метрологической экспертизы образцов и комплексов вооружения и военной техники: В 4 кн. / Кн. 3: Методика оценки единства,



точности измерений и достоверности контроля параметров. – МО СССР. – М.: Воениздат, 1986. – 68 с.

32. Типовые методики метрологической экспертизы образцов и комплексов вооружения и военной техники: В 4 кн. / Кн. 4: Методика оценки качества средств и систем измерений и контроля. – МО СССР. – М.: Воениздат, 1986. – 61 с.

33. Воронін А.В. Методика визначення кількості вимірюваних параметрів радіоелектронної апаратури при експлуатації авіаційної техніки за станом / А.В. Воронін, М.В. Гудков // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС. – 2011. – Вип. 2 (92). – С. 68-70.

34. Віткін Л.М. Методика оптимізації контрольованих параметрів якості продукції у процесі метрологічної експертизи технічної документації / Л.М. Віткін, В.У. Ігнаткін, В.А. Литвиненко, О.І. Білий // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС. – 2009. – Вип. 6 (80). – С. 149-155.

35. Хижняк В.В. Метод оптимизации измеряемых параметров сложных технических комплексов на основе атрибутированого бинарного дерева / В.В. Хижняк, С.В. Герасимов, И.Е. Бакулин // Український метрологічний журнал. – 2009. – № 4. – С. 45-49.

36. Яковлев Ю.Н. Метрологическая экспертиза технической документации / Ю.Н. Яковлев, Н.Г. Глушкова, Н.Я. Медовикова [и др.]. – М.: Изд-во стандартов. – 1992. – 184 с.

37. Сакович Л.Н. Выбор параметров и последовательности их измерения при техническом обслуживании средств связи по состоянию / Л.Н. Сакович, Р.А. Бобро // Зв'язок. – 2006. – №3. – С.54-56.

38. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.

39. Дзюба В.М. Основи метрології та метрологічного забезпечення: навч. посібник / В.М. Дзюба, Л.М. Сакович / – К.: ІСЗЗІ НТУУ “КПІ”, 2013. – 172 с.

40. Шабатура Ю.В. Основи вимірювань та метрологічне забезпечення у військовій сфері: навч. посібник / Ю.В. Шабатура, С.В. Королько, Є.В. Рижов / – Львів: НАСВ, 2015. – 114 с.

41. Морозов О.О. Математична модель впливу метрологічного забезпечення на рівень готовності парку засобів вимірювання / О.О. Морозов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Вып. 11. – 2002. – С. 54-58.

42. Чинков В.Н. Избыточная модель надежной эксплуатации средств измерительной техники / В.Н. Чинков, А.Е. Мельниченко // Український метрологічний журнал. – 2004. – С. 57-60.

43. Яковлев М.Ю. Визначення міжповірочних інтервалів засобів вимірювальної техніки / М.Ю. Яковлев, Ю.О. Фтемов // Системи обробки інформації. – 2008. – Вип. 5 (72). – С. 128-131.

44. Волынский А.А. Разработка экспертных систем технического диагностирования средств связи и автоматизации / А.А. Волынский, В.Ф. Шаповалов, Л.Н. Сакович. – К.: КВВИУС, 1987. – 228 с.

45. Изыскание научно-технических путей повышения эффективности систем технического обслуживания и ремонта военной техники связи. Отчет о НИР "Кондиция" ГОКБ "ЮГ". – К.: 1994. – 326 с.

46. Павлов В. П. Синтез алгоритму дефекації техніки зв'язку з аварійними пошкодженнями / В. П. Павлов, Л. М. Сакович // Зв'язок. – 2007. – №6. – С. 54 – 55.

47. Шолудько В.Г. Організація військового зв'язку: навчальний посібник / В.Г. Шолудько, М.Ю. Єсаулов, О.В. Вакуленко, Т.Г. Гурський, М.М. Фомін – К. – ВІТІ. – 2017. – 281 с.

48. Иващенко А.В. Основы моделирования сложных систем на ЭВМ / А.В. Иващенко, Р.П. Сыпченко. – Л.: ЛВВИУС, 1988. – 272с.

49. Чуев Ю.В. Технические задачи исследования операций / Ю.В. Чуев, Г.П. Спехова. – М.: Сов. радио. – М.: 1971. – 244 с.

50. Требования к ремонтпригодности вновь разрабатываемых и модернизируемых средств связи. РТМ. – М.: Воениздат, 1982. – 51 с.

51. Требования по надежности к вновь разрабатываемой и модернизируемой военной технике связи и АСУ. Руководящий технический материал. М.: Воениздат, 1989. – 48 с.

52. Панкова Л.А. Организация экспертиз и анализ экспертной информации. / Л.А. Панкова, А.М. Петровский, М.В. Шнейдерман - М.: Наука, 1984. – 120 с.

53. Мартыщенко Л.А. Методы военно-научных исследований в задачах разработки и испытания вооружения / Л.А. Мартыщенко, В.В. Панов. – Ч.1. – М.: МО, 1981. – 280 с.

54. Литвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа / Литвак Б.Г. – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.

55. Сидельников Ю.В. Теория и организация экспертного прогнозирования. / Сидельников Ю.В. – М.: ИМЭМО АН СССР, 1990. – 196 с.

56. Шмерлин Д.С. Экспертные оценки: методы и применения / Д.С. Шмерлин, С.А. Дубровский. – М.: ЭКСПО, 2001. – 228 с.

57. Коваленко И.И. Экспертные оценки в управлении информационными проектами / И.И. Коваленко, С.В. Драган, М.А.Рыхальський – Николаев: НУК, 2007. – 168 с.

58. Орлов А.И. Экспертные оценки / А.И. Орлов – М.: Наука, 2002. – 150 с.

59. Борисов А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.

60. Леоненко А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и FuzzyTech [Текст] / Санкт-Петербург, «БХВ-Петербург», 2005. – 725 с.

61. Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях Вопросы анализа и процедуры принятия решений: Пер. с англ. / Р. Беллман, Л. Заде // – М.: Мир, 1976. – С. 172-215.

62. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.

63. Борисов А.Н. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, О.А. Крумберг и др. – Рига: Зинатне, 1982. – 256 с.

64. Поспелов Д.А. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 311 с.

65. Гусев Л.А. Размытые множества. Теория и приложения. (Обзор) / Л.А.Гусев, И.М.Смирнова // Автоматика и телемеханика. – 1973. – №5. – С. 66-85.

66. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования / А.Н.Борисов, О.А.Крумберг, И.П.Федоров. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.

67. Недосекин А. Нечеткие множества, любовь моя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fuzzysystems.net>.

68. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А.Орловский. – М.: Наука, 1981. – 208 с.

69. Орлов А.И. Организационно экономическое моделирование. Часть 2. Экспертные оценки / А.И. Орлов – М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 486 с.

70. Раушенбах Г.В. Экспертные оценки в медицине. Научный обзор / Г.В. Раушенбах, О.В.Филиппов.–М.: ВНИИММТИ Минздрава СССР, 1983. – 80 с.

71. Кількісні методи експертного оцінювання: наук.-метод. розробка / уклад.: В.П. Новосад, Р.Г. Селіверстов, І.І. Артım. – К.: НАДУ, 2009. – 36 с.

72. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г.Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.

73. Brockhaus W.L., Mickelsen J. F. An analysis of prior Delphi applications and some observations on its future applicability. – Techol. Forecast. and Soc. Change. – 1977. – Vol. 10., №1. – P. 103-110.

74. Панкова Л.А. Последовательная процедура экспертного опроса /Л.А. Панкова, М. В. Шнейдерман // Автоматика и телемеханика. – 1975. – №8. – С. 73-80.

75. Gordon T. Report on a Long-Range Forecasting Study / T.Gordon, O.Helmer– Santa Monica: Rand Corporation, 1968. – P. 2982.

76. Орлов А. И. Теория принятия решений: Учебное пособие. – М.: Изд-во “Март”, 2004. – 656 с.

77. Ларичев О. И. Выявление экспертных знаний / О.И. Ларичев, А.И. Мечитов – М.: Наука, 1989. – 127 с.

78. Скофенко А.В. О построении функций принадлежности нечетких множеств, соответствующих количественным экспертным оценкам // Наукоеведение и информатика. – Киев: Наук. думка, 1981. – Вып. 22. – С. 70-79.

79. Кузьмин В.Б. Построение групповых решений в пространствах чётких и нечётких бинарных отношений. – М.: Наука, 1982. – 168 с.

80. Нечёткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. с англ. Под ред. Р.Ф. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.

81. Ксёنز С.П. Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления связи и навигации / С.П. Ксёنز, М.К. Полтаржицкий, С.П.Алексеев, В.В.Минеев. – Л.: ВАС, 2010. – 240 с.

82. Ксенз С.П. Разработка диагностического обеспечения и построение автоматизированных систем диагностирования и восстановления техники связи и управления: Пособие по дипломному проектированию / Под ред. проф. С.П. Ксенза. – Л.: ВАС, 1984. – 225 с.

83. Ксенз С.П. Диагностирование средств связи и управления при эксплуатационных отказах и множественных аварийных повреждениях / Под ред. проф. С.П. Ксенза. – Л.: ВАС, 1987. – 172 с.

84. Сакович Л.Н. Техническое диагностирование подсистемы электропитания и управления военной техники связи // Информационно-технический бюллетень начальника связи объединённых вооружённых сил СНГ, №10. – 1991. – С.45-49.

85. Исследование перспективных направлений повышения эффективности системы технической эксплуатации военной техники связи и автоматизации. Отчет о НИР "Новатор" КВИУС, №09581. – К.: 1995. – 212 с.

86. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике / Брахман Т. Р. – М.: Радио и связь, 1984. – 288 с.
87. Демидов Б.А. Методы военно-научных исследований. Ч.3, Кн.1 / Б.А. Демидов – Харьков, ВИРТА ПВО, 1988. – 418 с.
88. Китаев Н.Н. Групповые экспертные оценки. / Китаев Н.Н. – М.: Знание, 1975. – 64 с.
89. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. / Литвак Б.Г. – М.: Патент, 1996. – 272 с.
90. Айзерман М.А. Выбор вариантов (основы теории). / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алескеров – М.: Наука, 1990.- 326 с.
91. Вольский В.И. Голосование в малых группах. Процедуры и методы сравнительного анализа. / В.И. Вольский, З.М. Лезина – М.: Наука, 1991. – 192 с.
92. Дорофеюк А.А. Экспертные методы анализа и совершенствования систем управления / А.А. Дорофеюк, И.В. Покровская, А.Л. Чернявский // Автоматика и телемеханика. 2004. – № 10. – С. 172-188.
93. Сидельников Ю.В. Системный анализ технологии экспертного прогнозирования / Сидельников Ю.В. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2007. – 348 с.
94. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества / Гуткин Л.С – М.: Советское радио, 1975 – 368 с.
95. Рябушкин Т.В. Статистические методы анализа экспертных оценок. / [ред. Т.В. Рябушкин] – М.: Наука, 1977. – 384 с.
96. Масленников В.Е. Особенности отбора экспертов / В.Е. Масленников // Социология. – 2010. – №2. – С. 82-93.
97. Павлов В.П. Методики дефектации военной техники связи при неплановых ремонтах: дис. канд. техн. наук: 20.02.14 / Павлов В.П. – К., 2006. – 182 с.
98. Острейковский В.А. Теория надёжности. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
99. Герасимов Б.М. Проектирование, управление и обработка информации на базе нечётких множеств. – К.: Радиоаматор, 2000. – 180 с.

100. Шмойлова Р.А. Теория статистики: учеб. / Р.А. Шмойлова, В.Г. Минашкин, Н.А. Садовникова, Е.Б. Шувалова. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 656 с.

101. Яковлев М.Ю. Формування вимог до метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку з використанням їх надлишковості під час поточного ремонту / М.Ю. Яковлев, Є.В. Рижов, Л.М. Сакович, О.В. Ходич // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). – 2017. – № 1(7). – С. 5-9.

102. Керівництво з технічного забезпечення зв'язку та автоматизації управління військами Збройних Сил України / Дзюба В.М., Ковальчук Є.Д., Рижаків В.А., Сакович Л.М. і інші. – К.: Воєнне видавництво, 2003. – 259 с.

103. ДСТУ В 3576-97 Експлуатація та ремонт військової техніки. Терміни та визначення. Чинний від 1998.07.01. – К.: Державний стандарт України, 1998. – 60 с.

104. Радиостанция Р-173 Техническое описание и инструкция по эксплуатации ШИ1.101.027 ТО – М.: Воениздат, 1986. – 78 с.

105. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Высш. шк., 2002. – 275 с.

106. Бронштейн И. Н. Справочник по математике (для инженеров и учащихся втузов) / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

107. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход. – М.: Физматлит, 2002. – 176 с.

108. Дослідження можливих варіантів створення перспективного віртуального реконфігурованого вимірювача параметрів та характеристик озброєння та військової техніки Повітряних Сил шифр «Вимірювач 2017»: Звіт про НДР (остаточний) / Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України; кер. Коваленко А. В. ; вик.: Борщ В. В. [та ін.]. – Чернігів, 2017. – 188 с. – № держреєстрації 0101U002288. – Інв. № 1669.

109. Горбатов В.А. Дискретная математика: учебник для студентов вузов / В.А. Горбатов, А.В. Горбатов, М.В. Горбатова. – М.: "Издательство Астрель", 2003. – 448 с.

110. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. Чинний від 1996.01.01. – К.: Державний стандарт України, 1996. – 90 с.

111. Сакович Л. М. Підхід щодо формування вимог до метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку з використанням їх надлишковості під час поточного ремонту / Л. М. Сакович, П. Л. Аркушенко, О. В. Ходич // Застосування космічних та геоінформаційних систем в інтересах національної безпеки та оборони: збірник матеріалів науково-практичної конференції (Київ, 5 квітня 2017 року). – Київ: Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, 2017. – С. 133-135.

112. Шабалин Ю.В. Методы и алгоритмы выбора средств измерений при синтезе системы метрологического обеспечения / Ю.В. Шабалин // Измерительная техника. – 1998. – № 8. – С.64-69.

113. Игнаткин В.У. Оценивание неопределенности при выборе оптимального количества измерений и класса точности средств измерительной техники / В.У. Игнаткин, Л.М. Виткин, В.А. Литвиненко, О.И. Белый // Системи обробки інформації. – 2009. – Вип. 5 (79). – С. 33-36.

114. Сакович Л.Н. Выбор средств измерений для технического обслуживания и текущего ремонта оборудования систем защиты информации / Л. Сакович, В. Рыжаков, В. Павлов // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні. Вип. №7. – К.:НТУУ "КПІ". – 2003. – С. 77-85.

115. Сакович Л.Н. Количественная оценка диагностических ошибок при восстановлении работоспособности техники связи / Л.Н. Сакович, Ю.П. Вансович // Зв'язок. – 2008. – №5-6. – С.58-61.

116. Сакович Л.Н. Количественная оценка математического ожидания максимального отклонения диагноза / Л.Н. Сакович, Ю.П. Вансович // Зв'язок. – 2009. – №3. – С.47-49.

117. Сакович Л.Н. Количественная оценка достоверности диагностирования при устранении аварийных повреждений техники связи / Л.Н. Сакович, Ю.П. Вансович // Зв'язок. – 2010. – №2. – С.47-49.



118. Руководство по оценке правильности применения электрорадиоизделий и средств измерений в аппаратуре военного назначения. – М.: Воениздат, 1982. – 116 с.

119. Сакович Л.Н. Количественная оценка вероятностных характеристик диагностических ошибок при ремонте техники связи / Л.Н. Сакович, В.П. Романенко // Зв'язок. – 2011. – №4. – С.60-62.

120. Розробка інтелектуально-діагностичної системи безпілотних авіаційних комплексів шифр «Інтеграл»: Звіт про НДР (остаточний) / Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України; кер. Камак Ю. О.; вик.: Нестеренко С. О. [та ін.]. – Чернігів. – 2016. – 74 с. – № держреєстрації 0101U001998. – Інв. № 1343.

121. Дослідження можливостей застосування безпілотного авіаційного комплексу «Spectrator» у Збройних Силах України шифр «Струга»: Звіт про НДР (остаточний) / Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України; кер. Камак Ю. О.; вик.: Шлапацький В. О. [та ін.]. – Чернігів. – 2014. – 71 с. – № держреєстрації 0101U001843. – Інв. №155.

122. Дослідження з формування типового програмно-методичного забезпечення випробувань безпілотних авіаційних комплексів різного класифікаційного і функціонального призначення іноземного і вітчизняного виробництва та вимог до експериментальної бази для забезпечення їх оцінювання на відповідність оперативно-тактичним вимогам до БПАК шифр «Алюр»: Звіт про НДР (остаточний) / Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України; кер. Камак Ю. О. ; вик.: Шлапацький В. О. [та ін.]. – Чернігів. – 2015. – 200 с. – № держреєстрації 0101U001849. – Інв. №802.

123. ДСТУ В 3577-97 Види технічного обслуговування. Заміна комплектувальних виробів. Загальні положення. Чинний від 1998.07.01. – К.: Державний стандарт України, 1998. – 10 с.

124. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 150 с.

125. Артемьев Б.Г. Справочное пособие для работников метрологических служб / Б.Г. Артемьев, С.М. Голубев. – М.: Издательство стандартов, 1990.– 428 с.
126. Чинков В.Н. Цифровые измерительные приборы. Учебник. – Министерство обороны. – Харьков: ХВКИУ, 1992. – 546с.
127. Боженко Л.І. Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація: Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2006. – 324 с.
128. ГОСТ 8.009-84 Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 38 с.
129. ГОСТ 8.401-80. ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 15 с.
130. Жих Л.В. Типовые измерительные приборы. – К.: КВВИУС, 1986. – 272 с.
131. Вольтметр универсальный цифровой В7-27 (В7-27А, В7-27А/1). Техническое описание и инструкция по эксплуатации 1981. – 141 с.
132. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях: учебное пособие / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Х.: Консум, 2002. – 256 с.
133. Циделко В.Д. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання: Монографія [Текст] / В.Д. Циделко, Н.А. Яремчук. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2002. – 176 с.
134. ДСТУ-Н РМГ Настанова «Застосування «Настанови з оцінювання невизначеності у вимірюваннях» (РМГ 43-2001, IDТ)» [Текст] – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 19 с.
135. Аркушенко П.Л. Способ формирования требований к средствам измерительной техники диагностических параметров аппаратной связи при техническом обслуживании и текущем ремонте / Л. М. Сакович, П.Л. Аркушенко, О.В. Ходич // Збірник тез доповідей 13 наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору», 12-13 квітня 2017 р. – Харків: ХНУПС, 2017. – С. 242.
136. Короткохвильова радіостанція Р-1150 Посібник по експлуатації ААНЗ.464414.001 РЭ – О.: Телекард-Прилад, 2013. – 205 с. Інв. 53974.

137. Веб-сайт компанії «ЗападПрибор» [Електронний ресурс]: Характеристики засобів вимірювальної техніки – Режим доступу: <http://www.zapadpribor.com>.

138. Методичний посібник про організацію та порядок проведення метрологічної експертизи документації на озброєння та військову техніку, що затверджений наказом начальника Военстандарту Міністерства оборони України за № 51 від 11.11.1999р. – Харків: НМЦ(ВЕ), 1999. – 211 с.

139. Методичний посібник про завдання, обґрунтування та контроль виконання метрологічних вимог до зразків озброєння та військової техніки, які розроблюються (модернізуються), затверджений наказом начальника Военстандарту Міністерства оборони України за № 34 від 29.05.2000р. – Харків: НМЦ(ВЕ), 2000 – 155 с.

140. Демидов Б.А. Организационные и методические основы научно-технического сопровождения вооружения и военной техники / Б.А. Демидов. – Харьков: ХВУ, 1995. – 565с.

141. Аркушенко П.Л. Підхід щодо удосконалення метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку / О. В. Ходич, Л. М. Сакович, П. Л. Аркушенко // Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ». Львів, 11-12 травня 2017 р. – Львів: НАСВ, 2017. – С. 238.

142. Аркушенко П.Л. Підхід щодо формування вимог до метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку в апаратних технічного забезпечення / Л. М. Сакович, П. Л. Аркушенко, О. В. Ходич // Актуальні проблеми проектування, виготовлення і експлуатації озброєння та військової техніки. Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції 17–19 травня 2017 р.: збірник тез доповідей. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – С. 270-272.

## Додаток А

### Матеріали отримання та обробки результатів експертного опитування спеціалістів по метрологічному обслуговуванню військової техніки зв'язку

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації  
м. Київ  
10 територіальний вузол урядового зв'язку  
смт Миропіль Житомирська область



#### КАРТКА ЕКСПЕРТНОГО ОПИТУВАННЯ (відбору кандидатів до експертної групи)

З метою підбору кандидатів до експертної групи, для участі в опитуванні з питання «Метрологічне обслуговування», а саме визначення вагових коефіцієнтів параметрів, які формують порядок, час та вартість вимірювання під час оцінки технічного стану військової техніки зв'язку, просимо Вас вказати прізвище та ініціали кандидатів, які на Вашу думку є фахівцями з даного питання.

Бажано, щоб кандидати задовольняли наступним вимогам:

- мати стаж на посадах керівного або науково-педагогічного складу не менше 5 років;
- бути фахівцем з зазначеного питання експертизи, мати як теоретичний так і практичний досвід у його вирішенні;
- виявляти здатність до творчого мислення та щирий інтерес до своєї роботи;
- відрізнятись вдумливістю та рішучістю;
- вміти і бути схильним відстоювати свою думку при мінімальній схильності примикати до чийої-небудь думки без внутрішньої переконливості в його правильності;
- мати рівний товариський характер, позбавлений жовчності та мстивості;
- мати «документальні дані» (публікації та посилання на ці роботи, вчену ступінь, стаж, посаду тощо);
- не мати безпосередньої зацікавленості в результатах експертизи;
- бути згодним брати участь в експертизі.

Кількість кандидатів до експертної групи може складати від 3 до 10 чоловік.

Обмеження: запропонований експерт має бути з спеціальної кафедри №4 Теоретичних основ експлуатації засобів спеціальних телекомунікаційних систем інституту спеціального зв'язку та захисту інформації (м. Київ) та з 10 територіального вузла урядового зв'язку (смт. Миропіль Житомирська область)

№ з/п	Наукова ступінь та вчене звання, військове звання, прізвище ініціали кандидатів що пропонуються	Прим.
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

\_\_\_\_\_ (наукова ступінь, вчене звання, в/звання, підпис, ініціали, прізвище)

Таблиця А.1 – Зведена відомість відбору кандидатів до експертної групи

№ з/п	Наукова ступінь та вчене звання, військове звання, прізвище ініціали експерта	Кандидати до експертної групи																							Прим.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	д.т.н., професор, пр. Держспецзв'язку Козловський В.В.	■	■				■		■			■				■				■					
2	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Сакович Л.М.		■		■		■			■			■					■		■		■		■	
3	пр. Держспецзв'язку Софієнко І.І.	■	■	■				■	■		■	■		■							■				
4	п/п-к Держспецзв'язку Ходаківський О.М.				■	■		■		■		■	■			■			■						
5	ст. пр-к Держспецзв'язку Горобець В.С.			■		■		■			■					■						■			
6	к.т.н., професор, пр. Держспецзв'язку Дзюба В.М.	■					■			■			■							■				■	
7	п-к Держспецзв'язку Белих Ю.М.		■			■		■				■		■			■				■		■		
8	пр. Держспецзв'язку Калінкін А.А.			■	■		■		■		■				■			■			■	■			
9	к-н Держспецзв'язку Ткачук Н.В.	■				■			■		■	■		■			■					■		■	
10	ст. пр-к Держспецзв'язку Богданович О.М.			■			■				■	■				■	■				■		■		
11	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Павлов В.П.		■				■		■			■			■	■			■		■				

Продовж. табл. А.1

12	пр. Держспецзв'язку Дяченко Ю.Г.	■		■					■			■												
13	ст. пр-к Держспецзв'язку Лещенко М.А.			■					■		■					■	■			■				
14	доцент, пр. Держспецзв'язку Жеребило В.Д.		■		■		■				■			■										
15	п-к Держспецзв'язку Кіпращ Р.О.		■	■		■		■		■			■				■					■		
16	к.т.н., п-к Держспецзв'язку Романенко В.П.		■	■			■			■			■	■			■							
17	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Грохольский Я.М.	■		■			■			■	■			■		■								
18	м-р Держспецзв'язку Василюк Ю.С.			■	■	■				■			■			■				■			■	
19	пр. Держспецзв'язку Морозов Г.С.					■	■			■		■				■	■			■		■		
20	к.в.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Желнов А.І.	■	■	■			■			■		■		■			■							
21	ст. пр-к Держспецзв'язку Омельчук С.М.			■		■			■						■			■	■			■		
22	п-к Держспецзв'язку Бемяк В.В.			■		■		■	■	■			■		■	■				■	■			
23	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Лівенцев С.П.		■	■		■			■			■				■						■		

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації  
м. Київ  
10 територіальний вузол урядового зв'язку  
смт Миропіль Житомирська область



### КАРТКА ЕКСПЕРТНОГО ОПИТУВАННЯ (визначення коефіцієнту авторитету експертів)

З метою проведення експертного опитування з питання «Метрологічне обслуговування», а саме визначення вагових коефіцієнтів параметрів, які формують порядок, час та вартість вимірювання під час оцінки технічного стану військової техніки зв'язку, просимо Вас оцінити експертів, та дати собі самооцінку, відповідно до коефіцієнту авторитету ( $\omega$ ).

Коефіцієнт авторитету  $\omega$  прийнято називати число, яке показує, з якою вагою слід включати в статистичну обробку кількісні оцінки даного експерта. Коефіцієнт авторитету характеризує ступінь компетентності експерта, і має знаходитись в межах  $0 \div 1$ . Найчастіше коефіцієнти авторитету виражаються в нормованій формі, коли максимальному авторитету приписується коефіцієнт  $\omega = 1$ , а менш компетентні експерти мають  $\omega < 1$ . Некомпетентний експерт отримує  $\omega = 0$ .

При самооцінці експерт сам в досить деталізованому вигляді визначає ступінь свого знайомства з предметом експертизи. На підставі самооцінки може бути визначений коефіцієнт авторитету експерта. Для самоаналізу експерт вказує:

- 1) ступінь свого знайомства з даним питанням – СЗ, і має знаходитись в межах  $0 \div 1$ ;
- 2) та ступінь аргументованості – СА, і знаходиться в межах  $0 \div 1$ .

Тоді коефіцієнт авторитету  $\omega$  визначається як середнє арифметичне ступеня знайомства і аргументованості:  $\omega = (СЗ + СА) / 2$ .

При оцінці (самооцінці, ступінь аргументованості) експертів просимо Вас брати до уваги наступні вимоги:

- мати стаж на посадах керівного або науково-педагогічного складу не менше 5 років;
- бути фахівцем з зазначеного питання експертизи, мати як теоретичний так і практичний досвід у його вирішенні;
- виявляти здатність до творчого мислення та щирий інтерес до своєї роботи;
- відрізнятись вдумливістю та рішучістю;
- вміти і бути схильним відстоювати свою думку при мінімальній схильності примикати до чієї-небудь думки без внутрішньої переконливості в його правильності;
- мати рівний товариський характер, позбавлений жовчності та мстивості;
- мати «документальні дані» (публікації та посилання на ці роботи, вчену ступінь, стаж, посаду тощо);
- не мати безпосередньої зацікавленості в результатах експертизи;
- бути згодним брати участь в експертизі.

**1. Місце Вашої роботи** \_\_\_\_\_

**2. Посада що займається Вами, або займалась, коли Ви були знайомі з предметом експертизи** \_\_\_\_\_

**3. Стаж роботи на посаді** \_\_\_\_\_

**4. Науковий ступінь та вчене звання** \_\_\_\_\_

№ з/п	Наукова ступінь та вчене звання, військове звання, прізвище ініціали експерта	Коефіцієнт авторитету експерта	Прим.
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			

“ \_\_\_ “ \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

\_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вчене звання, в/звання, підпис, ініціали, прізвище)

Дякуємо за співпрацю.



Таблиця А.2 – Зведена відомість коефіцієнтів авторитетів експертів

№ з/п	Наукова ступінь та вчене звання, військове звання, прізвище ініціали експерта	Оцінка авторитету експерта / самооцінка																							Прим.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	д.т.н., професор, пр Держспецзв'язку Козловський В.В.	1	1	1	0,7	0,5	0,8	0,6	1	0,7	1	1	0,5	0,7	0,6	0,8	0,7	0,2	0,8	0,8	0,9	0,6	0,7	1	
2	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Сакович Л.М.	0,6	0,9	0,7	0,5	0,6	1	0,7	0,8	0,6	0,8	0,9	0,3	0,5	0,7	0,9	0,6	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,8	
3	пр. Держспецзв'язку Софієнко І.І.	0,5	0,8	1	0,6	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,4	0,5	0,8	0,6	0,5	0,5	0,6	0,9	0,8	0,6	0,8	
4	п/п-к Держспецзв'язку Ходаківський О.М.	0,7	0,5	0,4	0,6	0,8	0,7	1	0,6	0,4	0,9	0,7	0,7	0,5	0,4	0,6	0,5	0,3	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,6	
5	ст. пр-к Держспецзв'язку Горобець В.С.	1	0,7	0,9	0,5	0,7	0,8	0,7	1	0,5	0,6	1	0,5	0,6	0,6	1	0,4	0,4	0,7	0,8	1	0,6	0,7	0,9	
6	к.т.н., професор, пр. Держспецзв'язку Дзюба В.М.	0,7	0,9	1	0,5	0,8	0,9	0,6	0,8	0,4	0,8	0,9	0,3	0,5	0,7	0,9	0,6	0,4	0,5	0,7	0,9	0,6	0,5	0,8	
7	п-к Держспецзв'язку Белих Ю.М.	0,5	0,8	0,6	0,7	1	0,6	0,8	0,7	0,7	0,5	0,8	0,8	0,6	1	0,7	0,7	0,5	0,9	0,4	0,7	1	0,8	0,6	
8	пр. Держспецзв'язку Калінкін А.А.	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5	0,9	0,7	0,9	0,5	0,8	0,9	0,6	0,5	0,5	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4	0,8	0,7	0,3	1	
9	к-н Держспецзв'язку Ткачук Н.В.	0,7	0,9	1	0,5	0,4	0,8	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	0,9	0,3	0,3	0,5	0,6	0,5	0,8	0,7	0,7	
10	ст. пр-к Держспецзв'язку Богданович О.М.	0,6	0,8	0,5	0,3	0,2	0,9	1	0,7	0,4	0,7	0,5	0,5	0,6	0,8	0,5	0,4	0,6	0,7	0,5	0,8	0,5	0,4	0,8	
11	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Павлов В.П.	0,9	1	1	0,5	0,5	1	0,8	0,6	0,5	0,8	1	0,3	0,4	0,9	0,9	0,5	0,5	0,6	0,8	1	0,7	0,3	0,4	

Продовж. табл. А.2

12	пр. Держспецзв'язку Дяченко Ю.Г.	0,4	0,5	0,9	0,3	0,2	0,6	0,7	1	0,4	0,9	0,9	0,5	0,6	0,7	0,6	0,4	0,8	0,4	0,9	0,5	0,9	0,6	0,7	
13	ст. пр-к Держспецзв'язку Лещенко М.А.	0,9	0,7	0,8	0,7	0,5	0,9	0,7	0,5	0,8	1	1	0,6	0,4	0,3	0,8	0,6	0,9	0,7	0,4	0,9	0,8	0,5	0,4	
14	доцент, пр. Держспецзв'язку Жеребило В.Д.	0,6	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,9	1	0,3	0,6	0,7	0,9	0,7	0,5	0,7	0,5	0,8	0,5	0,6	0,8	0,4	0,4	0,5	
15	п-к Держспецзв'язку Кіпращ Р.О.	0,9	1	1	0,5	0,9	0,9	0,7	0,8	0,4	0,4	0,7	0,5	0,3	0,6	1	0,5	0,7	0,6	0,8	0,9	0,8	0,3	0,6	
16	п-к Держспецзв'язку Романенко В.П.	0,8	0,8	0,9	0,5	0,6	0,7	0,6	0,9	0,3	0,5	1	0,3	0,4	0,4	0,9	0,5	0,2	0,2	0,6	0,7	0,7	0,5	0,8	
17	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Грохольский Я.М.	0,7	0,6	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,9	0,4	0,5	0,5	0,8	0,7	0,3	0,5	0,6	0,8	0,8	0,6	0,9	
18	м-р Держспецзв'язку Василіук Ю.С.	0,4	0,8	1	0,3	0,3	0,6	0,8	0,7	0,3	0,7	1	0,2	0,3	0,3	0,7	0,4	0,2	0,5	0,6	0,9	0,5	0,2	1	
19	пр. Держспецзв'язку Морозов Г.С.	0,6	0,7	0,9	0,2	0,3	0,7	0,4	0,5	0,2	0,6	0,9	0,3	0,6	0,6	0,6	0,7	0,3	0,5	0,5	0,7	1	0,3	0,8	
20	к.в.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Желнов А.І.	0,8	0,6	0,7	0,7	0,3	0,5	0,7	0,5	0,3	0,8	1	0,3	0,7	0,4	0,7	0,6	0,3	0,7	0,9	1	0,7	0,7	0,5	
21	ст. пр-к Держспецзв'язку Омельчук С.М.	0,4	0,8	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7	0,7	0,2	0,4	0,5	0,8	0,4	0,2	0,4	0,7	0,9	0,8	0,6	0,7	
22	п-к Держспецзв'язку Беяк В.В.	0,3	1	1	0,4	0,7	0,8	0,5	0,9	0,5	0,4	0,8	0,5	0,3	0,6	1	0,5	0,5	0,8	0,5	0,6	0,6	0,5	0,9	
23	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Лівенцев С.П.	0,9	0,5	0,9	0,6	0,8	1	0,9	1	0,4	0,6	0,9	0,4	0,5	0,3	0,6	0,6	0,8	0,6	0,8	0,7	0,8	0,5	0,7	

## Лістинг програми розрахунку значень експертного опитування

```

k=23;
i=1:k;
x1=[1 1 1 0.7 0.5 0.8 0.6 1 0.7 1 1 0.5 0.7 0.6 0.8 0.7 0.2 0.8 0.8 0.9 0.6 0.7
1];
m=[1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
X1=sum(x1.*m)./sum(m)% 1 ітерація
s1=(1/(k-1)).*sum((x1-X1).^2)% сігма 1 ітерації
y=exp(-((x1-X1).^2)/(2*s1)); %1 ітерація
y1=(1/k)*sum(y) %1 ітерація коеф. авторитету
m=y;
X2=sum(x1.*m)./sum(m)% 2 ітерація
s2=(1/(k-1)).*sum((x1-X2).^2)% сігма 2 ітерації
y=exp(-((x1-X2).^2)/(2*s2)); %2 ітерація
y2=(1/k)*sum(y) %2 ітерація коеф. авторитету
m=y;
X3=sum(x1.*m)./sum(m)% 3 ітерація
s3=(1/(k-1)).*sum((x1-X3).^2)% сігма 3 ітерації
y=exp(-((x1-X3).^2)/(2*s3)); %3 ітерація
y3=(1/k)*sum(y) %3 ітерація коеф. авторитету
m=y;
X4=sum(x1.*m)./sum(m)% 4 ітерація
s4=(1/(k-1)).*sum((x1-X4).^2)% сігма 4 ітерації
y=exp(-((x1-X4).^2)/(2*s4)); %4 ітерація
y4=(1/k)*sum(y) %4 ітерація коеф. авторитету

```

Таблиця А.3 – Відомість ітерацій по знаходженню коефіцієнта авторитета експертів

№ з/п	Наукова ступінь та вчене звання, військове звання, прізвище ініціали експерта	1 ітерація			2 ітерація			3 ітерація			4 ітерація (граничні значення)		
		$\bar{x}_1$	$\sigma_1^2$	$\bar{\omega}_1$	$\bar{x}_2$	$\sigma_2^2$	$\bar{\omega}_2$	$\bar{x}_3$	$\sigma_3^2$	$\bar{\omega}_3$	$\bar{x}_2$	$\sigma_2^2$	$\bar{\omega}_2$
1	д.т.н., професор, пр Держспецзв'язку Козловський В.В.	0,76521	0,04418	0,71342	0,77731	0,04434	0,71586	0,78362	0,04454	0,71719	0,78691	0,04468	0,71789
2	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Сакович Л.М.	0,68695	0,03209	0,69634	0,69206	0,03212	0,69695	0,69489	0,03216	0,69731	0,69646	0,03218	0,69752
3	пр. Держспецзв'язку Софієнко І.І.	0,66086	0,02249	0,69712	0,65156	0,02258	0,69999	0,64642	0,02270	0,70170	0,64364	0,02280	0,70265
4	п/п-к Держспецзв'язку Ходаківський О.М.	0,60869	0,02719	0,72428	0,60362	0,02722	0,72493	0,60136	0,02724	0,72520	0,60035	0,02726	0,72532
5	ст. пр-к Держспецзв'язку Горобець В.С.	0,72173	0,03996	0,67637	0,71301	0,04004	0,67784	0,70761	0,04016	0,67890	0,70434	0,04027	0,67960
6	к.т.н., професор, пр. Держспецзв'язку Дзюба В.М.	0,68260	0,03877	0,67578	0,69295	0,03888	0,67793	0,69952	0,03907	0,67957	0,70363	0,03923	0,68070
7	п-к Держспецзв'язку Белих Ю.М.	0,71304	0,02754	0,70438	0,70695	0,02758	0,70534	0,70391	0,02763	0,70583	0,70239	0,02766	0,70607
8	пр. Держспецзв'язку Калінкін А.А.	0,65652	0,03075	0,70208	0,64626	0,03086	0,70455	0,64100	0,03100	0,70584	0,63839	0,03109	0,70648
9	к-н Держспецзв'язку Ткачук Н.В.	0,59130	0,03992	0,69320	0,57576	0,04017	0,69766	0,56730	0,04052	0,70023	0,56286	0,04076	0,70160
10	ст. пр-к Держспецзв'язку Богданович О.М.	0,57391	0,05474	0,71815	0,58350	0,05483	0,71935	0,58810	0,05495	0,71991	0,59031	0,05502	0,72018
11	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Павлов В.П.	0,69130	0,05992	0,65884	0,69500	0,05993	0,65903	0,69769	0,05996	0,65921	0,69962	0,05999	0,65936
12	пр. Держспецзв'язку Дяченко Ю.Г.	0,62608	0,05019	0,68025	0,62143	0,05022	0,68058	0,61858	0,05025	0,68082	0,61685	0,05028	0,68098
13	ст. пр-к Держспецзв'язку Лещенко М.А.	0,68695	0,04300	0,67810	0,70066	0,04320	0,68145	0,70904	0,04351	0,68383	0,71400	0,04376	0,68532
14	доцент, пр. Держспецзв'язку Жеребило В.Д.	0,62608	0,04565	0,68028	0,62163	0,04567	0,68061	0,61892	0,04570	0,68085	0,61728	0,04573	0,68100

Продовж. табл. А.3

15	п-к Держспецзв'язку Кіпрач Р.О.	0,68695	0,05027	0,67611	0,69782	0,05040	0,67793	0,70464	0,05060	0,67929	0,70887	0,05077	0,68022
16	к.т.н., п-к Держспецзв'язку Романенко В.П.	0,60000	0,05454	0,68414	0,60550	0,05457	0,68456	0,60876	0,05462	0,68485	0,61069	0,05466	0,68503
17	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Грохольський Я.М.	0,62173	0,02450	0,70102	0,61025	0,02464	0,70489	0,60440	0,02481	0,70688	0,60156	0,02493	0,70784
18	м-р Держспецзв'язку Василюк Ю.С.	0,55217	0,07533	0,67003	0,53038	0,07583	0,67496	0,51628	0,07668	0,67880	0,50755	0,07741	0,68136
19	пр. Держспецзв'язку Морозов Г.С.	0,56086	0,05158	0,69273	0,56316	0,05158	0,69281	0,56443	0,05159	0,69285	0,56513	0,05160	0,69288
20	к.в.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Желнов А.І.	0,62608	0,04474	0,69933	0,63764	0,04488	0,70147	0,64353	0,04506	0,70258	0,64646	0,04517	0,70313
21	ст. пр-к Держспецзв'язку Омельчук С.М.	0,57391	0,03656	0,69534	0,57988	0,03659	0,69607	0,58321	0,03665	0,69652	0,58507	0,03669	0,69678
22	п-к Держспецзв'язку Беляк В.В.	0,63478	0,04964	0,67794	0,60984	0,05029	0,68738	0,59525	0,05127	0,69340	0,58752	0,05197	0,69659
23	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Лівенцев С.П.	0,68695	0,04027	0,68042	0,69056	0,04029	0,68067	0,69279	0,04031	0,68085	0,69416	0,04033	0,68098

Таблиця А.4 – Відомість рейтингу експертів

№ з/п	Наукова ступінь та вчене звання, військове звання, прізвище ініціали експерта	рейтинг	
		Значення $R_i$	місце
1	д.т.н., професор, пр. Держспецзв'язку Козловський В.В.	0,56491	1
2	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Сакович Л.М.	0,48579	4
3	пр. Держспецзв'язку Софієнко І.І.	0,45225	11
4	п/п-к Держспецзв'язку Ходахівський О.М.	0,43544	13
5	ст. пр-к Держспецзв'язку Горобець В.С.	0,47866	7
6	к.т.н., професор, пр. Держспецзв'язку Дзюба В.М.	0,47896	6
7	п-к Держспецзв'язку Бєлих Ю.М.	0,49593	2
8	пр. Держспецзв'язку Калінкін А.А.	0,45100	12
9	к-н Держспецзв'язку Ткачук Н.В.	0,39490	21
10	ст. пр-к Держспецзв'язку Богданович О.М.	0,42512	15
11	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Павлов В.П.	0,46130	9
12	пр. Держспецзв'язку Дяченко Ю.Г.	0,42006	17
13	ст. пр-к Держспецзв'язку Лещенко М.А.	0,48931	3
14	доцент, пр. Держспецзв'язку Жеребило В.Д.	0,42036	16
15	п-к Держспецзв'язку Кіпрач Р.О.	0,48218	5
16	к.т.н., п-к Держспецзв'язку Романенко В.П.	0,41834	18
17	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Грохольський Я.М.	0,42580	14
18	м-р Держспецзв'язку Василюк Ю.С.	0,34582	23
19	пр. Держспецзв'язку Морозов Г.С.	0,39156	22
20	к.в.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Желнов А.І.	0,45454	10
21	ст. пр-к Держспецзв'язку Омельчук С.М.	0,40766	20
22	п-к Держспецзв'язку Бєляк В.В.	0,40926	19
23	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Лівенцев С.П.	0,47270	8

Таблиця А.5 – Відомість експертної групи

№ з/п	Наукова ступінь та вчене звання, військове звання, прізвище ініціали експерта	рейтинг	
		Значення	місце
1	д.т.н., професор, пр. Держспецзв'язку Козловський В.В.	0,56491	1
2	п-к Держспецзв'язку Бєлих Ю.М.	0,49593	2
3	ст. пр-к Держспецзв'язку Лещенко М.А.	0,48931	3
4	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Сакович Л.М.	0,48579	4
5	п-к Держспецзв'язку Кіпрач Р.О.	0,48218	5
6	к.т.н., професор, пр. Держспецзв'язку Дзюба В.М.	0,47896	6
7	ст. пр-к Держспецзв'язку Горобець В.С.	0,47866	7
8	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Лівенцев С.П.	0,47270	8
9	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Павлов В.П.	0,46130	9
10	к.в.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Желнов А.І.	0,45454	10
11	пр. Держспецзв'язку Софієнко І.І.	0,45225	11
12	пр. Держспецзв'язку Калінкін А.А.	0,45100	12

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації  
м. Київ  
10 територіальний вузол урядового зв'язку  
с/мт Миропіль Житомирська область



**КАРТКА ЕКСПЕРТНОГО ОПИТУВАННЯ**  
(оцінка важливості вагових коефіцієнтів параметрів  
радіостанції тактичної ланки управління Р-173)

З метою проведення експертного опитування з питання «Метрологічне обслуговування», а саме визначення вагових коефіцієнтів параметрів, які формують порядок та час вимірювання під час оцінки технічного стану військової техніки зв'язку, просимо Вас визначити їх важливість табл. 2, а саме:

- відносна важливість параметрів  $R_{Pi}$ ;
- кількості елементів, що використовуються для його формування  $Re_i$ ;
- час вимірювання параметрів  $R_{Ci}$ ;
- вартість вимірювання параметрів  $R_{Vi}$ .

Для оцінки важливості параметрів радіостанції тактичної ланки управління Р-173 просимо використовувати градації, наведені в шкалі табл. 1.

Таблиця 1– Шкала оцінки важливості параметрів

Кількісна оцінка	Якісна оцінка	Пояснення
1	Однакова важливість	Параметри однакові за важливістю
3	Мало важливі	Існують не надто переконливі дані про перевагу одних параметрів перед іншими
5	Значно важливіше	Існує хороший доказ того, що параметри більш важливі
7	Очевидно важливіше	Існує переконливий доказ, що параметр більш важливий
9	Абсолютно важливіше	Максимально підтверджується відчутність переваги параметрів
2, 4, 6, 8	Проміжні оцінки	Необхідність компромісів

Таблиця 2

№ з/п	Наукова ступінь та вчене звання, військово-вчене звання, прізвище ініціали експерта	$R_{Pi}$	$Re_i$	$R_{Ci}$	$R_{Vi}$	Прим.
1.						

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

\_\_\_\_\_ (наукова ступінь, вчене звання, в/звання, підпис, ініціали, прізвище)

Таблиця А.6 – Зведена відомість оцінки важливості вагових коефіцієнтів параметрів радіостанції тактичної ланки управління Р-173

№ з/п	Наукова ступінь та вчене звання, військове звання, прізвище ініціали експерта	$R_{Pi}$	$R_{Ei}$	$R_{Ci}$	$R_{Vi}$
1	д.т.н., проф, пр. Держспецзв'язку Козловський В.В	9	4	4	3
2	п-к Держспецзв'язку Белих Ю.М.	8	6	6	5
3	ст. пр-к Держспецзв'язку Лещенко М.А.	10	6	4	3
4	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Сакович Л.М.	8	3	2	1
5	п-к Держспецзв'язку Кіпращ Р.О.	10	7	3	2
6	к.т.н., професор, пр. Держспецзв'язку Дзюба В.М.	9	5	2	1
7	ст. пр-к Держспецзв'язку Горобець В.С.	10	6	3	2
8	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Лівенцев С.П.	8	5	2	1
9	к.т.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Павлов В.П.	9	6	4	3
10	к.в.н., доцент, пр. Держспецзв'язку Желнов А.І.	10	7	5	4
11	пр. Держспецзв'язку Софієнко І.І.	8	6	4	3
12	пр. Держспецзв'язку Калінкін А.А.	9	5	3	2

Таблиця А.7 – Нормування значень експертних оцінок

Експерт	Ваговий коефіцієнт параметрів				$\sum_{i=1}^4 K_i$
	$K_{Pi}$	$K_{Ei}$	$K_{Ci}$	$K_{Vi}$	
1	0,4500	0,2000	0,2000	0,1500	1,0
2	0,3200	0,2400	0,2400	0,2000	1,0
3	0,4348	0,2608	0,1739	0,1304	1,0
4	0,5714	0,2142	0,1428	0,0710	1,0
5	0,4545	0,3181	0,1363	0,0910	1,0
6	0,5294	0,2941	0,1176	0,0588	1,0
7	0,4762	0,2857	0,1428	0,0952	1,0
8	0,5000	0,3125	0,1250	0,0625	1,0
9	0,4090	0,2727	0,1818	0,1363	1,0
10	0,3846	0,2692	0,1923	0,1538	1,0
11	0,3809	0,2857	0,1904	0,1428	1,0
12	0,4737	0,2631	0,1579	0,1052	1,0

#### Розрахунок коефіцієнта конкордації Кендалла

На основі даних анкетного опитування складено зведену матрицю рангів, яка наведена в таблиці А.8.

Таблиця А.8 – Зведена матриця рангів

Номер місця в упорядкованому ряді	Ваговий коефіцієнт параметрів	Експерт											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	$R_{Pi}$	9	8	10	8	10	9	10	8	9	10	8	9
2	$R_{Ei}$	4	6	6	3	7	5	6	5	6	7	6	5
3	$R_{Ci}$	4	6	4	2	3	2	3	2	4	5	4	3
4	$R_{Vi}$	3	5	3	1	2	12	2	1	3	4	3	2



Так як в матриці є пов'язані ранги (однаковий ранговий номер) в оцінках першого експерта, зробимо їх переформування. Переформування рангів проводиться без зміни думки експерта, тобто між ранговими номерами повинні зберегтися відповідні співвідношення (більше, менше або дорівнює). Також не рекомендується ставити ранг вище 1 і нижче значення рівного кількості параметрів (в даному випадку  $n=4$ ). Переформування рангів проводяться в таблиці А.9.

Таблиця А.9 – Переформування рангів

Номер місця в упорядкованому ряді	Розміщення вагових коефіцієнтів параметрів за оцінкою експерта	Нові ранги
1 ( $R_{\Pi_i}$ )	3	1
2 ( $R_{E_i}$ )	4	2,5
3 ( $R_{\chi_i}$ )	9	4
4 ( $R_{\theta_i}$ )	4	2,5

Так як в матриці є пов'язані ранги в оцінках другого експерта, робимо їх переформування в таблиці А.10.

Таблиця А.10 – Переформування рангів

Номер місця в упорядкованому ряді	Розміщення вагових коефіцієнтів параметрів за оцінкою експерта	Нові ранги
1 ( $R_{\Pi_i}$ )	5	1
2 ( $R_{E_i}$ )	6	2,5
3 ( $R_{\chi_i}$ )	8	4
4 ( $R_{\theta_i}$ )	6	2,5

На підставі переформування рангів будується нова матриця рангів (таблиця А.11).

Таблиця А.11 – Нова матриця рангів

Номер місця в упорядкованому ряді	Експерт												Сума рангів	$d$	$d^2$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1 ( $R_{\Pi_i}$ )	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48	18	324
2 ( $R_{E_i}$ )	2,5	2,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	35	5	25
3 ( $R_{\chi_i}$ )	2,5	2,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	12	-18	324
4 ( $R_{\theta_i}$ )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25	-5	25
$\Sigma$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	120	-	698

Середнє арифметичне суми рангів знаходимо за формулою:

$$d = \sum_{i=1}^k x_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k x_{ij}}{n} = \sum_{i=1}^k x_{ij} - 30.$$

Перевіримо правильність складання матриці на основі обчислення контрольної суми:

$$\sum_{i=1}^k x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2} = \frac{(1+4)4}{2} = 10.$$

Суми у стовпчиках матриці рівні між собою і контрольної суми, тобто, матриця складена правильно.

Для оцінки середнього ступеня узгодженості думок всіх експертів скористаємося коефіцієнтом конкордації Кенделла  $W$  для випадку, коли є пов'язані ранги, тобто однакові значення рангів в оцінках одного експерта. Коефіцієнт конкордації Кендалла для  $n$  факторів, що аналізуються, та  $k$  експертів розраховується за наступною формулою:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}k^2(n^3 - n) - k \sum_{i=1}^{L_i} T_i},$$

де  $S$  – квадрат відхилення сум рангів;

$n$  – кількість факторів, які оцінювали експерти;

$T_i$  – показник зв'язаних рангів в  $i$ -му ранжуванні.

Для знаходження показника зв'язаних рангів використаємо формулу:

$$T_i = \frac{1}{12} \sum_{l=1}^{L_i} (t_l^3 - t_l) = \frac{1}{12} \sum_{l=1}^{L_i} t_l(t_l^2 - 1),$$

де  $L_i$  – кількість зв'язків (видів повторюваних елементів) в оцінках  $i$ -го експерта;

$t_l$  – кількість елементів у  $l$ -й зв'язці для  $i$ -го експерта (кількість елементів, що повторюються). Якщо зв'язаних елементів немає, то  $T_i$  дорівнює нулю. В такому разі отримуємо:

$$T_1 = [(2^3 - 2)]/12 = 0,5, \quad T_2 = [(2^3 - 2)]/12 = 0,5,$$

$$\sum_{i=1}^2 T_i = 0,5 + 0,5 = 1.$$

У відповідності з табл. 4 маємо:

$$W = \frac{698}{\frac{1}{12}12^2(4^3 - 4) - 12 \cdot 1} = \frac{698}{12 \cdot 60 - 12} = 0,99,$$

що свідчить про наявність високого ступеня узгодженості думок експертів.

## Додаток Б

### Акти впровадження результатів дослідження

  
**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
 Начальник Метрологічного центру  
 військових еталонів Збройних Сил України  
 полковник  
  
 О.В. ДЗИСЮК  
 « 19 » 2018 р.

#### АКТ

щодо впровадження результатів дисертаційної роботи  
**АРКУШЕНКО Павла Леонідовича** на здобуття наукового ступеня кандидата  
 технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та  
 метрологічне забезпечення

Даний акт складений про те, що при виконанні робіт здобувачем Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного Аркушенко П.Л. особисто отримано наступні основні результати:

- розроблена методика обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку;
- розроблена методика вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням метрологічної надійності;
- розроблена методика вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і ремонту військової техніки зв'язку на показники її метрологічного обслуговування та помилки діагностування;
- обґрунтовано практичні рекомендації щодо застосування комплексної методики метрологічної експертизи військової техніки зв'язку.

Вищезазначені результати, а також пропозиції щодо практичного використання результатів дослідження впровадженні в Метрологічному центрі військових еталонів Збройних Сил України для їх використання при проведенні метрологічної експертизи технологічної, конструкторської та експлуатаційної документації на військову техніку зв'язку.

Цей Акт не є підставою для фінансових взаєморозрахунків.

Начальник науково-дослідного відділу військових еталонів – заступник  
 начальника Метрологічного центру військових еталонів Збройних Сил  
 України  
 полковник



В.М. БОЙКО



ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ВИПРОБУВАЛЬНИЙ ЦЕНТР  
ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ



МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ  
НАУКОВО-ВИПРОБУВАЛЬНИЙ ЦЕНТР  
ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Стрелецька, 1  
Чернігів, 14033

Код ЄДРПОУ 26614573

26.01.2018 № 70/16.18/070

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник Державного науково-випробувального центру Збройних Сил України,

Лауреат Державної премії України в галузі науки та техніки,  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник

В.Г.БАШИНСЬКИЙ

"26" 01 2018 р.



**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

результатів досліджень дисертаційної роботи  
Аркушенко Павла Леонідовича при проведенні визначальних відомчих  
випробувань ультракороткохвильової радіостанції  
авіаційного діапазону Р-807

Комісія у складі голови комісії: Дмитрієва Володимира Анатольовича, заступника начальника ДНВЦ ЗС України з наукової роботи, Лауреата Державної премії України в галузі науки та техніки, к.т.н., с.н.с. та членів комісії: Походенка Олександра Миколайовича, начальника відділу ДНВЦ ЗС України, Коваленка Андрія Володимировича, начальника відділу ДНВЦ ЗС України з'ясувала, що в ДНВЦ ЗС України в процесі проведення визначальних відомчих випробувань ультракороткохвильової радіостанції авіаційного діапазону Р-807 впроваджено розроблені Аркушенко Павлом Леонідовичем такі наукові результати:

1) методика обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку;

2) методика вибору засобів вимірювальної техніки для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням їх метрологічної надійності.

Застосування методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів та методики вибору засобів вимірювальної техніки для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням їх метрологічної надійності, дозволило удосконалити метрологічну експертизу військової техніки зв'язку та забезпечити скорочення витрат на метрологічне обслуговування засобів вимірювальної техніки.

Даний акт не підставою для фінансових розрахунків.

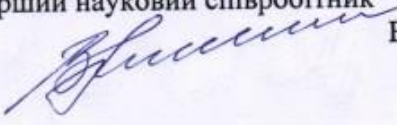
Ефект від впровадження цих наукових результатів полягає в тому, що вони дозволяють на практиці:

- при поточному ремонті знизити на 9 % середній час відновлення радіостанції Р-807;

- в процесі ремонту агрегатним методом, при наявності кратних дефектів та слабкому ступені пошкодження, скоротити середній час відновлення радіостанції Р-807 на 37 %, в порівнянні з найкращими з відомих методик.

Голова комісії:

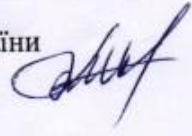
Заступник начальника ДНВЦ ЗС України з наукової роботи,  
Лауреат Державної премії України в галузі науки та техніки,  
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

  
В.А.ДМИТРИЄВ

“ 26 ” \_\_\_\_\_ 01 \_\_\_\_\_ 2018 р.


Члени комісії:

Начальник відділу ДНВЦ ЗС України

  
О.М.ПОХОДЕНКО

“ 26 ” \_\_\_\_\_ 01 \_\_\_\_\_ 2018 р.

Начальник відділу ДНВЦ ЗС України

  
А.В.КОВАЛЕНКО

“ 26 ” \_\_\_\_\_ 01 \_\_\_\_\_ 2018 р.



Прим. № 1

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник Державного науково-дослідного інституту спеціального зв'язку, к.т.н.

С.С. ГНАТЮК

“ 20 ” 12 2017 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

результатів досліджень дисертаційної роботи  
 Аркушенко Павла Леонідовича в дослідно-конструкторській роботі  
 “Створення станції тропосферного зв'язку зі складним сигналом”  
 (ДКР, шифр “Міраж”)

Комісія у складі голови комісії: Паламарчука Андрія Андрійовича, головного наукового співробітника науково-дослідного центру ДержНДІ Спецзв'язку, к.т.н. та членів комісії: Стефанишина Ярослава Івановича, провідного інженера науково-дослідного центру ДержНДІ Спецзв'язку, Усенка Сергія Степановича, провідного інженера науково-дослідного центру ДержНДІ Спецзв'язку з'ясувала, що в ДержНДІ Спецзв'язку в процесі виконання в дослідно-конструкторській роботі “Створення станції тропосферного зв'язку зі складним сигналом” (ДКР, шифр “Міраж”) впроваджено розроблені Аркушенко Павлом Леонідовичем такі наукові результати:

- 1) методика обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку;
- 2) методика вибору засобів вимірювальної техніки для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням їх метрологічної надійності;
- 3) методика вибору засобів вимірювальної техніки для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку, яка враховує вплив якості алгоритмів обслуговування і ремонту.

Ефект від впровадження цих наукових результатів полягає в тому, що вони дозволяють на практиці:

- при поточному ремонті знизити на 9 % середній час відновлення станції тропосферного зв'язку;
- в процесі ремонту агрегатним методом, при наявності кратних дефектів та слабкому ступені пошкодження, скоротити середній час відновлення станції тропосферного зв'язку на 37 %, в порівнянні з найкращими з відомих методик.

Голова комісії:

головний науковий співробітник науково-дослідного центру ДержНДІ Спецзв'язку, к.т.н.

“ 13 ” 12 2017 р.

ПАЛАМАРЧУК А.А.

Члени комісії:

провідний інженер науково-дослідного центру ДержНДІ Спецзв'язку

“ 12 ” 12 2017 р.

СТЕФАНИШИН Я.І.

провідний інженер науково-дослідного центру ДержНДІ Спецзв'язку

“ 12 ” 12 2017 р.

УСЕНКО С.С.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у наукових фахових виданнях України

1. Аркушенко П. Л. Економічні аспекти оцінки ефективності метрологічного забезпечення / П. Л. Аркушенко, В. А. Дружинін, В. В. Хіміч, О. Т. Гордієвський // Збірник наукових праць: Державна прикордонна служба України. Національна академія Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. Серія: Військові та технічні науки. – Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2012. – № 57. – С. 146-148.
2. Аркушенко П. Л. Математична модель експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення / П. Л. Аркушенко, О. П. Флорін, О. О. Воронін // Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. – Харків: ВКФ «Фавор ЛТД», 2016. – № 6(62). – С. 62-66.
3. Аркушенко П. Л. Методика обґрунтування обмінного фонду засобів вимірювальної техніки військового призначення / П. Л. Аркушенко, О. П. Флорін, К. В. Власов // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – Харків: НАНГУ, 2016. – № 1. – С. 38-44.
4. Аркушенко П. Л. Аналіз методик метрологічної експертизи складних технічних систем / О. В. Ходич, М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Український метрологічний журнал. Науково-технічне видання. – Харків: ННЦ «Інститут метрології», 2015. – № 2. – С. 12-16.
5. Аркушенко П. Л. Вимоги до метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку в апаратних технічного забезпечення / Л. М. Сакович, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко, О. В. Ходич // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 1(26). – С. 150-152.
6. Яковлев М.Ю. Удосконалення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку / М. Ю. Яковлев, Л. М. Сакович, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 3 (28). – С. 92-99.

7. Яковлев М.Ю. Удосконалення методу завдання вимог до мінімально припустимого значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки під час діагностування / М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов, Л. М. Сакович, П. Л. Аркушенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 4 (29). – С. 136-142.

8. Аркушенко П.Л. Формирование требований к средствам измерений диагностических параметров аппаратной связи при техническом обслуживании и текущем ремонте/ Л. Н. Сакович, П. Л. Аркушенко, А. В. Ходич // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 1(50). – С. 108-111.

#### **Тези доповідей на конференціях**

9. Аркушенко П. Л. Пропозиції щодо синтезу оптимальної системи метрологічного обслуговування озброєння / В. О. Сіроткін, П. Л. Аркушенко, К. А. Костюков, Д. В. Кривельов // Збірник тез доповідей 13 науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 5-6 вересня 2013 р. – Феодосія : ДНВЦ ЗСУ. – 2013. – С. 418.

10. Аркушенко П. Л. Аналіз методик метрологічної експертизи складних технічних систем / П. Л. Аркушенко. // Збірник тез доповідей 15 науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 17–18 вересня 2015 р. – Чернігів: ДНВЦ ЗСУ, 2015. – С. 35-36.

11. Аркушенко П. Л. Питання метрологічного забезпечення спеціальних інформаційно-вимірювальних систем для контролю параметрів озброєння і військової техніки / П. Л. Аркушенко // Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ», 14-15 травня 2015 р. – Львів: АСВ, 2015. – С. 177-178.

12. Рижов Є.В. Комплексна методика метрологічної експертизи документації складних технічних систем / Є. В. Рижов, М. Ю. Яковлев, П. Л. Аркушенко, О. В. Ходич // Збірник тез доповідей 16 науково-технічної



конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 8-9 вересня 2016 р. –Чернігів: ДНВЦ ЗСУ, 2016.– С. 202-203.

13. Аркушенко П.Л. Метрологічна експертиза документації складних технічних систем / О. В. Ходич, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Застосування Сухопутних військ Збройних сил України у конфліктах сучасності», 17 листопада 2016р. – Львів: НАСВ, 2016. – С. 60.

14. Аркушенко П.Л. Підхід щодо удосконалення метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку / О. В. Ходич, Л. М. Сакович, П. Л. Аркушенко // Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ». Львів, 11-12 травня 2017 р. – Львів: НАСВ, 2017. – С. 238.

15. Яковлев М. Ю. Удосконалена методика обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку / М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Збірник тез 17 науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», 7-8 вересня 2017 р. – Чернігів: ДНВЦ ЗСУ, 2017. – С. 389-390.

16. Яковлев М. Ю. Обґрунтування мінімально необхідних вимог до засобів вимірювань при двоступеневій системі діагностування в процесі поточного ремонту військової техніки зв'язку / М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов, П. Л. Аркушенко // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Застосування Сухопутних військ Збройних сил України у конфліктах сучасності», 16 листопада 2017 р. – Львів: НАСВ, 2017. – С. 103.

17. Аркушенко П.Л. Підхід щодо формування вимог до метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку в апаратних технічного забезпечення / П.Л. Аркушенко, Л.М. Сакович, О.В. Ходич // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Актуальні проблеми проектування, виготовлення і експлуатації озброєння та військової техніки». – Вінниця, 17-19 травня 2017. – Вінниця: ВНТУ. – 2017. – С. 270-272.

18. Аркушенко П. Л. Способ формирования требований к средствам измерительной техники диагностических параметров аппаратной связи при техническом обслуживании и текущем ремонте / Л. М. Сакович, П. Л. Аркушенко, О. В. Ходич // Збірник тез доповідей 13 наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору», 12-13 квітня 2017 р. – Харків: ХНУПС, 2017. – С. 242.

### **Науково-дослідні роботи**

19. Дослідження можливостей застосування безпілотного авіаційного комплексу «Spectrator» у Збройних Силах України шифр «Струга»: Звіт про НДР (остаточний) / ДНВЦ ЗСУ; кер. Камак Ю. О.; вик.: Шлапацький В. О. [та ін.]. – Чернігів. – 2014. – 71 с. – № держреєстрації 0101U001843. – Інв. №155.

20. Дослідження з формування типового програмно-методичного забезпечення випробувань безпілотних авіаційних комплексів різного класифікаційного і функціонального призначення іноземного і вітчизняного виробництва та вимог до експериментальної бази для забезпечення їх оцінювання на відповідність оперативно-тактичним вимогам до БпАК шифр «Алюр»: Звіт про НДР (остаточний) / ДНВЦ ЗСУ; кер. Камак Ю. О. ; вик.: Шлапацький В. О. [та ін.]. – Чернігів. – 2015. – 200 с. – № держреєстрації 0101U001849. – Інв. №802.

21. Розробка інтелектуально-діагностичної системи безпілотних авіаційних комплексів шифр «Інтеграл»: Звіт про НДР (остаточний) / ДНВЦ ЗСУ; кер. Камак Ю. О.; вик.: Нестеренко С. О. [та ін.]. – Чернігів. – 2016. – 74 с. – № держреєстрації 0101U001998. – Інв. № 1343.

22. Дослідження можливих варіантів створення перспективного віртуального реконфігурованого вимірювача параметрів та характеристик озброєння та військової техніки Повітряних Сил шифр «Вимірювач 2017»: Звіт про НДР (остаточний) / ДНВЦ ЗСУ; кер. Коваленко А. В.; вик.: Борщ В. В. [та ін.]. – Чернігів, 2017. – 188 с. – № держреєстрації 0101U002288. – Інв. № 1669.