

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Аркушенка Павла Леонідовича на тему:

«Підвищення ефективності метрологічної експертизи військової техніки зв'язку на основі удосконалення методик її проведення», поданої до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення

Актуальність теми.

Система зв'язку (СЗ) належить до одного із важливих комплексів Збройних сил (ЗС) України, котрий повсякчас забезпечує їхню ефективну діяльність. Її технічну основу складає військова техніка зв'язку (ВТЗ), за допомогою якої здійснюються не лише комутаційні функції, але й управління різного виду інформацією для всіляких застосувань. При цьому часто виникає потреба у контролі великого числа вимірюваних параметрів (ВП) за допомогою сукупності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), що пов'язано як із функціонуванням ВТЗ, так і з широким спектром її додаткових функцій. Відомо, що достовірність вимірюваних даних у значній мірі залежить від метрологічного забезпечення (МЗ) ЗВТ у військах, котре здійснюється у вигляді метрологічного обслуговування (МОБ), завдяки якому встановлюється технічний стан (ТС) ЗВТ. Від цього залежить надійність і достовірність отримуваних за їх допомогою даних, причому не тільки у стаціонарних, а й – у польових умовах. Тому, настійною потребою для ВТЗ є періодичне проведення МОБ, яке необхідно організувати належним чином. Інструкції з технічного обслуговування (ТО) ВТЗ, як правило, виготовляє завод-виробник. Їхній об'єм є досить великим, що сприяє сьогодні надлишковим і тому вартісним дослідженням ВТЗ.

Тематика дисертаційної роботи Аркушенка П.Л. направлена на підвищення оперативності та зменшення витрат на метрологічну експертизу ВТЗ, поряд із гарантуванням її високої функціональності, завдяки мінімізації кількості ВП при необхідній достовірності визначення реального ТС зразка ВТЗ та зниженню до мінімально допустимої межі метрологічних характеристик і часу проведення МОБ.

Тому вважаю, що наукові дослідження й технічні напрацювання, виконані автором дисертації, є безперечно актуальними як з наукової, так і з практичної точок зору.

Зв'язок дисертаційної роботи з державними науковими програмами, планами, темами, пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки.

Дисертаційна робота виконувалась згідно з напрямками наукових досліджень у відповідності до плану Міністерства оборони України у рамках проведення держбюджетних науково-дослідних робіт «Дослідження можливостей застосування безпілотного авіаційного комплексу «Spectrator» у Збройних Силах України» (шифр «Струга», ДР № 0101U001843); «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» (шифр «Алюр», ДР № 0101U001849); «Розробка інтелектуально-діагностичної системи безпілотних авіаційних комплексів» (шифр «Інтеграл», ДР № 0101U001998); «Дослідження можливих варіантів створення перспективного віртуального реконфігурованого вимірювача параметрів та характеристик озброєння та військової техніки Повітряних Сил» (шифр «Вимірювач 2017», ДР № 0101U002288).

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукові положення кандидатської дисертаційної роботи є новими та забезпечують істотний внесок у розвиток методологічних основ та метрологічного забезпечення вимірювань у галузі військової техніки зв'язку Збройних сил України.

Обґрунтованість та вірогідність наукових досліджень, сформульованих у дисертаційній роботі, підтверджується правильним використанням математичних перетворень викладених виразів, достатньою збіжністю результатів теоретичних досліджень і математичного моделювання, а також завдяки експериментальній перевірці розроблених методик під час впровадження для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку.

Достовірність результатів дисертаційної роботи.

Достовірність наукових результатів визначається математичним апаратом, який використано автором в дисертації. Методи дослідження базуються на основних положеннях теорії метрології, фундаментальних засадах системного і порівняльного аналізу, теорії нечітких множин, засадах теорії ймовірностей, методах планування експерименту, теорії графів і дискретної математики, статистичного опрацювання даних та методах програмного забезпечення та моделювання на комп'ютері.

Аналіз висновків по розділах і загальних висновків показує, що вони відповідають отриманим науковим і практичним результатам.

Коректність використання зазначеного математичного апарату підтверджується позитивним досвідом впровадження результатів дисертаційної роботи у виробничій діяльності наукових і випробувальних підприємств Міністерства оборони України.

Наукова новизна дисертаційної роботи.

Наукова новизна теоретичних положень дисертації стосується теоретичних засад метрології. З точки зору офіційного опонента найвагоміші наукові результати роботи наступні:

- запропоновано метод визначення рангів параметрів військової техніки зв'язку на основі теоретико-множинних моделей з використанням трьох видів структур (конвергуючої, дивергуючої та дво- і більше ядерної), що дозволило аналізувати конфігурації структур засобів вимірювань і діагностики з метою подальшого встановлення ймовірних дефектів;
- розроблено метод визначення вагових коефіцієнтів параметрів засобів вимірювання на основі даних експертного опитування за допомогою ітеративного наближення та з використанням теорії нечітких множин для встановлення кількості та порядку перевірки параметрів засобів вимірювання;
- запропоновано підхід щодо визначення номенклатури засобів вимірювання з використанням умовних алгоритмів досконалої форми, що дозволило зменшити похибку оцінки технічного стану військової техніки зв'язку та зменшити час проведення даної оцінки з гарантованою ймовірністю.

Практична цінність дисертаційної роботи.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень апробовано та впроваджено наступним чином:

- розроблено алгоритм реалізації методики обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку;
- описано алгоритм вибору раціонального варіанту набору вимірювальних параметрів;
- розроблено алгоритм обчислення мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки засобу вимірювання;
- розроблено часткову методику визначення номенклатури ЗВТ для МОБ ВТЗ з урахуванням метрологічної надійності;

- розроблено часткову методику визначення номенклатури ЗВТ для МОБ ВТЗ з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і їх ремонту;
- запропоновано комплексну методику проведення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку.

Основні положення та результати дисертаційної роботи впроваджені та пройшли апробацію у Державному науково-дослідному інституті спеціального зв'язку, у Метрологічному центрі військових еталонів Збройних Сил України, у Державному науково-випробувальному центрі Збройних Сил України.

Структура та зміст дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Аркущенка Павла Леонідовича є кваліфікаційною роботою, виконаною індивідуально у вигляді рукопису, що складається з вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаної літератури з 142 найменувань на 14 сторінках та 2 додатків на 22 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 204 сторінки: основний текст на 166 сторінках, 45 рисунків, містить 15 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано наукову проблему досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, поставлені мета і задачі дослідження, відзначено наукову новизну та практичну цінність отриманих у роботі результатів, а також наведено дані про особистий внесок здобувача, апробації результатів, публікації, обсяг і структуру дисертації.

У першому розділі проведено аналіз особливостей метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку збройних сил України, а також відомих методик вибору складу вимірюваних параметрів, номенклатури засобів вимірювальної техніки. На основі цього показано основні протиріччя та наукові завдання для подальших досліджень.

Охарактеризовано структуру СЗ ЗС України та стан її технічного забезпечення на даний момент. ВТЗ та засоби МОБ, що при цьому застосовуються, автор пропонує розглядати у вигляді єдиної великої (складної) системи управління, котра складається з кількох ієрархічних рівнів, причому із наявними взаємозв'язками між ними, а також містить групу керуючих впливів, що характеризують умови експлуатації та протидію супротивника. Для дослідження функцій даної системи пропонується використовувати метод дерева функцій. Зазначене дерево містить перелік функцій, котрі утворюють головну – цільову функцію СЗ ЗС України.

Розглянуто відомі методики вибору складу ВП складних технічних систем на основі імовірнісних методів та методів функціонального аналізу. Здебільшого вони ґрунтуються на низках припущень, як правило приблизних або таких, що складно реалізувати на практиці.

Також фахівцям знайомі методики, які базуються на оцінюванні показників надійності, якості та чутливості ЗВТ. Ці методики теж потребують детальних знань про об'єкт, постановки складних і дорогих експериментів та, все одно, не дозволять встановити мінімальну необхідну кількість ВП, котрі треба контролювати для формування вимог до МЗ ВТЗ.

Відомі методики вибору номенклатури ЗВТ та обґрунтування їхніх метрологічних характеристик для МОБ складних систем завищують відповідні вимоги. Це збільшує витрати на експлуатацію ЗВТ, бо такі методики базуються на допустимій похибці вимірювань, що особливо накладно у випадках великої кількості ВП або значного сумарного часу вимірювань.

Основними протиріччями при створенні ефективної системи МОБ є:

- між функціональною повнотою і потребами мінімізації структури системи;
- між якістю ЗВТ для МОБ СЗ та їхньою вартістю;
- між потребою бойової готовності СЗ ЗС при МОБ та достовірністю інформації про стан ВТЗ;
- між постійним зростанням складності МОБ та класифікацією персоналу.

На основі цього наведено основні напрямки вдосконалення системи МОБ ВТЗ ЗС України. Це послужило для формування загальної структури МЗ вимірювань для СЗ ЗС, на підставі чого зроблено висновок, що цільову функцію МЗ ВТЗ слід розглядати у вигляді мінімізації витрат на МОБ ВТЗ.

У **другому розділі** представлено теоретичні основи вдосконалення метрологічного обслуговування військових технічних засобів зв'язку на підставі теоретико-множинної моделі даних засобів, формування експертного опитування на основі послідовної ітеративної процедури, вибору оптимального числа параметрів контролю для засобів вимірювальної техніки, а також – застосування методів теорії нечітких множин при вирішенні часткових задач із заданою ймовірністю.

Для вирішення завдання ТО послідовності і кількості мінімально необхідних ВП при МОБ ВТЗ автором пропонується поряд із теорією ймовірностей використовувати теорію множин для моделювання структури

ВТЗ і теорію нечітких множин для обробки результатів експертного опитування та визначення переліку ВП для оцінки її ТС.

Проведено аналіз відомих процедур експертного опитування, що проводяться з метою формалізації процесу оцінки важливості параметрів ВТЗ при МОБ та отримання кількісних значень вагових коефіцієнтів ВП.

Найбільш перспективними вважаються ітеративні процедури із зворотнім зв'язком, які передбачають анонімність відповідей експертів. При цьому рахують, що підвищується обміркованість думки, максимально кооперуються думки експертів та мінімізуються негативні фактори процедур оцінки. Як приклад можна навести метод Делфі, завдяки якому спостерігається зменшення розкиду оцінок експертів. Поширеним недоліком даного методу є тиск «думки більшості», що знижує достовірність оцінювання.

Незважаючи на наявність реєстрів експертів, завдяки яким періодично проводяться відповідні експертизи, деколи застосовують прогресивний метод «снігової кулі» для підбору кандидатів у експерти. Він ґрунтується на виборі групи на підставі рекомендацій кожного з дослідників і знайомих фахівців. Хоча інколи доводиться розплачуватись більшими витратами часу та засобів на проведення опитування.

На думку автора одним із вдалих підходів слід вважати послідовну ітеративну процедуру опитування експертів, яка ґрунтується на почерговому включенні в опитування все більшої кількості експертів аж до стабілізації їхніх оцінок.

Не менш важливим є оцінка компетентності експертів. Критично розглянуто відомі методи такої оцінки: самооцінки, взаємооцінки, суддівський метод, документальний метод.

Наведено найбільш характерні геометричні моделі ВТЗ без та з наявністю перетинів підмножин елементів. При оцінці їхнього ТС перевірка елементів здійснюється почергово, але у порядку зменшення потужності підмножин елементів. Таке представлення ВТЗ дозволяє в процесі оцінки ТС по аналізу результатів перевірки параметрів визначити підмножини елементів, що містять дефект.

Перетин підмножин елементів ВТЗ означає, що у різних режимах одної і тої ж апаратури використовується певна кількість тих самих її елементів. Якщо змінюється тільки конфігурація структури ВТЗ, то перетинів підмножин елементів, що працюють в різних режимах, немає. Тобто, перехід з одного режиму в інший призводить не тільки до зміни конфігурації, але й до зміни

змісту підмножин елементів в різних режимах. Це впливає на проведення МОБ ВТЗ. Типовою для елементів, на підставі яких формують параметрів, є наявність одної або декількох стійких підмножин M_0 , які беруть участь в утворенні загальної структури ВТЗ у всіх режимах. Такі підмножини виконують функції ядер, що забезпечують зв'язки між підмножинами $M_i \subset M_L$.

Виокремлено декілька характерних зв'язкових структур M_L :

- 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

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

Показані різні типи теоретико-множинних моделей та відносин між підмножинами елементів ВТЗ, які зустрічаються серед даного устаткування. Виявлена можливість вирішення оберненого завдання: по деформації значень ВП при МОБ в різних режимах роботи ВТЗ визначення сукупності неправильно функціонуючих елементів досліджуваної структури.

Завдяки врахуванню наведених положень можна у подальшому встановити ранг ВП за кількістю використовуваних для його формування елементів (потужність підмножини елементів в теоретико-множинній моделі ВТЗ).

Показано приклад визначення коефіцієнтів авторитетів експертів 10 територіального вузла урядового зв'язку. При цьому, значення вагомостей надалі уточнюються за допомогою трьох ітерацій з метою швидшого сходження результатів та отримання для кожного експерта граничного значення. На основі цього формується експертна група з 12 чоловік.

Надалі визначають відносну важливість ВП ВТЗ на прикладі радіостанції тактичної ланки управління Р-173. Для цього застосовують метод попарного порівняння важливості параметрів ВТЗ з використанням 9-бальної шкали градації. Складається матриця [А] попарних порівнянь рангів важливості ВП, причому вибрано 5 основних ВП радіостанції Р-173: Π_1 – чутливість

радіоприймача; P_2 – нестабільність частоти радіопередавача; P_3 – потужність радіопередавача; P_4 – енергоспоживання; P_5 – девіація частоти радіопередавача.

Після узагальнення результатів роботи групи експертів отримують об'єктивну оцінку важливості ВП ВТЗ. Для комплексної оцінки кожного ВП ВТЗ необхідно також враховувати його ранжування за ступенем збільшення часу (Rc_i) та вартості вимірювання (Rv_i), що визначено документацією (інструкцією з технічного обслуговування ВТЗ), або шляхом дослідження у результаті проведення експерименту. Після отримання значень, Rc_i і Rv_i та рейтинга i -го ВП R_{Pi} і обчисленого після аналізу рейтингу i -го ВП Re_i для кожного ВП визначаються експертним опитуванням значення їхніх вагових коефіцієнтів K_{Pl} , K_e , K_c , K_v . Цьому також сприяє наведена у роботі картка експертного опитування.

На підставі отриманих від експертів значень важливості вагових коефіцієнтів дані значення піддають процедурі нормування.

Після цього розраховується коефіцієнт конкордації Кенделла W , за допомогою якого виявляється узгодженість думок експертів за декількома факторами відповідно до критерія Пірсона.

Часто потрібно за мінімальний час із заданою або максимально можливою ймовірністю оцінити ТС ВТЗ шляхом вимірювання у встановленій послідовності значень деякої кількості ВП із сукупності можливих (рекомендованих технічною документацією). Тому, під час розробки або модернізації ВТЗ одним із важливих завдань є оцінка правильності вибору ВП, які необхідно контролювати. При вирішенні цього завдання необхідно враховувати відносну важливість ВП для користувача, кількість формуючих їх елементів у ВТЗ, а також тривалість виконання вимірювань.

На основі наведених вище у розділі 2 теоретичних положень розроблено та описано методику обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для МОБ ВТЗ. В результаті при застосуванні методів *теорій множин та нечітких множин, теорій ймовірностей* при вирішенні часткових задач визначають із заданою ймовірністю перелік і послідовність ВП, які необхідно вимірювати, а також – тривалість та вартість вимірювання цих ВП. У процесі цього встановлюють ТС ВТЗ, використовуючи ЗВТ з комплексу апаратної зв'язку або апаратної технічного забезпечення. Дані про відносну важливість ВП отримують із експертного опитування фахівців. Наведено блок-схему алгоритму реалізації

даної методики та алгоритму вибору раціонального варіанту набору ВП (функція F_I).

Показано використання цієї методики на прикладі радіостанції тактичної ланки управління Р-173. Отримано перелік ЗВТ вибраних ВП із гарантованими ймовірностями безпомилковості виконання вимірюваних операцій від 0,834 до 0,9997. Після нормування оцінок отриманих від експертного опитування обчислено математичне сподівання ($M(R)_i$) і СКВ R_{Π_i} , R_{e_i} , $R_{ч_i}$, $R_{в_i}$ значень вагових коефіцієнтів (σ_i), причому ступінь узгодженості експертів характеризується варіацією ν та становить для вагових коефіцієнтів R_{Π_i} , R_{e_i} , $R_{ч_i}$, $R_{в_i}$:

$\nu_1 = \sigma_1 / M_1 = 0,1476;$	$\nu_3 = \sigma_3 / M_3 = 0,2069;$
$\nu_2 = \sigma_2 / M_2 = 0,1283;$	$\nu_4 = \sigma_4 / M_4 = 0,3513,$

що є цілком достатнім. Остаточо вибрано значення важливості вагових коефіцієнтів окремих показників ВТЗ: $K_{\Pi} = 0,45$; $K_e = 0,27$; $K_{ч} = 0,17$, $K_{в} = 0,11$. При цьому K_{Π} відрізняється від математичного сподівання на 0,3%, K_e на 0,7% $K_{ч}$ на 1,9% і $K_{в}$ на 5,5%. Оскільки дані значення потрапляють в область відхилення від математичного сподівання не більше, ніж на σ , то з достовірною ймовірністю $P=0,97$ можна стверджувати про правильність прийняття рішення.

З аналізу, який проведено на теоретико-множинній моделі (рис. 2.12) випливає, що при номінальних значеннях Π_1 , Π_2 , Π_3 , Π_5 параметр Π_4 можна не контролювати, оскільки він завчасно буде в допустимих межах.

Допустимий час проведення вимірювань в ідеальних умовах відповідно до інструкції з ТО радіостанції Р-173 становить $T_{\text{дон}} = 90 \text{ хв}$, а при виключенні з процедури вимірювань 4-го параметра та врахуванні впливів сторонніх факторів – $T_{\text{дон}} = 113 \text{ хв}$. У підсумку підвищено ефективність МОБ ВТЗ за рахунок комплексної оцінки параметрів в процесі їх аналізу та на 11-14%, знижено час і трудовитрати.

Третій розділ присвячено кількісній оцінці мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань під час метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку, що реалізується у запропонованих часткових методиках визначення номенклатури засобів вимірювальної техніки для метрологічного обслуговування даної техніки.

Пропонується підхід до вибору ЗВТ для МОБ ВТЗ з урахуванням мінімально необхідного значення ймовірності p правильної оцінки результату виконання вимірювань за умовним алгоритмом довільної форми з метою зменшення витрат.

Оцінка ТС ВТЗ проводиться з використанням ЗВТ при перевірці її працездатності, проведенні МОБ, в процесі ТО і поточного ремонту (ПР) екіпажами апаратних зв'язку та технічного забезпечення.

Послідовність і порядок проведення вимірювань параметрів при МОБ, ТО і ПР ВТЗ залежать від результатів виконання попередніх перевірок і представляються у вигляді умовних алгоритмів. При відхиленні значень ВП від норми здійснюється пошук дефектів з використанням штатних ЗВТ за програмами, які реалізують умовні алгоритми діагностування. Наведено приклади видів і форми умовних алгоритмів, а також вирази для кількісної оцінки ТС об'єкта по умовному алгоритму досконалої форми.

Визначено області існування розв'язків для обчислення мінімально допустимого значення p в процесі оцінки ТС ВТЗ за умовним алгоритмом 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). На основі цього розроблена блок-схема алгоритму обчислення мінімально необхідного значення p при оцінці ТС ВТЗ по умовним алгоритмам досконалої форми. Порівняння отриманих аналітичних виразів при визначенні ТС ВТЗ для кількісної оцінки середнього відхилення від його істинного значення з відомими бінарними ($m=2$) умовними алгоритмами мінімальної форми ($F=2$) показує, що їх використання зменшує відносну похибку (δp) до 10% при зміні кількості елементів L від 8 до 16. Причому, із збільшенням ймовірності p правильної оцінки значення вимірюваного параметра похибка також зростає. Порядок застосування отриманих теоретичних результатів розглянуто на прикладі оцінки ТС тракту прийому станції тропосферного зв'язку Р-423. При $p = 0,982$ отримано час визначення ТС $T = 24,9 \text{ хв} < T_{\text{дон}}$. Це дозволило знизити вимоги до кількості перевірюваних ВП Km ЗВТ за значенням p на 1,3%. Встановлено, що при оцінюванні ТС тракту прийому станції тропосферного зв'язку Р-423 доцільно використовувати груповий алгоритм і ЗВТ з $p \geq 0,96$. Це значно економічніше ніж в першому випадку, оскільки дозволяє знизити вимоги до ЗВТ за значенням p на 3,5%.

Достовірність оцінки ТС ВТЗ залежить від обраних ЗВТ з урахуванням вимог до точності вимірювань, що ґрунтуються на розробленій частковій методиці визначення номенклатури ЗВТ для МОБ ВТЗ з урахуванням метрологічної надійності. При цьому використовується запропонований підхід, що базується на попередніх теоретичних викладках. Тут пов'язують значення часу відновлення ВТЗ при ПР (T_{θ}) з імовірністю безвідмовної роботи протягом міжповірного інтервалу ($P(t)$). Наголошено, що на відміну від стаціонарних умов ТО у польових умовах – на результати вимірювання значень параметрів ВТЗ під час діагностування при ПР істотно впливає метрологічна надійність ЗВТ, яка знижується через зміни параметрів навколишнього середовища. Сутність удосконаленої методики полягає у врахуванні метрологічної надійності ЗВТ під час визначення їх мінімально допустимих метрологічних характеристик.

Запропонована часткова методика визначення номенклатури ЗВТ для МОБ ВТЗ з урахуванням впливу якості алгоритмів обслуговування і їх ремонту. Вона ґрунтується на формуванні вимог до ЗВТ, котрі вибираються зі складів, за критерієм мінімуму їх вартості при обмеженнях на час визначення ТС, виходячи з керівних технічних матеріалів по ремонтпридатності ВТЗ.

З урахуванням виконання обмежень на умови реалізації ПР агрегатним методом описано блок-схему алгоритму пошуку мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки ЗВТ, завдяки якому при відхиленні параметрів від норми виконується пошук дефекту в підмножині з $L/\mu n$ елементів з реалізацією мінімальної кількості перевірок. За допомогою нових функціональних залежностей середнього часу оцінки технічного стану ВТЗ T_{θ} і кількісної оцінки діагностичних помилок ρ як функції від ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань p встановлюють значення основної похибки для різних видів дефектів у ВТЗ.

У **четвертому розділі** автором представлено використання розроблених часткових методик на прикладах метрологічного обслуговування конкретної військової техніки зв'язку.

Представлено основні етапи комплексної методики проведення метрологічної експертизи ВТЗ: збирання і обробка вихідних даних, обґрунтування послідовності вимірювання параметрів під час проведення МОБ ВТЗ, розрахунок мінімально необхідної кількості вимірювальних параметрів під час проведення МОБ ВТЗ, визначення мінімально необхідних значень метрологічних характеристик ЗВТ, які використовуються при МОБ ВТЗ,

формування вимог до метрологічних характеристик ЗВТ для МОБ існуючих і перспективних зразків ВТЗ, визначення номенклатури (типу) ЗВТ для МОБ ВТЗ, оцінка ефекту застосування комплексної методики проведення метрологічної експертизи ВТЗ.

Для підтвердження працездатності запропонованої комплексної методики проведення метрологічної експертизи ВТЗ здійснено її експериментальне дослідження на прикладі короткохвильової радіостанції Р-1150. Як було показано вище:

- залучені фахівці-експерти для визначення рангу кожного параметру радіостанції за 4 показниками – важливістю (R_{Pi}), кількістю елементів, що впливають на формування кожного параметру (R_{Ei}), часу виконання вимірювань (R_{Ci}) та вартості вимірювання (R_{Vi});

- знайдені вагові коефіцієнти для встановлення порядку перевірки ВП ВТЗ – $K_{Pi} = 0,45$; $K_{Ei} = 0,27$; $K_{Ci} = 0,17$; $K_{Vi} = 0,11$;

- встановлено 8 основних ВП, з яких доцільно контролювати 5; блоку не більше чотирьох, а необхідний час оцінки стану $T_{вдон} = 30$ хв;

- встановлена мінімально допустима кількість розрядів ЗВТ $r = 4$;

- запропоновано застосовувати цифровий універсальний вольтметр В7-22А;

- час проведення вимірювань становить $T_{дон} = 407,5$ хв, що на 24,4 % менше ніж раніше, завдяки чому витрати знижуються на 4181 гривню.

Наведено рекомендації стосовно застосування у ЗС України розроблених методик для забезпечення високої ефективності проведення МОБ ВТЗ.

У **висновках** наведено найбільш важливі наукові та практичні результати, які були отримані під час проведених досліджень.

Додатки містять допоміжну інформацію стосовно наукових досліджень та акти впровадження отриманих у дисертаційній роботі результатів.

Повнота висвітлення основних результатів.

Основні положення дисертаційної роботи відображені у 13 наукових роботах, серед яких 8 статей у спеціалізованих фахових виданнях України, а з них 2 праці входять до міжнародних наукометричних баз. Апробація основних наукових положень дисертації проведена на 5 вітчизняних наукових та науково-технічних конференціях, що відповідають тематиці роботи.

Ідентичність змісту автореферату дисертації.

Зміст автореферату повністю ідентичний змісту та основним положенням дисертації.

Зауваження до змісту дисертації

1. На с.37 дисертації наведено невіддале визначення ВТЗ як технічного пристрою. Слід було б стверджувати, що це сукупність технічних і допоміжних пристроїв.
2. Не зрозумілі числові дані, наведені у табл.1.1 (с.38 роботи) у стовбцях під назвою «Загальний стан».
3. На с.49 дисертації для позначення ймовірності вибору параметра вжито позначення W_i , а далі автором використовується p ?
4. В останньому абзаці с.55 вжито невірний термін «часткові наукові завдання».
5. У матеріалі пар.2.1 слабо обґрунтовано реалізацію методу визначення рангів параметрів ВТЗ з використанням теорії нечітких множин.
6. У 2-у абзаці на початку пар.2.2 (с.67) наведено помилкове судження, що «загальноприйнятих методів формування експертної комісії, які гарантують об'єктивність експертизи, не існує».
7. Доцільно було б активніше розвивати показник «потужність підмножин елементів» (с.73, рис.2.2).
8. У пар.2.4 мало інформації про теорію нечітких множин.
9. Назва р.3 мала б звучати – Методологічне забезпечення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку.
10. У частковій методиці (пар.3.3, с.122) не обґрунтовано чому поточний ремонт доцільно проводити саме агрегатним методом?
11. Які необхідно було б вживати заходи, коли «при МОБ ВТЗ буде більше одного дефекту» (с.122)?
12. Чи при розробці обох часткових методик р.3 розглядався варіант впливу взаємної кореляції між вибраними (досліджуваними) параметрами ЗВТ?

Висновок.

Вказані зауваження не відносяться до основних наукових положень дисертації та не впливають на загальну оцінку роботи і її наукову цінність.

Дисертаційна робота Аркушенка Павла Леонідовича «Підвищення ефективності метрологічної експертизи військової техніки зв'язку на основі удосконалення методик її проведення» є завершеним науковим дослідженням, яке може слугувати покращанню методологічного забезпечення метрологічної експертизи військової техніки зв'язку на основі методів технічної діагностики завдяки підвищенню оперативності та зменшенню витрат.

Мета роботи, поставлені та розв'язані в ній задачі, викладені основні наукові результати дозволяють зробити висновок про те, що дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Зміст дисертаційної роботи свідчить про високий рівень кваліфікації автора, як наукового співробітника, здатного формулювати та розв'язувати складні науково-прикладні задачі. Дисертаційна робота Аркушенка Павла Леонідовича за актуальністю теми, науковою новизною та практичною цінністю отриманих в ній результатів досліджень відповідає вимогам пунктів 9, 11, 13 “Порядку присудження наукових ступенів” Міністерства освіти і науки України, а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Офіційний опонент:

Професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету “Львівська політехніка”, д.т.н., професор



Ванько В.М.

Підпис Ванька В.М. підтверджую

Вчений секретар Національного університету “Львівська політехніка”, к.т.н., доцент



Брилинський Р.Б.