

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОВІТРЯНИХ СІЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

**ЗАСТОСУВАННЯ
ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ
ЗАСОБАМИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ
В УМОВАХ ПРОВЕДЕННЯ АТО**



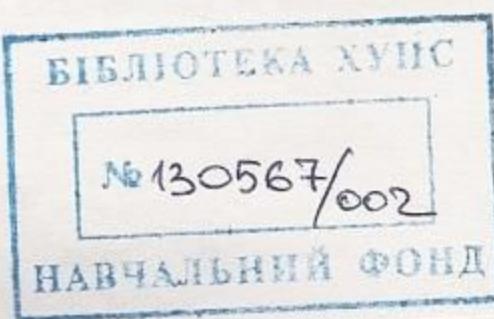
Харків
2018

389.1
3-36

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОВІТРЯНИХ СІЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

ЗАСТОСУВАННЯ
ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ
ЗАСОБАМИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ
В УМОВАХ ПРОВЕДЕННЯ АТО

Навчальний посібник



A 0 8 6 5 6 7



Харків

2018

УДК 389.1:621.317.79 (075.8)
ББК 34.30.10 я 7
3-36

Рекомендовано до друку вченю радою
Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
(протокол № 22 від 30.12.16)

Автори: В. Б. Кононов (розд. 1, 4); А. М. Науменко (розд. 5, 6);
О. В. Коваль (розд. 3); В. Ю. Запека (розд. 7); І. І. Кондрашова
(розд. 2).

Рецензенти: А. В. Гадайчук, професор, доктор технічних наук;
С. І. Кондрашов, професор, доктор технічних наук.

Застосування електричних вимірювань засобами
3-36 вимірювальної техніки в умовах проведення АТО: навч. посіб.
/ В. Б. Кононов, А. М. Науменко, О. В. Коваль та ін. – Х.:
ХНУПС, 2018 – 392 с.

У навчальному посібнику викладені основи теоретичних положень, що необхідні при вивченні дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань», а також особливості метрологічного забезпечення озброєння та військової техніки в умовах проведення АТО.

Призначений для підготовки дипломованих фахівців зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» та інших спеціальностей, які вивчають курс «Основи метрології» відповідно до вимог освітньо-професійних програм. Може бути корисним курсантам і студентам інших технічних спеціальностей, а також інженерно-технічним працівникам і аспірантам.

УДК 389.1:621.317.79 (075.8)
ББК 34.30.10 я 7

© Кононов В. Б., Науменко А. М., Коваль О. В.,
Запека В. Ю., Кондрашова І. І., 2018
©Харківський національний університет
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2018

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ..... | 9 |
| ПЕРЕДМОВА..... | 10 |
| ВСТУП..... | 12 |
| Розділ 1. РОЗВИТОК МЕТРОЛОГІЇ ЯК НАУКИ ПРО ВИМІРЮВАННЯ..... | 14 |
| 1.1. Місце метрології у розвитку сучасної техніки, що використовується при проведенні АТО..... | 14 |
| 1.2. Предмет, основні завдання та місце дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань» у системі підготовки фахівців..... | 18 |
| 1.3. Роль метрології та вимірювальної техніки у військовій справі, особливості їх застосування в умовах проведення АТО.... | 19 |
| 1.4. Довідка з історії розвитку метрології..... | 21 |
| Розділ 2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ..... | 28 |
| 2.1. Основні терміни і визначення в галузі метрології та метрологічного забезпечення..... | 28 |
| 2.2. Система фізичних величин | 32 |
| 2.3. Система одиниць вимірювань..... | 34 |
| 2.4. Процес вимірювання..... | 38 |
| 2.5. Вибір фізичної моделі об'єкта вимірювання..... | 42 |
| 2.6. Вимірювальні сигнали..... | 45 |
| 2.7. Процедура вимірювання та вимірювальні операції | 46 |
| Контрольні питання..... | 46 |
| Розділ 3. МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ..... | 47 |
| 3.1. Різновиди вимірювань..... | 47 |
| 3.2. Класифікація вимірювань..... | 48 |
| 3.3. Різновиди методів прямих вимірювань | 56 |
| 3.4. Класифікація методів порівняння..... | 57 |
| 3.4.1. Метод зіставлення..... | 57 |
| 3.4.2. Метод одного збігу..... | 58 |
| 3.4.3. Метод подвійного збігу..... | 60 |
| 3.4.4. Диференціальний метод..... | 61 |
| 3.4.5. Метод зрівноважування з регульованою мірою | 61 |
| 3.4.6. Метод заміщення..... | 63 |
| Контрольні питання..... | 64 |

| | |
|--|------------|
| Розділ 4. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ..... | 65 |
| 4.1. Поганки вимірювань та їх класифікація..... | 65 |
| 4.2. Різновиди похибок вимірювань за джерелом виникнення..... | 66 |
| 4.3. Різновиди похибок вимірювань за закономірністю їх змінювання..... | 68 |
| 4.4. Форми (способи) відображення кількісних характеристик похибок вимірювань..... | 72 |
| 4.5. Показники якості вимірювань. Невизначеність вимірювань..... | 74 |
| 4.6. Поняття й області використання ймовірнісних і статистичних характеристик похибок вимірювань..... | 76 |
| 4.7. Ймовірнісні характеристики результатів і похибок вимірювань..... | 78 |
| 4.8. Статистичні оцінки характеристик вимірювань..... | 92 |
| 4.9. Виявлення грубих результатів вимірювань..... | 98 |
| 4.10. Методи вилучення систематичних похибок з результатів вимірювань..... | 100 |
| 4.11. Методи підсумування похибок вимірювань..... | 104 |
| 4.12. Визначення сумарної систематичної похибки вимірювань..... | 105 |
| 4.13. Визначення сумарної випадкової похибки вимірювань | 109 |
| 4.14. Визначення повної похибки прямих багаторазових вимірювань..... | 114 |
| 4.15. Перевірка гіпотези про вид функції щільності розподілу результатів вимірювань..... | 116 |
| 4.16. Нормування характеристик похибок вимірювань..... | 122 |
| 4.17. Форми подання результатів вимірювань..... | 124 |
| Контрольні питання..... | 126 |
| Розділ 5. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ЇХ ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ..... | 128 |
| 5.1. Визначення і різновиди засобів вимірювальної техніки, що можуть бути використані при проведенні АТО..... | 128 |
| 5.2. Різновиди ЗВТ за функціональним призначенням..... | 129 |
| 5.3. Різновиди ЗВТ за метрологічним призначенням..... | 134 |
| 5.4. Класифікація вимірювальних приладів..... | 136 |
| 5.5. Визначення, суть, мета і завдання нормування метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки..... | 138 |

| | | |
|--|---|------------|
| 5.6. | Нормовані метрологічні характеристики засобів вимірюальної техніки, призначені для визначення результату вимірювання..... | 141 |
| 5.7. | Класи точності засобів вимірюальної техніки..... | 145 |
| 5.8. | Експлуатаційні характеристики засобів вимірюальної техніки..... | 153 |
| Контрольні питання..... | | 156 |
| Розділ 6. АНАЛОГОВІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ... | | 158 |
| 6.1. | Загальні відомості про аналогові вимірюальні прилади... | 158 |
| 6.2. | Масштабні вимірюальні перетворювачі..... | 160 |
| 6.3. | Електромеханічні вимірюальні прилади..... | 168 |
| 6.3.1. | Магнітоелектричні прилади..... | 172 |
| 6.3.1.1. | Магнітоелектричні механізми..... | 172 |
| 6.3.1.2. | Магнітоелектричні амперметри та вольтметри..... | 175 |
| 6.3.1.3. | Магнітоелектричні гальванометри..... | 178 |
| 6.3.2. | Електромагнітні прилади..... | 179 |
| 6.3.3. | Електродинамічні прилади..... | 183 |
| 6.3.4. | Феродинамічні прилади..... | 187 |
| 6.3.5. | Електростатичні прилади..... | 188 |
| 6.4. | Логометричні вимірюальні механізми..... | 190 |
| 6.5. | Вимірювання постійних напруг і струмів..... | 193 |
| 6.5.1. | Методи вимірювань..... | 193 |
| 6.5.2. | Фотогальванометричні автокомпенсатори..... | 201 |
| 6.5.3. | Потенціометри постійного струму..... | 204 |
| 6.5.4. | Фотогальванометричні компенсаційні вимірюальні прилади..... | 207 |
| 6.6. | Засоби вимірювання змінних напруг і струмів | 210 |
| 6.6.1. | Магнітоелектричні вимірюальні прилади з перетворювачами..... | 210 |
| 6.6.2. | Потенціометри змінного струму..... | 217 |
| 6.6.3. | Термоелектричні компаратори..... | 218 |
| 6.6.4. | Електронні вольтметри..... | 221 |
| 6.6.4.1. | Електронні вольтметри постійної напруги..... | 221 |
| 6.6.4.2. | Електронні вольтметри змінної напруги..... | 222 |
| 6.6.4.3. | Селективні вольтметри..... | 229 |
| 6.6.4.4. | Імпульсні вольтметри..... | 231 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6.7. | Методи та засоби вимірювань зосереджених параметрів електричних кіл..... | 233 |
| 6.7.1. | Вимірювання активного опору методом безпосередньої оцінки..... | 233 |
| 6.7.2. | Вимірювання активного опору методом порівняння..... | 238 |
| 6.7.3. | Мости змінного струму..... | 241 |
| 6.7.4. | Вимірювачі добротності..... | 246 |
| 6.7.5. | Вимірювачі опору заземлення..... | 248 |
| 6.7.6. | Особливості вимірювання великих опорів..... | 250 |
| 6.8. | Електронні аналогові осцилографи..... | 253 |
| 6.8.1. | Електрояно-променеві осцилографи реального часу..... | 255 |
| 6.8.2. | Основні методи осцилографічних вимірювань..... | 261 |
| 6.8.2.1. | Осцилографічні розгортки..... | 261 |
| 6.8.2.2. | Осцилографічний метод вимірювання інтервалу часу..... | 262 |
| 6.8.2.3. | Осцилографічний метод вимірювання частоти..... | 264 |
| 6.9. | Методи та засоби вимірювання потужності..... | 265 |
| 6.9.1 | Загальні відомості..... | 265 |
| 6.9.2. | Вимірювання потужності постійного і однофазного змінного струму промислової частоти..... | 268 |
| 6.9.3. | Вимірювання реактивної потужності в трифазних колах..... | 274 |
| 6.10. | Вимірювання електричної енергії..... | 275 |
| 6.10.1. | Загальні відомості..... | 275 |
| 6.10.2. | Вимірювання електричної енергії промислової частоти..... | 276 |
| 6.10.3. | Вимірювання частоти електричних коливань..... | 285 |
| 6.10.4. | Вимірювання зсуву фаз..... | 288 |
| | Контрольні питання..... | 291 |
| | Розділ 7. ЦИФРОВІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ..... | 293 |
| 7.1. | Особливості цифрових вимірювальних приладів..... | 293 |
| 7.2. | Визначення та узагальнена структурна схема цифрових вимірювальних приладів..... | 301 |
| 7.3. | Операції аналого-цифрового перетворення..... | 302 |
| 7.4. | Цифрові методи вимірювання напруги..... | 306 |
| 7.4.1. | Цифрові вольтметри постійної напруги..... | 306 |
| 7.4.1.1. | Цифрові вольтметри постійної напруги з час-імпульсним перетворенням..... | 306 |

| | |
|--|------------|
| 7.4.1.2. Цифрові вольтметри постійної напруги з частотним перетворенням..... | 315 |
| 7.4.1.3. Цифрові вольтметри постійної напруги з кодоімпульсним перетворенням..... | 320 |
| 7.5. Цифрові вольтметри змінної напруги. Універсальні цифрові вольтметри..... | 322 |
| 7.6. Цифрові методи вимірювання частоти та періоду..... | 325 |
| Контрольні питання..... | 329 |
| Розділ 8. МЕТА І ЗМІСТ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ ПРОВЕДЕННЯ АТО..... | 331 |
| 8.1. Основні положення..... | 331 |
| 8.2. Керівні документи з метрологічного забезпечення в умовах проведення АТО..... | 334 |
| 8.3. Організація експлуатації засобів вимірювальної техніки в умовах проведення АТО..... | 335 |
| 8.3.1. Прийом та особливості обліку вимірювальної техніки при проведенні АТО..... | 335 |
| 8.3.2. Технічне обслуговування вимірювальної техніки в умовах проведення АТО..... | 337 |
| 8.3.3. Зберігання і транспортування вимірювальної техніки в умовах проведення АТО..... | 339 |
| 8.4. Основні положення Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність»..... | 339 |
| 8.5. Метрологічна служба в Збройних Силах України. Визначення, мета, завдання та зміст метрологічного забезпечення в Збройних Силах України та при проведенні АТО..... | 346 |
| 8.5.1. Національна метрологічна служба | 346 |
| 8.5.2. Організація метрологічного забезпечення Збройних Сил України при проведенні АТО..... | 349 |
| Контрольні питання..... | 355 |
| ДОДАТКИ..... | 356 |
| Додаток 1. Похідні одиниці вимірювань системи SI..... | 356 |
| Додаток 2. Позасистемні одиниці вимірювань, що допускаються до використання поряд з одиницями системи SI..... | 361 |

| | |
|---|------------|
| Додаток 3. Множники і префікси для утворення десяткових кратних і часткових одиниць фізичних величин..... | 363 |
| Додаток 4. Інтегральна функція нормованого нормальногорозподілу (або таблиця інтеграла ймовірностей)..... | 364 |
| Додаток 5. Диференціальна функція (або функція щільності ймовірностей) нормованого нормального розподілу | 369 |
| Додаток 6. Розподіл Стьюдента..... | 371 |
| Додаток 7. Інтегральна функція χ^2 (розподіл Пірсона)..... | 372 |
| Додаток 8. Значення α -процентних точок розподілу показника (статистики) d | 374 |
| Додаток 9. Значення t і P , що відповідають різним значенням n і α (або значення P для обчислення $Z_{n/2}$)..... | 375 |
| Додаток 10. Значення параметра t_r для різних значень величин n і α (або P)..... | 376 |
| Додаток 11. Засоби вимірювань електронні..... | 378 |
| ЛІТЕРАТУРА..... | 387 |

