

## ВИМІРЮВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКА В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

УДК 681.518.3: 621.391.26(075): 621.372.542

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2024.67.082>

### ОСНОВНІ РЕЖИМИ РОБОТИ І ГРАФІЧНИЙ ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАГНІТНИХ ПОЛІВ І ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

**Р.О. Мазманян**, докт. техн. наук  
Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Берестейський, 56, Київ, 03057, Україна  
e-mail: [mazmanian@ied.org.ua](mailto:mazmanian@ied.org.ua), [r.o.mazmanian@gmail.com](mailto:r.o.mazmanian@gmail.com)

*Апаратно-програмний комплекс моніторингу призначений для вивчення зв'язку між змінами в картинах розподілу інтенсивності магнітних полів із несправностями електроенергетичного обладнання. У експериментальних дослідженнях із попередньо заданими технічними несправностями, штучно введеними в об'єкт, комплекс забезпечить отримання корисних та достовірних результатів шляхом реєстрації змін індукції магнітного поля у просторовій, часовій та частотній областях. Вибір та гнучка настройка засобами збору даних забезпечить використання найбільш відповідного методу вимірювань, перетворення та відображення інформації про досліджувані несправності. У статті представлено основні режими роботи, графічні інтерфейси користувача персонального комп'ютера та мобільної системи збору даних, що спільно здійснюють перетворення, зберігання, аналіз та відображення вимірювальної інформації, отриманих від різних магнітних датчиків. Узагальнена функціональна специфікація програмного забезпечення комплексу, дизайн графічного інтерфейсу користувача (GUI) у складі операційної системи реального часу (RTOS) також будуть використані в розробках проблемно-орієнтованих систем комп'ютерної діагностики електроенергетичного обладнання. Бібл. 12, рис. 3.*  
**Ключові слова:** технічне діагностування, електроенергетичне обладнання, магнітні поля, графічний інтерфейс користувача.

**Вступ.** Вплив несправностей електроенергетичного обладнання на характер змін індукції зовнішнього магнітного поля в областях, де проявляється його існування, було прийнято як фундаментальну основу раніше запропонованої концепції технічного діагностування, що полягає у двовимірному просторовому моніторингу зовнішніх магнітних полів [1].

Науково-прикладна основа концепції пов'язана з дослідженням та створенням проблемно-орієнтованих методів і засобів збору та обробки магнітовимірювальної інформації, що містить шукані діагностичні ознаки в областях змін, що реєструються окремо або одночасно, перетворенням і поданням цієї інформації. Звідси випливає єдність методів та засобів збору інформації як для експериментальних досліджень, так і для діагностування та оцінки стану електроенергетичного обладнання.

**Метою роботи** є розробка методів та програмних засобів для управління режимами роботи та взаємодії з оператором комплексу програмно-апаратних засобів для діагностування й дослідження електроенергетичного устаткування.

**Програмно-апаратний комплекс magneticFieldPointer і принципи його побудови.** Створення програмно-апаратного комплексу мобільної системи збору магнітовимірювальних даних (МСЗД) із комп'ютером комплексу (КК) є важливим етапом технічної реалізації оцінки поточного стану різноманітного електроенергетичного обладнання за методом встановлення зв'язку параметрів їхніх магнітних полів із можливими несправностями, які виникли в процесі експлуатації. Особливу привабливість метод отримує в разі використання для оцінок параметрів зовнішніх магнітних полів, що забезпечить його неінвазивність, тобто застосовність без порушення цілісності обладнання, що діагностується.



Основою для створення програмних засобів комплексу є розроблена та реалізована архітектура апаратних засобів [2]. Призначенням програмного наповнення комплексу є управління в реальному часі апаратними засобами і потоками інформації. Інформаційна взаємодія **МСЗД** і **КК** може бути реалізована вбудованою операційною системою реального часу (**RTOS**) **МСЗД** та спеціалізованими програмними засобами (**ПЗ**) комп'ютера комплексу (**КК**). Пов'язані радіоканалом обміну даними та загальними командами, ці засоби забезпечують дію єдиної для складових комплексу керуючої інформації, обробку, зберігання і надання отриманої магнітовиміральної інформації у форматах, необхідних для комп'ютерного діагностування й безпосередньої візуальної оцінки стану досліджуваного обладнання.

У такому разі буде забезпечено застосування комплексу для досліджень внутрішніх і зовнішніх магнітних полів, оцінки стану електроенергетичного обладнання від машин із магнітним полем, що обертається, до обладнання гальванічних виробництв.

*Зміст та напрямок потоків керуючих та інформаційних зав'язків між **RTOS** та **ПЗ**, його функціональна специфікація [3].* Комплекс програмних засобів організовано як умовно-ієрархічна структура з гнучким розподілом ієрархій, що залежить від характеру розв'язуваного завдання.

Розробка процедур інтерактивної взаємодії комплексу з оператором, управління вибором режимів та виконуваними процесами за допомогою відображень графічної інформації та сенсорним екраном на стороні **МСЗД** і з використанням стандартних засобів взаємодії з оператором комп'ютера комплексу є створенням проблемно-орієнтованого графічного інтерфейсу користувача (**GUI**). Це здійснюється шляхом конструювання (програмування) модулів окремо для **МСЗД** у інтегрованому середовищі розробки для мікроконтролеру (мова програмування **Assembler**, **C/C++**) та комп'ютера (середовище розробки програм **LabVIEW** [4], мова програмування **G**);

*Узагальнена функціональна специфікація програмно-апаратного комплексу **magnetic FieldPointer**.* Підготовка та систематизація існуючих відомостей про функції, виконання яких здійснюватиметься програмними засобами, є важливим етапом їхнього проєктування [5]. Серед формальних методів функціональна специфікація грає важливу роль. Доповнення можливостями підтримки нефункціональних характеристик дає змогу розширити сфери її застосування [6].

Розробка програмного забезпечення згідно з попередньо розробленим чітко визначеним набором модулів специфікації за умови збереження їхньої поведінки відносно терміналів вхід/вихід [7] заміщає взаємодію між багатьма об'єктами значно меншою їхньою кількістю.

Узагальнена функціональна специфікація графічного інтерфейсу передбачає наявність базових елементів управління вимірювальним ядром **МСЗД** для п'яти режимів роботи комплексу: **METER**, **SCOPE**, **PLOT**, **SCANNER**, **POINTER**. Наприклад, усі режими роботи мають власні вікна графічного інтерфейсу та повинні містити елементи управління чутливістю вимірювача. Крім того, означено тільки деякі функції для режимів, які мають бути безперечно представлені, щоб реалізувати призначення **МСЗД**. Специфікація має відкритий вигляд і буде поповнюватися в процесі розробки та випробувань.

Окремо створені багаторівневі узагальнені функціональні специфікації апаратно-програмних комплексів для п'яти режимів роботи: в області вимірювальних значень (режими **METER** і **PLOT**), їхніх проявів у часовій і частотній областях (**SCOPE**), у 2D просторовій області (**SCANNER**) і для динамічно змінюваних сцен (**POINTER**) – у часовій, частотній і одночасно 2D просторовій областях. Функціональні специфікації реалізуються розробленими в рамках проєкту **magnetic FieldPointer** операційною системою реального часу (**RTOS**), вбудованими програмованими засобами мобільної системи збору даних (**МСЗД**) та програмним забезпеченням комп'ютера шляхом створення спеціалізованих віртуальних приладів.

Деякі з важливих пунктів функціональної специфікації комплексу формулюються у такому вигляді:

1. Основна функція Комплексу полягає в реєстрації індукції магнітних полів, обробці та відображенні вимірювальної інформації під час виконання експериментальних досліджень та моніторингу або діагностування електроенергетичного обладнання.

2. Реєстрація змін магнітної індукції полів має бути представлена окремо або одночасно в декількох сферах їхнього існування: часовій, частотній, просторовій – одновимірній та двовимірній.
3. Реєстрація зовнішніх полів має здійснюватися одночасно за двома чи трьома напрямками прямокутної системи координат ближнього до досліджуваного обладнання простору.
4. Усі функції, що реалізуються комплексом, мають забезпечувати можливість керування процедурами вимірювання та реєстрації в режимі реального часу.
5. Для дослідження протяжних у просторі об'єктів має бути використаний бездротовий зв'язок мобільної системи збору даних (МСЗД) із комп'ютером комплексу для обміну даними та командами.
6. Має забезпечуватися можливість дистанційно управляти виконанням основних функцій комплексу, як із боку віддаленого комп'ютера комплексу, так і з засобами керування мобільної системи збору даних.
7. Результати цифрової обробки інформації надаються у вигляді, зручному для зберігання, подальшої обробки та сприйняття з можливістю їхнього протоколювання.
8. Функції спільного менеджера режимів Комплексу виконують Головні вікна МСЗД і КК, які запускаються під час включення. Вихід із одновіконних режимів реєстрації індукції магнітних полів повертає комплекс до Головних вікон. Вихід із додаткових вікон здійснюється послідовним поверненням з їхньої ієрархії.
9. Джерелом інформації для всіх функціональних реалізацій Комплексу є вимірювальний тракт МСЗД, керування параметрами та налаштуваннями якого можна здійснювати з будь-якого поточного режиму, крім менеджера вікон – Головного вікна.
10. Функції режимів, обсяг даних або необхідні апаратні ресурси, які не дають змогу їх прийняти або обробити, поділяють так, що МСЗД виконує тільки управління, збирання, попередню обробку та пересилання даних у комп'ютер комплексу, відображаючи водночас необхідну оператору оперативну інформацію, що виконує збір даних, наприклад, індикацію обсягу виконаних або частки вимірювань, що залишилися.
11. Для графічного надання наборів одновимірних даних часових або просторових послідовностей використати кілька вкладок у вікно МСЗД з можливістю доступу шляхом їхнього «перегортання».
12. Формування наборів даних із заданим числом елементів здійснювати вручну, натисканням кнопки щупа або автоматично, за допомогою таймера інтервалів введення МСЗД, що настроюється.
13. За допомогою графічного редактора МСЗД набори даних, отриманих вручну або автоматично, зводяться до загального подання, наприклад, у разі функціональної реалізації одновимірного сканера.
14. Комп'ютерне керування тривісною платформою для автоматичного сканування магнітного поля зворотно-поступальною траєкторією в прямокутній області розмірів і кроку сканування, що задаються.
15. Побудова на екрані МСЗД кольорових двовимірних графіків інтенсивності за двовимірного автоматичного сканування поверхонь. Демонстрація в субвікні (дочірньому вікні) графіка зв'язку палітри кольорів зі шкалою вимірювача магнітної індукції. Незалежна побудова графіка інтенсивності у вікні віртуального пристрою комп'ютера комплексу.
16. Програмна підтримка МСЗД функції ручного збору синхронізованих у часі двовимірних даних про просторовий розподіл змінної магнітної індукції на поверхні статора електричних машин, що обертаються.
17. Програмна реалізація комп'ютерного графічного 3D і 2D (графік інтенсивності) побудовника двовимірних сцен зовнішнього магнітного поля обертової електричної машини, що динамічно змінюється в часі.
18. Зберігання даних із можливістю подальшого відтворення і *frame by frame* (кадр за кадром) протоколювання графічних відображень.

### **Дизайн графічного інтерфейсу користувача (GUI) МСЗД і комп'ютера комплексу.**

Розробка графічного інтерфейсу, крім функціонального навантаження, цілком очевидно, пов'язана з художнім конструюванням, технічною естетикою та психологією сприйняття. Багато професійних розробок графічних інтерфейсів комп'ютерних додатків мають довге життя й істотно впливають на переваги користувачів. Реалізація інтерактивної взаємодії комплексу з оператором через відображення графічної інформації та сенсорним екраном на стороні МСЗД або комп'ютера комплексу зі стандартними засобами взаємодії з оператором передбачає створення проблемно-орієнтованого графічного інтерфейсу.

Якість проектування графічного інтерфейсу оцінюється різними наборами критеріїв, які більшою чи меншою мірою орієнтовані на повторюваному наборі рішень, що ведуть до успішної реалізації інтерактивного інструменту, **UI** (інтерфейс користувача) або на продуктивний і задовільний процес у разі досягнення результату, заснований на **UX** (користувач). Такий підхід дав змогу виробити набір «концепцій, посібників та робочих процесів для критичного осмислення дизайну та використання інтерактивного продукту» [8]. Деякі зі сформульованих визначень застосовано і в процесі складання переліку властивостей інтерфейсу для МСЗД:

- аффорданс: сигнал користувачеві про те, якій вплив можна здійснити на об'єкт;
- зворотний зв'язок: сигнал користувачеві про те, що сталося внаслідок взаємодії;
- взаємодія: двосторонній діалог питання-відповідь або запит-результат між користувачем-людиною та цифровим об'єктом, опосередкований через обчислювальний пристрій;
- примітив взаємодії: фундаментальні компоненти взаємодії, які можна комбінувати на формування стратегії взаємодії;
- оператор взаємодії: загальна функція, реалізована в інтерактивному інструменті, що дає змогу користувачеві маніпулювати дисплеєм;
- інтерфейс: інструмент, який дає змогу користувачеві маніпулювати цифровим об'єктом;
- стиль/режим інтерфейсу: спосіб введення даних для виконання оператора.

Організація вікон для підтримки завдань користувача продовжує залишатися найбільш поширеним способом побудови графічного інтерфейсу користувача. Привабливість віконного режиму, крім візуальності, полягає в тому, що "дає змогу робочому простору дисплея більш точно відображати робочий простір столу" [9]. Автором рекомендується використовувати основні вікна, щоб розпочати взаємодію та надати контекст верхнього рівня для залежних вікон, а додаткові вікна – для отримання або відображення додаткової інформації, що стосується основного вікна. Для «приладових» реалізацій можна дійти аналогічного висновку.

Оцінка переваг візуального редактора [10], який дає змогу кінцевим користувачам створювати графічні інтерфейси на основі складеного шаблону – поширеного шаблону розробки програмного забезпечення – показала, що його використання є надмірним для дизайну **GUI МСЗД**.

Аналіз функціональної специфікації, відомих правил і рекомендацій [11], дали змогу зробити висновок про можливість самостійного дизайну графічного інтерфейсу користувача із застосуванням програмних засобів редагування растрової графіки шляхом використання методики процесу усунення виявлених недоліків, що багаторазово повторюється.

**Інтерфейс користувача програмного забезпечення комплексу magnetic FieldPointer.** Інтерфейс користувача є важливою складовою як операційної системи реального часу (**RTOS**) **МСЗД**, так і програмних засобів (**ПЗ**) комп'ютера комплексу (**КК**). Загальна для двох складових комплексу назва виходить із тотожності їхньої функціональної специфікації. Різні апаратні ресурси вимагають застосування спеціалізованих середовищ для розробки індивідуальних програмних компонентів **МСЗД** та **КК**. Водночас процес створення програмного забезпечення, незалежно від призначення, ступеня деталізації функціональної специфікації, використання вбудованих функцій та стандартних алгоритмів, має *ітеративний* характер.

Розробка інтерфейсу користувача **МСЗД**. Першим кроком у створенні вбудованого інтерфейсу користувача мобільної системи збору даних є розробка програмних засобів зберігання його графічних елементів із довільним доступом, тобто бібліотеки для оперативного використання в будь-яких режимах роботи комплексу. Очевидно, що для цього слід викорис-

товувати енергонезалежну флеш-пам'ять, внутрішньосистемне перепрограмування якої здійснюватиметься через трипровідний інтерфейс поза **RTOS**. Обмежений обсяг мікросхеми флеш-пам'яті, встановленої на платі дисплея, необхідність забезпечення довільного доступу до даних вимагають організації простору записів за допомогою файлової системи.

Усі растрові зображення **GUI** для запису у флеш-пам'ять конвертуються у `header-file` мови програмування **C++** [12].

**Запис файлів зображень у флеш-пам'ять.** Для запису розроблено файлову систему енергонезалежної флеш-пам'яті **МСЗД** і однорівневу систему команд звернення до кореневого каталогу.

Було розроблено також формат заголовка файлу, команди керування записом, використано покажчики на рядки директорії файлу, прийнято порядок розкладу даних для повноекранного зображення вікна і розподіл рядків групами (*chunk*, чанкам) запису, описано процедури читання та відображення графічних даних.

#### **Читання та відображення даних *VITMAP*.**

1. Відображення ініціюється із функції побудови `tu_Menue_win` вікна меню викликом функції `win_show`.

2. Функція `win_show` «ліпить» вікно, що відображається, до його батька. Ліплення означає, що вікно буде видимим і буде замальовано, якщо його батько видимий, незважаючи, наприклад, на те, що буде закритим іншим вікном. Прив'язка здійснюється відповідними записами у файловій системі.

3. Перший етап замальовки виконується викликом функції `win_redraw`. Ця функція перемальовує вікно, якщо воно є видимим. Використовується для оновлення графіки, коли, наприклад, положення віджета змінюється. Виклик функції другого етапу відображення `win_draw` задається як посилання на структуру опису вікна (віджета, графічного елемента), і окремо область (розмір і положення) цієї структури, тобто. початкові розміри зображення, що вставляється як дочірній віджет.

**Головні вікна *GUI* комплексу *magnetic FieldPointer*.** Раніше відзначалася функціональна близькість головних вікон двох основних компонентів. На рис. 1 ця близькість характеризується практично повним збігом блоків схеми інтерфейсу, за винятком блоку функції задання каналу зв'язку та індикації вибору провідний/радіоканал способу обміну даними та командами.

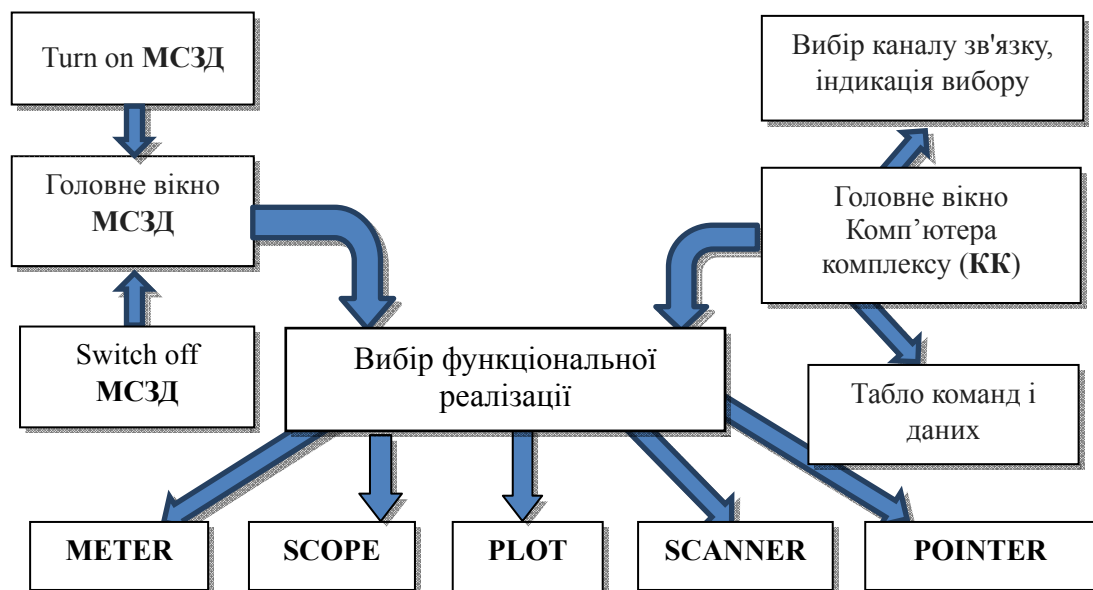


Рис. 1

**Дизайн Головного вікна МСЗД.** Зображення піктограм режимів роботи та вимикача головного вікна МСЗД були синтезовані окремо в растровому графічному редакторі **GIMP** і потім перенесені на загальну для них підкладку (рис. 1).

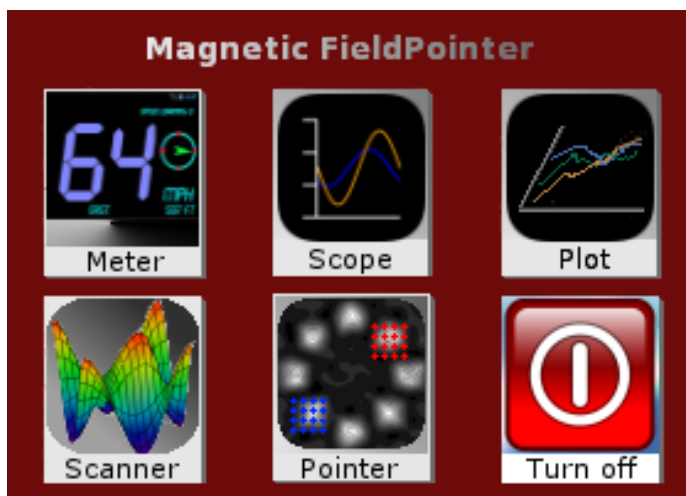


Рис. 2

Адаптація до вимог МСЗД стандартної програмної реалізації функції обслуговування подій, викликаних дотиком до сенсорного резистивного екрану МСЗД, дала змогу реалізувати графічний інтерфейс користувача Головного вікна мобільної системи (рис. 2).

#### **Дизайн і програмне забезпечення Головного вікна комп'ютера комплексу.**

Програмні засоби комп'ютера комплексу створювалися в середовищі розробки із графічною мовою програмування «G» компанії **National Instruments**.

Головне вікно **КК** із графічним інтерфейсом віртуального пристрою (рис. 3) забезпечує в комплексі magnetic FieldPointer вибір одного з п'яти online режимів роботи. На лицьовій панелі віртуального приладу також розташовані кнопка вибору каналу зв'язку “**Serial conn**”, індикатори **UART** та **wireless**, індикатор фізичного або віртуального послідовного порту **VISA serial** комп'ютера комплексу, текстові табло команд, що приймаються та відправляються, та кнопка **STOP** зупинки роботи системи.

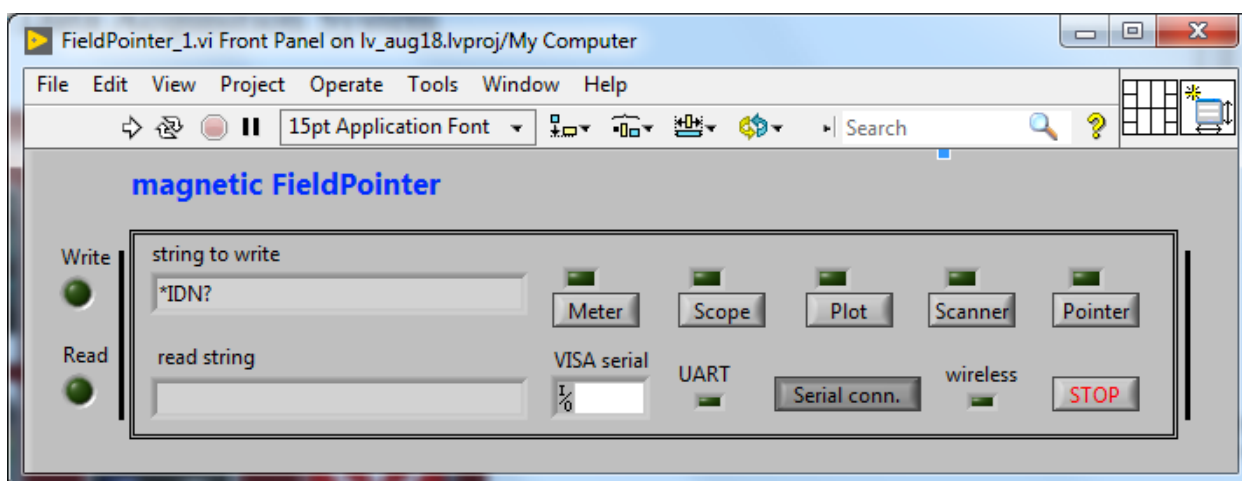


Рис. 3

Прийняті від МСЗД команди відбиваються в табло “read string”, декодуються, ініціюють запуск і перехід на вікно, як і ініційовані екранною кнопкою Головного вікна віртуального приладу команди. В останньому випадку декодований командний рядок також відправляється для виконання та індикації до МСЗД.



Розроблене програмне забезпечення реалізує менеджмент режимів роботи й графічний інтерфейс користувача комплексу. Його сумісне тестування з апаратними засобами комплексу підтвердило повне виконання закладених вимог функціональної специфікації. Результати цього етапу робіт є надійною алгоритмічною й методологічною основою для подальших розробок систем технічного діагностування електроенергетичного обладнання.

**Висновки.** 1. Розроблено та ітеративно реалізовано концепцію створення комплексу мобільної системи збору даних (МСЗД) із комп'ютером комплексу (КК), розроблено узагальнену багаторівневу функціональну специфікацію комплексу як форму декларативних вимог до його основних характеристик.

2. Послідовне втілення специфікації здійснювалося у вигляді наборів імперативних інструкцій програмного забезпечення для взаємодіючих комп'ютерних та вбудованих програмних засобів, що забезпечило збір та обробку діагностичної інформації, інформаційну взаємодію всередині програмно-апаратного комплексу, зв'язок із оператором за допомогою інтерфейсу, подання отриманої інформації у вигляді, придатному для сприйняття людиною та машиною.

3. Виконані етапи роботи, підтвержені тестуванням інтегрованих складових комплексу, є важливою частиною створення науково-прикладних основ побудови та функціонування комплексу програмних та апаратних засобів реєстрації індукції зовнішніх постійних та змінних магнітних полів для експериментальних досліджень і використання в комп'ютерному діагностуванні електроенергетичного обладнання.

*Робота виконана за держбюджетною темою «з виконання наукової роботи №: III-29-17 "Розширення функціональних можливостей та підвищення метрологічних характеристик засобів вимірювання в системах моніторингу і діагностування в електроенергетиці", шифр "ПАРАМЕТР-Д". Державний реєстраційний номер 0122U000136.*

1. Мазманян Р.О. Концепция и методология 2D мониторинга в системах технического диагностирования электроэнергетического оборудования. *Промышленная энергетика*. 2015. № 2. С.17–20.
2. Мазманян Р.О. Программно-аппаратный комплекс для мониторинга магнитных полей электроэнергетического оборудования. *Технічна електродинаміка*. 2019. № 5. С. 83–92. DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2019.05.083>
3. Gill N.S. Functional Specification Document. The Complete Guide. URL: <https://www.xenonstack.com/blog/functional-specification-document>
4. LabView Applications. URL: <https://www.ni.com/en-us/shop/labview.html>
5. Real-Time Gross Settlement. User Detailed Functional Specifications. 1 April 2021. URL: [https://www.ecb.europa.eu/paym/target/consolidation/profuse/shared/pdf/2021-04-01\\_t2\\_udfs\\_rtgs\\_v2-2.pdf](https://www.ecb.europa.eu/paym/target/consolidation/profuse/shared/pdf/2021-04-01_t2_udfs_rtgs_v2-2.pdf)
6. Röttger S., Zschaler A. Software Development Process Supporting Non-functional Properties. Proc. of the *IASTED International Conference on Software Engineering* (IASTED SE 2004). ACTA Press, 2004. Pp. 1–4.
7. Gannon J.D., Purtilo J., Zelkowitz M.V. Software Specification: A Comparison of Formal Methods Ablex Publishing Company, 2001. Pp. 249.
8. Roth R. E. User Interface and User Experience (UI/UX) Design. The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2017 Edition), John P. Wilson(ed.). DOI: <https://doi.org/10.22224/gistbok/2017.2.5>.
9. Galitz Wilbert O. The essential guide to user interface design: an introduction to GUI design principles and techniques. 3rd ed. John Wiley & Sons, 2007. Pp. 888.
10. End-user composition of graphical user interfaces by composite pattern Conference: *the ACM SIGCHI Symposium*. June 2019. DOI: <https://doi.org/10.1145/3319499.3328236>
11. Ejaz A., Ali S.A., Ejaz M.Y., Siddiqui F.A. Graphic user interface design principles for designing Augmented Reality applications (IJACSA) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2019. Vol. 10. No. 2. Pp. 209–216.
12. Standard C++ Library Header Files - IBM URL: <https://www.ibm.com/docs/en/zos/2.3.0?topic=reference-standard-c-library-header-files>

## MAIN OPERATION MODES AND GRAPHICAL USER INTERFACE OF THE COMPLEX FOR EXPERIMENTAL STUDIES OF MAGNETIC FIELD AND DIAGNOSTICS OF ELECTRICAL EQUIPMENT

**R.O. Mazmanian**

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Beresteyskiy ave., 56, Kyiv, 03680, Ukraine

e-mail: [mazmanian@ied.org.ua](mailto:mazmanian@ied.org.ua), [r.o.mazmanian@gmail.com](mailto:r.o.mazmanian@gmail.com)

Hardware and software monitoring complex is designed to study the relationship between changes in the patterns of the magnetic field intensity distribution with power equipment failures. In experimental studies with predetermined technical faults artificially introduced into the object the complex will provide useful and reliable results by registering changes in the magnetic field induction in the spatial, temporal and frequency domains. The choice and flexible adjustment of data collection tools by the researcher will ensure the use of the most appropriate method for measuring, converting and displaying information about the investigated faults. The article presents the main operating modes and graphical user interfaces of a personal computer and a mobile data acquisition system that jointly convert, store, analyze and display measurement information received from various magnetic sensors. The generalized functional specification of the complex software, the design of the graphical user interface (GUI) as parts of the real-time operating system (RTOS) of the mobile data acquisition system (DAQ) and PC software will also be used in the development of problem-oriented computer diagnostic systems for electric power equipment. Ref. 12, fig. 3.

**Key words:** technical diagnostics, power equipment, magnetic field, graphical user interface.

1. Mazmanian R.O. 2D spatial monitoring in diagnostics of electrical power equipment. *Promyshlennaya energetika*. 2015. No 2. Pp. 17–20. (Rus)
2. Mazmanian R.O. Complex for electric power equipment magnetic fields monitoring. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2019. No 5. Pp. 83–92. (Rus) DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.05.083>
3. Gill N.S. Functional Specification Document. The Complete Guide. URL: <https://www.xenonstack.com/blog/functional-specification-document>
4. LabView Applications. URL: <https://www.ni.com/en-us/shop/labview.html>
5. Real-Time Gross Settlement. User Detailed Functional Specifications. 1 April 2021. URL: [https://www.ecb.europa.eu/paym/target/consolidation/profuse/shared/pdf/2021-04-01\\_t2\\_udfs\\_rtgs\\_v2-2.pdf](https://www.ecb.europa.eu/paym/target/consolidation/profuse/shared/pdf/2021-04-01_t2_udfs_rtgs_v2-2.pdf)
6. Röttger S., Zschaler A. Software Development Process Supporting Non-functional Properties. Proc. of the *IASTED International Conference on Software Engineering (IASTED SE 2004)*. ACTA Press, 2004. Pp. 1–4.
7. Gannon J.D., Purtilo J., Zelkowitz M.V. Software Specification: A Comparison of Formal Methods Ablex Publishing Company, 2001. Pp. 249.
8. Roth R. E. User Interface and User Experience (UI/UX) Design. The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2017 Edition), John P. Wilson (ed.). DOI: <https://doi.org/10.22224/gistbok/2017.2.5>.
9. Galitz Wilbert O. The essential guide to user interface design: an introduction to GUI design principles and techniques. 3rd ed. John Wiley & Sons, 2007. Pp. 888.
10. End-user composition of graphical user interfaces by composite pattern Conference: *the ACM SIGCHI Symposium* June 2019. DOI: <https://doi.org/10.1145/3319499.3328236>
11. Ejaz A., Ali S.A., Ejaz M.Y., Siddiqui F.A. Graphic user interface design principles for designing Augmented Reality applications (IJACSA) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2019. Vol. 10. No 2. Pp. 209–216.
12. Standard C++ Library Header Files - IBM URL: <https://www.ibm.com/docs/en/zos/2.3.0?topic=reference-standard-c-library-header-files>

Надійшла: 29.08.2023  
Прийнята: 26.10.2023

Submitted: 29.08.2023  
Accepted: 26.10.2023