

УДК 621.317

**СИСТЕМНІ ЗАСОБИ МОНИТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

З.Я. Монастирський¹, докт. техн. наук, **А.Д. Ніженський²**, докт. техн. наук, **В.Г. Мельник³**, канд. техн. наук, **А.С. Левицький⁴**, канд. техн. наук

Наведено основні результати наукових досліджень, що проводились у відділі електричних і магнітних вимірювань ІЕД НАН України у 2010 р. Серед них створення та дослідження ємнісних сенсорів для діагностики потужних генераторів, універсальних засобів вимірювання комплексу електричних величин на промисловій частоті, серійно придатних уніфікованих модулів для інтелектуальних інформаційних систем, удосконалення лазерних далекомірних систем, розробка метрологічного забезпечення засобів вимірювання та алгоритмів обробки вимірювальної інформації. Бібл. 23, таблиця.

Ключові слова: ємнісний сенсор, діагностика, моніторинг, енергетичне обладнання, вимірювальний канал, лазерний вимірювач, метрологічне забезпечення.

Загальним напрямком наукових досліджень відділу електричних і магнітних вимірювань у 2010 році була розробка нових методів та базових засобів вимірювання комплексів фізичних величин електричної та неелектричної природи для електроенергетики та суміжних галузей. У рамках цього напрямку виконувались роботи за такими розділами.

1. Створення ємнісних сенсорів для систем контролю та діагностики потужних генераторів.

Одержані нові наукові результати цього розділу відображено у публікаціях [8–16, 22] і стосуються створення та дослідження ємнісних сенсорів радіального биття вала потужних генераторів та кутових переміщень виконавчих механізмів.

Відомо, що наявність достовірної інформації про биття вала дозволяє ідентифікувати до 58 % дефектів гідроагрегатів. Перспективними пристроями для цієї мети є ємнісні сенсори відстані до провідних поверхонь. Їхніми основними перевагами перед широко застосовуваними струмовихровими сенсорами є незалежність функції перетворення від «металургійних» властивостей і хімічного складу вала, а також його залишкової намагніченості. Це дає змогу уникнути перекалібрування приладу для різних матеріалів. Ще однією перевагою є те, що сенсори не вимагають якісної механічної обробки поверхні, відносно якої вимірюється биття.

Результати проведених досліджень [8, 13] можна використати для визначення функції перетворення та вибору оптимальних розмірів ємнісного сенсора, у якого активний електрод виконано у формі круга, а охоронний – у вигляді кільця, розташованого навколо нього. Функція перетворення сенсора відповідає ідеальному розташуванню активного електрода відносно поверхні контрольованого вала. Однак при встановленні сенсора на машині неминуче виникають технологічні похибки, такі як ексцентриситет і перекіс. Вони можуть виникати одночасно, але зручніше розраховувати кожен похибку окремо згідно з принципом суперпозиції малих величин, припускаючи, що інша при цьому дорівнює нулеві. Проведено розрахунки впливу зазначених похибок та сформульовано вимоги до точності встановлення сенсорів [11].

Роботи [12, 14, 15, 22] присвячені дослідженням ємнісного сенсора радіального биття з активним електродом у формі прямокутника. В результаті досліджень встановлено, що при вимірюванні радіального биття валів з меншими діаметрами, похибка від кривизни контрольованого вала є у декілька разів меншою [14]. Вплив похибок монтажу сенсора з прямокутним електродом досліджено в роботі [12].

Результати досліджень сенсорів наведено в таблиці.

Сенсор з круглим активним електродом	Сенсор з прямокутним активним електродом
<p style="text-align: center;">Функція перетворення</p> $d_x \sim \frac{1}{C_x} = \frac{1}{4\varepsilon_0\varepsilon \cdot \int_0^r \frac{1}{d + R - \sqrt{R^2 - x^2}} dx},$ <p>d_x – відстань від поверхні електрода до контрольованого вала; r – радіус активного електрода; R – радіус контрольованого вала</p>	<p style="text-align: center;">Функція перетворення</p> $d_x \sim \frac{1}{C_x} = \frac{1}{2\varepsilon\varepsilon_0 b \int_0^{a/2} \frac{dx}{d + R - \sqrt{R^2 - x^2}}},$ <p>d_x – відстань від поверхні електрода до контрольованого вала; a – розмір активного електрода в напрямку, перпендикулярному поздовжній осі контрольованого вала; b – розмір активного електрода в напрямку, паралельному поздовжній осі контрольованого вала; R – радіус контрольованого вала</p>
<p style="text-align: center;">Ширина охоронного електрода</p> <p>Визначається числовим розв'язком рівняння</p> $\gamma \approx \frac{4}{\pi} \sqrt{1 + \frac{c}{r}} \cdot e^{-\frac{\pi \cdot c}{d_{\max}}},$ <p>c – ширина охоронного електрода; d_{\max} – максимальний зазор у сенсорі; γ – похибка вимірювання</p>	<p style="text-align: center;">Ширина охоронного електрода</p> <p>Визначається числовим розв'язком рівняння</p> $\gamma \approx \frac{4}{\pi} \sqrt{1 + \frac{c}{a}} \cdot e^{-\frac{\pi \cdot c}{d}},$ <p>c – ширина охоронного електрода; d_{\max} – максимальний зазор в сенсорі; γ – похибка вимірювання</p>
<p style="text-align: center;">Похибка, зумовлена кривизною контрольованого вала</p> $\delta_R = \left(\frac{4d \cdot \int_0^r \frac{\sqrt{r^2 - x^2}}{d + R - \sqrt{R^2 - x^2}} dx}{\pi r^2} - 1 \right) \cdot 100\%,$ <p>δ_R – похибка, зумовлена кривизною контрольованого вала; d – зазор в сенсорі</p>	<p style="text-align: center;">Похибка, зумовлена кривизною контрольованого вала</p> $\delta_R = \left(\frac{2bd \cdot \int_0^{a/2} \frac{dx}{d + R - \sqrt{R^2 - x^2}}}{a \cdot b} - 1 \right) \cdot 100\%,$ <p>δ_R – похибка, зумовлена кривизною контрольованого вала; d – зазор в сенсорі</p>
<p style="text-align: center;">Похибки, зумовлені неточністю встановлення на машині</p> <p>А) Похибка від ексцентриситету активного електрода</p> $\delta_e = \left(\frac{e^+ \int_0^r \frac{\sqrt{r^2 - (x-e)^2}}{d + R - \sqrt{R^2 - x^2}} dx}{e^- \int_0^r \frac{\sqrt{r^2 - x^2}}{d + R - \sqrt{R^2 - x^2}} dx} - 1 \right) \cdot 100\%,$ <p>e – ексцентриситет; δ_e – похибка від ексцентриситету.</p> <p>Б) Похибка від перекосу активного електрода</p> $\delta_\alpha = \left(\frac{\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} \int_{-r}^+r \ln \left[\frac{\sin\alpha (r + \sqrt{r^2 - x^2}) + d + R - \sqrt{R^2 - x^2}}{\sin\alpha (r - \sqrt{r^2 - x^2}) + d + R - \sqrt{R^2 - x^2}} \right] dx}{4 \int_0^r \frac{\sqrt{r^2 - x^2}}{d + R - \sqrt{R^2 - x^2}} dx} - 1 \right) \cdot 100\%,$ <p>α – кут перекосу; δ_α – похибка від перекосу</p>	<p style="text-align: center;">Похибки, зумовлені неточністю встановлення на машині</p> <p>А) Похибка від ексцентриситету активного електрода</p> $\delta_e = \left(\frac{e^+ \int_0^{a/2} \frac{dx}{d + R - \sqrt{R^2 - x^2}}}{e^- \int_0^{a/2} \frac{dx}{d + R - \sqrt{R^2 - x^2}}} - 1 \right) \cdot 100\%,$ <p>e – ексцентриситет; δ_e – похибка від ексцентриситету.</p> <p>Б) Похибка від перекосу активного електрода</p> $\delta_\alpha = \left(\frac{\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} \int_{-a/2}^{+a/2} \ln \left[\frac{b \sin\alpha}{d + R - \sqrt{R^2 - x^2}} - 1 \right] dx}{2b \int_0^{a/2} \frac{dx}{d + R - \sqrt{R^2 - x^2}}} - 1 \right) \cdot 100\%,$ <p>α – кут перекосу; δ_α – похибка від перекосу</p>

Одержані вирази дозволяють обґрунтовано вибрати тип і параметри ємнісного сенсора, виходячи з необхідної точності вимірювання та заданого місця їхнього розташування на об'єкті контролю.

Розроблено принципи побудови та функціональні схеми окремих вузлів контрольно-вимірювальних засобів виконавчих механізмів трубопровідної арматури АЕС. Зокрема, розроблено гальваноманітний та ємнісний принципи вимірювання механічних параметрів виконавчих механізмів, виконано аналіз безконтактного зчитування інформації про кут повороту вала, розроблено схеми та конструктивне виконання мікроспоживаючих сенсорів кутових переміщень на базі гальваноманітних перетворювачів та сенсорів з механічним перериванням магнітного потоку в системі з робочим зазором.

Проведено аналіз функціональних можливостей та визначення метрологічних характеристик ємнісних сенсорів кутових переміщень, проведено теоретичні дослідження ємнісних сенсорів зі спіральними електродами і виконано розрахунки робочих параметрів цих сенсорів.

У подальшому планується провести дослідження, результати яких дали б змогу створити ємнісний вимірювач деформацій бандажних кілець ротора в турбогенераторі та ємнісний вимірювач вібрацій стержня обмотки в пазу осердя статора.

Отримані результати планується до впровадження на генераторах ГЕС, ТЕС та АЕС України.

2. Створення серійно-придатних уніфікованих модулів вимірювальних каналів для інтелектуальних інформаційних систем.

Нові результати за розділом відображені в публікаціях [7, 17, 20, 21] та полягають у наступному.

Обґрунтовано перелік базових функцій інтелектуальних вимірювальних каналів, достатній для побудови широкого кола систем контролю з електричними інформативними параметрами [17].

Розроблено структури, функціональні та принципів схеми базових модулів таких каналів та додаткових субмодулів вхідних вимірювальних кіл, розрахованих на під'єднання до інформаційної системи одного джерела довільного виду [21], а також мультипроцесорних базових модулів, що дозволяють виконувати інтелектуальну обробку синхронізованих масивів даних від кількох джерел з мінімізованими затримками у часі [7].

За результатами досліджень реалізовано експериментальні зразки серійно-придатних уніфікованих базових модулів МХР-2 та МХР-3, призначених для побудови високочутливих і високоточних інформаційно-вимірювальних систем.

Обґрунтовано структуру високочутливого швидкодіючого вимірювального каналу, призначеного для отримання безперервного потоку масивів даних з розширеними можливостями їх складної обробки в режимі реального часу [20], розроблено технічну документацію та виготовлено макетний зразок вимірювального субмодуля для реалізації таких каналів, створено програмне забезпечення, необхідне для їх функціонування в складі інформаційної системи.

Виявлено та досліджено специфічний вид похибок, що мають місце у високочутливих вимірювальних каналах з комбінованим перетворенням старших і молодших розрядів. Вони проявляються у вигляді диференціальної нелінійності функції перетворення і носять випадковий характер, зумовлений дією шумів.

Запропоновано та опрацьовано на фізичних моделях методи виконання вимірювання, що дозволяють суттєво зменшити вказані вище похибки шляхом каліброваного зміщення робочої точки на характеристиці перетворення з наступним усередненням результатів, отриманих при різних зміщеннях.

Експериментально доведено можливість побудови на базі уніфікованого модуля МХР-3 каналу вимірювання комплексних опорів з відносною розрізнявальною здатністю на рівні 0,001 % та похибкою від нелінійності функції перетворення на рівні 0,003...0,004 % у декадному діапазоні вимірювань.

У ході подальших досліджень планується практичне опрацювання методів підвищення точності вимірювальних каналів з комбінованим перетворенням інформативних параметрів шляхом автоматичного калібрування зрівноважувальних елементів, урахування температурних похибок, удосконалення цифрової обробки результатів вимірювання. Також планується створення експериментального зразка інтелектуального мультипроцесорного вимірювального каналу з оптимізованим розподілом функцій вимірювання, формування масивів даних і їх обробки за складними алгоритмами. У реалізації біосенсорних систем будуть вирішені питання узгодження електричних характеристик первинних перетворювачів з мостовими колами вимірювальних модулів, розроблені методики калібрування вимірювальних каналів та метрологічної атестації приладів.

Отримані результати дозволять організувати серійний випуск високочутливих і високоточних приладів для метрологічного забезпечення вимірювань у електротехнічній галузі, засобів безперервного моніторингу процесів і стану обладнання для наукових досліджень та широкого застосування сенсорних систем у медицині, біотехнологіях, контролю якості харчової продукції та екологічного стану довкілля.

Впровадження результатів досліджень і розробок за даним розділом робіт планується у формі випуску партій базових модулів вимірювальних каналів і спеціалізованих приладів на їх основі у НВП "Енергоімпульс" Інституту електродинаміки НАН України. На 2011 р. передбачено виготовлення експериментальної партії (10 екземплярів) модулів МХР-2 та МХР-3, розрахованих на перетворення сигналів планарних кондуктометричних сенсорів та роботу у складі електрохімічної системи амперометричного типу. Використання виготовлених приладів буде здійснюватись у Інституті молекулярної біології і генетики НАН України та інших наукових установах для опрацювання біосенсорних систем і біотехнологій. Також будуть виготовлені експериментальні зразки прецизійних модулів МХР-3 для опрацювання діагностичних вимірювальних систем з ємнісними сенсорами та проведення метрологічних досліджень за тематикою відділу.

3. Створення засобів вимірювання комплексу електричних величин на промисловій частоті для діагностики електроенергетичних об'єктів.

За цим розділом одержані нові результати опубліковано в [1] та стосуються наступного.

З метою вивчення можливостей розробленого раніше селективного вимірювача комплексу електричних величин на промисловій частоті проведено аналіз похибок непрямих вимірювань, що проводяться з його допомогою. Отримано математичні вирази для нормування похибок вимірювання наступних груп електричних величин.

- Залежні лише від ефективних значень напруг та струмів, а саме коефіцієнт трансформації, повна електрична потужність та повний електричний опір. Показано, що при умові зменшення відносних похибок прямих вимірювань ефективних значень змінних напруг та струмів до 0,3 %, відносні похибки визначення величин цієї групи не перевищують 0,5 %.
- Залежні тільки від різниці фаз, зокрема, коефіцієнт електричної потужності. Показано, що абсолютна похибка вимірювання цієї величини не перевищує 0,002.
- Залежні як від ефективних значень змінних напруг та струмів, так і від тригонометричних функцій різниці фаз, зокрема, активна та реактивна складові електричної потужності, а також складові електричного імпедансу. Одержано математичні вирази похибок, що є сумою двох складових, одна з яких залежить тільки від ефективних значень сигналів, а друга – від значення вимірюваної величини. При цьому відносні значення складових знаходяться в діапазоні від 0,5 до 0,75 %.

Виготовлено та налагоджено експериментальний зразок селективного вимірювача комплексу електричних величин на промисловій частоті. Зразок підготовлено до експериментів з визначення його метрологічних характеристик.

У 2011 р. планується завершити дослідження метрологічних характеристик експериментального зразка селективного вимірювача комплексу електричних величин, а також передати результати досліджень для їх впровадження у серійну продукцію на ТОВ «Науково-виробниче підприємство ОСТ», де заплановано випуск дослідної партії модернізованих приладів «Вектор-2.0М».

Запропоновано нову концепцію побудови сучасних серійно спроможних вимірювальних перетворювачів комплексу електричних величин з нормалізованими вихідними параметрами та покращеними функціональними і метрологічними характеристиками, яка базується на наступних принципах.

- Поєднання в одному пристрої універсальних цифрових виходів з нормалізованими аналоговими виходами.
- Програмована адаптація виходів з нормалізованими аналоговими сигналами як до вхідних параметрів, так і до стандартизованих діапазонів зміни вихідного сигналу.
- Виконання операцій метрологічного калібрування та відлагодження програмно-апаратним способом через штатний порт цифрового стандартного інтерфейсу.

Для практичної реалізації запропонованої концепції розроблено структури та алгоритми функціонування вузлів перетворювачів, що забезпечують дистанційно програмовану зміну їхніх параметрів. Планується виготовлення лабораторного зразка вимірювального перетворювача та проведення його метрологічних випробувань. У подальшому передбачаються дослідження принципів побудови засобів безперервного вимірювання діелектричних параметрів високовольтної ізоляції під робочою напругою. Метою цих досліджень є зменшення похибок від нееквіпотенціальності точок заземлення об'єкта та засобу вимірювання, а також підвищення завадостійкості вимірювальних засобів.

4. Удосконалення лазерних далекомірних систем та розширення сфер їх застосування.

При виконанні цього розділу проведено розробку методів побудови та аналіз метрологічних характеристик частотно-фазових лазерних двоканальних далекомірних систем. За результатами аналізу обґрунтовано застосування алгоритму оптимальної оцінки частоти вихідного сигналу далекомірної системи з трикутним законом модуляції частоти обвідної випромінювання лазера [5]. Це дозволило зменшити випадкову похибку, обумовлену впливом широкосмугових завад, приблизно в 2 рази. Доцільно зазначити, що в таких пристроях значно зменшується вплив зосереджених завад.

Запропонована схема лазерного частотно-фазового далекоміра [4], на основі якої можуть бути реалізовані як вимірювач переміщень, так і вимірювач параметрів вібрацій контрольованих об'єктів. Особливістю схеми є відсутність опорного електричного каналу. Оцінка фазових зсувів проводиться на частоті модуляції шляхом використання синхронного детектора з фільтром нижніх частот. Для установки номінального значення амплітуди напруги, що визначає фазовий зсув між досліджуваним та опорним сигналами, передбачено автоматичне управління атенюатором, увімкнутим перед послідовним з'єднанням підсилювача і аналого-цифрового перетворювача напруги. У запропонованому вимірювачі параметрів вібрацій, як і у будь-якій частотно-фазовій далекомірній системі, здійснюється оцінка частоти її вихідного сигналу при безперервній ступінчастій зміні частоти модуляції. В результаті програмної обробки даних комп'ютером формується гармонійний сигнал, близький за параметрами до вихідного сигналу системи. У даному випадку має місце незначна частотна модуляція досліджуваного сигналу, обумовлена вібраціями контрольованого об'єкта. При цьому відповідний приріст фазового зсуву через вібрацію істотно менший від вимірюваного фазового зсуву. У [4] одержано вираз для кумулятивного фазового зсуву з врахуванням вібрацій

досліджуваного об'єкта, а також для вихідного сигналу системи. В останньому присутня складова, що характеризує параметри вібрацій досліджуваного об'єкта. Для її оцінки запропоновано алгоритм обробки вихідного сигналу системи та двох опорних квадратурних напруг, що реалізується за допомогою персонального комп'ютера.

Результати дослідження лазерного вимірювача параметрів вібрацій, побудованого на частотно-фазовому методі вимірювання відстаней, дозволяють провести їх порівняльну оцінку з фазовими лазерними давачами вібрацій, у яких частота модуляції світлового випромінювання дорівнює 50 МГц. У результаті цього встановлено:

- що середнє значення інтенсивності спектрограми вихідного сигналу, обумовлене дією шумів, практично однакове в обох випадках;

- у частотно-фазовому вимірювачі має місце виграш (у 1,65 разу) у значенні випадкової похибки, яка виникає через флуктуації фаз вихідних сигналів генератора модулюючих коливань і гетеродина;

- внаслідок того, що частота інформативного сигналу частотно-фазової системи збільшена до 500 Гц, істотно зменшується вплив на результати вимірювання завад з частотою промислової мережі.

Для частотно-фазових далекомірних систем створено блок модуляції частоти обвідного лазерного випромінювання з урахуванням того, що керування блоком реалізується персональним комп'ютером через LPT-порт, а в якості керованого генератора частоти використовується цифровий частотний синтезатор типу AD9851. З восьми розрядів регістра LPT-порту чотири використовуються для послідовної передачі даних установки частоти, а чотири – для управління режимами роботи синтезатора.

Окрім дослідження частотно-фазових далекомірних систем проведено роботи в напрямку вдосконалення фазових лазерних вимірювачів переміщень і вібрацій [2, 3]. Розглянуто можливість розширення частотного діапазону вимірюваних вібрацій, проведено вибір частоти дискретизації аналого-цифрового перетворювача напруги, який входить до складу схеми вимірювача, з урахуванням частотних характеристик фільтра нижніх частот. Оцінено випадкову похибку вимірювання та запропоновано алгоритм адаптивної компенсації гармонійних завад.

Результати проведених досліджень використані для поліпшення характеристик вимірювача висоти нижньої кромки хмар "ПРОМІНЬ", розробленого Українським науково-дослідним гідрометеорологічним інститутом на замовлення Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій і у справах захисту населення від наслідків чорнобильської катастрофи.

Отримані результати досліджень за 2010 рік дають змогу зробити висновок, що на сучасному науково-технічному рівні запропоновано алгоритми адаптивної компенсації випадкових завад лазерних далекомірних систем і розроблено цифрові квазіоптимальні фільтри для вимірювачів відстані з трикутним законом частотної модуляції та вимірювачів параметрів вібрацій з урахуванням неповних апріорних даних. Розроблені прилади в порівнянні з кращими зарубіжними аналогами мають ширші функціональні можливості, оскільки завдяки використанню спеціальних відбивачів світлового сигналу при однаковій розрізняльній здатності (0,02...0,05 мм) можуть використовуватись для дослідження об'єктів з дифузним відбиттям оптичного сигналу.

У подальшому планується провести дослідження, спрямовані на підвищення завадостійкості і швидкодії вимірювальних перетворювачів для далекомірних систем за рахунок використання широкопasmових фазовимірювальних пристроїв, підвищення ефективності систем адаптивної компенсації завад та оптимального вибору числа модулюючих частот у частотно-фазових системах. Крім того, передбачається провести детальні дослідження характеристик квазіоптимального фільтра для підвищення точності оцінки частоти вихідного сигналу частотно-фазових далекомірних систем. Буде запропоновано і розглянуто нову фазову лазерну систему вимірювання переміщень і вібрацій зі змінною частотою модулюючої напруги. Очевидною перевагою таких пристроїв є те, що інформативним параметром служить частота модулюючої напруги.

5. Розробка метрологічного забезпечення та алгоритмів обробки вимірювальної інформації.

Розробка метрологічного забезпечення та алгоритмів обробки даних необхідна як на стадії створення нових вимірювальних пристроїв, так і для вдосконалення метрологічної бази в цілому. Одержані при виконанні цього завдання результати опубліковано в роботах [6, 19, 23] та полягають у наступному.

Обґрунтовано метод визначення метрологічних характеристик (зокрема, адитивної похибки та похибки від нелінійності) прецизійних засобів вимірювання електричного опору при відсутності еталонів необхідного класу точності.

Запропоновано новий спосіб визначення адитивної похибки засобів вимірювання опору та проведено його експериментальні дослідження. Він може бути використаний для калібрування нульової відмітки шкали або визначення адитивної складової похибки високочутливих прецизійних засобів вимірювання електричного опору, наприклад термометричних мостів. Завдяки цьому способу досягаються вища точність калібрування, стійкість до впливу завод та спрощення реалізації відповідних пристроїв.

Для атестації біосенсорних вимірювальних систем сформульовано перелік вимог до метрологічного забезпечення вимірювачів концентрації сахаридів та розроблено методику приготування розчинів сахаридів у буферному розчині з $\text{pH} = 7,4$. Запропоновано нові конструкції кондуктометричних біосенсорів, що забезпечують кращі метрологічні характеристики. Для стабілізації товщини мембрани введено захисний шар ізолятора, що утворює заглиблення над електродною системою, в якому розміщується мембрана.

За матеріалами досліджень розроблено та затверджено у Держстандарті методику приготування розчинів сахаридів № 919-36-10.

Надалі заплановано одержати повну математичну модель невизначеності Державного еталону електролітичної провідності, розробити моделі та дослідити технологічні похибки виготовлення елементів кондуктометричної комірки, провести аналіз впливу геометрії струмових електродів.

Результати вже проведених досліджень будуть впроваджені в Держстандарті України, зокрема в Державному еталоні температури для калібрування термометричних мостів та зменшення стандартної невизначеності під час проведення міжнародних звірянь. Нові конструкції кондуктометричних біосенсорів будуть впроваджені в макеті чотириканального вимірювача концентрації сахаридів (сахарози, глюкози, мальтози, лактози).

Важливим напрямком досліджень, пов'язаних з обробкою вимірювальної інформації, є обробка даних 2D- моніторингу магнітних полів у системах діагностики електричних машин [18]. У ряді випадків для ранньої діагностики несправностей електричних машин можуть знайти застосування також і методи, що використовують дані про просторовий розподіл магнітної індукції, наприклад, у робочому зазорі машини. Обмежена кількість первинних перетворювачів, що встановлюються в зоні спостереження, може призвести до втрати тонких відмінностей у просторовому розподілі вимірюваної індукції. З подібними проблемами пов'язано і відображення полів систем з постійними магнітами або інших полів, кожній точці яких можна поставити у відповідність значення деякого параметра. Обробка двовимірних зображень розподілу магнітної індукції, її підготовка до подальшого аналізу динамічних сцен і розпізнавання образів передбачають попереднє виявлення прихованої інформації з одночасним пониженням її надмірності з допомогою процедур ресамплінгу (resampling) дискретних даних у системах реального часу.

При виконанні цього розділу одержано такі результати:

- Запропоновано в алгоритмах послідовної бікубічної інтерполяції використовувати область, що містить не менше ніж чотири вузли у кожному з напрямків, у яких розташовані первинні вимірювальні перетворювачі.
- Розроблено алгоритми ресамплінгу, які покладено в основу побудови сукупності ізоліній параметричних полів. Таке перетворення даних призводить їх до вигляду зручного для проведення процедур аналізу сцен та розпізнавання образів у систе-

мах моніторингу і діагностики електроенергетичних об'єктів.

- Запропоновано процедуру інтерполяції двовимірних даних на рівномірних сітках з допомогою опрацьованого раніше алгоритму одновимірної інтерполяції кубічними сплайнами. Знайдено розв'язок зворотної задачі одновимірної інтерполяції кубічними сплайнами, який дозволяє перетворити дискретизовані за незалежною змінною дані у квантовані за рівнем.
- Запропоновано процедури та алгоритми реалізовано у вигляді програм. Тестування програм показало можливість їх ефективного використання для попередньої обробки даних в інформаційних вимірювальних системах.

Планується проведення подальших досліджень, пов'язаних з обробкою даних 2D моніторингу параметричних полів і спрямованих на створення нових ефективних методів і програмних засобів розпізнавання образів та аналізу бінарних зображень.

За результатами досліджень відділу у 2010 році опубліковано одну монографію [17], 20 наукових статей та подано 2 заявки на винаходи [22, 23].

1. *Борщев П.И.* Определение погрешностей измерений малых тангенсов углов потерь с использованием активных сопротивлений // Техн. електродинаміка. – 2011. – № 1. – С. 71–75.
2. *Брагинец И.А., Зайцев Е.А.* Динамические характеристики фазового лазерного датчика вибраций // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 5. – С. 75–79.
3. *Брагинец И.А., Зайцев Е.А.* Помехоустойчивость фазовых лазерных датчиков вибраций // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 3. – С. 67–73.
4. *Брагинец И.А., Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д.* Применение квазиоптимальной фильтрации в частотно-фазовых лазерных дальномерных системах // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 4. – С. 54–58.
5. *Брагинец И.А., Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д.* Лазерный датчик вибраций, основанный на частотно-фазовом методе измерения расстояний // Техн. електродинаміка. – 2011. – № 1. – С. 66–69.
6. *Василенко О.Д., Медведенко М.П., Мельник В.Г., Михаль О.О., Семеничева Л.М.* Біосенсорні комплекси на основі імпедансометричних вимірювальних систем // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАН України. – 2010. – Вип. 26. – С. 46–54.
7. *Василенко А.Д., Мельник В.Г., Монастырский З.Я., Неболюбов Е.Ю., Новик А.И., Онищенко И.В.* Мультипроцессорный терминал пространственно-распределенной контрольно-измерительной системы // Техн. електродинаміка. Темат. вип. “Проблеми сучасної електротехніки”. – 2010. – Ч.3. – С. 149–154.
8. *Левицкий А.С.* Расчет погрешностей емкостного датчика биений валов турбо-и гидрогенераторов, вызванных неточностью установки на машине // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАН України. – 2010. – Вип. 27. – С. 81–86.
9. *Левицкий А.С., Новик А.И.* Оценка погрешности измерения емкостными датчиками биений валов электрических машин // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 4. – С. 66–70.
10. *Левицкий А.С., Новик А.И.* Уменьшение систематической погрешности емкостного датчика биений вала за счет изменения формы активного электрода // Техн. електродинаміка. – 2011. – № 1. – С. 83–87.
11. *Левицкий А.С., Федоренко Г.М.* Новый емкостный датчик для контроля радиальных биений валов мощных турбо- и гидрогенераторов // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2010. – № 28. – С. 415–416.
12. *Левицкий А.С.* Визначення оптимальних параметрів ємнісного датчика для вимірювання радіального биття циліндричних поверхонь валів потужних гідрогенераторів. – Гідроенергетика України. – 2010. – № 2. – С. 4–8.
13. *Левицкий А.С.* Контроль стану стиків складеного статора потужного гідрогенератора двоканальним ємнісним сенсором // Гідроенергетика України. – 2011. – № 1. – С. 38–42.
14. *Левицкий А.С.* Підвищення ефективності контролю та діагностики потужних гідрогенераторів за рахунок застосування ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів // Гідроенергетика України. – 2010. – № 4. – С. 10–13.
15. *Левицкий А.С.* Похибки ємнісного датчика биття вала гідрогенератора, які зумовлені неточністю монтажу на машині // Гідроенергетика України. – 2010. – № 3. – С. 12–16.
16. *Левицкий А.С., Федоренко Г.М.* Силовой аккумулятор для стабилизации усилия пресування осердя статора генератора з ємнісним датчиком контролю ступеня стиску // Гідроенергетика України. – 2010. – № 1. – С. 21–24.
17. *Мазманян Р.О.* Обработка данных 2D мониторинга магнитных потоков в системах диагностики электрических машин // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 4. – С. 59–65.

18. Михаль А.А., Глухенький А.И. Расчетная оценка составляющих импеданса цилиндрического проводника при их измерении на постоянном токе // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 1. – С. 15–22.
19. Онищенко І.В., Василенко О.Д., Мельник В.Г., Неболюбов Є.Ю., Романов В.О., Лепіх Я.І. Підвищення швидкодії моніторингових сенсорних систем зі складною обробкою даних // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 3/2010. – Т. 1 (7). – Р. 81–86.
20. Романов В.А., Мельник В.Г., Онищенко І.В., Величковский К.А., Дзядевич С.В., Кучин А.В. Базовый аппаратно-программный комплекс с открытой архитектурой для сенсорных систем // 4-та Міжнар. наук.-техн. конф. “Сенсорна електроніка та мікросистемні технології” (СЕМСТ-4). Україна, Одеса, 28 червня – 2 липня 2010 р. – С.142.
21. Створення мікроелектронних датчиків нового покоління для інтелектуальних систем / Лепіх Я.І., Гордієнко Ю.О., Дзядевич С.В., Дружинин А.О. та інші. За ред. Я.І. Лепіха. – Одеса: Астропринт, 2010. – 296 с.
22. Заявка а 2010 01680, МПК G01B 7/14, G01B 7/22. Ємнісний сенсор для вимірювання радіального биття циліндричних поверхонь валів потужних електричних машин // А.С. Левицький, А.І. Новік; Заявл. 17.02.2010.
23. Заявка u 201013970, МПК G 01R27/02, G01R17/00. Спосіб визначення адитивної складової похибки прецизійного засобу вимірювання електричного опору / О.О. Михаль; Заявл. 23.11.2010.

УДК 621.317

З.Я. Монастырский¹, докт. техн. наук, **А.Д. Ніженский²**, докт. техн. наук, **В.Г. Мельник³**, канд. техн. наук, **А.С. Левицкий⁴**, канд. техн. наук

1–4 – Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Системные способы мониторинга и диагностики электроэнергетического оборудования

Приведены основные результаты научных исследований, которые велись в отделе электрических и магнитных измерений ИЭД НАН Украины в 2010 г. Среди них создание и исследование емкостных датчиков для диагностики мощных генераторов, универсальных средств измерения комплекса электрических величин на промышленной частоте, серийнопригодных унифицированных модулей для интеллектуальных информационных систем, совершенствование лазерных дальномерных систем, разработка метрологического обеспечения средств измерения и алгоритмов обработки измерительной информации. Библ. 23, таблица.

Ключевые слова: емкостный сенсор, диагностика, мониторинг, энергетическое оборудование, измерительный канал, лазерный измеритель, метрологическое обеспечение.

Z.Ya. Monastyrskyi¹, **A.D. Nizhenskyi²**, **V.G. Melnik³**, **A.S. Levytskyi⁴**

1–4 – Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

System of monitoring and diagnosing of power equipment

Here shown primary results of scientific research activities that have been conducted in the Electrical and Magnetic Measurements Division of Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine during 2010. Among them developing and surveying of the power generators diagnostics capacitive sensors, universal measuring appliances for power frequency operated electrical values complex, serial applicable consistent modules for the intellectual information systems, improving the laser distance-measuring systems, developing of the metrological assurance of the measuring means and measurement information processing. References 23, table.

Key words: capacitor sensor, diagnostics, monitoring, power equipment, measuring channel, laser measuring instrument, metrological maintenance.

Надійшла 24.03.2011

Received 24.03.2011