

КОМПОНЕНТНІ МАГНІТНІ Й ЕЛЕКТРИЧНІ ДАВАЧІ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ СТОХАСТИЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

Віталій Нічога¹, проф., д. т. н., пров. н.с., Людмила Дікмарова¹, доцент, д. т. н., ст. н.с., Петро Дуб¹, пров. інж., Здіслав Качмарек², проф., д. т. н.

¹ Фізико-механічний інститут Національної академії наук України;

вул. Наукова, 5, 79601, Львів, Україна; nich@ah.ipm.lviv.ua

² Технологічний університет, алея Тисячоліття Польщі, 7, 25-314, Кельце, Польща; etmzk@eden.tu.kielce.pl

Анотація: Розглянуто систему давачів апаратури, що застосовується для визначення параметрів стохастичних електромагнітних полів. Система призначена для підводного електромагнітного зондування на морському шельфі. Описані нові високочутливі індукційні давачі, розроблені для цих цілей. Запропонована нова методика визначення орієнтації давачів на морському дні.

Ключові слова: електромагнітне поле, індукційний давач, система давачів, орієнтація, морське зондування

1. ВСТУП

Інформативні сигнали при електромагнітних зондуваннях як у наземних, так і в морських умовах при пошукових роботах методами становлення поля в ближній зоні в загальному носять стохастичний характер, якщо розглядати процес, викликаний у середовищі одиночним зондуючим імпульсом. Тому необхідно з допомогою спеціальних засобів проводити оцінку спектрального складу часових характеристик і просторового розподілу стохастичних електромагнітних полів.

Для аналізу цих електромагнітних полів необхідні відповідні системи давачів. У статті розглядається складна сенсорна система давачів для вимірювання складових поля при підводних морських електромагнітних зондуваннях. Така система дозволяє вимірювати складові згаданого електромагнітного поля E і H , які виникають у морському шельфі за рахунок імпульсного збудження кабелю, розташованого на дні моря. Особливістю цієї сенсорної системи є те, що в кожній з точок спостереження, які розташовані вздовж і поперек збуджуючого кабелю, потрібно вимірювати три магнітні та дві електричні складові поля [1–3].

2. ДАВАЧІ ДЛЯ МОРЬСЬКОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗОНДУВАННЯ

Практично при морських зондуваннях зараз використовують одновиткові індукційні давачі великого діаметру (до 1000 м). Давачі такого

розміру в принципі не можуть бути застосовані для вимірювання трьох компонент магнітного поля. А це у свою чергу призводить до втрати цінної інформації, оскільки горизонтальні складові поля можуть давати суттєві додаткові дані про геофізичний розріз морського дна, особливо при горизонтально неоднорідних середовищах. Крім того, неможливо перейти до площинних досліджень, при яких необхідно встановлювати і легко пересувати значну кількість давачів. Вище вказане дозволяє зробити висновок, що перспективи застосування електромагнітного зондування для вивчення морського шельфу перш за все залежать від того, чи вдасться замінити громіздкий індукційний давач рамочного типу зручнішим малогабаритним компонентним давачем магнітного поля [1–4].

Така заміна можлива або шляхом суттєвого збільшення кількості витків, або застосуванням додаткового попереднього підсилювача при відносно невеликій кількості витків. Аналіз показує, що останній варіант кращий.

При розробці таких давачів виникають дві основні проблеми: забезпечення необхідних амплітудно-частотної (АЧХ) та фазочастотної (ФЧХ) характеристик і досягнення низького порогу чутливості. Перше потрібне для отримання корисного сигналу на виході давача з мінімальними спотвореннями, друге – для того, щоб на пізніх стадіях досліджуваного процесу сигнал не губився на фоні власних шумів давача.

В описуваній системі давачів використовуються давачі з лінійними амплітудно-частотними характеристиками, які традиційно застосовуються в геофізиці.

В основі мобільної сенсорної системи для вимірювання складових магнітного і електричного полів лежать локальний активний низькопороговий індукційний давач (квадратна або кругла рамка з розмірами 1,5Г1,5 м), який утворює трикомпонентний магнітоприймач, і коротка електрична антена з довжиною 1/20 м, яка утворює двокомпонентний приймач електричного поля [5].

Обмотки всіх трьох давачів магнітного поля виконані у вигляді десятих витків багатожильного кабелю, намотаних на спеціальний круглий каркас з діаметром 1.5 м. Кабель має 108 жил з поперечним перерізом 0.5 мм². Жили з'єднані послідовно спеціальним зварюванням. Індуктивність давача 3.5 Гн, активний опір – 180 Ом, маса однієї компоненти – 50 кг, ефективна фізична площа однієї компоненти давача ~2000 м². Кожний давач має окремий малошумний підсилювач (МШП) з коефіцієнтом підсилення ~ 50.

3. СИСТЕМА ОРІЄНТАЦІЇ ДАВАЧІВ

При компонентних вимірюваннях будь-яких полів (зокрема, електромагнітних) потрібно знати проекції вимірюваного вектора в певній системі координат, яку називатимемо базовою (БСК). Якщо при цьому система сенсорів знаходиться в легко доступному середовищі, наприклад, на поверхні Землі, орієнтація осей чутливості сенсорів уздовж осей БСК не становить труднощів. Але при роботі на дні доводиться примусово орієнтувати давачі. У таких випадках необхідно застосовувати гіростабілізаційні системи та навігаційне устаткування, що може призвести до ускладнення апаратури і появи додаткових електромагнітних завод. Тому у ряді випадків доцільно з метою підвищення точності зорієнтувати сенсори інакше, коли їхні осі утворюватимуть власну систему координат (ВСК), яка не збігається з БСК. Але на поверхні Землі можна легко визначити орієнтацію ВСК відносно БСК і здійснити перерахунок виміряних складових вектора поля з однієї системи координат в іншу. Якщо ж система сенсорів знаходиться в середовищі, доступ до якого суттєво ускладнений, то розв'язання проблеми орієнтації стає значно важчим. Така ситуація виникає при електромагнітному зондуванні морського шельфу, коли сенсори розташовують на дні

моря, де вони утворюють ВСК, а БСК зорієнтована вздовж кабелю, що є джерелом зондувального сигналу. Здебільшого одна вісь БСК перпендикулярна поверхні, одна з горизонтальних осей спрямована вздовж кабелю, а друга – перпендикулярно йому. Оскільки магнітне поле у даному випадку неоднорідне і вимірювати його на поверхні води неможливо, то потрібно виміряти на дні компоненти поля перерахувати у БСК. Для цього розроблена система визначення орієнтації довільно розташованих на дні первинних вимірювальних перетворювачів відносно БСК. Таке визначення можливе при вимірюванні просторових компонент двох неколінеарних векторів у обох системах координат. Розроблена система визначення орієнтації базується на основі вимірювань магнітного і гравітаційного поля Землі на поверхні і на дні. При цьому враховано, що ці поля на поверхні практично ідентичні полям на дні. Розроблено також алгоритм перерахунку компонент вектора магнітного поля в БСК [3].

Будь-який вектор \vec{A} , виміряний у ВСК, має наступні компоненти в БСК:

$$A_x = A_{x'} \cos(ii') + A_{y'} \cos(ij') + A_{z'} \cos(ik'), \quad (1)$$

$$A_y = A_{x'} \cos(ji') + A_{y'} \cos(jj') + A_{z'} \cos(jk'), \quad (2)$$

$$A_z = A_{x'} \cos(ki') + A_{y'} \cos(kj') + A_{z'} \cos(kk'); \quad (3)$$

де A_x, A_y, A_z – координати в БСК, $A_{x'}, A_{y'}, A_{z'}$ – координати в ВСК, коефіцієнти при $A_{x'}, A_{y'}, A_{z'}$ – косинуси кутів між ортами двох систем координат.

Ці коефіцієнти можна визначити, знаючи компоненти двох неколінеарних векторів (\vec{C} і \vec{D}), виміряних у БСК і ВСК. Використовуючи інваріантність модулів векторів і кута між ними до системи координат, можна отримати:

$$\begin{aligned} \cos(ii') = & \left[|C|^2 D_x D_{x'} + |D|^2 C_x C_{x'} - (C_x D_{x'} + C_{x'} D_x) \times \right. \\ & \left. \times \sum CD + (C_z D_{y'} - C_{y'} D_z)(C_z D_y - C_y D_z) \right] \times \\ & \times \left[|C|^2 |D|^2 - \left(\sum CD \right)^2 \right]^{-1}, \quad (4) \end{aligned}$$

$$\cos(ij') = \left[|C|^2 D_X D_{Y'} + |D|^2 C_X C_{Y'} - (C_X D_{Y'} + C_{Y'} D_X) \times \sum CD + (C_{X'} D_{Z'} - C_{Z'} D_{X'}) (C_Z D_Y - C_Y D_Z) \right] \times \left[|C|^2 |D|^2 - \left(\sum CD \right)^2 \right]^{-1}; \quad (12)$$

$$\cos(ik') = \left[|C|^2 D_X D_{Z'} + |D|^2 C_X C_{Z'} - (C_X D_{Z'} + C_{Z'} D_X) \times \sum CD + (C_{Y'} D_{X'} - C_{X'} D_{Y'}) (C_Z D_Y - C_Y D_Z) \right] \times \left[|C|^2 |D|^2 - \left(\sum CD \right)^2 \right]^{-1}, \quad (6)$$

$$\cos(ji') = \left[|C|^2 D_Y D_{X'} + |D|^2 C_Y C_{X'} - (C_Y D_{X'} + C_{X'} D_Y) \times \sum CD + (C_{Z'} D_{Y'} - C_{Y'} D_{Z'}) (C_X D_Z - C_Z D_X) \right] \times \left[|C|^2 |D|^2 - \left(\sum CD \right)^2 \right]^{-1}, \quad (7)$$

$$\cos(jj') = \left[|C|^2 D_Y D_{Y'} + |D|^2 C_Y C_{Y'} - (C_Y D_{Y'} + C_{Y'} D_Y) \times \sum CD + (C_{X'} D_{Z'} - C_{Z'} D_{X'}) (C_X D_Z - C_Z D_X) \right] \times \left[|C|^2 |D|^2 - \left(\sum CD \right)^2 \right]^{-1}, \quad (8)$$

$$\cos(jk') = \left[|C|^2 D_Y D_{Z'} + |D|^2 C_Y C_{Z'} - (C_Y D_{Z'} + C_{Z'} D_Y) \times \sum CD + (C_{Y'} D_{X'} - C_{X'} D_{Y'}) (C_X D_Z - C_Z D_X) \right] \times \left[|C|^2 |D|^2 - \left(\sum CD \right)^2 \right]^{-1}, \quad (9)$$

$$\cos(ki') = \left[|C|^2 D_Z D_{X'} + |D|^2 C_Z C_{X'} - (C_Z D_{X'} + C_{X'} D_Z) \times \sum CD + (C_{Z'} D_{Y'} - C_{Y'} D_{Z'}) (C_Y D_X - C_X D_Y) \right] \times \left[|C|^2 |D|^2 - \left(\sum CD \right)^2 \right]^{-1}, \quad (10)$$

$$\cos(kj') = \left[|C|^2 D_Z D_{Y'} + |D|^2 C_Z C_{Y'} - (C_Z D_{Y'} + C_{Y'} D_Z) \times \sum CD + (C_{X'} D_{Z'} - C_{Z'} D_{X'}) (C_Y D_X - C_X D_Y) \right] \times \left[|C|^2 |D|^2 - \left(\sum CD \right)^2 \right]^{-1}, \quad (11)$$

$$\cos(kk') = \left[|C|^2 D_Z D_{Z'} + |D|^2 C_Z C_{Z'} - (C_Z D_{Z'} + C_{Z'} D_Z) \times \sum CD + (C_{Y'} D_{X'} - C_{X'} D_{Y'}) (C_Y D_X - C_X D_Y) \right] \times \left[|C|^2 |D|^2 - \left(\sum CD \right)^2 \right]^{-1}$$

де $C_X, C_Y, C_Z, D_X, D_Y, D_Z$ – компоненти у БСК; $C_{X'}, C_{Y'}, C_{Z'}, D_{X'}, D_{Y'}, D_{Z'}$ – компоненти у ВСК;

$$\sum CD = C_X D_X + C_Y D_Y + C_Z D_Z = C_{X'} D_{X'} + C_{Y'} D_{Y'} + C_{Z'} D_{Z'}.$$

У нашoму випадку БСК утворена віссю X, що збігається з горизонтальною складовою вектора магнітного поля Землі, віссю Z, що збігається з вертикальною складовою цього вектора і вектором земного тяжіння, та віссю Y, яка утворює разом з осями X і Y праву систему векторів (Рис.1).

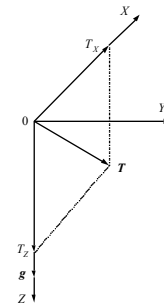


Рис. 1. Базова система координат.

У ВСК, коли підводні давачі розташовані на дні довільно, ці вектори мають наступні компоненти: $T_{X'}, T_{Y'}, T_{Z'}, g_{X'}, g_{Y'}, g_{Z'}$. Ці компоненти можуть бути виміряні ферозондом і акселерометром, після чого можна знайти коефіцієнти перетворення досліджуваного магнітного поля у БСК. Це перетворення можна виразити наступними формулами:

$$H_X = H_{X'} \frac{g_Z T_{X'} - g_{X'} T_Z}{g_Z T_X} + H_{Y'} \frac{g_Z T_{Y'} - g_{Y'} T_Z}{g_Z T_X} + H_{Z'} \frac{g_Z T_{Z'} - g_{Z'} T_Z}{g_Z T_X}, \quad (13)$$

$$H_Y = H_{X'} \frac{g_Y T_{Z'} - g_{Z'} T_Y}{g_Z T_X} + H_{Y'} \frac{g_Z T_{X'} - g_{X'} T_Z}{g_Z T_X} + H_{Z'} \frac{g_X T_{Y'} - g_{Y'} T_{X'}}{g_Z T_X}, \quad (14)$$

$$H_Z = H_{X'} \frac{g_{X'}}{g_Z} + H_{Y'} \frac{g_{Y'}}{g_Z} + H_{Z'} \frac{g_{Z'}}{g_Z}, \quad (15)$$

де $H_{x'}$, $H_{y'}$, $H_{z'}$ – компоненти досліджуваного поля у ВСК; H_x , H_y , H_z – вони ж у БСК.

4. СИСТЕМА ДАВАЧІВ “ГЕОЗОНД”

Основними параметрами сенсорної системи для вимірювання магнітних полів є чутливість і поріг чутливості по магнітному полю окремої компоненти [6].

Для компонентного індукційного давача магнітного поля, який використовується у сенсорній системі, його чутливість визначається наступним простим виразом [6]:

$$G = U_C / B = 2\pi f w S K_{ex} K_{II}, \text{ В/Тл}, \quad (16)$$

де U_C – напруга сигналу на виході давача, f – частота сигналу, S – площа поперечного перерізу рамки давача, w – кількість витків рамки давача, K_{ex} – коефіцієнт передачі ЕРС давача на вхід попереднього підсилювача, K_{II} – коефіцієнт підсилення по напрузі попереднього підсилювача.

Вираз (16) наведений для давача з плоскою або частото-незалежною АЧХ. Для давача з лінійною АЧХ чутливість нормується по частоті і визначається наступним виразом [6]:

$$G_f = 2\pi w S K_{ex} K_{II}, \text{ В/(ТлЧГц)}. \quad (17)$$

Поріг чутливості давача по полю визначається з умови рівності одиниці співвідношення сигнал-шум на виході давача. Якщо спектральна густина шуму на виході давача (з урахуванням шумів попереднього підсилювача) однакова в смузі частот Δf і дорівнює $S_{ш}$, то поріг чутливості визначатиметься наступним чином [6]:

$$B_{пор} = \frac{\sqrt{S_{ш}}}{2\pi f w S K_{ex} K_{II}} = \frac{\sqrt{S_{ш}}}{2\pi f S_{екв}}, \text{ Тл}, \quad (18)$$

де $S_{екв} = S w K_{ex} K_{II}$ – еквівалентна площа давача.

У ряді випадків, особливо на низьких частотах, де згадані умови по $S_{ш}$ не виконуються, користуються спектральною густиною

порогу чутливості давача на заданій частоті f , яка визначається залежністю:

$$B_{пор} = \frac{\sqrt{S_{ш\Delta f=1}}}{2\pi f w S K_{ex} K_{II}} = \frac{\sqrt{S_{ш\Delta f=1}}}{2\pi f S_{екв}}, \text{ Тл/Гц}^{1/2}. \quad (19)$$

Аналогічним чином може бути визначена чутливість і спектральна густина порогу чутливості давача електричного поля.

Структурна схема системи давачів “Геозонд” з подана на рис. 2. Тут прийняті наступні позначення: ПП – первинний перетворювач давача, БКК – блок калібровки та компенсації, МШП – малошумний підсилювач, А – атенюатор, АЦП – аналого-цифровий перетворювач, РУСС – радіостанція управління, сигналу та синхронізації, яка розміщена в автономному буї. Ця радіостанція сполучає систему давачів з судном, де знаходяться генератор імпульсного поля і комп’ютерно-інформаційний комплекс обробки сигналів.

Основні технічні параметри індукційних давачів для системи давачів “Геозонд”:

1. Частотний діапазон – 0.01 ÷ 2000 Гц.
2. Номінальний коефіцієнт перетворення G_f – 6.3 Ч10⁵ В/(ТлЧГц).
3. Форма амплітуд-частотної характеристики – лінійна.
4. Коефіцієнт підсилення малошумного підсилювача (МШП) – 50.
5. Еквівалентна площа рамки кожної компоненти давача $S_{екв}$ – 1 Ч10⁵ м².
6. Маса системи давачів – 150 кг.

Пороги чутливості системи давачів “Геозонд” подані в таблиці 1.

Основні характеристики давача електричного поля :

1. Частотний діапазон – 0.01 ÷ 2000 Гц.
2. База давача – 20 м.
3. Поріг чутливості – 1 мВ/(мЧГц^{1/2}).

Система давачів “Геозонд” призначена для електромагнітного зондування методами становлення поля шельфу Чорного моря. Метою цих досліджень є виявлення нафто-газових полів.

5. ВИСНОВКИ

1. Створена система давачів “Геозонд” з малогабаритними і високочутливими давачами

Таблиця 1. Пороги чутливості по магнітній індукції системи давачів “Геозонд”

f, Гц	0.1	1	10	100	1000	2000
B, нТл/Гц ^{1/2}	1.5·10 ⁻²	1.4·10 ⁻³	5.4·10 ⁻⁵	3·10 ⁻⁶	1.5·10 ⁻⁶	1.5·10 ⁻⁶

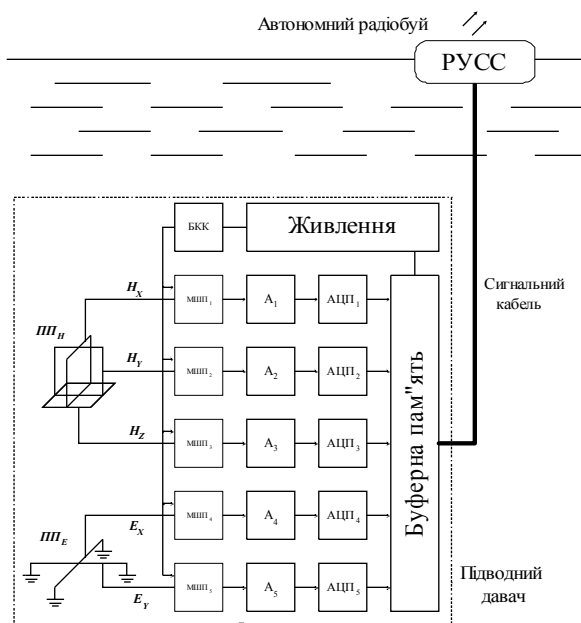


Рис.2. Структурна схема системи давачів "Геозонд".

для вимірювань трьох компонент магнітного поля і двох компонент електричного поля на морському шельфі.

2. Розроблена методика визначення орієнтації давачів на дні з використанням вимірювань магнітного і гравітаційного полів Землі у базовій і власній системах координат.

6. ЛІТЕРАТУРА

[1] Сапужак Я.С., Білінський А.І., Дециця С.А., Лукенюк А.А., Нічога В.О. Апаратурно-методичний комплекс для електромагнітних досліджень нафтогазових покладів // Тези доповідей і повідомлень науково-практичної конференції "Стан, проблеми і перспективи

розвитку нафтогазового комплексу західного регіону України" (Львів, 28-30 березня 1995 р.) - Львів - 1995. - С. 137-138.

[2] Сапужак Я.С., Дециця С.А., Романюк О.И., Лукенюк А.А., Нічога В.А., Дуб П.Б. Апаратурно-методический комплекс для електромагнітних досліджень шельфових зон // Международная геофизическая конференция "Электромагнитные исследования с контролируемыми источниками" (Петродворец, 27-31 мая 1996) - Санкт-Петербург - 1996 - С.75-76.

[3] Нічога В.О., Дуб П.Б. Датчики для систем електромагнітних досліджень шельфових зон та їхня орієнтація під водою // Тези доповідей Третьої української конференції з автоматичного керування ("Автоматика-96") (Севастополь, 9-14 вересня 1996) - Севастополь - 1996 - Частина III - С.38.

[4] Нічога В.А. Измерение весьма слабых низкочастотных магнитных полей в геофизических и космических исследованиях // Отбор и передача информации. - Вып.9. - 1993. - С. 70-77.

[5] Нічога В.А. Дуб П.Б. Захаркин А.К. Локальные активные низкопороговые индукционные датчики /ЛАНИД/ и их использование в электроразведочных работах по методу ЗСБ и ЗСМП // Геофизическая аппаратура. - 1999. - Вып. 102. - С. 28-34.

[6] Крупногабаритные геофизические петлевые индукционные преобразователи и возможности их замены локальными активными датчиками / Гнатюк А.С., Дуб П.Б., Нічога В.А., Ясиновий А.С. // Геофизическая аппаратура. - 1994. - Вып.98. - С.31-38.



Віталій Нічога народився у Києві у 1938 р. Закінчив радіотехнічний факультет Національного університету "Львівська політехніка" у 1960 р. Учений ступінь кандидата наук у галузі електричних і радіотехнічних вимірювань здобув у 1966 р. У 1968 р. отримав звання старшого наукового співробітника. У 1996 р. здобув учений ступінь доктора технічних наук у Київському інституті керування і зв'язку. Працює у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України з 1960 р. науковим співробітником з 1960 р. Зараз займає посаду провідного наукового співробітника відділу відбору та обробки стохастичних сигналів. Одночасно Нічога є професором

кафедри радіоелектронних пристроїв і систем радіотехнічного факультету Національного університету "Львівська політехніка" та членом редколегії наукового журналу "Радіоелектроніка та телекомунікації", який видається цим університетом.

Основні наукові інтереси Нічоги: методи й засоби вимірювання магнітних величин, розробка математичних моделей електромагнітних полів, створення на основі використання нових фізичних явищ, технологій та магнітних матеріалів високоефективних мобільних антен та давачів для вимірювання слабких електромагнітних полів, які застосовуються у таких галузях як діагностика та неруйнівний контроль, геофізичні та космічні дослідження, захист інформації у телекомунікаційних системах. Нічога – автор понад 190 наукових праць, у тому числі двох монографій; отримав 10 авторських свідоцтв та патентів.



Людмила Дікмарева народилася в м. Узин Київської області у 1927 р. Закінчила Національний університет “Львівська політехніка” у 1950 р. Здобула вчений ступінь кандидата технічних наук у галузі електричних вимірювань у 1954 р. У 1959 р. їй присвоєно звання доцента кафедри фізики. У 1989 р. здобула вчений ступінь доктора технічних наук. У 1954-1960 роках викладала електротехніку у Львівському педагогічному інституті. З 1960 р. працює старшим науковим співробітником у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України. Основні наукові інтереси Дікмаревої пов'язані з дослідженням електромагнітних полів у кусочно-неоднорідних середовищах у таких галузях як вимірювання слабких електромагнітних полів та обстеження підземних трубопроводів. Людмила Дікмарева опублікувала 125 наукових праць, у тому числі 4 монографії.

вимірюванням неелектричних величин електричними методами, а також електронними і волоконно-оптичними давачами. Член секції вимірювального обладнання метрологічного комітету Польської академії наук.

У 1989 р. здобула вчений ступінь доктора технічних наук. У 1954-1960 роках викладала електротехніку у Львівському педагогічному інституті. З 1960 р. працює старшим науковим співробітником у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України. Основні наукові інтереси Дікмаревої пов'язані з дослідженням електромагнітних полів у кусочно-неоднорідних середовищах у таких галузях як вимірювання слабких електромагнітних полів та обстеження підземних трубопроводів. Людмила Дікмарева опублікувала 125 наукових праць, у тому числі 4 монографії.

Петро Дуб народився у Львові у 1954 р. У 1977 р. закінчив факультет автоматики Національного університету “Львівська політехніка”. Працює з того часу на посадах інженера і провідного інженера у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України.



Його основними науковими інтересами є вивчення електромагнітних полів і розробка апаратури для їх вимірювання. Автор 75 наукових праць.



Здіслав Качмарек народився у Польщі в 1940 р. У 1964 р. він закінчив Технологічний університет у Вроцлаві, здобувши ступінь магістра в галузі зв'язку та електроніки. З 1964 по 1977 р. працював у Любліні в мідновидобувному науководослідному інституті, де

розробляв системи вимірювань та безпроводного підземного зв'язку. У 1977 р. здобує учений ступінь доктора наук у галузі електричної метрології в Технологічному університеті у Вроцлаві. З того часу працює в Технологічному університеті в Кельце як доцент, а з 1990 – як професор. Займається дослідженням питань відновлення і обробки вимірювальних сигналів,