

ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ – НОСІЙ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ГЕОФІЗИКИ ТА ДЕФЕКТОСКОПІЇ

Survey and scientific research analysis in the field of electromagnetism and its applications in geophysics, flaw detection, non-destructive testing, diagnostics of media, construction materials and products made in Physico-Mechanical Institute since scientific and organizational activities of V. M. Mykhailovsky are presented.

Keywords: *electromagnetism, geophysics, flaw detection, non-destructive testing, diagnostics, media, construction materials, products, boundary problems of electrodynamics, apparatus.*

Огляд і аналіз наукових досліджень і розробок у галузі електромагнетизму та його застосувань у геофізиці, дефектоскопії, неруйнівному контролі та діагностиці середовищ, конструкційних матеріалів і виробів, виконаних у Фізико-механічному інституті від часу наукової і організаційної діяльності В. М. Михайловського.

Ключові слова: *електромагнетизм, геофізика, дефектоскопія, неруйнівний контроль, діагностика, середовища, конструкційні матеріали, виробы, крайові задачі електродинаміки, апаратура.*

Розвиток електрорадіотехніки, яка стала невід'ємною частиною промисловості і життя суспільства, та подальше розширення сфер її застосування сприяють науковим дослідженням і розробкам теорії електромагнітного поля, засобів його генерації, вимірювань, опрацювання і передачі інформації. Цій галузі була присвячена значна частина наукової та організаційної діяльності В. М. Михайловського [1–3].

У цій статті подаємо короткий огляд наукових праць у галузі електромагнетизму та його застосувань, які виконані у ФМІ під керівництвом та з участю В. М. Михайловського, його учнів, послідовників та соратників, колег.

Дослідження електромагнітного поля як носія інформації в системах геофізичної розвідки та дефектоскопії проводили у Фізико-механічному інституті з перших років його існування (від 1951 до 1964 р. – Інститут машинознавства і автоматики АН УРСР). Спочатку вони були зосереджені у відділі автоматизації виробничих процесів під керівництвом д.т.н., проф. М. М. Шумиловського а з 1952 р. – к.т.н. В. М. Михайловського і у відділі автоматизації контролю та вимірювальної техніки (керівник – проф. К. Б. Карандєєв) [1].

Тоді розвивалися дослідження в галузі теорії методів і засобів підвищення якості та ефективності апаратури для **обстежень бурових свердловин** [2]. У колективі, очолюваному В. М. Михайловським, розробляли методи безпровідникової телеметрії по електричних та акустичних каналах зв'язку для передачі інформації із вибою бурової свердловини. Починають розвиватись методи підвищення точності і створюються засоби ехометрування й вимірювання кривизни обсаджених та необсаджених свердловин. Свердловинні інклінометри впровадили при газифікації малопотужних вугільних пластів у Донбасі, телеметричні канали ехолотування свердловин – у Прикарпатті. У 1953–1963 рр. розгорталися дослідження методів і засобів підвищення точності, термостабільності й ефективності глибинної апаратури для вивчення свердловин електричними, ядерними та акустичними методами, набували розвитку вимірювальні перетворювачі стохастичних і регулярних імпульсних сигналів.

У 1954 р. інституту доручили розробку автоматизованих приладів для польових **геофізичних вимірювань** при електророзвідці (К. Б. Карандєєв) та магні-

торозвідці (В. М. Михайловський) корисних копалин. В. М. Михайловський і Б. І. Блажкевич розгортають роботи зі створення пішохідного магнітометра з магнітоточувальними датчиками. Було впроваджено польові й лічильно-розв'язувальні автокомпенсатори (ЕСК-1, КСР-1) і пішохідний магнітометр (М-17). Їх випускав ленінградський завод "Геологорозвідка". Польовий автокомпенсатор ЕСК-1 став на багато років основним вимірювальним інструментом при електророзвідці методами постійного струму.

У 1958–1962 рр. в інституті вирішується завдання автоматизації і телемеханізації контролю, регулювання і розподілу води в каналах самотічних зрошувальних систем півдня України та автоматизації контролю за кількістю вугільної пульпи на гідрошахтах Донбасу. Під керівництвом В. М. Михайловського вирішуються питання, пов'язані із забезпеченням необхідної точності, швидкодії і завадостійкості телемеханічних систем, що використовували місцеві лінії зв'язку, були розташовані на великих відстанях і значних площах і обслуговували до декількох сотень об'єктів контролю та управління. Розробляються оригінальні системи водомірів поплавкового типу для регулювання витрат води в каналі [1, 2].

Для потреб геофізики, електророзвідки корисних копалин у 1964–1978 рр. розвиваються методи розрахунку електромагнітних і акустичних полів у неоднорідних середовищах, збуджених різними випромінювачами [3–18]. Значна увага приділяється дослідженню і розробці методів підвищення ефективності розрахунку і використання хвильових полів у неоднорідних середовищах. Знайдено операторний метод розв'язання задач дифракції, проаналізовано можливості і перспективи його використання. Досліджено спосіб розрізнення тіл простої форми у гідросередовищі за характерним розміром чи матеріалом. Отримано спосіб, методику і засоби оконтурювання рудних тіл і пустот у породах в рудничних умовах.

У праці [4] викладено загальний метод розв'язання задачі визначення параметрів електромагнітного (ЕМ) поля прямолінійного нескінченно довгого кабелю із струмом, що знаходиться в одному з внутрішніх шарів електропровідного багатшарового середовища. Розглянуто частинні випадки тришарового середовища з високою провідністю внутрішнього шару, коли кабель розміщений біля нижньої границі розділу середовищ у середньому або у нижньому шарі. У праці [5] розглянуто аналогічну задачу про збудження багатшарової структури горизонтальним електричним або магнітним диполем (рис. 1а).

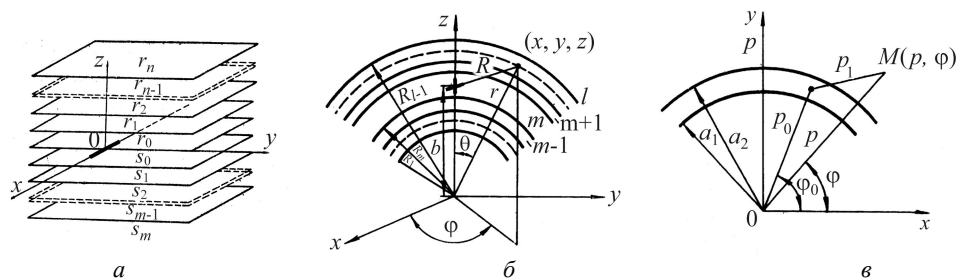


Рис. 1. Електромагнітне збудження багатшарових плоскої, сферичної і циліндричної структур.

У працях [6–7] подано розв'язок задач про розрахунок поля вертикального і горизонтального електричного диполя, що знаходиться у сферично шаруватому середовищі (рис. 1б). Розв'язок зведено до зручних для обчислень формул. Задачі важливі з погляду електророзвідки корисних копалини.

З використанням нового подання функцій Ганкеля запропоновано розрахункові формули для визначення напруженості електричного і магнітного полів нескінченно довгого кабелю із струмом у двошаровому середовищі з великим радіусом циліндричної межі розділу (рис. 1в) [8].

Двовимірна задача дифракції збудженої лінійним струмом ЕМ хвилі на круговому провідному циліндрі [9] приведена до розв'язку у вигляді асимптотичного ряду. Розрахунки збігаються з експериментальними даними, отриманими раніше іншими авторами для окремих випадків.

У монографії [10] викладено основи теорії і розрахунку структури і характеристик поширення ЕМ полів у багат шарових електропровідних середовищах із плоскими, циліндричними і сферичними поверхнями розділу, коли випромінювачем є диполь або нескінченно довгий кабель, поміщений у будь-який шар провідного середовища. Корисна для наукових і інженерно-технічних працівників, що займаються розрахунком ЕМ полів для задач розвідки родовищ корисних копалин, дефектоскопії [11], неруйнівного контролю, радіозв'язку і т. д.

Описано [12] спосіб розрахунку складових ЕМ поля розсіяння плоскої хвилі на сфері, провідності якої більша від провідності середовища, а довжина хвилі у середовищі набагато менша від діаметра сфери. Розв'язок отримано у вигляді асимптотичного ряду. Робота [13] присвячена розрахунку ЕМ поля, збудженого лінійним струмом і плоскою хвилею над неоднорідним півпростором, електромагнітні параметри якого змінюються за певним заданим законом.

Розв'язання задач стаціонарної дифракції електромагнітних і акустичних хвиль зводиться до знаходження розв'язку рівняння Гельмгольца

$$\Delta u + k^2 u = 0, \quad (1)$$

який задовольняв би відповідним граничним умовам і умові випромінення [14, 15]. Для розв'язання цього рівняння можна застосовувати різні методи. Найчастіше використовують такі методи: розділення змінних, інтегральних перетворень, теорії функцій комплексного змінного. Отримують розв'язки у вигляді рядів або інтегралів. Крім цього, можна звести задачу до розв'язання інтегральних рівнянь. У багатьох випадках розрахунок полів для практичних задач стикається зі значними труднощами (повільна збіжність рядів, осциляції або особливості підінтегральних функцій і т.п.). Для практичних розрахунків отримані розв'язки перетворюють. Наприклад, обчислення сум рядів зводять до обчислення інтегралів по комплексних областях. Таким чином отримання фізичних закономірностей з вже наявних розв'язків іноді перетворюється у складну задачу, що вимагає значних затрат праці і часу [16].

Виникла потреба розвитку методів розв'язання задач розрахунку полів дифракції, що дають змогу виводити наближений розв'язок, з якого негайно виявлялись би фізичні закономірності досліджуваного процесу і була би можливість при наступних уточненнях отримувати більш точні результати [3, 16]. Для пошуку таких методів застосовували перетворення рядів і започаткований у теорії пружності так званий операторний метод.

У працях [9, 10] було запропоновано метод перетворення рядів, суть якого така: в рядах, які дають розв'язок задачі дифракції методом розділення змінних, виділяли члени, що характеризують або поле самого випромінювача, або поле на границі розділу середовищ, а решта членів розкладали по індексу сумування в ряд Маклорена. Наступними перетвореннями отримували розв'язок у вигляді функціональних рядів, членами яких були функції поля первинного випромінювача або функції, що характеризують значення поля первинного випромінювача на границях розділу середовищ та їх похідні по координатах. За допомогою цього методу були розв'язані задачі розрахунку полів у багат шарових середовищах з круговими, сферичними та плоскими границями розділу (рис. 1).

Подальші вивчення властивостей трансформованих рядів показали, що вони можуть бути отримані зразу без будь-яких перетворень рядів, за допомогою операторного методу [17, 18], початки якого були закладені у роботах з теорії пруж-

ності [19]. Основна ідея використання операторного методу, описаного в цих роботах, полягала в тому, що в рівняннях у частинних похідних у декартових координатах операція (або група операцій) диференціювання по будь-яких координатах (крім одної координати, при постійному значенні якої задано граничні умови) замінюється оператором L , щодо якого вважають, що з ним надалі можна проводити такі перетворення, як з числом. У результаті такої заміни диференціальне рівняння в частинних похідних перетворюється в звичайне диференціальне рівняння відносно вибраної координати, що не входить в оператор L . Отримане таким чином диференціальне рівняння розв'язується методами, які використовують для звичайних диференціальних рівнянь з граничними умовами. У результаті отримують розв'язок, що залежить від граничних умов і оператора L . Його називають розв'язком в операторній формі. Потім проводять обернення розв'язку із операторної форми у форму звичайну, без операторів, тобто координатну. При цьому для отримання такої форми функцію залежності від оператора L розкладають у ряд Маклорена по оператору L , а потім діють кожним членом ряду на функцію, яку отримують після задоволення граничних умов. Результати просумовують. При цьому, якщо L був складним оператором (містив ряд частинних похідних), то він подавався у вигляді комбінації простіших операторів L_1, L_2, \dots, L_n , що мають частинні похідні по різних координатах, помножені на константи.

У деяких випадках отриманий розв'язок рівняння в частинних похідних був зручний для практичних розрахунків, оскільки члени ряду цього розв'язку швидко зменшувались. Проте у більшості випадків це не спостерігалось. Тому для дослідження була поставлена задача отримання з розв'язків в операторній формі нових видів розв'язків.

Дослідження виявили, що саме в процесі перетворення розв'язків з операторної форми у форму звичайну (координатну) наявні невикористані можливості для отримання різноманітних видів і форм, що дасть можливість вибрати найоптимальніші для обчислення. Це пов'язано з тим, що в розв'язку диференціального рівняння в частинних похідних, поданому в операторній формі (в якому $f(L)$ може бути не тільки многочленом відносно операторів диференціювання по декартових координатах, а і будь-яким складним оператором, в який входять і функції, і оператори диференціювання по координатах відмінних від декартових), містяться усі існуючі форми розв'язків. Внаслідок цього виявилось можливим встановити зв'язок цих розв'язків через операторну форму, а також прямий зв'язок між різними формами розв'язку.

Якщо записати отриманий розв'язок деякої задачі дифракції, за умови, що в рівняннях в частинних похідних входять всі змінні, у вигляді

$$S(\xi) = f(L) u_0(\xi), \quad (2)$$

де $S(\xi)$ – розв'язок у звичайній координатній формі; $f(L)$ – функція від оператора $L = i \frac{\partial}{\partial \xi}$; $u_0(\xi)$ – підоператорна функція визначена з граничних умов, то можливі варіанти:

а) розкладаючи функцію $f(L)$ у ряд Маклорена по L і діючи членами отриманого ряду на функцію $u_0(\xi)$, отримують розв'язок типу отриманих методом, описаним у [19] за умови, що ξ – декартова координата;

б) розкладаючи функцію $u_0(\xi)$ у ряд по власних функціях оператора L і діючи функцією $f(L)$ на такий ряд, отримують розв'язок поставленої задачі, отримуваний шляхом розділення змінних або Фур'є [20];

в) подаючи функцію $f(L)$ у вигляді інтеграла Фур'є $f(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} a(\alpha) e^{i\alpha L} d\alpha$

(якщо є така можливість) і діючи нею на функцію $u_0(\xi)$, де ξ – декартова координата,

отримують такий розв'язок, як за методом інтегральних перетворень Фур'є [21];

г) подаючи функцію $f(L)$ як функцію комплексної змінної, отримують розв'язок як за операторним методом Лапласа [22].

Якщо ж отримати розв'язок рівняння в частинних похідних, що описує дифракційний процес у вигляді (I), але без задоволення граничних умов (тобто коли $u_0(\xi)$ залишається невідомою функцією), а потім обернути цей вираз у форму звичайну координатну, то можна (після задоволення граничних умов) отримати інтегральні рівняння щодо невідомої функції $u_0(\xi)$ [12].

Зазначимо, що навіть у невеликому розширенні рамок розв'язків (пункти а, б, в, г) можуть міститися нові результати. Наведемо їх.

Можливий (див. п. а) розклад функції $f(L)$ в ряд по оператору L не в точці $L = 0$, тобто в ряд Маклорена, а в точці $L = L_0$, тобто в ряд Тейлора. Після дії членами отриманого ряду на функцію $u_0(\xi)$ отримують ряд, збіжність якого можна регулювати зміною значення L_0 . Дослідження виявили, що для розв'язання ряду

задач дифракції значення L_0 доцільно визначати за формулою $L_0 = \frac{i u_0^1(\xi)}{u_0(\xi)}$. Це зу-

мовлено тим, що члени ряду, які стоять після другого, передають свій основний внесок у перший член ряду. Отриманий тип розв'язку зручний, якщо поле визначають поблизу тіла [24]. Оскільки, знаючи потенціали або напруженості поля поблизу поверхні тіла і користуючись теоремою Гріна, можна визначити поле в будь-якій точці простору, то подібний спосіб можна застосовувати і для розрахунку полів у довільній точці простору [25].

Використання операторного методу при поданні операторної функції у вигляді інтеграла Фур'є (п. в) забезпечує можливість застосування інтегральних перетворень Фур'є до розв'язання задач, для яких раніше застосування цього методу було неможливим. Наприклад, рішення задач дифракції методом інтегральних перетворень Фур'є можливо, якщо вони вирішуються в полярній системі координат [21]. У [20, 21] описано способи перетворення (обертання) у звичайну форму розв'язків диференціальних рівнянь у частинних похідних, отриманих у операторній формі.

Можна отримати рішення, аналогічні отриманим за допомогою операційного числення Лапласа (п. г), інтеграли в яких взяті по контурах, що не йдуть у нескінченність [22]. Для задач дифракції можливе отримання нових інтегральних рівнянь щодо невідомих функцій з ядрами, відмінними від тих, які зазвичай використовують в теорії потенціалу [23].

Вивчення операторного способу показало, що цей метод можна використовувати для розв'язання задач дифракції і взагалі рівнянь математичної фізики так само широко, як і метод розділення змінних. При цьому є певні відмінності. Якщо під час розв'язання задачі дифракції методом розділення змінних розв'язок рівняння Гельмгольца отримують у вигляді рядів за власними функціями, а поле первинного випромінювача подають у вигляді розкладів по цих функціях, то в операторному методі розв'язок шукають у вигляді функції, що залежить від оператора, що представляє розв'язок рівняння Гельмгольца, записаного в операторній формі, і задовольняє умові випромінювання на нескінченності, помноженій на невідому функцію від координати. При цьому поле первинного випромінювача подається у вигляді добутку функції, залежної від оператора, яка є ще одним розв'язком рівняння Гельмгольца (записаним в операторній формі), на функцію координат, яка виходить відомою. Після задоволення граничних умов розв'язок задачі операторним методом виходить, очевидно, в операторній формі. Він може бути обернений у розв'язок звичайної координатної форми різними способами. Для того щоб з розв'язку, отриманого в операторній формі, витягти розв'язок,

наприклад, методом розділення змінних, досить розкласти відому функцію, яка входить у поле первинного випромінювача, в ряд Фур'є і подіяти операторною функцією на такий ряд.

Застосування операторного методу до розрахунку дифракційних полів на багатошарових тілах як обмежених, так і з межами, що йдуть в нескінченність (тобто, коли проводиться розрахунок полів у багатошарових структурах), аналогічно розрахунку полів дифракції на однорідних тілах. Зокрема, розрахунок електромагнітних полів, збуджуваних дипольними джерелами у присутності плоскошаруватого середовища, способом, зазначеним у п. а, показав; що результати розрахунку добре узгоджуються з результатами, отриманими відомими способами (методом інтегральних перетворень). При цьому час розрахунку на ЕОМ у найважчих для розрахунку зонах скорочувався [16] на два порядки.

Операторним методом можна отримати низку відомих класичних розв'язків крайових задач математичної фізики з граничними умовами першого і другого роду як на поверхні, так і в просторі [26].

Щодо перспектив використання операторного методу розв'язання задач математичної фізики і, зокрема, задач дифракції, то можна зауважити таке. По-перше, перспективність використання операторного методу як можливості цілеспрямованого отримання потрібних форм результатів. З розв'язків, записаних в операторній формі, можна отримати різні форми результатів, як точні – у вигляді зручних для програмування на ЕОМ формул, так і наближені – у вигляді формул, з яких швидко виявляються основні фізичні закономірності процесів. По-друге, можна використовувати операторний метод розв'язання задач математичної фізики для вирішення інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду в замкнутій формі. Це пояснюється можливістю переходу з операторної форми запису виразів у вирази, що містять інтеграли. Зокрема, за допомогою операторного методу можна отримати нові формули інтегральних перетворень, які використовують для вирішення важливих завдань. По-третє, вже в роботі [17] була описана принципова можливість використання операторного методу для вирішення рівнянь у частинних похідних з початковими і граничними умовами. Надалі така можливість підтверджена при дослідженні електромагнітних процесів у довгих лініях, що дає змогу використовувати цей метод для розв'язання задач розрахунку неустановлених процесів.

Дано спосіб розрахунку ЕМ поля, збудженого циліндричним випромінювачем у присутності циліндра складної форми і скінченої провідності [17] та декількох циліндричних тіл (рис. 2) складної форми перетину [18]. Задача зводиться до розв'язання системи інтегральних рівнянь Фредгольма I роду. Запропоновано метод розв'язання системи.

З кінця 70-х років розпочалась розробка методів розв'язування **обернених задач** електродинаміки та акустики, пов'язаних з проблемою розпізнавання об'єктів, що знаходяться в однорідному середовищі в полі випромінювача. Сформульовано два методи. Один з них базується на реєстрації амплітудно-частотних характеристик випромінюваних і відбитих від тіл сигналів у одній чи декількох фіксованих точках простору поза тілом, інший – на реєстрації амплітуди й фази відбитого від тіла сигналу й випромінюваного сигналу заданої частоти вздовж деяких ліній поверхонь. Одержано алгоритми, завдяки яким можна визначити місцезнаходження відносно випромінювача, а також розміри й форму тіла, що знаходиться в полі випромінювача [2].

Операторний метод може бути використаний також і для розв'язання обернених задач дифракції, тобто задач знаходження форми об'єкта по відбитому від нього електромагнітному або акустичному полю, збудженому джерелом, місце розташування якого відоме.

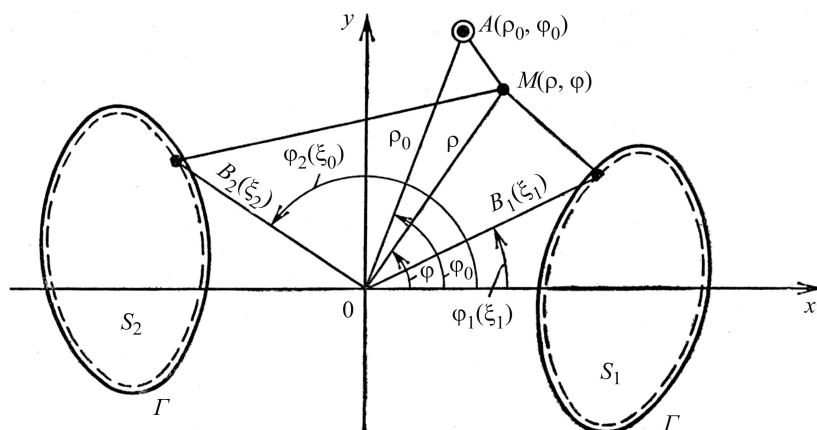


Рис. 2. Збудження лінійним випромінювачем ЕМ поля в системі циліндричних провідників.

Розвиток методів і апаратури електророзвідки. У 1955 р. інституту було доручено розробку апаратури для **аероелектророзвідки**. К. Б. Карандєєв, Л. Я. Мізюк, Л. А. Синицький, М. І. Калашніков та інші досліджували використання методів індукції; розвинуто методи фазових вимірювань на звукових частотах [29–31]. Було розроблено два варіанти апаратури для електророзвідки – методом “безмежно” довгого кабелю (БДК) і методом індукції; створено першу вітчизняну аероелектророзвідувальну станцію [2]. Для деталізації аномалій, виявлених у практиці геофізичних робіт аероелектропошуковою апаратурою, під керівництвом Л. Я. Мізюка з 1962 р. розробляють **наземну апаратуру** для методу **дипольного індукційного профілювання**. Аналізується вплив нестабільності геометрії дипольних установок [32], удосконалюються вхідні індукційні перетворювачі [31]. Починаються апаратні розробки вимірювачів інваріантних характеристик поля методом **еліптично поляризованого поля** (ЕПП) [33–34]; висока чутливість при вимірюванні малої півосі слабо поляризованого поля досягається застосуванням **періодичного порівняння** [2]. Для вимірювань **імпульсних полів** за методом стробування розроблено наземну електророзвідувальну апаратуру методом **перехідних процесів** (МПП) [35]. Розроблено апаратуру дипольного профілювання двочастотним полем [2]. З 1968 р. лєнінградський завод “Геологорозвідка” розпочав випуск апаратури для вимірювання півосей еліпса поляризації (ЕПП-1), а з 1973 – апаратури за методом перехідних процесів (МППУ-2).

З початку 70-х років розгортаються спеціальні роботи, націлені на вимірювання малопотужних **електромагнітних полів у широкому діапазоні частот**. Розв’язано ряд задач електродинаміки з визначення просторово-частотних характеристик розподілу поля в складних кусково-однорідних структурах [36–58]. Досліджено тонкий і товстий **поздовжньо-щільові екрани** [36–39]. Визначено “ефективне розширення” щілини, отримано вирази зміщень резонансних частот структури, показано наявність осциляційних змін частотної залежності поля (рис. 3), спричинених проникненням поля в щілину і товщу екрану [40, 41]. Проведено теоретичні й експериментальні дослідження поля **направляючих і випромінюючих структур** у природному середовищі [42–52].

На основі розвитку методів частинних областей і перерозкладу розроблено математичну модель ЕМ поля широкого класу циліндричних структур з азимутальними неоднорідностями (рис. 4) [36–41, 53–58]. Задача для рівняння (1) зводиться до нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь (НСЛАР) відносно невідомих амплітуд просторових гармонік поля, яку можна розв’язувати методом редукції з урахуванням явищ відносної збіжності. Для досліджень **гібридних хвиль** реальних структур з порушеною круговою симетрією і скінченною провід-

ністю введено **фактор деполаризації** на границі підобластей i та e з радіусом кривизни r_i

$$D_p^{ie} = \frac{\gamma P}{k_i^2 r_i} \left(1 - \frac{v_i^2}{v_e^2} \right), \quad (3)$$

де поздовжнє γ і поперечні v_i хвильові числа $\gamma^2 + v_i^2 = k_i^2$. У частинних випадках $D_p \Rightarrow 0$ НСЛАР розпадається на дві незалежні системи [53]. У практично важливих випадках D_p -фактори можна використовувати як малі параметри задачі, що дає можливість прослідкувати перехід від ідеалізованої E - чи H -поляризованої хвилі до реальної гібридної і полегшує аналітико-числові дослідження поля реальних структур у строгій електродинамічній постановці. Досліджено проникнення поперечної ЕМ хвилі крізь виріз складного профілю, що апроксимує **перекриття щілини** в екрані [54–58]. Проведено розрахунки та аналіз впливу неоднорідностей на електродинамічні властивості структур стосовно проблем радіофізики і неруйнівного контролю [56–59].

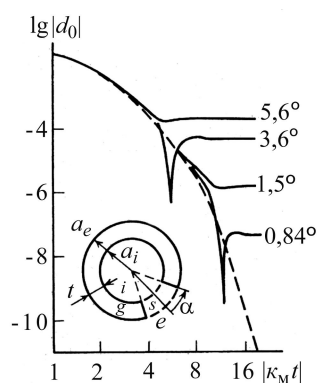


Рис. 3. Проникнення поля E -хвилі крізь поздовжньо-щільовий екран зі скінченими товщиною і провідністю.

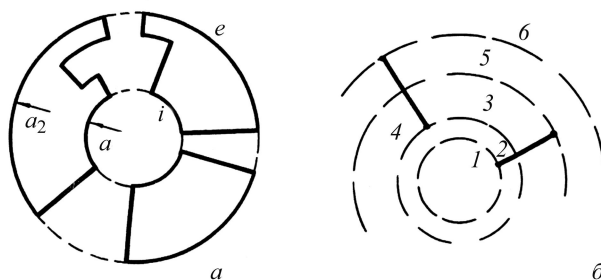


Рис. 4. Клас циліндричних структур з порушеною круговою симетрією: a – циліндр складного профілю; $б$ – довільно орієнтовані паралельні стрічки.

Проведено дослідження з розширення частотної смуги і підвищення чутливості **індукційних перетворювачів**, зниження власних шумів підсилювачів, шумового узгодження підсилювачів при комплексному вихідному імпедансі джерела сигналу з метою досягнення потенціального порогу чутливості пристроїв для вимірювання слабких електромагнітних полів [60–63]. Розроблено низькопорогові індукційні перетворювачі для полів зі складним просторовим розподілом. Створено високоефективні датчики для нового покоління агрегатизованого комплексу електророзвідувальної техніки (АКЕТ). Розроблено багатоконпонентні високочутливі ширококутові первинні перетворювачі для роботи з гармонічними та імпульсними електророзвідувальними вимірювачами. Розроблені локальні активні низькопорогові індукційні датчики (ЛАНІД) для роботи в інфранизько-частотному діапазоні з цифровими електророзвідувальними станціями типу ЦИКЛ і ЦЕС при багатоканальних обстеженнях площ на нафту й газ.

Здійснено розробки методики й апаратури для пошуку підземних і підводних інженерних комунікацій електромагнітним методом [64]. Створено **трасопошукові** прилади типу ПІГ, розроблено прилади УКГ, АПЭС для морських досліджень та трасопошукові прилади “Траса” [65].

Проведено дослідження властивостей електромагнітних полів, які збуджуються у просторово розподілених середовищах, та їх застосування для вирішення

пошукових геофізичних задач [66–72]. Обґрунтовано метод електромагнітного профілювання з використанням **комбінованого збуджувача** [66], який складається з одночасно працюючих електричного і магнітного диполів. Досліджено способи безконтактного вимірювання складових низькочастотного електричного поля і розроблено оригінальні первинні перетворювачі [67–68]. Розглянуто питання низькочастотної **морської електромагнітної розвідки**. Досліджено математичні моделі реальних ситуацій пошуку і виявлення неоднорідностей, впливи границь розділу середовищ, методичних завад. З'ясовано питання оптимізації передачі електромагнітного поля в задану точку простору з врахуванням розміщення і параметрів елементів систем пошуку й виявлення [71]. Отримано розв'язки рівнянь електродинаміки для тришарового середовища повітря-море-дно з урахуванням руху джерела поля і шару морської води, розроблено рекомендації до побудови антенних пристроїв **ЕМ систем пошуку** в морі, визначено рівні очікуваних вторинних полів для заданих геофізичних неоднорідностей [72].

Успішна експлуатація розробленої раніше апаратури аероелектророзвідки сприяла її подальшому вдосконаленню для підвищення роздільної здатності, впевненої ідентифікації, комплексування аероелектророзвідувального каналу з магнітометричним та ін. Розроблено **комплексну** вертолітну аерогеофізичну станцію – КАМ-2 [73] та літакову електророзвідувальну станцію для дипольного профілювання методом ЕПП з багаточастотним зондуванням. Крім пошуку рудних родовищ, станцію КАМ-2 застосовують для прогнозування нафтогазоносних областей. Продовженням робіт з імпульсної електророзвідки досліджували засоби ідентифікації електропровідних тіл за формою перехідних характеристик [74]. Для досліджень верхньої частини товщі землі з метою розв'язання задач гідро- й інженерної геології, геологічного картування, неглибинних пошуків корисних копалин, вивчення зони малих швидкостей на допомогу сейсморозвідці тощо розроблено польову апаратуру для вимірювання ранніх стадій перехідних процесів – ПУРС.

Для досліджень **навколоземного простору** [75–77] розроблено наукову апаратуру вимірювань електричних полів з борту метеорологічних і космічних ракет і дрейфуючих аеростатів. Динамічним методом забезпечується обертання давачів електричного і магнітного полів; їх вихідними сигналами є синусоїдальні інфранизькочастотні напруги. Розвинуто теоретичні основи амплітудно-фазових вимірювань у діапазоні інфранизьких частот та принципи побудови технічних засобів, які дають змогу забезпечити точність, швидкодію та завадостійкість таких вимірювань, близьких до гранично допустимих. Запропоновано та досліджено метод вимірювання фазових зсувів сигналів за час, який не перевищує періоду їх перетворення [76]. Після первинного перетворення сигналів їх передають з борту на Землю, де відповідний блок виконує основну обробку вимірів. На цій основі створено апаратурні комплекси (наземні та бортові) для космічних експериментів “САМБО”, “Зарница-2”, “Поле” та інших, що допомогло у визначенні **параметрів плазми**.

На початку 60-х років В. М. Михайловський розгортає роботи з теорії сигналів [2].

Дефектоскопія і неруйнівний контроль. З кінця 1950-х років у відділі фізичних основ міцності Інституту під керівництвом В. В. Панасюка розпочинаються дослідження у галузі **неруйнівного контролю**, пов'язані з необхідністю експериментальної оцінки **ресурсу машин, механізмів** [1]. Формується напрям вихрострумової **дефектоскопії**, тісно пов'язаний з електромагнітними явищами у провідних середовищах і виробках; проводяться теоретичні дослідження пов'язаних з ними задач електродинаміки [78–79]. Розроблена методика аналітичного визначення складників векторів ЕМ поля, розсіяного окремим дефектом або системою дефектів еліпсоїдальної форми, розміщених у плоскошаруватих середовищах, коли розміри дефекту значно менші від довжини хвилі в середовищі, в якому є дефект. Розсіяне поле визначається векторами поля випромінення еквіва-

лентних дефектам електричних і магнітних диполів, моменти яких визначають з урахуванням впливу всіх середовищ [80].

У розвиток теорії і практики неруйнівного контролю [81–85] запропоновано нові підходи до визначення полів розсіяння дефектів **довільної форми** перерізу (рис. 5) та селективних вимірювань і контролю **структурно-чутливих** характеристик матеріалу – питомої електропровідності, параметрів дефектів та оцінкою якості **покривів**. Розроблено методи розв’язання двовимірних задач **математичної теорії дифракції** ЕМ хвиль на циліндричних тілах, включаючи і випадки, коли довжина хвилі сумірна з поперечними розмірами тіл [81–83]. Вперше у процесі дослідження широкого класу електродинамічних структур послідовно застосовано метод **сингулярних інтегральних рівнянь**. Узагальнено і розвинуто відомі результати щодо числового розв’язання таких рівнянь методом механічних квадратур. Розв’язано нові двовимірні задачі дифракції ЕМ хвиль на системах **некоординатних** криволінійних екранів (рис. 6) і тонких оболонок з довільною провідністю, розміщених в однорідних або кусково-однорідних середовищах.

Розвинуто модель формування аномального поля дефектів типу тріщини, в якій до класичної задачі дифракції ЕМ хвилі на її границях уведено **неоднорідну область** матеріалу в околі тріщини [85, 86]. Сформульовано нові підходи до відбору первинної інформації в задачах дефектометрії, та концепцію розв’язання проблеми **багатопараметрових** вихрострумівих вимірювань, яка базується на запропонованих методах побудови багатовимірної **нелінійної** моделі функції перетворення системи “вихрострумівий первинний перетворювач – об’єкт контролю” із **заданою похибкою** адекватності моделі [85–88]. Створено нові вихроструміві диференціальні перетворювачі [89]. Розроблено технології контролю, що забезпечують реєстрацію та оцінку параметрів слабких сигналів дефектів (приповерхневих, глибинних, у багатшарових структурах) за умови заглушення нормальної складової результуючого ЕМ поля, зумовленої зміною зазору між зондом і об’єктом контролю та особливостями геометрії об’єкта (крайові зони, галтельні переходи тощо). Створені засоби і технології вихроструміві дефектоскопії використовують для вирішення актуальних задач технічної діагностики елементів конструкцій та обладнання в авіації, космічному машинобудуванні, енергетиці тощо [90–99].

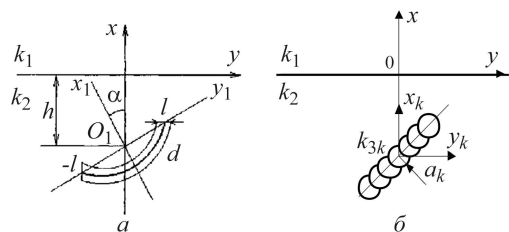


Рис. 5. Дефект типу тріщини a та суперпозиція околу дефекту елементарними включеннями b .

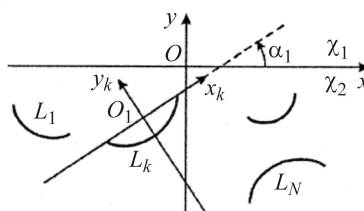


Рис. 6. Система підповерхневих дефектів у матеріалі.

У **теорії дифракції** важливу роль відіграють дослідження розсіювання електромагнетних та акустичних, пружних хвиль фрагментами ідеально провідних (жорстких, м’яких) **конічних** (рис. 7), **клиноподібних** та циліндричних поверхонь [84, 99–108]. Такі задачі є моделями для вивчення багатьох фізичних явищ, пов’язаних із формуванням хвильових полів у структурах зі **сингулярностями** та **змінною кривиною**. За використання сучасних числових методів розв’язування таких задач залишаються відкритими питання про коректність розв’язків, їх знаходження у необхідному класі послідовностей, **обґрунтованість** редукції нескінченних систем лінійних алгебричних рівнянь. Гостра потреба у правильних відповідях на них постає під час аналізу екстремальних ситуацій, де ймовірність виявити нові фізичні ефекти висока, наприклад, під час аналізу полів

у **резонансному** частотному діапазоні, за переходу до надвисоких частот, визначення поля у ближній зоні, зокрема, в околі сингулярних точок поверхні. Для верифікації найуживаніших більш загальних наближених підходів, коли не завжди вдається визначити межі застосовності, необхідні методи, які б надійно працювали у **широкому діапазоні** зміни геометричних розмірів і частоти. Для розв'язання цих проблем розроблено ефективний математичний апарат розв'язування задач теорії дифракції на конічних, біконічних та клиноподібних структурах, який базується на **точному аналітичному оберненні головних частин** асимптотик вихідних динамічних задач, і розвинуто метод Вінера–Хопфа для розв'язання задач дифракції на циліндричних кавернах і міжфазних тріщинах (рис. 8).

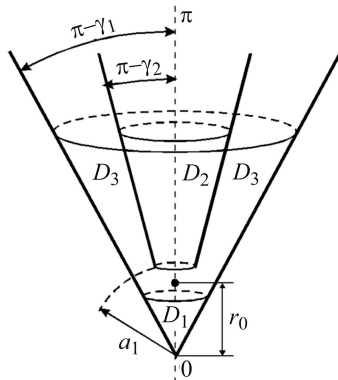


Рис. 7. Біконічні розсіювачі.

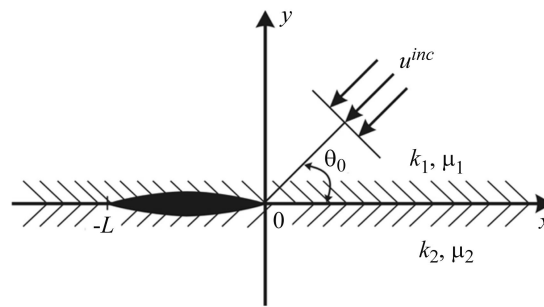


Рис. 8. Опромінення міжфазної тріщини.

Для **радіохвильового надвисокочастотного (НВЧ)** неруйнівного контролю і діагностики **діелектричних** матеріалів, товщино- і дефектометрії визначення електрофізичних параметрів плоскошарових структур в інституті розроблено інформаційну технологію, що охоплює такі етапи: створення відповідних математичних моделей, розв'язування прямих та обернених задач (ОЗ) зондування неоднорідних середовищ, розроблення методик і алгоритмів, створення апаратурних засобів [84, 99, 109–118]. Для визначення параметрів об'єкта контролю (ОК) по вимірюваному ЕМ полю досліджено проблеми існування та єдиності розв'язку нелінійної і некоректно поставленої ОЗ, побудови алгоритмів пошуку таких розв'язків. Запропоновано математичні моделі розсіювання зондувального поля на ОК і методи розв'язування ОЗ шляхом вимірювання частотної залежності коефіцієнта відбивання від ОК і глобальної мінімізації нелінійного функціоналу нев'язки між експериментальними даними і даними моделювання (метод квазірозв'язку) [112].

Створено прилад МДС для діагностики діелектриків у міліметровому діапазоні хвиль, за допомогою якого вперше визначено залежність НВЧ ЕМ сигналу від фізико-механічних параметрів адгезії, що дало можливість запропонувати нові радіофізичні моделі адгезії та корозії [99, 113]. Розроблено стенд автоматизованих скалярних вимірювань коефіцієнтів послаблення та стоячої хвилі. Запропоновано метод визначення комплексного коефіцієнта відбивання (ККВ) та математичну модель вимірюваного сигналу. Для вимірювань частотної залежності ККВ створено автоматизований стенд радіохвильового зондування у діапазоні 50...80 ГГц [114, 115]. Запропоновано та експериментально перевірено методику вимірювання ККВ від плоскошарового діелектрика, яка враховує матрицю розсіювання випромінювально-приймальної антени і розсіяння енергії ЕМ поля за межі проєкції апертури антени, що дало змогу підвищити точність вимірювань і розв'язати ОЗ визначення параметрів шарів [116, 117].

Розвинуто методи контролю локальних дефектів діелектричних та неоднорідних **композитних** матеріалів. Запропоновано методику побудови профілю

внутрішньої структури композитного матеріалу за сигналом рефлектометра шляхом сканування та **багаточастотного зондування** НВЧ хвилями його поверхні. Проведено строгий аналіз розсіяного поля та його перетворень у високочастотному тракті НВЧ рефлектометра, запропоновано метод розв'язування ОЗ радіохвильового НВЧ зондування шляхом відновлення комплексних значень коефіцієнта відбиття плоскої хвилі від плоскошаруватого середовища за значеннями виміряного сигналу на виході НВЧ рефлектометра із застосуванням спектрального аналізу [118, 119]. Це дало високу точність оцінки параметрів середовища за наявності шуму у виміряному сигналі та дало можливість підвищити роздільну здатність виявлення неоднорідностей в діелектричній структурі (рис. 9).

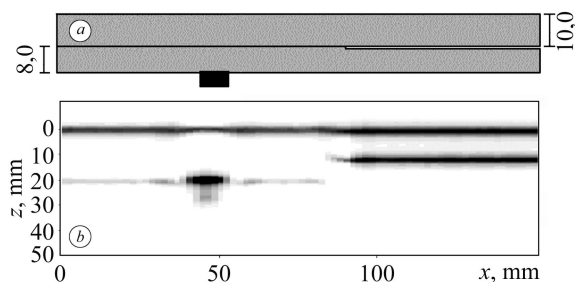


Рис. 9. Пластина з локальним розшаруванням (а) та побудованій за виміряними даними профіль структури (b).

На початку 1980-х років загострилась **проблема діагностичних обстежень** магістральних газо- і нафтопроводів, частина яких відпрацювала проектний термін експлуатації. Була видана спільна Постанова Колегії Мінгазпрому СРСР і Президії АН УРСР про комплексну цільову програму, створено асоціацію “Високонадійний трубопровідний транспорт”. Після вивчення і аналізу стану проблеми Р. М. Джала запропонував на базі досвіду теоретичних досліджень ЕМ полів та індуктивної електророзвідки розробляти електромагнітні методи та апаратуру **безконтактних вимірювань струмів** (БВС) для обстежень і контролю корозійного стану підземних трубопроводів (ПТ) (рис. 10). Запропоновано нові способи і пристрої БВС ПТ [2, 84, 99, 120–125]. Розроблено методологію і наукові основи створення електромагнітних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) для обстежень ПТ, що реалізують нові методи і засоби БВС, відбору і кількісної оцінки інформативних ознак ЕМ поля та визначення параметрів стану ПТ та інших захищених струмопровідних комунікацій [126–142]. Запропоновано **триєдину математичну модель** ЕМ поля підземного сталевого ізольованого трубопроводу, яка базується на розв'язаннях крайових задач електродинаміки, теорії електричних кіл з розподіленими параметрами та теорії розподілу поля струмів об'ємних провідників. Розвинуто теоретичні основи методу БВС як базу для проектування систем вхідних перетворювачів і технічного забезпечення БВС ПТ. Серед диференціальних БВС виділено класи градієнтних і паралаксних методів, проведено аналіз і зіставлення їх інформативних, метрологічних, технологічних властивостей. Запропоновано новий метод і пристрій вимірювань **поляризаційного потенціалу** поверхні металу в електролітичному середовищі з визначенням коефіцієнта гармоніки для вилучення омічного складника [143].

Для практичних використань БВС під час обстежень ПТ [144] розроблено та випущено серію **апаратури** типів БІТ-3, БІТ-К, ... БІТ-КВП, яку за договорами передано підприємствам діагностичних обстежень і експлуатації нафто-, газо-, продуктопроводів в Україні, Росії, Казахстані. На замовлення УМН “Дружба” з 1993 р. на Брянському заводі “Електроапарат” налагоджено серійне виготовлення портативного приладу ОРТ-1 для визначення розміщення трубопроводів та дистанційного контролю роботи установок катодного захисту. Розроблено спосіб і зразки апаратури УГРІ для градієнтних вимірювань малого струму витікання. Теоретичними дослідженнями й експериментально показано можливості

виявлення і диференціації локальних **пошкоджень ізоляції** (рис. 11) на відстані, більшій від глибини залягання ПТ.

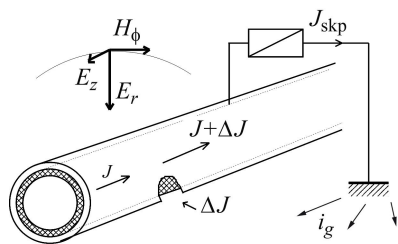


Рис. 10. Підземний трубопровід (ПТ) з ізоляційним покриттям і установкою катодного захисту (СКР). Компоненти ЕМ поля струму трубопровідної лінії.

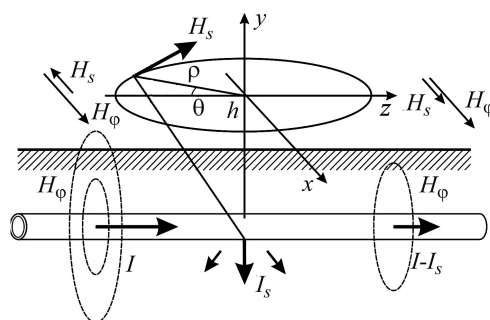


Рис. 11. Компоненти магнітних полів H_ϕ – транзитного струму I та H_s – струму I_s , що витікає внаслідок пошкодження ізоляції ПТ.

Розроблено методи визначення **розподілу** вздовж ПТ **струму катодного захисту**, **перехідного опору** та його складових (грунту, ізоляції, поляризації), що вперше дає кількісні диференційні оцінки стану ізоляції на різних ділянках ПТ; запропоновано новий критерій **виявлення незадовільної ізоляції** ПТ за зниканням струму. Запропоновано і розвинуто концепцію обстежень і контролю стану ПКЗ ПТ методом БВС з оперативним виявленням місць аномально великих витрат струму, в яких традиційні контактні вимірювання слід застосовувати першочергово. Створено ЕМ ІВС для отримання і автоматичного опрацювання кількісної інформації **від об'єкта до документа**, чим започатковано новий напрям технології обстежень корозійного стану ПТ.

Актуальні питання електромагнетизму та його застосувань періодично розглядають на наукових семінарах і конференціях. У 1996 р. на базі інституту під головуванням З. Т. Назарчука була організована й успішно проведена 4-а Міжнародна конференція з математичних методів в електромагнітній теорії ММЕТ-96 [145]. У 1997–1999 рр. за ініціативою Р. М. Джали для виробничників проведено школи-семінари “Контроль протикорозійного захисту трубопроводів і споруд” [144]. Відтоді ж ініціативи В. М. Учаніна у Славську щороку проходить Міжнародна науково-технічна конференція “Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів” ЛЕОТЕСТ. З 1963 р. в інституті майже щороку проходять конференції молодих науковців.

Як ініціатор, організатор, науковий керівник та безпосередній учасник низки робіт у ФМІ В. М. Михайловський відігравав важливу роль у постановці досліджень, формулюванні задач, забезпеченні належного рівня їх розв'язання. Його доброзичливо-вимогливе ставлення до колег значною мірою сприяло формування ФМІвської школи науковців та успішному розвитку наукових досліджень, частина яких відображена у цій статті.

1. *Фізико-механічний інститут: поступ і здобутки* / Під ред. В. В. Панасюка. НАН України, ФМІ ім. Г. В. Карпенка. – Львів, 2001. – 432 с.
2. *Фізикометрія* / П. М. Сопрунок, Л. Я. Мізюк, Є. Д. Михайлова. – С. 88–111 // Розвиток науки в західних областях Української РСР за роки Радянської влади. 1939–1989. – К.: Наук. думка, 1990. – 304 с.
3. *Проблеми фізикометрії* / Под. Ред. В. Н. Михайловського. – К: Наук. думка, 1978. – 108 с.
4. *Кулько В. Ф., Михайловський В. Н.* Электромагнитное поле прямолинейного бесконечно длинного кабеля с током, находящегося в одном из внутренних слоев многослойной проводящей среды // Отбор и передача информации. Теория и элементы систем отбора геофизической информации. – К.: Наук. думка, 1965. – С. 9–19.

5. *Кулько В. Ф., Михайловский В. Н.* Электромагнитное поле горизонтального диполя, находящегося в одном из внутренних слоев многослойной проводящей среды // Отбор и передача информации. Теория и элементы систем отбора геофизической информации. – К.: Наук. думка, 1965. – С. 20–32.
6. *Кулько В. Ф., Михайловский В. Н.* Расчет электромагнитного поля электрического диполя, расположенного в нижнем слое трехслойной сферически слоистой среды. // Отбор и передача информации. Методы и аппаратура для исследования информационных характеристик электромагнитных полей в геофизике. – К.: Наук. думка, 1966. – С. 9–20.
7. *Кулько В. Ф., Михайловский В. Н.* Электромагнитное поле горизонтального электрического диполя, находящегося над сферической поверхностью раздела двух проводящих сред // Отбор и передача информации. Расчет и измерение информационных параметров электромагнитных полей. – К.: Наук. думка, 1967. – С. 9–18.
8. *Кулько В. Ф., Михайловский В. Н., Михнова М. С.* Электромагнитное поле бесконечно длинного кабеля с током, расположенного во внутреннем слое двухслойной цилиндрически слоистой среды // Отбор и передача информации. Расчет и измерение информационных параметров электромагнитных полей. – К.: Наук. думка, 1967. – С. 19–25.
9. *Кулько В. Ф., Михайловский В. Н., Михнова М. С.* Проводящий цилиндр в поле кабеля // Отбор и передача информации. – К.: Наук. думка, 1969. – Вып. 20. – С. 3–9.
10. *Кулько В. Ф., Михайловский В. Н.* Электромагнитное поле в слоистых проводящих средах. – К.: Наук. думка, 1967. – 148 с.
11. *Михайловский В. Н., Первушин В. Н.* Звукометрические методы внутрирудничной макродефектоскопии. – К.: Наук. думка, 1968. – 182 с.
12. *Кулько В. Ф.* Дифракция плоской электромагнитной волны на шаре // Отбор и передача информации. – 1970. – Вып. 25. – С. 52–61.
13. *Кулько В. Ф., Третьяков В. В.* Поля бесконечно длинного кабеля с током, а также плоской волны над неоднородным полупространством. // Отбор и передача информации. – 1971. – Вып. 28. – С. 22–27.
14. *Стрэттон Дж. А.* Теория электромагнетизма. – М.: Гостехиздат, 1948. – 539 с.
15. *Шендеров Е. Л.* Волновые задачи гидроакустики. – Л.: Судостроение, 1972. – 348 с.
16. *Кулько В. Ф.* О возможностях и перспективах использования операторного метода решения задач дифракции / Под. Ред. В. Н. Михайловского // Проблемы физикометрии. – К.: Наук. думка, 1978. – С. 63–68.
17. *Кулько В. Ф., Кулько И. П.* О практическом методе решения дифференциальных уравнений в частных производных и применении его к решению задач электротехники // Отбор и передача информации. – 1970. – Вып. 24. – С. 3–13.
18. *Кулько В. Ф.* Операторный метод расчета установившихся электрических и магнитных полей в некоторых неоднородных средах // Отбор и передача информации. – 1970. – Вып. 24. – С. 13–21.
19. *Лурье А. И.* Пространственные задачи теории упругости. – М.: Гостехиздат, 1955. – 492 с.
20. *Кулько В. Ф., Кулько И. П.* К вопросу обращения в обычную форму решений дифференциальных уравнений в частных производных, полученных в операторной форме // Отбор и передача информации. – 1971. – Вып. 28. – С. 16–22.
21. *Кулько В. Ф., Кулько И. П.* О способах представления в обычном виде решений дифференциальных уравнений, полученных в операторной форме // Отбор и передача информации. – 1971. – Вып. 27. – С. 34–41.
22. *Кулько В. Ф., Кулько И. П.* К развитию операторного метода решения задач электро- и радиотехники // Отбор и передача информации. – 1973. – Вып. 36. – С. 31–38.
23. *Кулько В. Ф., Кулько И. П.* Дифракция электромагнитной волны на идеально проводящем цилиндре, сечение которого имеет сложную форму // Отбор и передача информации. – 1975. – Вып. 45. – С. 53–59.
24. *Кулько В. Ф., Михнова М. С.* Поле элементарного излучателя в присутствии цилиндра // Отбор и передача информации. – 1974. – Вып. 40. – С. 32–38.
25. *Кулько В. Ф., Михнова М. С.* О расчете полей дифракции электромагнитных волн на идеально проводящих телах в дальних зонах и зонах “светлых пятен” // Отбор и передача информации. – 1972. – Вып. 32. – С. 3–8.
26. *Кулько В. Ф., Кулько И. П.* Электростатическое поле точечного заряда над ограниченным криволинейной поверхностью сложной формы полупространством // Отбор и передача информации. – 1975. – Вып. 46. – С. 23–30.
27. *Кулько В. Ф., Михнова М. С.* Дифракция электромагнитной волны на цилиндрическом теле сложной формы и конечной проводимости // Отбор и передача информации. – 1977. – Вып. 51. – С. 38–42.

28. Кулько В. Ф., Кулько И. П. Способ расчета электромагнитных полей, возбуждаемых линейными излучателями в цилиндрических структурах // Отбор и передача информации. – 1981. – Вып. 64. – С. 73–77.
29. Карандеев К. Б., Мизюк Л. Я. О методах и аппаратуре аэроэлектроразведки // Изв. АН СССР. Сер. Геофизика. – 1960. – № 6. – С. 787–797.
30. Вишенчук И. М., Котюк А. Ф., Мизюк Л. Я. Электромеханические и электронные фазометры. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 172 с.
31. Мизюк Л. Я. Входные преобразователи для измерения напряженности магнитных полей. – К: Наук. думка, 1964. – 166 с.
32. Дикмарова Л. П. Анализ геометрии установок индуктивных методов электроразведки. – К: Наук. думка, 1968. – 156 с.
33. Светов Б. С., Мизюк Л. Я., Поджарый В. М. Рудная электроразведка по методике эллиптически поляризованного поля. – М.; Л.: Недра, 1969. – 135 с.
34. Мизюк Л. Я., Поджарый В. М., Проць Р. В. Измерение инвариантов магнитного поля при электроразведке. – К: Наук. думка, 1976. – 232 с.
35. Вакульский А. А., Луцишин А. С., Мизюк Л. Я. Аппаратура для электроразведки методом переходных процессов // Вісн. АН УРСР. – 1973. – 9. – С. 49–57.
36. Джала Р. М. Проникновение электромагнитного поля сквозь продольную щель в цилиндрическом экране конечной толщины // Матер. 7-й конф. молодых ученых ФМИ АН УССР. Секция отбора и передачи информации. – Львов, 1975. – С. 52–54. Деп. ВИНТИ № 319-76. Анот. РЖ Радиотехника. – М., 1976, 12 А 100.
37. Джала Р. М. К теории неоднородных экранов электромагнитных канализирующих систем // Матер. 8-й конф. молодых ученых ФМИ. Секция отбора и передачи информации. – Львов. – 1977. – С. 39–42. Деп. в ВИНТИ № 993-79. Анот. РЖ Радиофизика, М. 1979, 6 Ж 384.
38. Джала Р. М. Внутреннее возбуждение Е-волной продольно-щелевого цилиндра конечной толщины // Там же. – С. 43–46. Деп. в ВИНТИ № 993-79. Анот. РЖ Радиофизика. – М., 1979, 6 Ж 402.
39. Джала Р. М., Дикмарова Л. П. К теории электромагнитного поля круговой цилиндрической структуры с продольной неоднородностью в проводящем слое // Отбор и передача информации. – 1979. – Вып. 57. – С. 66–71.
40. Джала Р. М. Электромагнитное поле цилиндрической структуры с продольным вырезом в проводящем слое // Матер. 6-й конф. ИППММ АН УССР. – Львов, 1978. – С. 11–17. Деп. в ВИНТИ № 3851-79. РЖ Радиофизика. – М., 1980, 2 Ж 260.
41. Джала Р. М. Продольно-щелевой цилиндрический экран с конечными толщиной и электропроводностью // Радиотехника и электроника. – М.: Наука, 1985. – 30, № 1. – С. 1–7.
42. Дикмарова Л. П., Добушовский С. П., Мизюк Л. Я. Поле бесконечно длинного провода в проводящей среде // Отбор и передача информации. – 1977. – Вып. 51. – С. 47–52.
43. Джала Р. М., Дикмарова Л. П. Основная волна частично экранированной двусвязной линии // Теорет. электротехника. – Л.: Высш. шк., 1980. – Вып. 29.
44. Липский В. К. К расчету поля изолированного провода, расположенного вблизи плоскости раздела двух сред // Отбор и передача информации. – 1981. – Вып. 64. – С. 58–64.
45. Дикмарова Л. П., Павлюк Р. П. К учету эффекта близости во внешнем поле двухпроводной линии // Отбор и передача информации. – 1981. – Вып. 64. – С. 64–67.
46. Дикмарова Л. П., Павлюк Р. П. Электромагнитное поле скрученной в группу и в повив двухпроводной линии // Электросвязь. – 1984. – № 3. – С. 48–51.
47. Джала Р. М., Дикмарова Л. П., Мизюк Л. Я. Упрощенный анализ поля линии с азимутальной неоднородностью в экране // Отбор и передача информации. – 1984. – Вып. 69.
48. Джала Р. М., Дикмарова Л. П. Распространение волн вдоль частично экранированной линии, расположенной в подземном туннеле // Отбор и передача информации. – 1986. – Вып. 73. – С. 58–61.
49. Джала Р. М., Прудис И. Н. Поле помех коаксиальной линии со щелью // Тез. докл. Респ. научн.-техн. конф. “Методы и средства измерений в области электромагнитной совместимости”. – Винница: ВПИ, 1987. – 1 с.
50. Джала Р. М., Дикмарова Л. П. Электромагнитное поле линии с перекрытой щелью в экране // Отбор и обработка информации. – К.: Наук. думка, 1991. – Вып. 7(83).
51. Дикмарова Л. П., Дуб П. Б., Нічого В. О. Дослідження паразитних випромінювань симетричних ліній зв'язку // Пр. Ювілейної наук.-техн. конф. “Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні”, Київ, 9–11 червня 1998 р. – С. 178–183.
52. Dikmarova L., Nichoga V., Dzhala R. The Influence of Medium and Constructive Parameters on the External Field of Coaxial Cable // Proc. of the Fourteenth Int. Wroclaw Symp. and Exhibition on Electromagnetic Compatibility. – Poland, Wroclaw, June 23–25, 1998. – P. 159–161.

53. Джала Р. М. Гібридні хвилі циліндричних структур з порушеною круговою симетрією // Прямі та обернені задачі теорії електромагнітних та акустичних хвиль. – Ukraine MTT / ED / AP IEEE Chapter. DIPED-95. – Львів: ІППММ НАНУ, ЦММ, 1995. – С. 52–53.
54. Джала Р. М. Продольная щель сложного профиля в цилиндрическом электромагнитном экране // Матер. 8-й конф. молодых ученых ФМИ. Секция отбора и передачи информации. – Львов, 1977. – С. 47–50. Деп. в ВИНТИ № 993-79. Анот. РЖ Радиофизика. – М., 1979, 6 Ж 385.
55. Джала Р. М. Дифракция электромагнитных волн в регулярных цилиндрических структурах с незамкнутыми экранами / Волны и дифракция. – М: ИРЭ АН СССР, 1981. – Т. 1. – С. 65–78.
56. Джала Р. М. Рассеяние электромагнитного поля цилиндром конечной толщины с продольными щелями различной ширины // Отбор и передача информации. – 1981. – Вып. 64. – С. 68–72.
57. Джала Р. М. Электродинамическая модель цилиндрических структур сложного профиля // I Укр. Симпозиум “Физика и техника ММ и СУВММ радиоволн”: Тез. докл. – Харьков: ИРЭ АН УССР. – 1991. – Т. 1. – С. 61.
58. Джала Р. М. Крайові задачі електродинаміки циліндричних структур з азимутальними неоднорідностями / Міжнар. симп. “Методи дискретних особливостей в задачах математичної фізики”. – Харків: ХДУ, 1993. – 2 с.
59. Джала Р. М. Некоторые задачи теории электромагнитных методов контроля трубных и других цилиндрических изделий // IX Всесоюз. научн.-техн. конф. “Неразрушающие физические методы и средства контроля”. – Тез. докл., секц. Б. – Минск, 1981. – С. 9–11.
60. Гонтарь И. М., Мизюк Л. Я., Ничога В. А. Одновитковые рамочные магнитные приемники // Геофизическая аппаратура. – 1975. – Вып. 57. – С. 65–71.
61. Дуб П. Б., Мизюк Л. Я., Ничога В. А. Оптимизация конструктивных параметров низкочастотных индукционных преобразователей для достижения нижнего порога чувствительности // Отбор и передача информации. – 1989. – Вып. 3(79). – С. 64–68.
62. Ничога В. А. Измерение весьма слабых низкочастотных магнитных полей в геофизических и космических исследованиях // Отбор и обработка информации – 1993. – Вып. 9 (85). – С. 70–77.
63. Ничога В. О. Тенденції розвитку та побудови давачів магнітних і механічних величин сучасних інформаційно-вимірjuвальних систем // Відбір і обробка інформації. – 2001. – Вип. 15(91). – С. 112–122.
64. А. с. 389482 (СССР). Способ определения расстояния до провода, обтекаемого переменным током / Б. И. Блажеквич, В. Ю. Воробкевич, Е. В. Ярошевский. – Оpubл. Бюл. изобр., 1973, № 29.
65. Гордиенко В. И., Убогий В. П., Ярошевский Е. В. Электромагнитное обнаружение инженерных и локальных аномалий. – К: Наук. думка, 1981. – 227 с.
66. Франтов Г. С., Гордиенко В. И., Калашников Н. И. Сферические электромагнитные поля и их свойства. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1972. – 112 с.
67. Гордиенко В. И., Калашников Н. И., Надточий К. Д. Индуктивные излучатели и приемники вихревого электрического поля. – К: Наук. думка, 1972. – 75 с.
68. Гордиенко В. И., Калашников Н. И., Надточий К. Д. Измерение низкочастотных вихревых электрических полей. – К: Наук. думка, 1975. – 87 с.
69. Информационные устройства и системы разведочной геофизики / Н. И. Калашников, Р. С. Бачевский, К. Д. Надточий и др. – К: Наук. думка, 1973. – 202 с.
70. Мизюк Л. Я., Калашников Н. И. Электромагнитные гео- и гидрофизические поисковые системы / Под. ред. В. Н. Михайловского // Проблемы физикомеритрии. – К: Наук. думка, 1978. – С. 24–35.
71. Калашников Н. И., Дудкин Ф. Л., Николаенко Ю. Б. Основы морской электроразведки. – К: Наук. думка, 1980. – 208 с.
72. Гордиенко В. И., Кулынич Я. П., Убогий В. П. Моделирование электромагнитных полей в морской среде. – К: Наук. думка, 1988. – 224 с.
73. Аппаратура для аэрогеофизической разведки с магнитным и электромагнитным информационными каналами / А. А. Вакульский, Л. Я. Мизюк, Р. В. Проць, Ю. Ю. Сикачевский. – К: Наук. думка, 1985. – 256 с.
74. Цема М. И. Измерение и обработка монотоннозатухающих сигналов. – К: Наук. думка, 1988. – 120 с.
75. Сопрунюк П. М. Инфранизкочастотные измерительные устройства для исследования электрических полей в околоземном пространстве / Под. ред. В. Н. Михайловского // Проблемы физикомеритрии. – К: Наук. думка, 1978. – С. 59–62.
76. Сопрунюк П. М., Коваль Л. А., Цыбульский В. С. Амплитудно-фазовые измерения в диапазоне инфранизких частот. – К.: Наук. думка, 1983. – 176 с.
77. Сопрунюк П. М., Климов С. И., Корепанов В. Е. Электрические поля в космической плазме. – К: Наук. думка, 1994. – 190 с.
78. Тетерко А. Я., Панасюк В. В., Зайдель Б. М. Электроиндуктивный дефектоскоп для определения величины дефектов и глубины их залегания // Дефектоскопия. – 1969. – № 5. – С. 71–76.

79. *Электромагнитное поле находящегося в электропроводном полупространстве дефекта, эквивалентного электрическому диполю* / Б. И. Колодий, А. А. Орловский, В. В. Панасюк, А. Я. Тетерко // Отбор и передача информации. – 1976. – Вып. 49. – С. 35–39.
80. *Колодій Б. І., Орловський А. А., Панасюк В. В.* Розсіяння електромагнітних хвиль на дрібних дефектах в плоскошаруватих середовищах. – К: Наук. думка, 1985. – 132 с.
81. *Панасюк В. В., Саврук М. П., Назарчук З. Т.* Метод сингулярных интегральных уравнений в двумерных задачах дифракции. – К: Наук. думка, 1984. – 344 с.
82. *Назарчук З. Т.* Численное исследование дифракции волн на цилиндрических структурах. – К: Наук. думка, 1989. – 256 с.
83. *Nazarchuk Z. T.* Singular Integral Equations in Diffraction Theory. – Lviv: IPM, 1994. – 210 p.
84. *Механіка руйнування та міцність матеріалів: Довідн. пос.* / Під заг. ред. В. В. Панасюка. – К: Наук. думка, 1988. Т. 5: Неруйнівний контроль і технічна діагностика / Під ред. З. Т. Назарчука. – Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАНУ, 2001. – 1134 с.
85. *Тетерко А. Я., Назарчук З. Т.* Селективна вихрострумова дефектоскопія. – Львів: Фізико механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2004. – 248 с.
86. *Тетерко А. Я., Гутник В. І.* Фізична модель формування аномального електромагнітного поля реальною тріщиною в задачах вихрострумового контролю // Матер. 6-ої Націон. наук.-техн. конф. “Неруйнівний контроль і технічна діагностика” (9–12 червня 2009 р., Київ). – К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ, 2009. – С. 140–144.
87. *Тетерко А. Я., Гутник В. І.* Концепція побудови апаратури багатопараметрового вихрострумового контролю // Відбір і обробка інформації. – 2010. – Вып. 33 (109). – С. 9–14.
88. *Учанін В. М.* Особливості просторового розподілу сигналу вихрострумового перетворювача від тріщин різної довжини // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2007. – № 4. – С. 121–124.
89. *Учанін В. Н.* Вихретоковые мультидифференциальные преобразователи и их применение // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006. – № 3. – С. 34–41.
90. *Учанін В. М., Берник З. А.* Особливості вихрострумового контролю деталей газоперекачувальних агрегатів // Методи і прилади контролю якості. – 2005. – № 15. – С. 111–113.
91. *Учанін В. Н., Дереча В. Я.* Вихретоковый метод выявления поверхностных дефектов узлов авиационной техники в условиях эксплуатации // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006. – № 4. – С. 20–28.
92. *Вихретоковый контроль перемычек коллекторов атомных электростанций с применением автоматизированного манипулятора* / В. Л. Найда, В. Н. Учанін, А. Н. Гоголя, В. Т. Гулько // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. – Вып. 12: Неруйнівний контроль та техн. діагностика матеріалів та конструкцій. – Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАНУ, 2007. – С. 16–24.
93. *Учанін В. Н.* Вихретоковый контроль сварных соединений // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2008. – № 4. – С. 71–80.
94. *Разработка вихретокового тракта системы комплексного автоматизированного контроля железнодорожных осей* / Г. Г. Луценко, В. Н. Учанін, А. В. Джаганян и др. // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. – Вып. 13: Теорія і практика неруйнівного контролю матеріалів та конструкцій. – Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАНУ, 2008. – С. 27–36.
95. *Учанін В. М.* Аналіз сигналів внутрішнього коаксіального вихрострумового перетворювача для дефектоскопії труб парогенераторів // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2009. – № 3. – С. 112–116.
96. *Учанін В. Н., Александров С. А., Цыганов В. Ю.* Вихретоковая дефектоскопия деталей авиационных двигателей в условиях эксплуатации и ремонта // Вісник двигунобудування. – 2009. – № 2. – С. 151–155.
97. *Учанін В. Н., Тетерко А. Я., Кулинич Я. П.* Технології вихрострумової дефектоскопії для діагностики елементів конструкцій та обладнання довготривалої експлуатації в авіації та енергетиці // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій споруд та машин. – К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ, 2009. – С. 85–91.
98. *Назарчук З. Т., Тетерко А. Я., Учанін В. М.* Розробка нових заводських методів, засобів і технологій вихрострумового контролю // Відбір і обробка інформації – 2011. – № 34. – С. 7–21.
99. *Назарчук З. Т.* Діагностика матеріалів і середовищ // Фізико-механічний інститут (До 60-річчя з часу заснування) / Під ред. В. В. Панасюка. – Львів: Сполом, 2011. – С. 69–100.
100. *Куриляк Д. Б.* Методы частичного обращения оператора в задачах определения электромагнитных полей клиновидных структур конечной протяженности // Изв. вузов. Электро-механика. – 1991. – № 8. – С. 16–18.
101. *Колодій Б. І., Куриляк Д. Б.* Осесиметричні задачі дифракції електромагнітних хвиль на конічних поверхнях. – К.: Наук. думка, 1995. – 167 с.
102. *Kuryliak D. B. and Nazarchuk Z. T.* One conical waveguide bifurcation problem // Technical Report on Electromagnetic Theory, Institute of Electrical Engineers of Japan. – 1997. – № EMT-97-50. – P. 51–56.

103. *Куриляк Д. Б.* Векторне рівняння Вінера–Гопфа для однієї змішаної крайової задачі дифракції в клині, розсіченому півплощиною // *Мат. методи і фіз.-мех. поля.* – 1997. – **40**, № 3. – С. 87–92.
104. *Куриляк Д. Б.* Осесимметрическое поле электрического диполя над полубесконечным конусом с усеченной вершиной. I. Сопоставление метода рядов и метода интегральных преобразований // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 1999. – **4**, № 2. – С. 121–128; II. Численное моделирование // Там же. – 2000. – **5**, № 3. – С. 284–290.
105. *Куриляк Д. Б., Назарчук З. Т.* Матричные операторы типа свертки в задачах дифракции на клиньях конечной протяженности // *Доп. НАН України.* – 2001. – № 8. – С. 66–73.
106. *Куриляк Д. Б., Назарчук З. Т.* Возбуждение симметричных электромагнитных колебаний в системе из конечного и усеченного конусов с различными углами раскрытия // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2002. – **7**, № 1. – С. 64–73.
107. *Куриляк Д. Б., Назарчук З. Т.* Аналітико-числові методи в теорії дифракції хвиль на кінчних і клиноподібних поверхнях. – К.: Наук. думка, 2006. – 280 с.
108. *Куриляк Д. Б., Назарчук З. Т.* Розвиток методів аналітичної регуляризації в теорії дифракції // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2011. – **47**, № 2. – С. 42–55.
109. *Колодій Б. И., Ляцук О. Б.* Определение толщины слоев в плоскостойких диэлектриках радиоволновыми методами // *Дефектоскопия.* – 1987. – № 8. – С. 88–91.
110. *Колодій Б. И., Ляцук О. Б.* Численное решение прямых задач рефлектометрии плоскостойких диэлектриков. – Львов, 1988. – Препр. АН УССР. Физ.-мех. ин-т; № 128. – 29 с.
111. *Колодій Б. И., Ляцук О. Б.* Прямі і обернена задачі електромагнітної діагностики плоскошарових композитних матеріалів з використанням прямокутного хвилеводу // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 1994. – № 2. – С. 26–33.
112. *Колодій Б. И., Ляцук О. Б.* Математичні моделі, методи та алгоритми радіохвильової діагностики багатошарових діелектриків // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 1997. – **33**, № 5. – С. 49–57.
113. *Назарчук З. Т., Ляцук О. Б., Джала В. Р.* Новітні методи й апаратура радіохвильової діагностики багатошарових діелектриків // *Відбір і обробка інформації.* – 1999. – Вип. 13 (89). – С. 10–15.
114. *Dzhala V. R., Kapko L. I., Nazarchuk Z. T.* The automotive computer workbench for complex multi-frequency measurement at the 5 millimeter waveband // *Proc. of the 5th Int. Kharkov Symp. on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves.* – Kharkiv, 2004. – **2**. – P. 776–778.
115. *Джала В. Р., Капко Л. І.* Метод і пристрій для вимірювання комплексного коефіцієнта відбивання у радіохвильовому діапазоні довжин хвиль // *Відбір і обробка інформації.* – Вип. 24 (100). – 2006. – С. 13–18.
116. *Джала В. Р., Капко Л. І., Куриляк Д. Б.* Радіохвильова надвисокочастотна діагностика розшарування у діелектричній пластині // *Відбір і обробка інформації.* – 2009. – Вип. 30 (106). – С. 21–24.
117. *Джала В. Р., Капко Л. І.* Радіохвильова діагностика плоскошарових діелектриків на підставі розв'язку оберненої задачі // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – **45**, № 3. – 2009. – С. 117–122.
118. *Назарчук З. Т., Синявський А. Т.* Визначення характеристик шаруватої структури за реконструйованою з коефіцієнтів відбиття матрицею розсіювання // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2010. – **15**, № 3. – С. 295–313.
119. *Назарчук З. Т., Джала В. Р., Синявський А. Т.* Виявлення підповерхневих неоднорідностей у діелектричних матеріалах радіохвильовим надвисокочастотним методом // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2013. – **49**, № 4. – С. 7–22.
120. *Электромагнитный метод бесконтактного измерения токов при коррозионных обследованиях подземных магистральных трубопроводов / Р. М. Джала, Л. П. Дикмарова, Е. Г. Зарицкий, Л. Я. Мизюк // Электрохимическая защита и коррозионный контроль: IV Республикан. Украинская конф. АН УССР.* – Северодонецк, 1985 – С. 132–134.
121. *Dzhala R. M.* Method of contactless currents measurement in diagnostics of pipelines corrosion // *2nd Int. conf. "Pipeline inspection".* – Moscow: MSIA "Spectrum", 1991. – P. 227–280.
122. *Dzhala R., Verbenets B., Senyuk O.* "ВІГ" apparatus for monitoring underground pipe-lines // *Int. Symp. Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE) // Proc.* – Berlin (Germany), 1995. – Vol. 2. – P. 1099–1105.
123. *Джала Р. М.* Контроль корозії підземних трубопроводів безконтактним методом // *Відбір і обробка інформації.* – 2001. – Вип. 15(91). – С. 142–153.
124. *Electromagnetic Method and Apparatus for Corrosion Testing of Underground Pipelines / R. M. Dzhala, O. M. Balashov, Yu. V. Banakhevych et al. // 8th European Conf. Non-Destructive Testing.* – Barcelona (Spain), 2002. – Abstr. Book – P. 412. – Technical Papers: CD – 6 p.
125. *Безконтактний метод і апаратура для оперативних обстежень підземних трубопроводів / Р. М. Джала, Л. П. Дикмарова, Б. Я. Вербенець, П. М. Хлипняч // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин.* – К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ, 2006. – С. 57–61.

126. *Влияние* поля Земли на измерения постоянного тока в подземных трубопроводах / Р. М. Джала, Л. П. Дикмарова, В. Ю. Корниенко // Измерительная техника. – 1995. – № 7. – С. 42–44.
127. *Контроль* розподілу струмів станцій катодного захисту в підземних трубопроводах за допомогою апаратури БИТ-К / Р. М. Джала, Б. Я. Вербенець, Р. І. Коваль, І. П. Хоменко // Нафтова і газова промисловість. – 1996. – № 2. – С. 47–48.
128. *Джала Р. М.* Метод безконтактних вимірювань струмів для контролю протикорозійного захисту підземних трубопроводів // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1999. – № 3. – С. 105–112.
129. *Контроль* захисту від корозії підземних трубопроводів апаратурою БИТ-КВП з комп'ютерною обробкою результатів / Р. М. Джала, Б. Я. Вербенець, О. І. Сенюк // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. – К.; Львів: ФМІ НАНУ. – 1999. – С. 102–103.
130. *Джала Р. М., Дікмарова Л. П.* Аналіз інформативності коефіцієнта заникання струму у електромагнітному методі контролю ізоляції трубопроводів // Технічна діагностика та неруйнівний контроль. – 1999. – № 3. – С. 45–50.
131. *Дослідження* магнітного поля паралельних трубопроводів збуджених струмами низької частоти / Р. М. Джала, Л. Я. Мізюк, О. П. Максименко, О. І. Сенюк // Методи і прилади контролю якості. – 1999. – № 4. – С. 3–6.
132. *Дикмарова Л. П., Джала Р. М.* Математические модели подземных трубопроводов в задачах коррозионного контроля // Проблемы управления и информатики. – 2000. – № 1. – С. 54–63.
133. *Контроль* ізоляції підземних трубопроводів за заниканням струму / Р. Джала, Л. Дикмарова, Б. Вербенець та ін. // Проблеми корозії і притикорозійного захисту конструкційних матеріалів: Спецвип. журналу “Фіз.-хім. механіка матеріалів”. – 2000. – 2. – С. 633–638.
134. *Джала Р. М.* Електричне поле підземного трубопроводу: похибки електрометрії // Відбір і обробка інформації. – 2002. – Вип. 16(92). – С. 5–8.
135. *Прилади* ОРТ, БІТ, ВП для контролю підземних трубопроводів / Р. М. Джала, Б. Я. Вербенець, О. Й. Винник та ін. // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. – Львів: ФМІ НАНУ, 2004. – Вип. 9. – С. 167–170.
136. *Електромагнітна* пошуково-вимірювальна системи ІМК-5 / П. П. Драбич, О. П. Драбич, П. Б. Дуб, М. Д. Пугач, І. Г. Стецько, І. М. Яворський // Наука та інновації. – 2006. – 2, № 5. – С. 41–52.
137. *Джала Р. М.* Основи обстеження і контролю корозійного стану підземних трубопроводів // Механіка руйнування та міцність матеріалів: Довідн. пос. / Під заг. ред. В. В. Панасюка. Т. 11. Міцність та довговічність трубопроводів і резервуарів нафтогазового комплексу. Р. 6. – Львів: Сполом, 2009. – С. 146–184.
138. *Технологія* обстежень підземних трубопроводів з використанням безконтактних вимірювань струмів / Р. М. Джала, С. Ф. Савула, Б. Я. Вербенець та ін. // Методи та прилади контролю якості. – 2009. – № 22. – С. 22–27.
139. *Джала Р. М., Вербенець Б. Я.* Електромагнетний метод і засоби безконтактних обстежень протикорозійного захисту підземних трубопроводів // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2011. – 47, № 2. – С. 117–125.
140. *Метод* контролю перехідного опору захисного покриття ділянки підземного трубопроводу. / Р. Джала, Б. Вербенець, О. Винник, В. Джала, М. Мельник, Р. Савула // Фіз.-хім. механіка матеріалів. Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. – 2012. – Спец. вип. № 9. – 2. – С. 668–672.
141. *Диференціація* локальних пошкоджень ізоляції струмопроводу за розподілом магнітного поля / Р. М. Джала, В. Р. Джала, Б. Я. Вербенець, О. М. Семенюк // Методи та прилади контролю якості. – 2012. – № 1 (28). – С. 33–40.
142. *Методологія* і апаратура оперативних комплексних обстежень підземних трубопроводів / Р. М. Джала, Б. Я. Вербенець, Я. С. Підгірняк, М. І. Мельник, О. О. Червінка // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин. – К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ. – 2012. – С. 66–71.
143. *Визначення* поляризаційного потенціалу металу в електропровідному середовищі / Р. М. Джала, Б. Я. Вербенець, М. І. Мельник // Відбір і обробка інформації. – 2013. – Вип. 38 (114). – С. 82–85.
144. *Протикорозійний* захист трубопроводів і споруд та методи контролю КТС-99: Матеріали 3-го наук.-практ. семінару / Відп. ред. В. І. Похмурський, Р. М. Джала. – Львів: Фізико-механічний ін-т НАН України, 1999. – 167 с.
145. *Mathematical Methods in Electromagnetic Theory* // VIth Int. Conf. MMET '96. – Ukraine URSI Commission B, Ukraine MTT / ED / AP IEEE Chapter. – Lviv: Karpenko Physico-Mechanical Institute NAS Ukraine. Sept. 10–13, 1996. – 535 p.