

**Исследования в области теоретической  
радиофизики. Вклад ученых кафедры  
теоретической радиофизики**  
(Н. Н. Колчигин)

**Электродинамика слоистых композитов и планарных  
периодических наноструктур. Многофункциональные системы  
управления на основе периодических и аperiodических  
последовательностей однотипных элементов с уникальными  
свойствами (киральность, анизотропия, гиротропия).  
Планарные метаматериалы оптического и инфракрасного  
диапазона с активными и нелинейными включениями**

Данное направление на кафедре теоретической радиофизики начало развиваться с конца 80-х — начала 90-х годов и стало логичным продолжением проводимых в 70—80-е годы сотрудниками кафедры фундаментальных и прикладных научно-исследовательских работ по электродинамике резонансных периодических решеток.

Основная цель проводимых исследований — расширение функциональных возможностей систем управления электромагнитным полем СВЧ и оптического диапазонов. Данная цель достигается путем введения в слоистую структуру сложнокомпозиционных металлодиэлектрических элементов или элементов из анизотропных, биизотропных, киральных, гиротропных сред.

Сложная композиция структуры и наличие в ее составе элементов с разным характером отклика на электромагнитное поле потребовала развития комплексного подхода к решению соответствующих задач дифракции. Основой такого подхода стал метод теории цепей и матричных функций, который был разработан на кафедре. В зависимости от геометрии и физических свойств исследуемых слоистых структур использовались и другие методы теории дифракции: метод эквивалентных двухсторонних граничных условий, метод функции Грина, метод переразложений и т. п. На данный момент метод теории цепей и матричных функций развит на случай одномодовой и двухмодовой линий передачи, как в свободном пространстве, так и в волноводах и на его основе исследован широкий класс систем как периодических, так и аperiodических.

Развитие технологии привело к возможности создания периодических массивов сверхтонких металлических и диэлектрических элементов сложной формы с периодом в сотни нанометров. Это открыло чрезвычайно привлекательную для практики возможность создания метаповерхностей (планарных метаматериалов) для оптического и инфракрасного диапазонов. Такие тонкие периодические наноструктуры постепенно становятся основой для элементной базы систем оптической связи. В этом направлении сотрудниками кафедры совместно с сотрудниками Радиоастрономического института НАН Украины получен ряд интересных результатов, к которым относятся: магнитное зеркало, эффект невзаимного прохождения света через планарную систему с киральными элементами, а также высокодобротные резонансы на запертой моде как в металлодиэлектрической, так и полностью диэлектрической планарных структурах с двумя слабо асимметричными элементами в базовом элементе. Планарные структуры в режиме резонанса на запертой моде, размещенные на слое активного или нелинейного материала, — основа целого ряда приборов оптического диапазона, к которым относятся новый вид источника когерентного излучения, усилители оптического излучения, бистабильные элементы и т.п. На данный момент на кафедре ведутся исследования физических свойств таких систем.

### **Литература**

1. Казанский В. Б. Исследование характеристик рассеяния последовательности однотипных элементов с использованием теоремы Кели-Гамильтона / В. Б. Казанский, В. В. Подлозный, В. В. Хардинов // *Электромагнитные волны и электронные системы*. — 1999. — Т. 4, № 3. — С. 19–27.
2. Казанский В. Б. Длинноволновая теория дифракции волн на последовательности из  $N$  попарно чередующихся однородных и гетерогенных слоев / В. Б. Казанский, В. Р. Туз // *Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника*. — 2008. — Т. 51, № 1. — С. 27–37 (Kazanskiy V. B The Long-Wave Theory of  $N$  Pairwise Alternate Homogeneous and Heterogeneous Layers Diffraction / V. B Kazanskiy, V. R. Tuz // *Radioelectronics and Communications Systems*. — 2008. — V. 51, № 1. — P. 16–23.
3. Tuz V. Three-Dimensional Gaussian Beam Scattering from a Periodic Sequence of Bi-Isotropic and Material Layers / V. Tuz // *Progress in Electromagnetics Research B (PIER B)*. — 2008. — V. 7. — P. 53–73.
4. Tuz V. Polarization Properties of a Symmetrical and Asymmetrical Nonreciprocal Chiral Photonic Bandgap Structure with Defect / V. Tuz // *Journal of the Optical Society of America B (JOSA B)*. — 2009. — V. 26, № 9. — P. 1693–1701.

5. Tuz V. Electromagnetic Scattering by a Quasiperiodic Generalized Multilayer Fibonacci Structure with Grates of Magnetodielectric Bars / V. Tuz, V. Kazanskiy // *Waves in Random and Complex Media*. – 2009. – V.19, № 3. – P. 501–508.

6. Tuz V. Percolarity of Localized Mode Transfiguration of a Cantor Like Chiral Multilayers. / V. Tuz, V. Kazanskiy // *Optical Society of America A (JOSA A)*. – 2009. – V. 26, № 4. – P. 815–819.

7. Tuz V. Mutual conversion of  $TM_{mn}$  and  $TE_{mn}$  waves by periodic and aperiodic waveguide filters composed of dense metal-strip gratings / V. Tuz, S. Prosvirnin, V. Kazanskiy // *Progress in Electromagnetics Research B (PIER B)*. – 2011. – V. 30. – P. 313–335.

8. Schwanecke S. Nanostructured metal film with asymmetric optical transmission / S. Schwanecke, V. A. Fedotov, V. V. Khardikov, S. L. Prosvirnin, Y. Chen, and N. I. Zheludev // *Nano Letters*. – 2008. – V. 8, № 9. – P. 2940–2943.

9. Khardikov V. V. Trapping of light by metal arrays. / V.V. Khardikov, O. Iarko and S. L. Prosvirnin // *Journal of Optics* 12. – 2010 – 045 102 (11 p.).

10. Страшевский А. В. Интерференционное взаимодействие встречных когерентных волн в фотонном кристалле с ферритовой вставкой / А. В. Страшевский, В. Б. Казанский, В. Р. Туз // *Радиофизика и радиоастрономия*. – 2011. – Т. 16, № 2. – С. 192–197.

### **Прямые и обратные задачи рассеяния электромагнитных волн плоскостойкими средами и включениями в них**

Актуальность этого направления связана с тем, что проблемы современного естествознания во многих случаях сводятся к необходимости исследования распространения волн в сложных неоднородных структурах. При этом не только сами объекты, но и первичные (зондирующие) поля могут иметь достаточно сложную структуру. Это открывает новые возможности использования таких процессов на практике. Например, доказана перспективность применения электромагнитных волн для обнаружения, определения размеров и формы неоднородностей в биологических тканях (злокачественных опухолей на ранней стадии). Эффективность такого метода диагностики связана с разным содержанием воды в здоровых и злокачественных тканях.

Еще один класс практических приложений — методы обработки и интерпретации данных подповерхностного зондирования с использованием георадарных технологий. В частности, георадарные технологии получают все более широкое распространение при обследовании авто-

мобильных дорог, где являются одним из наиболее эффективных инструментов неразрушающего контроля, позволяя оперативно в режиме реального времени определять такие важные параметры, как толщина конструктивных слоев дорожных одежд, их влажность и пористость.

Среди методов и алгоритмов, используемых при решении этих задач, и развиваемых на кафедре в рамках данного направления, следует выделить: метод Ньютона—Канторовича и принцип максимума Понтрягина для решения обратных задач, метод нулевого поля для задач анализа взаимодействия электромагнитных волн с включениями в плоскостойких средах, а также методы анализа георадарных данных, базирующиеся на преобразовании Гильберта и некоторых других интегральных преобразованиях.

### **Литература**

1. Batrakov D. O. Inverse Scattering Problem in the Polarization Parameters Domain for Isotropic Layered Media: Solution via Newton-Kantorovich Iterative Technique. / D. O. Batrakov, N. P. Zhuck // *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*. — June 1994. — V. 8, № 6. — P. 759–779.

2. Batrakov D. O. Solution of a General Inverse Scattering Problem Using the Distorted Born Approximation and Iterative Technique / D. O. Batrakov, N. P. Zhuck // *Inverse Problems*. — 1994. — V. 10, № 1. — P. 39–54.

3. Zhuck N. P. Determination of electrophysical properties of a layered structure with a statistically rough surface via an inversion method / N. P. Zhuck, D. O. Batrakov // *Physical Review B*. — 1995. — V. 51, № 23. — P. 17073–17080.

4. Shckorbatov Y. Changes in the human nuclear chromatin induced by ultra wideband pulse irradiation / Y. Shckorbatov, V. Pasiuga, N. Kolchigin, D. Batrakov, O. Kazansky, V. Kalashnikov // *Central European Journal of Biology*. — 2009. — V. 4, № 1. — P. 97–106.

5. Batrakov D. O. A comparative study of the different ways of cells illumination and computer processing of the obtained information / D. O. Batrakov, Y. G. Shckorbatov // *Proceedings of the 8-th International Conference on Laser and Fiber-Optical Network Modeling, (LFNM'2006)*. — Kharkiv, Ukraine, June 29 July 1, 2006. — P. 459–462.

6. Батраков Д. О. Интерпретация данных зондирования слоистых структур на основе решения обратной задачи рассеяния электромагнитных волн / Д. О. Батраков, Н. В. Будко, Н. П. Жук // *Журнал технической физики*. — 1994. — Т. 64, № 1. — С. 152–161.

7. Батраков Д. О. Качество и эффективность обработки информации при радиоволновом контроле слоистонеоднородных диэлектриков многочастотным методом / Д. О. Батраков // *Дефектоскопия РАН*. — 1998. — № 8. — С. 68–76.

8. Батраков Д. О. Алгоритм решения обратных задач рассеяния на основе принципа максимума Понтрягина / Д. О. Батраков, М. М. Тарасов // Радиотехника и электроника РАН. — 1999. — Т. 44, № 2. — С. 137–142.
9. Батраков Д. О. Радиоволновый метод обнаружения и идентификации проницаемых включений в слоистонеоднородных средах / Д. О. Батраков, Д. В. Головин // Дефектоскопия, РАН. — 2006. — С. 64–72.
10. Батраков Д. О. Анализ поляризационных свойств многослойной плоскослоистой среды с цилиндрическим включением / Д. О. Батраков, А. Г. Батракова, Д. В. Головин, А. А. Симачев // Радиотехника : всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. — 2010. — Вып. 163. — С. 230–236.
11. Батраков Д. О. Дифракция плоской Е-поляризованной волны на цилиндрическом включении в плоскослоистой среде / Д. О. Батраков, Д. В. Головин // Физические основы приборостроения. — 2012. — Т. 1, № 1. — С. 16–22.
12. Batrakov D. O. Numerical features of phase objects 3d images reconstruction via microinterferograms / D. O. Batrakov, V. P. Titar, D. V. Golovin, T. V. Tishko // MSMW'04 Symposium Proceedings. — Kharkov, Ukraine, June 21–26, 2004. — P. 329–331.

**Сверхширокополосные импульсные антенны и антенные решётки. Антенны Вивальди (расширяющиеся щелевые антенны). Ретроdirective антенные решётки (решётки Ван-Атта). Импульсная подповерхностная радиолокация**

(Н. Н. Колчигин, С. Н. Пивненко, А. Ю. Бутрым, О. В. Казанский)

1. Butrym A. Yu Radiation of an Aperture Antenna Fed by Pulsed Signal Arbitrarily Distributed in Space and Time / A. Yu Butrym, N. N. Kolchigin, S. N. Pivnenko // Telecommunications and Radio Engineering. — 1999. — V. 53, № 2. — P. 35–38.
2. Бутрым А. Ю. Управление направлением импульсного излучения апертуры с помощью несинхронного возбуждения / А. Ю. Бутрым, Н. Н. Колчигин, С. Н. Пивненко // Радиотехника. — 2001. — № 6. — С. 29–33.
3. Butrym A. Yu. Time Domain Tapered Slot Antenna Analysis / A. Yu. Butrym, O. V. Kazansky // Український фізичний журнал. — 2002. — № 6. — С. 557–559.
4. Butrym A. Yu. Time-Domain Modeling of Short Pulses Radiation with Aperture Decomposition Method / A. Yu. Butrym, V. A. Katrich, O. V. Kazansky, N. N. Kolchigin, S. N. Pivnenko // Radio Physics and Radio Astronomy. — Dec. 2002. — Vol. 7, № 4. — P. 394–397.

5. Butrym A. A tapered coplanar strip antenna with improved matching / A. Butrym, S. Pivnenko // *Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics 7* / ed. by F. Sabath. — Berlin : Springer, 2007. — P. 344–355.

6. Бутрым А. Ю. Синтез и оптимизация широкополосной расширяющейся щелевой антенны / А. Ю. Бутрым, Д. Д. Иванченко, О. В. Казанский, В. А. Катрич, Н. Н. Колчигин // *Радиотехника: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник*. — 2004. — Вып. 137. — С. 194–197.

7. Бутрым А. Ю. Решетка из расширяющихся щелевых антенн (РЩА) для широкополосных импульсных сигналов / А. Ю. Бутрым, О. В. Казанский, Н. Н. Колчигин // *Успехи современной радиоэлектроники*. — 2005. — № 5. — С. 60–64.

8. Butrym A. Yu. Resistive loading that does not reduce performance of a pulse antenna / A. Yu. Butrym, N. N. Kolchigin, S. Pivnenko // *Electromagnetic Phenomena*. — 2007. — V. 7, № 1. — P. 71–76.

9. Butrym A. Yu. CPW to CPS Transition for Feeding UWB Antennas / A. Yu. Butrym, S. N. Pivnenko // *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*. — 2006. — V. 21, № 2. — P. 21–23.

**Аналитические методы электродинамики во временной области на основе модовых разложений полей. Метод модового базиса. Нестационарные поля в резонаторах, волноводах, импульсные волновые пучки, импульсы в поперечно-неоднородных волноводах, распространение импульсных волн в диспергирующих средах, в открытых диэлектрических волноводах**

(О. А. Третьяков, А. Ю. Бутрым, М. С. Антифеева,  
Джин Юн, Б. А. Кочетов, М. Н. Легенький)

1. Бутрым А. Ю. Применение метода эволюционных волноводных уравнений для анализа неоднородных волноводов в частотной области / А. Ю. Бутрым, О. А. Третьяков // *Вісник Харк. нац. ун-ту*. — № 570 : «Радіофізика та електроніка». — 2002. — Вип. 2. — С. 284–286

2. Butrym A. Yu. Transient Diffraction on a Permittivity Step in a Waveguide: Closed-Form Solution in Time Domain / A. Yu. Butrym, Y. Zheng, O. A. Tret'yakov // *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*. — 2004. — Vol. 18, № 7. — P. 861–876.

3. Бутрым А. Ю. Метод модового базиса во временной области для волновода с поперечно неоднородным многосвязным сечением. 1. Общая теория метода / А. Ю. Бутрым, Б. А. Кочетов. // *Радиофизика и радиоастрономия*. — 2009. — Т. 14, № 2. — С. 162–173

4. Бутрым А. Ю. Метод модового базиса во временной области для волновода с поперечно неоднородным многосвязным сечением. 2. Пример численной реализации / А. Ю. Бутрым, Б. А. Кочетов // Радиофизика и радиоастрономия, 2009. – Т. 14, № 3. – С. 266–277.

5. Butrym A. Yu. Charge Transport by a Pulse E- wave in a Waveguide with Conductive Medium / A. Yu. Butrym, M. N. Legenkiy // Progress In Electromagnetics Research B, (PIERB 15).– 2009. – P. 325–346.

6. Antyufeyeva M. S. Transient electromagnetic fields in a cavity with dispersive double negative medium / M. S. Antyufeyeva, A. Yu Butrym, O. A. Tretyakov // Progress In Electromagnetics Research M. – 2009. – Vol. 8. – P. 51–65.

7. Butrym A. Yu. Mode expansion in time domain for conical lines with angular medium inhomogeneity / Butrym A.Yu., Kochetov B. A. // Progress in Electromagnetics Research B.– 2010.– Vol. 19.– P. 151–176.

8. Butrym A. Yu. Method of mode matching in time domain / A. Yu. Butrym, M. N. Legenkiy // Progress in Electromagnetics Research B.– 2010. – Vol. 22.– P. 257–283

**Обратные задачи магнитостатики в магнитокардиографии.  
Цифровая обработка сигналов, пространственная и временная  
фильтрация в мультисенсорных системах измерения  
магнитного поля**

(С. Н. Шульга, А. Ю. Бутрым, Ю. В. Дурнева, О. В. Багацкая,  
А. Ю. Костев)

1. Дурнева Ю. В. Использование модели нескольких диполей в свободном пространстве для первичной обработки результатов магнитокардиографических измерений / Ю. В. Дурнева, А. Ю. Бутрым, С. Н. Шульга // Радиотехника и электроника. – 2008. – Т. 53, № 11. – С. 1420–1425.

2. Бутрым А. Ю. Пространственная фильтрация шумов в магнитокардиографических измерениях / А. Ю. Бутрым, Ю. В. Дурнева, С. Н. Шульга // Радиотехника и электроника.– 2009.– Т. 54, № 11.– С. 1362–1368.

3. Бутрым А. Ю. Определение оптимальных параметров измерительной магнитокардиографической гексагональной решетки / А. Ю. Бутрым, А. Ю. Костев, С. Н. Шульга // Вісник Харк. нац. ун-ту. – №883 : «Радіофізика та електроніка».– 2009. – Вип. 15. – С. 25–29.

4. Shulga S. Spatial Noise Filtering in Magnetocardiographic Measurements / S. Shulga // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2009.

5. Дурнева Ю. В. Сравнение характеристик чувствительности датчиков магнитного поля на основе программно реализуемых градиометров раз-

ного порядка для магнитокардиографических измерений / Ю. В. Дурнева, А. Ю. Бутрым, С. Н. Шульга // Радиофизика и радиоастрономия. — 2009.

6. Багацька О. В. Новий метод локалізації джерела магнітного поля в задачах магнитокардіографії / О. В. Багацька, О. Ю. Бутрим, Ю. В. Дурнева, С. М. Шульга. // Вісн. Київ. ун-ту. Сер.: Фізико-математичні науки. — 2007. — Вип. 1. — С. 212–217.

7. Bagatskaya O. V. An analytical method for localization of the dipole magnetic field source and reconstruction of the current flow in the human heart / O. V. Bagatskaya, A. Yu. Butrym, Yu. V. Durneva, S. N. Shulga // Вісник Харк. нац. ун-ту. — № 646 : «Радіофізика та електроніка». — 2004. — С. 160–166.

8. Bagatskaya O. One-dipole inverse problem of magnetostatics for reconstruction of heart-torso electric activity from magnetocardiography measurements / O. Bagatskaya, A. Butrym, Yu. Durneva, S. Shulga // Вісник Харк. нац. ун-ту. — № 756 : «Радіофізика та електроніка». — 2007. — Вип. 11. — С. 47–50.

**Методы маскировки радиолокационных целей с помощью поглощающих и рассеивающих покрытий. Композиционные методы оценивания радиолокационного сечения рассеивания сложных объектов. Радиометрия**

(Н. Н. Колчигин, В. Н. Быков, Д. Д. Иванченко, О. В. Казанский)

1. Антюфеев В. И. Радиометрические корреляционно-экстремальные системы навигации летательных аппаратов / В. И. Антюфеев, В. Н. Быков, А. М. Гричанюк, В. А. Краюшкин. — Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина. — 2008. — 356 с.

2. Антюфеев В. И. Применение принципов радиометрии в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов / В. И. Антюфеев, В. Н. Быков, В. А. Краюшкин, Р. П. Гахов. — М. : Физматлит, 2009. — 350 с.