

ВЫВОДЫ

В данной диссертации решена задача определения нестационарных электромагнитных полей, излученных осесимметричными излучателями. Решение задач излучения во временной области является актуальной проблемой в связи с бурным развитием радиолокации и mm средств передачи информации, основанных на использовании сверхширокополосных сигналов. Для решения поставленной в диссертации задачи излучения впервые использован метод модового базиса, основанный на представлении электромагнитного поля в виде совокупности мод. Исходная трехмерная задача была сведена к одномерной задаче по отысканию пространственно-временного распределения поля отдельно взятой моды. В результате задача была упрощена при сохранении явной зависимости параметров идеальной среды и полей от времени. При помощи теоремы Вейля доказана полнота такого модового базиса. Его построение приводит к удобному математическому описанию нестационарных процессов и способствует физической наглядности практически всех этапов решения задачи.

Впервые при помощи метода модового базиса получена система эволюционных уравнений, описывающих излучение и распространение электромагнитных полей с произвольной временной зависимостью в безграничной слоисто неоднородной нестационарной среде без потерь. Для случая свободного пространства эта система сведена к двум независимым уравнениям типа Клейна-Гордона, описывающих распространение Н- и Е-волн.

Для решения эволюционных уравнений применялись такие аналитические методы, как метод функции Римана и метод разделения переменных, причем использование последнего проводилось без применения преобразования Фурье по времени. Это позволило решить во временной области задачу излучения диска с равномерным распределением

нестационарного тока. Для случая ступенчатой временной зависимости тока получены аналитические выражения для амплитуд всех компонент излученного поля, наблюдаемых на больших удалениях от излучателя, и явные выражения для произвольных удалений. Принцип причинности входит в эти выражения как их неотъемлемая часть, что характерно для решений во временной области. В свою очередь, это свойство свидетельствует о правильном описании переноса информации электромагнитным полем.

Достоверность полученных результатов доказана путем сравнения с известным решением этой же задачи, полученным с использованием преобразования Фурье во временной области. Показано, что при возбуждении плоского диска короткими видеоимпульсами энергия излученного поля вблизи источника убывает аномально медленно, т.е. имеет место “электромагнитный снаряд”. Преимущества метода модового базиса проявились в том, что с его помощью были получены амплитуды всех компонент поля в явном виде на любых расстояниях от излучателя, тогда как в литературе известны выражения только для амплитуды поперечной электрической компоненты поля на большом удалении от источника. Использование этого ограничения на расстояние наблюдения в эволюционном подходе позволило получить амплитуды всех компонент излученного поля в аналитическом виде. Приведенные результаты проиллюстрировали возможности метода для практического расчета излучателей нестационарных полей с заданным распределением стороннего нестационарного тока и заряда.

Решена задача излучения нестационарных электромагнитных полей из открытого конца коаксиального волновода, возбуждаемого TEM-волной. При помощи метода разделения переменных были найдены общие решения эволюционных уравнений. Используя эти решения и сопряжение полей в различных областях, было получено решение задачи излучения из открытого конца коаксиального волновода, возбужденного нестационарной TEM-волной, в приближении Кирхгофа и в точной постановке с учетом дифракционных

явлений. Для временной зависимости возбуждающей ТЕМ-волны в виде функции Хевисайда получены аналитические выражения для амплитуд излученного поля и, в случае задачи дифракции, для поля отраженной от открытого конца ТЕМ-волны в коаксиальном волноводе. Эти решения были использованы для вычисления интегральной свертки, что дало возможность получить выражения для амплитуды излученного поля в случае произвольной временной зависимости возбуждающей функции. Как и следовало ожидать, решение, полученное в приближении Кирхгофа, наилучшим образом совпадает с точным в направлениях, близких к нормали к плоскости раскрыва.

Полученные результаты были проверены экспериментально при помощи измерений поля, излученного коаксиальным коническим излучателем. Сравнительный анализ точного решения, решения, полученного в приближении Кирхгофа, и экспериментальных данных показал, что предложенный теоретический подход позволяет достаточно точно рассчитывать реальные излучатели сверхширокополосных сигналов не только пользуясь заданным распределением нестационарного поля, но и путем его расчета с учетом дифракционных явлений.

Исследование энергетических характеристик излученного поля в случае возбуждения раскрыва коаксиального волновода ТЕМ-волной со ступенчатой зависимостью от времени показало, что оно обладает свойствами “электромагнитного снаряда”, так как его энергия убывает с удалением от излучателя медленнее, чем обратный квадрат расстояния. Однако, теоретическое исследование излученного поля при возбуждении раскрыва короткими видеоимпульсами показало, что убывание энергии с расстоянием происходит по классическим законам. Аномально медленного убывания поля для исследованного излучателя не было получено при его возбуждении импульсами с формой, характерной для существующих импульсных генераторов, и с пространственной длительностью, существенно меньшей размеров его раскрыва.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в научном плане для создания новых методов расчета объемных излучателей нестационарных сигналов со сложным распределением стороннего поля, тока и заряда, учитывающих дифракционные явления. Дальнейшее развитие данного направления может состоять в исследовании других методов решения эволюционных уравнений, таких как метод разделения переменных для оставшихся восьми систем координат, в которых уравнение Клейна-Гордона имеет решения с разделяющимися переменными, и метод сведения задачи для уравнения Клейна-Гордона к интегральному уравнению. Предложенный подход может быть применен для решения некоторых нелинейных задач, так как процедура получения эволюционных уравнений по представленной схеме может быть проведена и для более общего случая заполнения безграничного пространства слоистой нелинейной средой, что уже было сделано при получении системы эволюционных волноводных уравнений.

Практическая ценность результатов, полученных в диссертации, состоит в разработке метода, позволяющего рассчитывать во временной области поля, излученные осесимметричными источниками с заданным распределением нестационарного поля, тока и заряда. Это необходимо для создания новых видеоимпульсных радаров и сверхширокополосных систем связи. В зависимости от выбранной модели излучателя или от имеющихся экспериментальных данных о пространственно-временном распределении стороннего поля, тока и заряда на его поверхности задача излучения может быть решена методом функции Римана или методом разделения переменных. Применение этих двух методов было проиллюстрировано на конкретных примерах, причем в последнем из них были учтены дифракционные явления, т.е. подход в целом позволяет также рассчитывать или уточнять пространственно-временное распределение поля на источнике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хармут Х. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
2. Иммореев И.Я. Сверхширокополосная локация: основные особенности и отличия от традиционной радиолокации // Электромагнитные волны и электронные системы. – 1997. – Т.2, №1. – С.81–88.
3. Nicolson A.M. Broadband microwave transmission characteristics from a single measurement of the transient response // IEEE Trans. Instrum. Meas. – 1968. – V.17, N4. – P.395–402.
4. Nicolson A.M., Ross G.F. Measurement of the intrinsic properties of materials by time domain techniques // IEEE Trans. Instrum. Meas. – 1970. – V.19, N4. – P.377–382.
5. Fellner–Feldegg H. The measurement of dielectrics in the time domain // J. Phys. Chem. – 1969. – V.73, N3. – P.616–623.
6. Медведев Ю.А. Об отражении импульсного электромагнитного сигнала от плоской границы поглощающей среды // Изв. ВУЗов. Сер. Радиофизика. – 1968. – Т.11, №10. – С.1528–1532.
7. Масалов С.А., Пузанов А.О. Дифракция видеоимпульсов на слоистых диэлектрических структурах // Радиофизика и радиоастрономия. – 1997. – Т.2, №1. – С.85–94.
8. Строителев В.Г. Методы обработки сигналов при подповерхностном радиолокационном зондировании // Зарубежная радиоэлектроника. – 1991. – №1. – С.95–105.
9. Эндрюс Дж.Р. Автоматическое определение параметров электрических цепей посредством измерений во временной области // ТИИЭР. – 1978. – Т.66, №4. – С.56–67.

- 10.Глебович Г.В., Ковалев И.П., Пономарев Д. М. Измерение и идентификация параметров широкополосных трактов при помощи пикосекундных видеоимпульсов // Измерит. техника. – 1984. – №1. – С.65–67.
- 11.Скулкин С.П., Турчин В.И. Метод измерений параметров антенн во временной области // Изв. ВУЗов. Сер. Радиофизика. – 1998. – Т.41, №5. – С.614–624.
- 12.Финкельштейн М.И., Мендельсон В.Л., Кутев В.А. Радиолокация слоистых земных покровов. – М.: Сов. радио, 1977. – 176 с.
- 13.Финкельштейн М.И., Лазарев Э.И., Чижов А.Н. Радиолокационные аэроледомерные съемки рек, озер, водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 116 с.
14. Чижов А.Н., Глушнев В.Г., Слущнер Б.Д. Радиолокационный импульсный метод измерения толщины ледяного покрова // Метеорология и гидрология. – 1977. – №4. – С.90–96.
- 15.Albanese R., Penn J., Medina R. Short-rise-time microwave pulse propagation through dispersive biological media // J. Opt. Soc. Amer. – 1989. – V.6, N9. – P.1441–1446.
- 16.Cook J.C. Radar transparencies of mine and tunnel rocks // Geophysics. – 1975. – V.40, N5. – P.865–885.
- 17.Annan A.P., Davis J.L. Impulse radar sounding in permafrost // Radio Science. – 1976. – V.11, N4. – P.383–394.
- 18.Панько С.П. Сверхширокополосная радиолокация // Зарубежная радиоэлектроника. – 1991. – N1. – С.106–114.
- 19.Cheldavi A. Optimum design of radar pulses for stealth targets (time domain approach) // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (ММЕТ–98). – Kharkov (Ukraine). – 1998. – P.339.
- 20.Лазоренко О.В., Черногор Л.Ф. Дисперсионные искажения высокочастотных сверхширокополосных радиосигналов при

- распространении в ионосфере // Геомагнетизм и аэрономия. – 1997. – Т.37, N6. – С.80–90.
21. Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов / Глебович Г.В., Андриянов А.В., Введенский Ю.В. и др.; Под ред. Глебовича Г.В. – М.: Радио и связь, – 1984. – 256 с.
 22. Кинг Р., Смит Г. Антенны в материальных средах: В 2 т. Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 824 с.
 23. Беннет С.Л., Росс Дж.Ф. Время–импульсные электромагнитные процессы и их применение // ТИИЭР. – 1978. – Т.66, N3. – С.35–57.
 24. Півненко С.М.. Взаємодія обмежених у просторі нестационарних полів із діелектричними та металеводіелектричними структурами: Автореф. дис. канд. фіз.–мат. наук: 01.04.03 / Харківський державний університет – Харків, 1999.– 17 с.
 25. Masalov S.A., Pochanin G.P., Kholod P.V. Antenna system for georadar “Zond–10” consisting of a pair of curved loaded wideband dipoles // Proc. Third International Conf. on Antenna Theory and Techniques (ICATT–99). – Sevastopol (Ukraine). – 1999. – P.392–394.
 26. Жуков С.А. Вібраторна антена для імпульсних несинусоїдальних сигналів // Вісник Київського університету. Фізико-математичні науки. – 1998. – Вип. 1. – С.250–255.
 27. Harrison C.W., and Williams C.S. Transients in wide–angle conical antennas // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1965. – V.13, N2. – P.236–246.
 28. Perov A.O., Sirenko Yu.K., Yaldiz A.E. Novel approaches to the analysis and model synthesis of ultra–wide–band horn–type antennas // Proc. Third International Conf. on Antenna Theory and Techniques (ICATT–99). – Sevastopol (Ukraine). – 1999. – P.395–396.
 29. Boryssenko A.A. Time domain antenna studies for videopulse subsurface radars // Proc. Third International Conf. on Antenna Theory and Techniques (ICATT–99). – Sevastopol (Ukraine). – 1999. – P.376–378.

30. Яцкевич В.Я. Спиральная антенна для излучения сверхширокополосных сигналов // Антенны. – 1997. – №1(38). – С.61–63.
31. Астанин Л.Ю., Костылев А.А. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений. – М.: Радио и связь, 1989. – 192 с.
32. Зернов Н.В., Меркулов Г.В. Антенны в режиме излучения (приема) сверхширокополосных сигналов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1991. – №1. – С.84–94.
33. Полухин Г.А. Анализ характеристик излучения апертурной антенны, возбуждаемой периодическим импульсным сигналом // Радиотехника и электроника. – 1983. – Т.28, №2. – С.265–270.
34. Hussain M.G.M. Antenna patterns of nonsinusoidal waves with the time variation of a gaussian pulse – Part I and II // IEEE Trans. Electromagn. Compat. – 1988. – V.30, N4. – P.504–522.
35. Зернов Н.В., Меркулов Г.В. Энергетические характеристики апертурных антенн, излучающих негармонические волны // Радиотехника. – 1991. – №1. – С.68–70.
36. Бункин Б.В., Кашин В.А. Особенности, проблемы и перспективы субнаносекундных видеоимпульсных РЛС // Радиотехника. – 1995. – Т.50, №4–5. – С.128–133.
37. McIntosh R.E., Sarna J.E. Bounds on the optimum performance of planar antennas for pulse radiation // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1982. – V.30, N3. – P.381–389.
38. Pozar D.M., Schaubert D.H., McIntosh R.E. The optimum transient radiation from an arbitrary antenna // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1984. – V.32, N6. – P.633–640.
39. Pozar D.M., Kang Y.W., Schaubert D.H., McIntosh R.E. Optimization of the transient radiation from a dipole array // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1985. – V.33, N1. – P.69–75.

- 40.Kang Y.W., Pozar D.M. Optimization of pulse radiation from dipole arrays for maximum energy in a specified time interval // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1986. – V.34, N12. – P.1383–1390.
- 41.Heyman E., Melamed T. Certain considerations in aperture synthesis of ultrawideband short-pulse radiation // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1994. – V.42, N4. – P.518–525.
- 42.Shlager K.L., Smith G.S., Maloney J.G. Optimization of bow-tie antennas for pulse radiation // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1994. – V.42, N7. – P.975–982.
- 43.Marengo E.A., Devaney A.J., Heyman E. Analysis and characterization of ultrawideband scalar volume sources and fields they radiate // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1997. – V.45, N7. – P.1098–1106.
- 44.Содин Л.Г. Импульсное излучение антенны (электромагнитный снаряд) // Радиотехника и электроника. – 1991. – Т.36, №5. – С.1014–1022.
- 45.Крымский В.В. Теоретические и экспериментальные исследования излучателей несинусоидальных волн: Автореф. дис. доктора физ.-мат. наук: 01.04.03 / Челябинский ГТУ. – Челябинск, 1993.– 33 с.
- 46.Brittingham I.N. Focus wave modes in homogeneous Maxwell's equations: Transverse electric mode // J. Appl. Phys. – 1983. – V.54, N3. – P.1179–1189.
- 47.Wu T.T., King R.V. Comments on “Focus wave modes in homogeneous Maxwell's equations: Transverse electric mode” // J. Appl. Phys. – 1984. – V.56, N9. – P.2587–2588.
- 48.Belanger P.A. Packetlike solutions of the homogeneous-wave equation // J. Opt. Soc. Am. – 1984. – V.1, N7. – P.723–724.
- 49.Sezginer A. A general formulation of focus wave modes // J. Appl. Phys. – 1985. – V.57, N3. – P.678–683.
- 50.Wu T.T. Electromagnetic missiles // J. Appl. Phys. – 1985. – V.57, N7. – P.2370–2373.

51. Ziolkowski R.W. Exact solutions of the wave equations with complex source locations // J. Math. Phys. – 1985. – V.26, N4. – P.861–863.
52. Hillion P. More on focus wave modes in Maxwell equations // J. Appl. Phys. – 1986. – V.60, N8. – P.2981–2982.
53. Heyman E. Felsen L.B. Propagation pulsed beam solutions by complex source parameter substitution // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1986. – V.34, N8. – P.1062–1065.
54. Wu T.T., King R.W.P., Shen H.-M. Spherical lens as a launcher of electromagnetic missiles // J. Appl. Phys. – 1987. – V.62, N10. – P.4036–4040.
55. Durnin J., Miceli J.J. jr., Eberly J.H. Diffraction-free beams // Physical Review Letters. – 1987. – V.58, N15. – P.1499–1501.
56. Hillion P. Spinor focus wave modes // Journal of Mathematical Physics. – 1987. – V.28, N8. – P.1743–1748.
57. Heyman E. Pulsed beam propagation in inhomogeneous medium // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1994. – V.42, N3. – P.311–319.
58. Donnelly R., Power D. The behavior of electromagnetic localized waves at a planar interface // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1997. – V.45, N4. – P.580–591.
59. Borisov V.V., Utkin A.B. On formation of focus wave modes // J. Phys. A: Math. Gen. – 1994. – V.27. – P.2587–2591.
60. Borisov V.V., Utkin A.B. Focus wave modes in conducting media. // Can. J. Phys. – 1994. – V.72. – P.293–298.
61. Borisov V.V., Utkin A.B. Some solutions of the wave and Maxwell's equations. // J. Math. Phys. – 1994. – V.35, N7. – P.3624–3630.
62. Borisov V.V. Construction of Bessel-type beamlike solutions to the Maxwell equations // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET-98). – Kharkov (Ukraine). – 1998. – P.318–320.

- 63.Содин Л.Г. Характеристики импульсного излучения антенн (электромагнитного снаряда) // Радиотехника и электроника. – 1992. – Т.37, №5. – С.849–857.
- 64.Содин Л.Г. Импульсное излучение антенны с круглой апертурой, возбуждённой единичным скачком тока (переходная диаграмма) // Радиотехника и электроника. – 1992. – Т.37, №10. – С.1783–1787.
- 65.Содин Л.Г. Импульсное излучение антенны // Радиофизика и радиоастрономия. – 1997. – Т.2, №1. – С.5–15.
- 66.Wu T.T., King R.W.P., Shen H.–M. Circular cylindrical lens as a line–source electromagnetic missile launcher // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1989. – V. 37, N1. – P.39–44.
- 67.Ziolkowski R.W. Localized transmission of electromagnetic energy // Phys. Rev. A. – 1989. – V.39, N4. – P.2005–2033.
- 68.Ziolkowski R.W. Localized wave physics and engineering // Phys. Rev. A. – 1991. – V.44, N6. – P.3960–3984.
- 69.Besieris I.M., Shaarawi A.M., Ziolkowski R.W. A bidirectional traveling plane wave representation of exact solutions of the scalar wave equation // J. Math. Phys. – 1989. – V.30, N6. – P.1254–1269.
- 70.Heyman E., Steinberg B.Z. Spectral analysis of complex–source pulsed beams // J. Opt. Soc. Am. A. – 1987. – V.4, N3. – P.473–480.
- 71.Ziolkowski R.W., Lewis D.K., Cook B.D. Evidence of localized wave transmission // Phys. Rev. Lett. – 1989. – V.62, N2. – P.147–150.
- 72.Ziolkowski R.W., Lewis D.K. Verification of localized wave transmission effect // J. Appl. Phys. – 1990. – V.68, N12. – P.6083–6086.
- 73.Ziolkowski R. W. Properties of electromagnetic beams generated by ultra–wide bandwidth pulse–driven arrays // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1992. – V.40, N8. – P.888–905.
- 74.Power D., Donnelly R., MacIsaac R. Spherical scattering of superpositions of localized waves // Phys. Rev. E. – 1993. – V.48, N2. – P.1410–1417.

75. Shaarawi A.M., Besieris I.M., Ziolkowski R.W. A novel approach to the synthesis of nondispersive wave packet solutions to the Klein–Gordon and Dirac equations // J. Math. Phys. – 1990. – V.31, N10. – P.2511–2519.
76. Егоров А.Н., Рябцев В.Е. Электродинамический анализ нестационарных процессов в тонких цилиндрических антеннах с нелинейными нагрузками // Радиотехника и электроника. – 1988. – Т.33, N12. – С.2471–2482.
77. Вайнштейн Л.А. Распространение импульсов. Четвертая Всесоюзная школа-семинар по дифракции и распространению волн. – Рязань: Изд-во Рязанского радиотехнического института, 1975. – 91 с.
78. Пустовой Я.И. Излучение сверхширокополосных колебаний апертурной антенной с круглым раскрывом // Доповіді НАН України. – 1995. – N7. – С.52–54.
79. Koshelev V.I., Sarychev V.T., Shipilov S.E. Time and frequency domain algorithms of impulse responses evaluation // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET-98). – Kharkov (Ukraine). – 1998. – P.343–345.
80. Haskel R.E., Case C.T. Transient signal propagation in lossless, isotopic plasma // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1967. – V.15, N3. – P.458–464.
81. Шварцбург А.Б. Видеоимпульсы и непериодические волны в диспергирующих средах (точно решаемые модели) // УФН. – 1998. – Т.168, №1. – С.85–103.
82. Шварцбург А.Б. Негармонические электромагнитные волны в плазме // ДАН. – 1993. – Т.333, №3. – С.324–326.
83. Сиренко Ю.К., Шестопалов В.П., Яшина Н.П. Проблемы численного анализа переходных процессов: Препр./ НАН Украины. Ин-т радиофизики и электроники; 95-3. – Харьков: 1995. – 60 с.
84. Сиренко Ю.К., Яшина Н.П. Операторный метод нестационарной теории открытых волноводных резонаторов // Радиофизика и радиоастрономия. – 1997. – Т.2, №1. – С.78–84.

85. Sirenko Yu., Yashina N. Numerical technique of non stationary electromagnetic theory // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory VI (MMET-96). – Lviv (Ukraine). – 1996. – P.275–276.
86. Shubitidze P., Jobava R., Zaridze R., Karkashadze D., Beria R., Pommerenke D., Frei S. FDTD method in problems of penetration of transient fields of electrostatic discharge into a cavity // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET-98). – Kharkov (Ukraine). – 1998. – P.327–329.
87. Клапп Р.Е. Значение причинности при численном решении уравнений Максвелла // ТИИЭР. – 1968. – Т.56, №3. – С.94–95.
88. Пиблс Г.Х., Клапп Р.Е. Замечания по поводу сообщения “Значение причинности при численном решении уравнений Максвелла” // ТИИЭР. – 1968. – Т.56, №8. – С.112–113.
89. Самсонов А.В. Излучение плоского однородного тока при произвольном законе изменения во времени. // Радиотехника и электроника. – 1986. – Т.31, №2. – С.399–402.
90. Скулкин С.П. О некоторых особенностях импульсных полей апертурных антенн // Изв. ВУЗов. Сер. Радиофизика. – 1999. – Т.42, №2. – С.148–157.
91. Scherbatko I.V., Nerukh A.G. Time-domain numerical simulation of EM pulse propagation through a time-varying slab // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET-98). – Kharkov (Ukraine). – 1998. – P.309–311.
92. Vorgul I.Yu. Some exact solutions for electromagnetic field in media with different types of transient conductivity // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET-98). – Kharkov (Ukraine). – 1998. – P.333–335.
93. Рибін О.М. Нестационарні електромагнітні явища у дисипативному діелектрику зі змінними у часі параметрами: Автореф. дис. канд. фіз.-мат. наук: 01.04.03 / Харківський ДТУРЕ. – Харків, 1998. – 14 с.

94. Rybin O., Nerukh A. Transient electromagnetic field in a dissipative medium with rectangular pulse modulated parameters // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET-98). – Kharkov (Ukraine). – 1998. – P.336–338.
95. Sakhnenko N., Nerukh A., Fedotov F. Transients of an axial symmetric electromagnetic source in a flat waveguide with a time varying plasma // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET-2000). – Kharkov (Ukraine). – 2000. – P.111–113.
96. Nerukh A.G. Time-domain Fresnel's formulas for a plane interface between media // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET-2000). – Kharkov (Ukraine). – 2000. – P.146–148.
97. Nerukh A.G., Yemelyanov K.M. An electromagnetic signal propagation in a transient magnetized plasma with a time-varying external magnetic field // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET-2000). – Kharkov (Ukraine). – 2000. – P.158–160.
98. Borisov V.V., Utkin A.B. Electromagnetic fields produced by the spike pulse of hard radiation // J. Phys. A: Math. Gen. – 1993. – V.26. – P.4081–4085.
99. Borisov V.V., Simonenko I.I. Transient waves generated by a source on a circle // J. Phys. A: Math. Gen. – 1994. – V.27. – P.6243–6252.
100. Borisov V.V. Transient waves produced by a moving source on a circle // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET-98). – Kharkov (Ukraine). – 1998. – P.352–354.
101. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1970. – 720 с.
102. Perov A.O. Evolutionary basis and operators of transformation of non-stationary waves in periodic structures // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET-98). – Kharkov (Ukraine). – 1998. – P.321–323.
103. Третьяков О.А. Метод модового базиса // Радиотехника и электроника. – 1986. – Т.31, №6. – С.1071–1082.

104. Третьяков О.А. Эволюционные волноводные уравнения // Радиотехника и электроника. – 1989. – Т.34, №5. – С.917–926.
105. Tretyakov O.A. Essentials of Nonstationary and Nonlinear Electromagnetic Field Theory // Hashimoto M., Idemen M., Tretyakov O.A. Analytical and Numerical Methods in Electromagnetic Wave Theory. – Tokyo: Science House Co, Ltd, 1993. – 572 p.
106. Вейль Г. Избранные труды. – М.: Наука, 1984. – 275 с.
107. Миллер У. мл. Симметрия и разделение переменных. – М.: Мир, 1981. – 342 с.
108. Tretyakov O.A., Zheng Yu. New explicit solutions in time domain for waveguide signals // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET–2000). – Kharkov (Ukraine). – 2000. – P.527–529.
109. Nikitskiy S., Tretyakov O., Yemelyanov K. An Arbitrary Signal Propagation in Waveguides // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory VI (MMET–96). – Lviv (Ukraine). – 1996. – P.260–263.
110. Barnes P.R., Tesche F.M. On the direct calculation of a transient plane wave reflected from a finitely conducting half space // IEEE Trans. Electromagn. Compat. – 1991. – V.33, N2. – P.90–96.
111. Скулкин С.П., Турчин В.И. Импульсное переходное поле зеркальной антенны в ближней зоне // Изв. ВУЗов. Сер. Радиофизика. – 1999. – Т.42, №9. – С.886–892.
112. Третьяков О.А., Думин А.Н. Излучение нестационарных электромагнитных полей плоским излучателем // Электромагнитные волны & электронные системы. – 1998. – Т.3, N1. – С.12–22.
113. Dumin O.M., Tretyakov O.O. Radiation of Arbitrary Signals by Plane Disk // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory VI (MMET–96). – Lviv (Ukraine). – 1996. – P.248–251.

114. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды. Специальные функции. – М.: Наука, 1983. – 752 с.
115. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Уравнения в частных производных математической физики. – М.: Высшая школа, 1970. – 710 с.
116. Олевский М.Н. О функции Римана для дифференциального уравнения $\partial^2 U / \partial x^2 - \partial^2 U / \partial \tau^2 + (p_1(x) + p_2(\tau))U = 0$ // ДАН СССР. – 1952. – Т.87, N3. – С.337–340.
117. Борисов В.В. Неустановившиеся поля в волноводах. – Л.: Изд. ЛГУ, 1991. – 156 с.
118. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Наука, 1964. – 608 с.
119. Хохлов Р.В. О нестационарных процессах в волноводах // ДАН СССР. – 1948. – Т.61, N4. – С.637–640.
120. Case C.T., Haskell R.E. On pulsed electromagnetic wave propagation in dispersive media // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1966. – V.14, N3. – P.401.
121. Кузнецов П.И. О представлении одного контурного интеграла // Прикл. мат. и мех. – 1947. – Т.11, №2. – С.267–270.
122. Кузнецов П.И. Расчет переходных процессов в длинных линиях при помощи цилиндрических функций от двух независимых переменных // Электричество. – 1953. – N5. – С.35–40.
123. Деканосидзе Е.Н. Таблицы цилиндрических функций от двух переменных. – М.: Изд. АН СССР, 1956. – 492 с.
124. Ватсон Г.Н. Теория бесселевых функций. ч.1. – М.: Изд. иностранной литературы, 1949. – 450 с.
125. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды. Элементарные функции. – М.: Наука, 1981. – 800 с.
126. Думин А.Н. Излучение нестационарных полей раскрытом коаксиального волновода с бесконечным фланцем // Вестник Харьковского университета. Радиофизика и радиоэлектроника. – 1998. – №405. – С.52–55.

127. Dumin A.N., Katrich V.A., Pivnenko S.N. Radiation of short pulses from the open end of a coaxial waveguide // Telecommunications and radio engineering. – 1997. – V.51, N11-12. – P.81–89.
128. Dumin A.N. Radiation of transient localized waves from an open-ended coaxial waveguide with infinite flange // Telecommunications and radio engineering. – 1999. – V.53, N6. – P.30–34.
129. Dumin A.N., Tretyakov O.A. Arbitrary Signal Radiation of Coaxial Waveguide Aperture // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET–98). – Kharkov (Ukraine). – 1998. – P.330-332.
130. Dumin A.N., Pivnenko S.N. Transient excitation of coaxial cone antenna // Proc. Third International Conf. on Antenna Theory and Techniques (ICATT–99). – Sevastopil (Ukraine). – 1999. – P.387–389.
131. Kalnins E.G. On the separation of variables for the Laplace equation $\Delta\psi + k^2\psi = 0$ in two – and three–dimensional Minkowski space // SIAM J. Math. Anal. – 1975. – V.6, N2. – P.340–374.
132. Tretyakov O.A. Propagation of Super – Wideband Signals through Waveguides // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory V (MMET–94). – Kharkov (Ukraine). – 1994. – P.434.
133. Гутман А.Л. Метод Кирхгофа для расчета импульсных полей // Радиотехника и электроника. – 1997. – Т.42, №3. – С.271–276.
134. Балакирев В.А., Гладков В.С., Сидельников Г.П. Формирование электромагнитных импульсов апертурными антеннами // Электромагнитные явления. – 1998. – Т.1, №4. – С.522–537.
135. Харкевич А.А. Неустановившиеся волновые явления. – М.: Гос. изд-во тех.-теор. лит-ры, 1950. – 202 с.
136. Думин А.Н., Катрич В.А., Колчигин Н.Н., Пивненко С.Н., Третьяков О.А. Дифракция нестационарной ТЕМ-волны на открытом конце

коаксиального волновода // Радиофизика и радиоастрономия. – 2000. – Т.5, №1. – С.55–66.

137. Думин А.Н. Энергетические характеристики нестационарного излучения из открытого конца коаксиального волновода // Вісник Харківського національного університету. Радіофізика та електроніка. – 2000. – №467. – С.23–26.
138. Dumin A.N., Katrich V.A., Pivnenko S.N., Tretyakov O.A. Comparative analysis of approximate and exact solutions of transient wave radiation problems // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET–2000). – Kharkov (Ukraine). – 2000. – P.125–127.
139. Buyanov Yu.I., Koshelev V.I., Plisko V.V. Radiation of a long conductor excited by a short pulse // Proc. International Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory (MMET–1998). – Kharkov (Ukraine). – 1998. – P.312–314.