

УДК 621.370

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОБОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ПЭВМ МЕТОДОМ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

А.Г. ФИЛИППОВИЧ

*Оперативно-аналитический центр при Президенте РБ
Кальварийская, 17, Минск, 220004, Беларусь*

Поступила в редакцию 22 мая 2012

Предложена строгая электродинамическая модель ПЭВМ как источника побочных электромагнитных излучений на основе метода интегральных уравнений. Приведены результаты экспериментов, подтверждающие эффективность модели.

Ключевые слова: побочные электромагнитные излучения, интегральные уравнения.

Введение

Современные ПЭВМ используются для решения широкого круга задач, связанных с хранением, обработкой и передачей информации, в том числе и конфиденциальной. Вместе с тем средства вычислительной техники имеют уязвимости, позволяющие осуществить несанкционированный доступ к обрабатываемой информации. В том случае, если средство вычислительной техники не подключено к локальным вычислительным сетям или сети Интернет, и к ПЭВМ ограничен физический доступ посторонних лиц, основным каналом утечки обрабатываемой информации являются побочные электромагнитные излучения (ПЭМИ) [1]. Эксперименты показывают, что дальность возможного перехвата информации по каналу ПЭМИ варьируется в достаточно большом диапазоне (от единиц до сотен метров) [2, 3], поэтому для принятия обоснованных мер по блокированию канала ПЭМИ проводится оценка защищенности ПЭВМ. Показателем эффективности защиты информации является отношение сигнал/шум на входе приемного тракта средства технической разведки. Для определения отношения сигнал/шум проводятся измерения напряженности излучаемого ПЭВМ электромагнитного поля в местах возможной установки технических средств разведки. Однако на практике часто возникают ситуации, когда возможность проведения таких измерений ограничена [1], и для определения напряженности ПЭМИ применяются методы электродинамического моделирования. Используемые на сегодняшний день для расчета ПЭМИ электродинамические модели [1, 2] имеют приближенный характер, и могут привести к ошибкам при проведении оценки защищенности ПЭВМ [4]. Для обеспечения высокой точности расчета характеристик излучения ПЭВМ необходимо использовать более строгие электродинамические методы.

Электродинамическое моделирование источников ПЭМИ

Наиболее эффективно задача электродинамического моделирования объектов сложной геометрии решается с помощью методов вычислительной электродинамики. С точки зрения обеспечения минимального времени расчета на ПЭВМ и объема оперативной памяти предпочтение следует отдать методу интегральных уравнений [5], который предполагает предварительный расчет распределений функций источников поля на поверхности электродинамического объекта, на основании которых в дальнейшем может быть рассчитано излучаемое объектом электромагнитное поле. Вид интегрального уравнения для электродинамического моделирования канала ПЭМИ будет зависеть от особенностей физической реализации процесса обработки

защищаемой информации. Для выбора подходящего интегрального уравнения необходимо выделить в архитектуре ПЭВМ интерфейсы, наиболее подверженные перехвату информации по каналу ПЭМИ. Потенциально опасные интерфейсы должны обладать следующими свойствами [2]:

- наличием значительной энергии у излученных информативных сигналов, зафиксированных в непосредственной близости от ПЭВМ;
- использовать последовательный или параллельный со сравнительно небольшим количеством разрядов код в информационных цепях;
- использовать режим многократных повторений в информационных цепях;
- передавать опасные сигналы в информационных цепях интерфейса в течение значительного периода времени работы ПЭВМ.

Всеми вышеперечисленными свойствами одновременно обладают только интерфейсы передачи видеоизображения [2]. Потенциальная опасность видеоинтерфейсов по сравнению с другими интерфейсами ПЭВМ, в которых также циркулирует защищаемая информация, подтверждается экспериментальными исследованиями [3, 6]. Это дает основания полагать, что эффективность защиты информации будет зависеть от напряженности ПЭМИ, источником которых является видеотракт ПЭВМ.

Физически в процессе формирования видеоизображения участвуют расположенный в корпусе системного блока ПЭВМ видеоадаптер и монитор, соединенные кабелем видеоинтерфейса. В этом случае ПЭВМ как излучатель электромагнитных волн представляет собой совокупность двух объемных проводящих тел, соединенных тонким проводником (см. рис. 1).

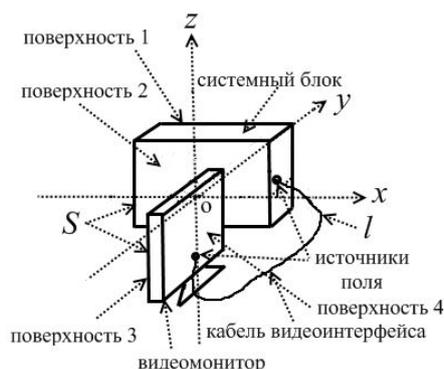


Рис. 1. Электродинамическая модель ПЭВМ

Распределения функций тока на поверхности объекта, состоящего из совокупности объемных проводящих тел и тонких проводников произвольной геометрии, могут быть получены при решении следующей системы интегральных уравнений [7]:

$$\begin{cases} -i\omega\epsilon_a E_l = \int_L K_{ll'} I_l' dl' + \int_S K_{lv'} j_{v'} dS' + \int_S K_{l\omega'} j_{\omega'} dS' \\ 2H_v = j_\omega + \frac{1}{2\pi} \int_L L_{\omega l'} I_l' dl' + \frac{1}{2\pi} \int_S L_{\omega v'} j_{v'} dS' + \frac{1}{2\pi} \int_S L_{\omega\omega'} j_{\omega'} dS' \\ 2H_\omega = -j_v + \frac{1}{2\pi} \int_L L_{v l'} I_l' dl' + \frac{1}{2\pi} \int_S L_{vv'} j_{v'} dS' + \frac{1}{2\pi} \int_S L_{v\omega'} j_{\omega'} dS' \end{cases} \quad (1)$$

где E_l, H_v, H_ω – проекции векторов напряженностей электрического и магнитного полей сторонних источников соответственно, I_l, j_v, j_ω – искомые функции распределения тока в тонких проводниках и плотности тока на поверхности объемных проводящих тел соответственно, ω – круговая частота, ϵ_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, K и L – ядра интегральных уравнений, $\vec{v}, \vec{\omega}$ – орты системы координат на поверхности объемных проводящих тел, \vec{l} – орт линейной системы координат в проводнике.

Неизвестными в системе (1) являются функции плотности тока j_{ν}, j_{ω} на поверхностях S и функция тока I_l на поверхности проводника l (рис. 1). Слагаемые в левой части системы (1) описывают функции сторонних источников поля, расположенные на поверхности ПЭВМ. Экспериментально было установлено, что основное проникновение сигналов видеоинтерфейса на внешнюю проводящую поверхность ПЭВМ происходит в местах соединения интерфейсного кабеля с корпусами системного блока и монитора (рис. 1) [6]. В этом случае функции сторонних источников поля в системе (1) могут быть определены с помощью модели δ -генератора, представляющего собой идеальный генератор с нулевым внутренним сопротивлением и постоянным значением напряжения, равномерно распределенным на участках тонкого проводника, в котором расположены источники поля [8]. Во всех остальных областях поверхностей S и проводника l функции сторонних источников поля должны быть равны нулю. Амплитуды сторонних источников поля будут зависеть от экранирующих свойств кабеля видеоинтерфейса и разъемов на корпусах системного блока и монитора, и могут быть определены экспериментально. Разность фаз между источниками поля будет определяться следующим выражением:

$$\varphi = 2\pi \frac{L_k}{\lambda}, \quad (2)$$

где L_k – длина кабеля видеоинтерфейса.

С помощью системы (1) были проведены расчеты распределения тока на поверхности ПЭВМ типовой конфигурации практически в частотном диапазоне ПЭМИ [1, 2]. На рисунке 2 представлены графики распределения амплитуды и фазы тока на поверхности кабеля видеоинтерфейса, на рис. 3 и 4 – графики распределений амплитуды и фазы одной из компонент плотности тока на проводящих поверхностях системного блока и монитора ПЭВМ, обозначенных в соответствии с рисунком 1. При расчетах полагалось, что для поверхностей системного блока 1 и 2 орт \vec{u} ориентирован под углом 45° к орту \vec{x} , а для поверхностей 3 и 4 монитора орт \vec{u} ориентирован под углом 45° к орту \vec{y} .

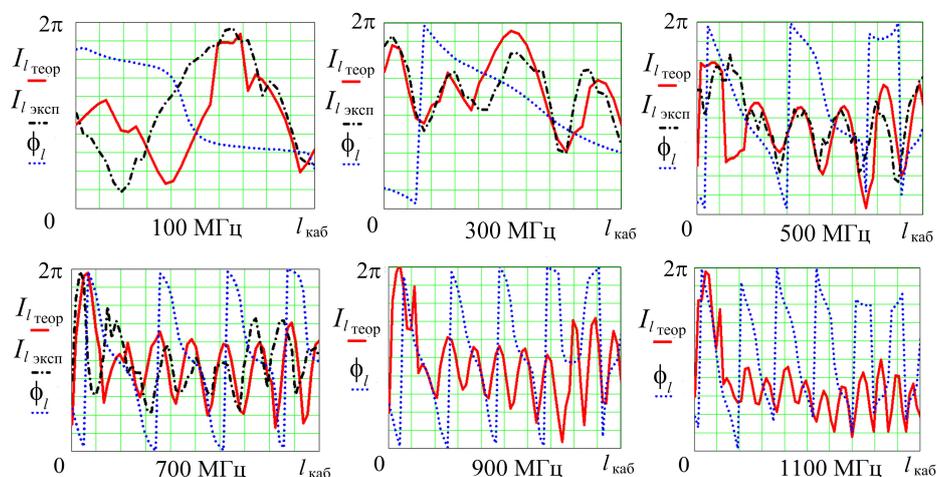


Рис. 2. Экспериментальные и расчетные распределения тока на поверхности кабеля видеоинтерфейса

Из графиков рис. 2-4 можно сделать следующие выводы:

- амплитудно-фазовое распределение определяется суперпозицией двух сторонних источников поля, расположенных в местах подключения кабеля видеоинтерфейса к корпусам системного блока и монитора, и зависит от их амплитуды, разности начальных фаз и частоты сигнала ПЭМИ;

- количество максимумов амплитудного распределения пропорционально двукратному отношению линейного геометрического размера проводящей поверхности к длине волны сигнала ПЭМИ. С увеличением частоты сигнала ПЭМИ количество максимумов в амплитудном распределении увеличивается, а, следовательно, будет увеличиваться количество максимумов в диаграмме направленности;

- амплитуда плотности тока на поверхностях 2 и 4 выше, чем на поверхностях 1 и 3, что объясняется экранированием поверхностей 1 и 3 от сторонних источников поля.

Также расчеты показывают, что вид амплитудно-фазового распределения, а, следовательно, и вид излучаемого ПЭВМ электромагнитного поля, будет зависеть от геометрической формы, размеров ПЭВМ и взаимного расположения монитора и системного блока. Поэтому при проведении оценки защищенности информации необходимо учитывать пространственное расположение ПЭВМ в реальных условиях эксплуатации.

На основании решения задачи о нахождении распределений тока в кабеле видеointерфейса и плотности тока на проводящих поверхностях системного блока и монитора может быть произведен расчет векторов напряженностей ПЭМИ в местах возможной установки технических средств разведки. Для этого могут быть использованы выражения, полученные из интегральных представлений векторов напряженностей электрического и магнитного полей [9].

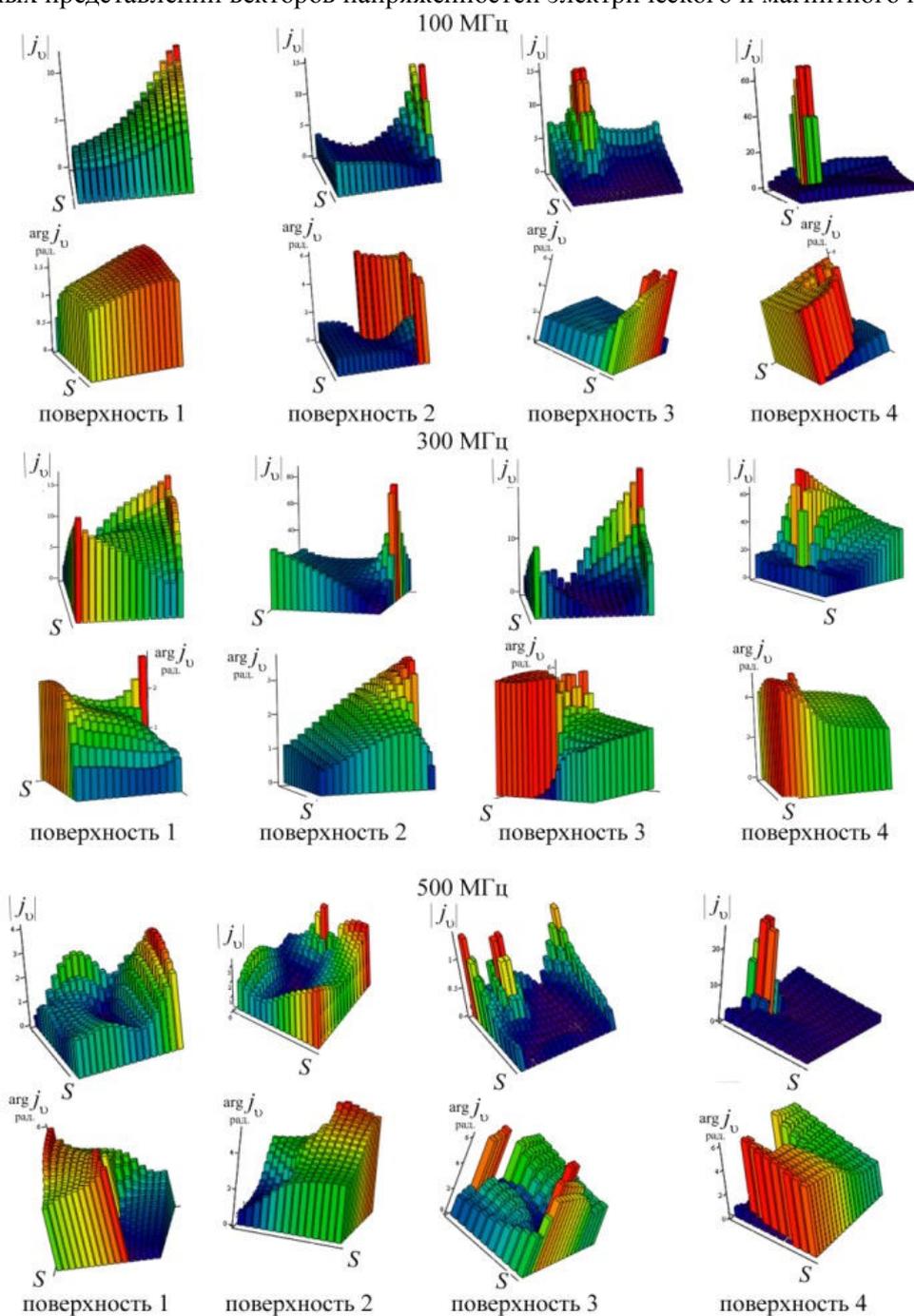


Рис. 3. Расчетное распределение плотности тока на проводящих поверхностях ПЭВМ на частотах 100 МГц, 300 МГц и 500 МГц

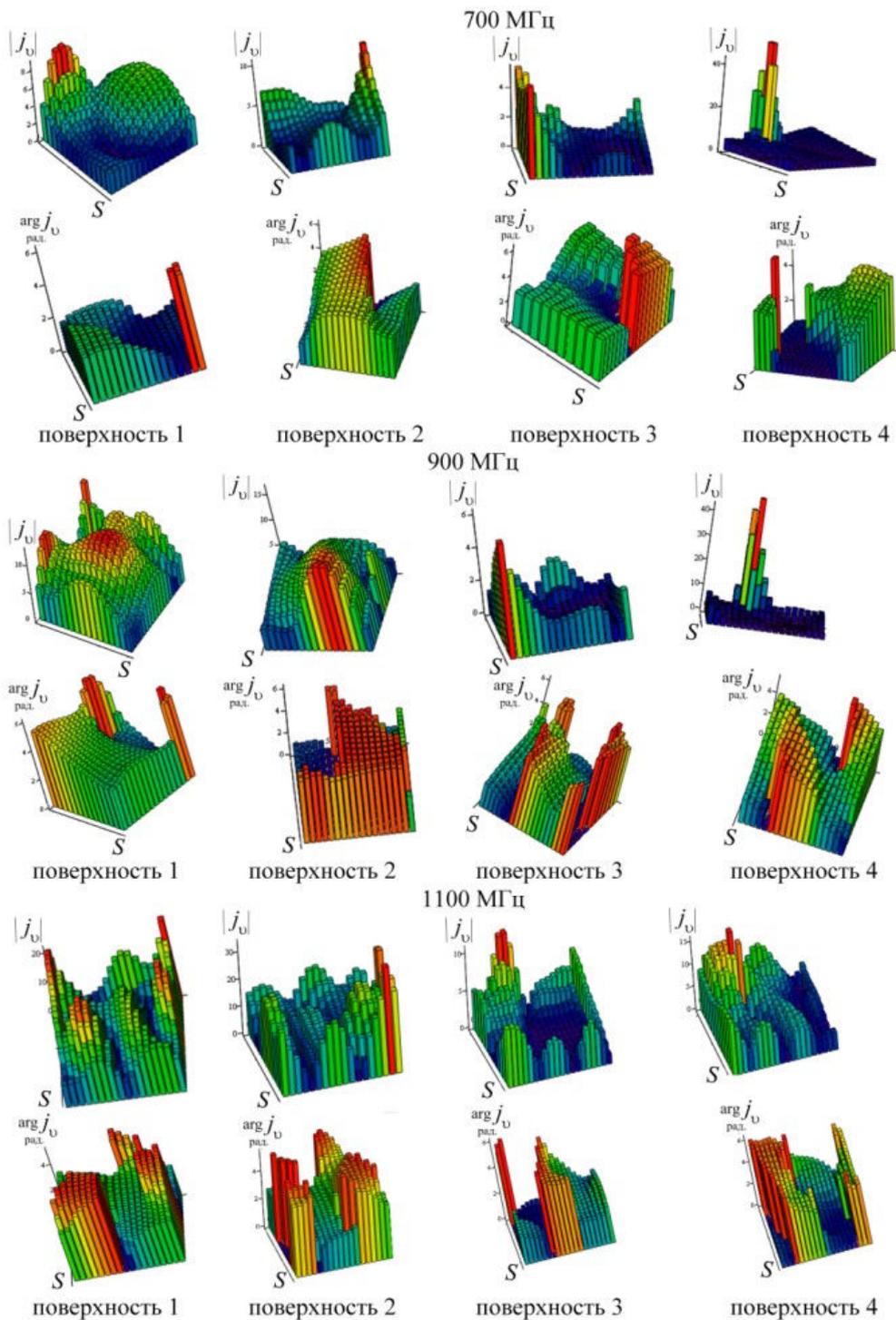


Рис. 4. Расчетное распределение плотности тока на проводящих поверхностях ПЭВМ на частотах 700 МГц, 900 МГц и 1100 МГц

Результаты экспериментальных исследований

Оценка возможности использования метода интегральных уравнений для электродинамического моделирования ПЭВМ как источника ПЭМИ была исследована экспериментально. В ходе эксперимента были проведены измерения распределения тока на поверхности кабеля видеointерфейса и плотности тока на поверхности 1 системного блока. Схема эксперимента представлена на рис. 5. Для проведения измерений были использованы анализатор спектра и

датчик ближнего поля, представляющий собой дипольную антенну с размером плеча, равного одному сантиметру. С целью уменьшения влияния сторонних наводок на внешнюю поверхность коаксиального кабеля был установлен ферритовый фильтр. Также для увеличения интенсивности ПЭМИ в видеотракте ПЭВМ был создан специальный тестовый режим [10].

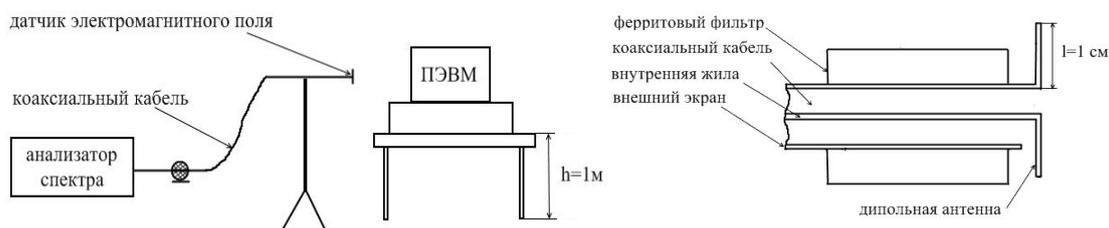


Рис. 5. Схема проведения эксперимента

Результаты измерений тока на поверхности кабеля видеointерфейса представлены на рис. 2, плотности тока на проводящей поверхности 1 системного блока на рис. 6. Экспериментальные графики амплитудных распределений имеют достаточно высокую степень корреляции с графиками распределений, полученных при решении системы (1). На основании анализа результатов эксперимента можно сделать вывод о том, что предложенная электродинамическая модель ПЭВМ на основе метода интегральных уравнений позволит проводить достаточно точные расчеты излучаемого поля в любой пространственной области вокруг ПЭВМ.

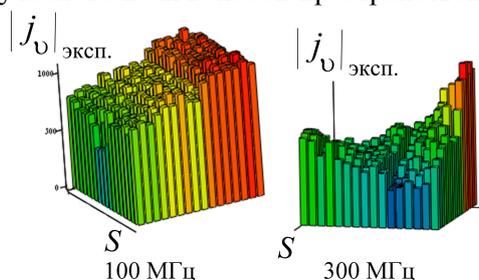


Рис. 6. Экспериментальное распределение одной из компонент плотности тока на поверхности 1

Заключение

Метод интегральных уравнений позволяет достаточно точно производить расчет распределения источников ПЭМИ на проводящей поверхности ПЭВМ, и, следовательно, напряженности излучаемого электромагнитного поля [9]. Использование метода интегральных уравнений упрощает задачу выделения опасных сигналов на фоне помех, поскольку в соответствии с (1), измерения напряженности ПЭМИ необходимо проводить не в местах возможной установки технических средств разведки, а в местах расположения источников поля на проводящей поверхности ПЭВМ. Предложенная в статье электродинамическая модель ПЭВМ может быть использована специалистами по технической защите информации для оценки защищенности средств вычислительной техники от утечки информации по каналу ПЭМИ.

MODELLING OF SIDE ELECTROMAGNETIC RADIATIONS OF PC BY THE METHOD OF MOMENTS

A.G. FILIPPOVICH

Abstract

Achieved the electrodynamic model of PC as source of side electromagnetic radiations based on the method of moments. The results of experiments confirming efficiency of model are given.

Список литературы

1. Хорев А.А. // Специальная техника. 2007. №4. С. 40-51.
2. Пятчиков А.Г. Защита информации, обрабатываемой вычислительной техникой, от утечки по техническим каналам. М., 2007
3. Kuhn M.G. Technical report UCAM-CL-TR-577, 2003.
4. Горячев С.В. // Специальная техника. 2002. №1. С. 49-59.
5. Ахияров В.В. // Материалы 3 Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь». 2009. С. 1022-1026.
6. Tanaka H., Takizawa O., Yamamura A. // Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan. 2005. Vol. 34, №2. P. 213-223.
7. Филиппович А.Г., Рунов А.В. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2011. №2. С. 39-45.
8. Васильев Е.Н. Возбуждение тел вращения. М., 1987.
9. Филиппович А.Г., Рунов А.В. // Вестник Военной академии РБ. 2011. №2. С. 115-121.
10. Филиппович А.Г., Шульган К.К. // Докл. БГУИР. 2011. №4. С. 80-85.