



The technique of calculation of scattering characteristics of objects in the given range of wave lengths

Методика расчета характеристик рассеяния объектов в диапазоне длин волн

Igor Lvovich, Vera Kostrova

Abstract:

One of the important problems when designing the scattering properties of the objects, techniques, and electromagnetic compatibility is an experimental study of the radar characteristics in the given range of wave lengths. In the paper the technique was given of calculation of radar characters for objects in the range of wavelengths on the basis of experimental data of scattering features of object is researched. We consider the case of linear scattering of electro-magnetic waves. The examples was given for the case of E-polarization of incident plane wave. We calculated the scattering properties of two-dimensional cavity with a certain aperture size (which represents an anisotropic object) and two two-dimensional cylinders, considered as isotropic objects, which are located at a certain distance. It was shown that the bandwidth in which we can calculate radar characteristics is increases proportionally with the increase of radius of the cylinder, that is, the larger the radius of the cylinder, the wider the wavelength range in which it is possible to predict its radar characteristics. For the perfectly conducting cavity it was shown that the possible wavelength range forecasting in bistatic case is much wider than in the monostatic case. We can meet some restrictions on the quantity in the measuring tools of frequency channels and the number of selected values of working hours that at which the radar measurement is made. Therefore, the actual problem of calculating radar within the range of wavelengths on the results of experimental studies of the scattering properties of these objects on the same wavelength belonging to the interval must be solved.

Keywords:

Elelectromagnetic wave, radar characteristics, cylinder, cavity.

ACM Computing Classification System:

Computation by abstract devices, Models of Computation, Simulation and modeling, Model Validation and Analysis, Model Development

Аннотация:

Одной из важных проблем при проектировании объектов в системах связи, методов и электромагнитной совместимости является экспериментальное исследование радиолокационных характеристик в заданном диапазоне длин волн. На практике мы можем встретиться с некоторыми ограничениями по измерительным возможностям, частотным каналам и требуемому времени для измерений. Таким образом, актуальной является задача расчета характеристик в диапазоне длин волн по результатам экспериментальных исследований рассеивающих свойств этих объектов на одной волне, принадлежащих заданному интервалу. В статье разработана методика расчета радиолокационных характеристик в диапазоне длин волн для объектов на основе экспериментальных данных о функции рассеяния объекта исследования. Мы рассмотрели случай линейного рассеяния электромагнитных волн для E-поляризации в плоскости падающей волны. Был проведен расчет рассеивающих характеристик двумерной полости с определенным размером апертуры (которая представляет собой неизоотропный объект) и двух двумерных цилиндров, рассматриваемых, как изотропные объекты, которые расположены на определенном расстоянии. Показано, что ширина полосы длин волн, в которой мы можем вычислить характеристики рассеяния, увеличивается пропорционально увеличению радиуса цилиндра (изотропного объекта), то есть, чем больше радиус цилиндра, тем шире диапазон длин волн, в котором можно прогнозировать его радиолокационные характеристики. Для идеально проводящей полости, как неизоотропного объекта, показано, что возможности прогнозирования в случае бистатического случая гораздо шире, чем в случае моностатического.

Ключевые слова:

электромагнитная волна, характеристики рассеяния, цилиндр, полость.

Введение

Одной из важных задач создания систем связи, а также обеспечения электромагнитной совместимости является экспериментальное исследование радиолокационных характеристик (РЛХ) объектов в диапазоне длин волн. Наряду с разработкой широкодиапазонных измерительных средств, использующих сверхширокополосные сигналы, созданы и создаются новые измерительные средства: многоканальные по частоте и с перестройкой рабочей частоты, обладающие рядом достоинств [1]. Существуют ограничения на количество реализуемых в измерительных средствах частотных каналов и количество выбранных значений рабочих частот,

на которых проводится измерение РЛХ объектов. Поэтому актуальна задача прогнозирования РЛХ объектов в диапазоне длин волн $[\lambda_1, \lambda_2]$ по результатам экспериментальных исследований рассеивающих свойств этих объектов на одной длине волны λ_0 , принадлежащей интервалу $[\lambda_1, \lambda_2]$. В известных работах рассматривались составные части [2,3] и частные случаи решения этой задачи [5]. Представляет интерес исследование возможности прогнозирования РЛХ объектов для случая, когда используются данные о рассеивающих свойствах объекта, известных для нескольких значений размеров объекта.

Целью работы является разработка методики прогнозирования РЛХ изотропных и неизотропных объектов в системах связи для диапазона длин волн на основе экспериментально полученных исходных данных о рассеивающих свойствах этих объектов, имеющих различные размеры, в поле монохроматической волны.

1 Методика

Ограничимся случаем линейного процесса рассеяния электромагнитных волн. Также будем считать, что исследуемая РЛХ отражения объекта линейно связывает параметры облучающего и рассеянного полей [1, 2].

Запишем соотношение, связывающее линейно комплексные амплитуды напряженностей рассеянного $E_s(r)$ и облучающего $E_i(r)$ на поверхности объекта S вида [1, 2]:

$$E_s(\lambda, r) = \int_S G(\lambda_0, r, r_1) E_i(\lambda, r_1) dr_1, \quad (1)$$

где $\lambda, \lambda_0 \in [\lambda_1, \lambda_2]$, $G(\lambda_0, r, r_1)$ – пространственная импульсная переходная функция объекта (РЛХ) на длине волны λ_0 , которая в соответствии с принятыми допущениями предполагается неизменной в диапазоне длин волн $[\lambda_1, \lambda_2]$.

Если РЛХ объекта $G(\lambda_0, r, r_1)$ известна, то соотношение (1) позволяет по заданному на поверхности облучающему полю $E_i(\lambda, r)$ рассчитывать рассеянное поле $E_s(\lambda, r)$ на поверхности объекта и далее с использованием известных методов [3] рассчитывать распределение рассеянного объектом поля в пространстве в диапазоне длин волн $[\lambda_1, \lambda_2]$. Поскольку теоретически рассчитать $G(\lambda_0, r, r_1)$ для реальных объектов сложной формы и неоднородных радиофизических свойств не представляется возможным, следует применять для ее определения экспериментальные методы [4]. В этом случае соотношение (1), по существу, описывает модель, которая на основе экспериментально полученных исходных данных о РЛХ объекта $G(\lambda_0, r, r_1)$ на длине волны λ_0 обеспечивает приближенное прогнозирование распределения рассеянного объектом поля в диапазоне длин волн.

В качестве одной из моделей РЛХ $G(\lambda_0, r, r_1)$ можно рассматривать следующую [5]:

$$G(\lambda_0, r, r_1) = G(\lambda_0, r) \delta(r - r_1). \quad (2)$$

При проверке модели для прогноза РЛХ был выбран диапазон длин волн $[\lambda_1, \lambda_2]$ относительно некоторой “опорной” длины волны λ_0 , на которой рассчитывается функция G в виде (2), где считалось, что $\lambda_1 = \lambda_0$, $\lambda_2 = K_m \cdot \lambda_0$, где значение K_m определялось в задаче таким образом, чтобы была возможность прогнозирования РЛХ на всем интервале длин волн $[\lambda_1, \lambda_2]$. Для выбранных значений $\lambda_i \in [\lambda_1, \lambda_2]$ были рассчитаны диаграммы рассеяния для условий наблюдения в дальней зоне. Аналогичные характеристики были спрогнозированы с использованием вышеизложенной модели и выбранного представления переходной функции. Разница между рассчитанной и прогнозируемой характеристикой не должна была превышать 3 дБ. Прогнозирование проводилось для углов наблюдения $\theta \in [0^\circ, \theta_{\max}]$, где угол θ_{\max} задавался нами.

Выше мы имели представление G в виде δ -функции для объекта с характерным размером L . Представляет интерес рассмотреть представление функции G , которая известна на определенном интервале $G \in [G - \Delta G, G + \Delta G]$. Будем считать, что известно значение функции G для трех значений размеров объекта: $L, L - \Delta L, L + \Delta L$, где $\Delta L = \alpha L$, где $\alpha \in [0; 1]$. Функция G , согласно определению, вычисляется следующим образом: $G = G_L = E_{\text{рас}} / E_{\text{пад}}$, где $E_{\text{рас}}$ – рассеянное поле, $E_{\text{пад}}$ – падающее поле. Будем вычислять функцию G с учетом того, что известно ее значение для нескольких значений размера L объекта таким образом:

$$G = G_L \cdot \frac{1}{K_p} \cdot \frac{E_{\text{пад}}^\lambda}{E_{\text{пад}}^{\lambda_0}}, \quad (3)$$

где $E_{\text{пад}}^\lambda$ – падающая волна на длине волны λ , $E_{\text{пад}}^{\lambda_0}$ – падающая волна на длине волны λ_0 , G_L вычисляется на длине волны λ_0 , K_p – коэффициент. Коэффициент K_p подбирается нами для достижения лучших результатов прогнозирования. Для размера объекта L коэффициент K_p выбирается равным 1.

Рассеянное поле вычисляется как среднее арифметическое рассеянных полей, вычисленных для объекта с размерами $L - \Delta L, L, L + \Delta L$: $E_{\text{рас}} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 E_{\text{рас}}^i$, где $E_{\text{рас}}^1 = G \cdot E_{\text{пад}}$ – для объекта с размером $L - \Delta L$, $E_{\text{рас}}^2 = G \cdot E_{\text{пад}}$ – для объекта с размером L , $E_{\text{рас}}^3 = G \cdot E_{\text{пад}}$ – для объекта с размером $L + \Delta L$. Это поле используется для прогнозирования характеристик рассеяния объекта с размером L .

2 Анализ результатов

С целью определения работоспособности методики рассмотрим задачу прогнозирования эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) круглого идеально проводящего двумерного цилиндра радиуса R (Рис. 1). Расчет точных значений характеристик рассеяния для двумерного цилиндра был проведен путем решения

интегрального уравнения второго рода, записанного относительно плотности поверхностного тока [6] для случая E-поляризации падающей электромагнитной волны.

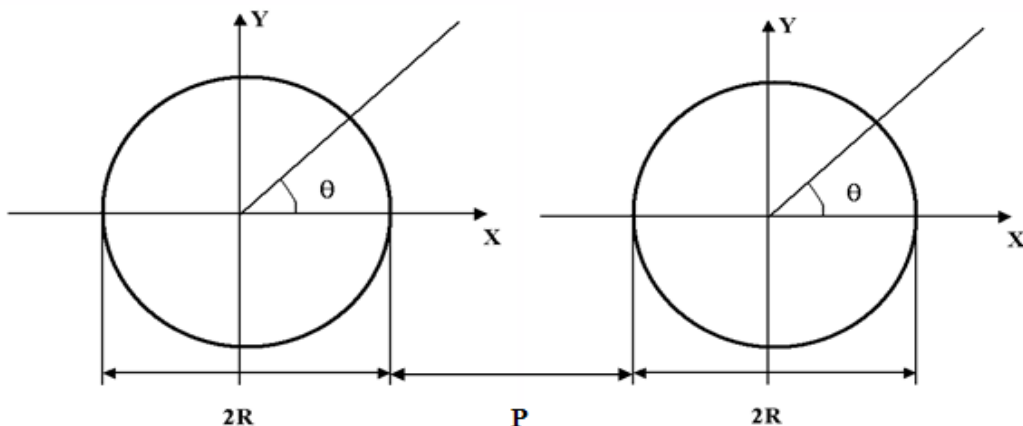


Рисунок 1: Схема рассеяния электромагнитных волн на цилиндрах с радиусом R , находящихся на расстоянии P .

На рис.2 представлены результаты расчета коэффициента K_m в зависимости от размера радиуса R идеально проводящего двумерного цилиндра при значении расстояния $P=3\lambda$ (расчет на основе подхода (1)-(2)) при прогнозировании бистатической ЭПР. Кривые 1, 2, 3 соответствуют случаю $\theta_{\max}=10^\circ$, $\theta_{\max}=45^\circ$ и $\theta_{\max}=90^\circ$. Видно, что K_m растет пропорционально с ростом радиуса R , то есть, чем больше радиус цилиндра, тем шире диапазон длин волн, в котором возможно прогнозирование его радиолокационных характеристик.

Проверка работоспособности методики проводилась также для рассеивателя в виде двумерной полости с размером апертуры a и длиной L (Рис. 3). Известно [7], что полости входят в состав многих объектов, поэтому представляет интерес прогнозирование их РЛХ. Зная двумерную ЭПР двумерной полости можно определить трехмерную ЭПР полости прямоугольного поперечного сечения [8]. Расчет точных значений характеристик рассеяния для двумерной модели полости был проведен путем решения интегрального уравнения второго рода, записанного относительно плотности поверхностного тока [9] для случая E-поляризации падающей электромагнитной волны.

В качестве примера расчеты проводились для случая равенства размеров апертуры и длины полости $a=L$.

На рис. 4 приведены результаты расчетов K_m в зависимости от размера апертуры a идеально проводящей полости (расчет на основе подхода (1)-(2)) при прогнозировании моностатической ЭПР. Кривые 1, 2, 3 соответствуют случаю $\theta_{\max}=10^\circ$, $\theta_{\max}=20^\circ$ и $\theta_{\max}=30^\circ$. Несмотря на то, что полость является существенно неизотропным рассеивателем, видно, что возможно прогнозирование РЛХ в резонансной области для достаточно большого диапазона длин волн.

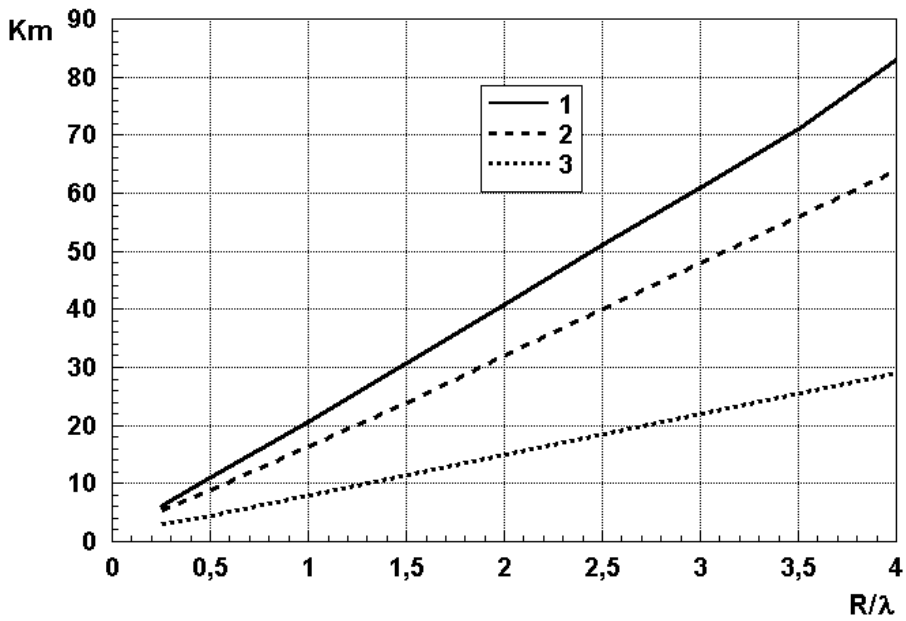


Рисунок 2: Результаты прогнозирования коэффициента K_m в зависимости от радиуса цилиндра R

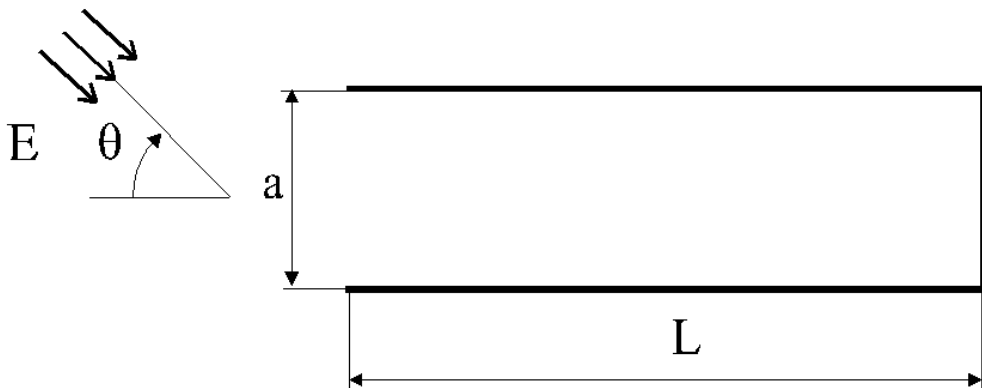


Рисунок 3: Схема рассеяния электромагнитных волн на полости с размером апертуры a и длиной L

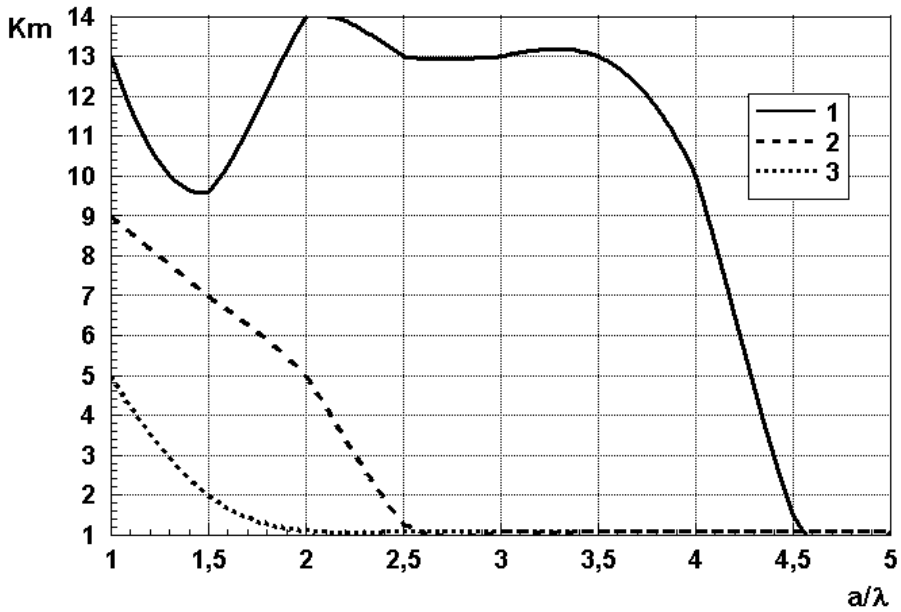


Рисунок 4: Результаты прогнозирования коэффициента K_m в зависимости от размера апертуры полости a для моностатического случая

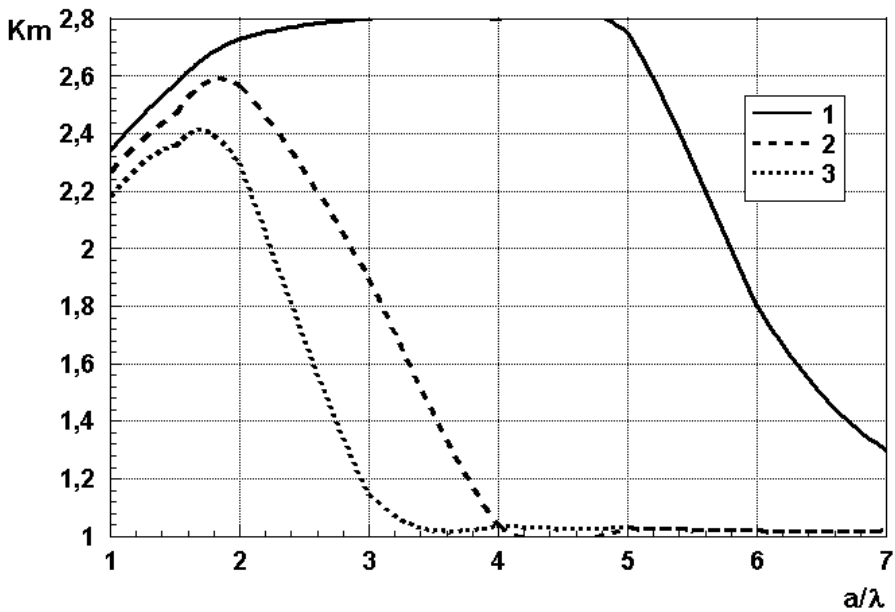


Рисунок 5: Результаты прогнозирования коэффициента K_m в зависимости от размера апертуры полости a для бистатического случая.

На рис. 5 приведены результаты расчетов K_m в зависимости от размера апертуры a идеально проводящей полости (расчет на основе подхода (1)-(2)) при прогнозировании бистатической ЭПР. Кривые 1, 2, 3 соответствуют случаю $\theta_{\max}=10^\circ$, $\theta_{\max}=20^\circ$ и $\theta_{\max}=30^\circ$. Видно, что возможный диапазон длин волн прогнозирования значительно шире, чем в моностатическом случае.

На рис.6 приведены результаты расчета K_m в зависимости от коэффициента K_p для различных радиусов R цилиндра (кривые 1, 2, 3, 4 – $R=1\lambda_0$, $R=2\lambda_0$, $R=3\lambda_0$, $R=4\lambda_0$, соответственно), полученные на основе подхода (1)-(3) при прогнозировании бистатической ЭПР. Коэффициент α принимал значения $\alpha \in [0;1]$. Из рис.6 видно, что с увеличением радиуса цилиндра R ширина диапазона длин волн, для которого возможно прогнозирование, увеличивается. Однако ширина этого диапазона гораздо больше по сравнению с результатами, полученными на основании подхода (1)-(2).

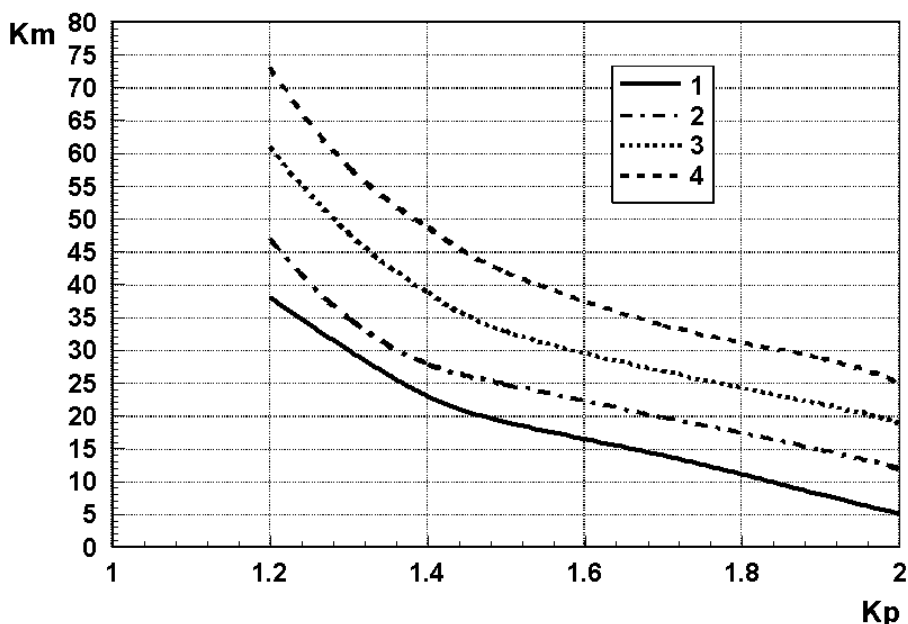


Рисунок 6: Результаты расчета K_m в зависимости от коэффициента K_p для различных радиусов цилиндра.

Выводы

Таким образом, в результате математического моделирования на основе разработанной методики показана и исследована возможность прогнозирования характеристик рассеяния идеально проводящих изотропных и неизотропных объектов в системах связи, имеющих разные размеры, в диапазоне длин волн. Дальнейшие исследования могут быть направлены на совершенствование данной методики с целью расширения диапазона прогнозирования.

▲ Литература

- [1] Radar characteristics of aircraft / ed. by L. T. Tuchkov. - M.: Radio and communication, 1985. - 235 p.
- [2] Astanin L. Yu., Kostylev A. A. Fundamentals of ultra-wideband radar measurements. - M.: Radio and communication, 1989. - 190 p.
- [3] Zverev V. A. Radiooptical. - M.: Soviet radio, 1975. - 304 p.
- [4] Lvovich I., Preobrazhensky A., Choporov O. The development of cad of information systems and software for diffractive structures / Information Technology Applications. 2016. № 1. С. 107-116.
- [5] Lvovich Ya., Preobrazhensky A., Choporov O. Modeling of scattering of electromagnetic waves on the base of multialternative optimization / Information Technology Applications. 2016. № 1. С. 117-125.
- [6] Hanson J.E Spherical Near-Field Antenna Measurements / IEE Electromagnetic Waves Series 26, 1988, Peter Peregrinus Ltd, London, UK, ISBN 0 86341 110 X, pp. 149.
- [7] Golovinov S.O., Preobrazhenskii A.P., Lvovich I.Y. Modeling the millimeter wave propagation in urbanized areas based on a combined algorithm // Telecommunications and Radio Engineering. 2013. Т. 72. № 2. С. 139-145.
- [8] Preobrazhenskiy A.P. Estimation of possibilities of combined procedure for calculation of scattering cross section of two-dimensional perfectly conductive cavities // Telecommunications and Radio Engineering. 2005. Т. 63. № 3. С. 269-274.
- [9] Lvovich I.Y., Lvovich Y.E., Preobrazhenskiy A.P., Choporov O.N. Optimization of electromagnetic scattering characteristics on the objects of complex shape based on the "ant" algorithm // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Т. 7. № 5. С. 990-998.

Prof. Igor Lvovich

Doctor of Sciences (Engineering), Professor,
Voronezh Institute of High Technologies
E-mail: i_lvovich@mail.ru

Prof. Vera Kostrova

Doctor of Sciences (Engineering), Professor,
Voronezh Institute of High Technologies
E-mail: vn-kostrova@vivt.ru