

УДК: 621.37:537.8:519.7

DOI: 10.30987/2658-6436-2020-1-17-25

А.А. Двилянский, Ю.В. Мосин

**ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДА К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ НА  
РАЗРАБОТКУ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ ЭКРАНИРУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ,  
ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ  
КОМПОНЕНТОВ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ  
ИМПУЛЬСОВ**

*В статье рассмотрен подход к постановке задачи на разработку математического метода моделирования параметров экранирующей конструкции, основанный на синтезе поверхностного импеданса как обратной задачи дифракции, предусматривающей построение физически реализуемой конструкции с описанием внешнего воздействия, граничных условий с использованием градиентного метода, предусматривающего нахождение функционала.*

*Ключевые слова:* экранирующая конструкция, синтез импедансного покрытия, внешнее воздействие, граничные условия.

A.A. Dviljanskiy, Yu.V. Mosin

**APPROACH SUBSTANTIATION TO PROBLEM STATEMENT ON  
WORKING OUT MATHEMATICAL METHOD OF MODELLING OF  
PARAMETRES OF THE SHIELDING THE DESIGN PROVIDING  
FUNCTIONAL STABILITY COMPONENTS OF OBJECTS OF A CRITICAL  
INFORMATION INFRASTRUCTURE AT INFLUENCE OF  
ELECTROMAGNETIC IMPULSES**

*In article the approach to problem statement on working out of a mathematical method of modelling of parameters of a shielding design based on synthesis of a superficial impedance as return problem of the diffraction providing constructions of physically realized design with the description of external influence, boundary conditions with use the gradient methods, providing a finding functional is considered.*

*Keywords:* shielding design, synthesis of an impedance covering, external influence, Boundary conditions.

**Введение**

Проблема обеспечения функциональной устойчивости (ОФУ) объектов критической информационной структурой (ККИ) и функционирующих в них компонентов (средства вычислительной техники (СВТ), линейное и сетевое оборудование) при воздействии электромагнитных импульсов (ЭМИ) носит системный и комплексный характер, как в техническом, так и в организационном отношениях [1, 2].

При решении данной проблемы на первый план выдвигаются вопросы, которые определяют:

- анализ параметров и оценку воздействия ЭМИ на совокупность электрически связанных технических систем и инженерных коммуникаций с учетом их электромагнитных связей и взаимных влияний;
- разработку общих мер обеспечения функциональной устойчивости: экранирование и

применение местных экранов, а также перечень и порядок сбора исходных данных для оценки состояния элементов экранирующих конструкций;

– методы оценки соответствия фактической устойчивости объектов КИИ при воздействии ЭМИ предъявляемым требованиям.

### Структура системы обеспечения функциональной устойчивости объектов при воздействии ЭМИ

С целью уяснения сущности проблемы ОФУ объектов КИИ при воздействии ЭМИ в рамках математического моделирования параметров экранирующих конструкций обратимся к формализованной структуре системы ОФУ, которая содержит управляющую и управляемую подсистемы [1].

Управляемыми подсистемами является совокупность технологий, объединенных единством избранной цели ОФУ.

Управляющая подсистема – совокупность технических средств управления и контроля состояния системы обеспечения функциональной устойчивости.

Систему ОФУ характеризует следующая группа переменных (рис. 1):

–  $\vec{X}_{\{x_n\}}$  – множество, обусловленное полями ЭМИ с формализованным описанием амплитудных, частотных, временных и энергетических характеристик генераторов ЭМИ, представляющих совокупность входных воздействий на систему по требованиям стандартов [2-4];

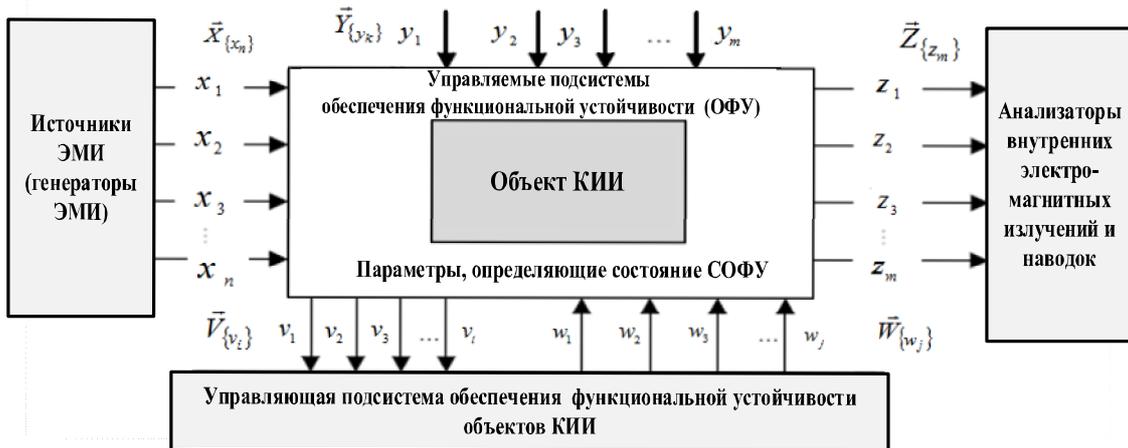


Рис. 1. Формализованная структура системы обеспечения функциональной устойчивости объектов при воздействии ЭМИ

–  $\vec{Z}_{\{z_m\}}$  – множество выходных сигналов, обусловленное внутренними электромагнитными излучениями с формализованным описанием их амплитудных, частотных, временных и энергетических характеристик;

–  $\vec{Y}_{\{y_k\}}$  – множество внешних возмущений (электромагнитный шум, радиоактивный фон и т.п.);

–  $\vec{V}_{\{v_i\}}$  – множество признаков, характеризующих техническое состояние системы обеспечения функциональной устойчивости (СОФУ): совокупность внешних параметров, характеризующих электрофизические свойства материалов экранирующих конструкций, конструктивные особенности экрана средств СВТ и его технологические неоднородности, взаимное влияние технологических неоднородностей друг на друга, а также совокупность внутренних параметров СВТ, представляющих собой стойкость конструктивных элементов СВТ к воздействующим полям [5, 6];

–  $\vec{W}_{\{w_j\}}$  – множество управляющих воздействий, формируемых оператором подсистемы ОФУ.

Исходя из проведенного анализа поражающего воздействия мощного ЭМИ установлено, что для предотвращения последствий данных воздействий компоненты объектов КИИ должны быть максимально предохранены как естественными помехозащитными свойствами материалов ограждающих конструкций, так и специально принятыми мерами и средствами ОФУ. Наличие показателя, определяющего экранирующие свойства конструкции, дает возможность получить функционал, отражающий задачу её построения, с целью обеспечения живучести и помехозащищенности функционирующих на объектах КИИ СВТ, линейного и сетевого оборудования при воздействии ЭМИ, и представляемый следующим выражением:

$$\eta_{E(H)} = f\left(\vec{X}_{\{x_n\}}; \vec{Z}_{\{z_m\}}; \vec{Y}_{\{y_k\}}; \vec{V}_{\{v_i\}}; \vec{W}_{\{w_j\}}\right) \text{ при } \eta_{E(H)} \geq \eta_{E(H)\text{крит}} - \Delta\eta, P_{\text{ФУ}_{\text{окии}}} \geq P_{\text{ФУ}_{\text{окии}}}^{\text{треб}} \cdot (1)$$

где –  $\eta_{E(H)\text{крит}}$  – критериальное требование, предъявляемое к экранирующим конструкциям по качеству экранирования;  $\Delta\eta$  – допустимое отклонение реального коэффициента экранирования от критериального требования по качеству экранирования;  $P_{\text{ФУ}_{\text{окии}}}$  – вероятность функциональной устойчивости объектов КИИ.

Критериальные показатели коэффициента (эффективности) экранирования назначаются в зависимости от рассматриваемой области (зоны) объекта (сооружения):

- зоны слабой функциональной устойчивости (объекта, не имеющего сплошного экрана, пространство вблизи входов и вводов коммуникаций) –  $\eta_{E(H)\text{крит}} \leq 20$  дБ;
- зоны средней функциональной устойчивости (центральные объемы объекта) –  $\eta_{E(H)\text{крит}} \leq 90$  дБ;
- зоны высокой функциональной устойчивости (центральные помещения объема объекта) –  $\eta_{E(H)\text{крит}} \geq 120$  дБ.

Допустимое отклонение реального коэффициента экранирования от критериального требования по качеству экранирования  $\Delta\eta = \pm 15$  %.

При выполнении указанных критериальных показателей эффективности должно достигаться следующее требование к  $P_{\text{ФУ}_{\text{окии}}}^{\text{треб}} \geq 0,95$ .

### Постановка задачи на математическое моделирование физически реализуемой конструкции

При разработке математических моделей, позволяющих в последующем получить физически реализуемую конструкцию, целесообразно применение методов моделирования, применяемых для решения вычислительных задач в электродинамике. Модель в общем понимании представляет собой объект (материальный, математическая зависимость, программа для ПЭВМ и т.п.), находящийся в отношении подобия к предмету исследования, а процесс моделирования, в свою очередь, предусматривает определение критериев данного подобия при протекании электромагнитных процессов на объектах с различными электромагнитными характеристиками (электрофизическими свойствами, ЭФС) в предположении, что электромагнитные процессы на модели и предмете исследования описываются уравнениями Максвелла. В связи с данными положениями, процесс моделирования будет сводиться к определению критериев подобия протекания электромагнитных процессов на объектах с различными ЭФС.

Этапность математического моделирования параметров экранирующей конструкции (ЭК) может быть представлена в виде блок-схемы, изображенной на рис. 2.

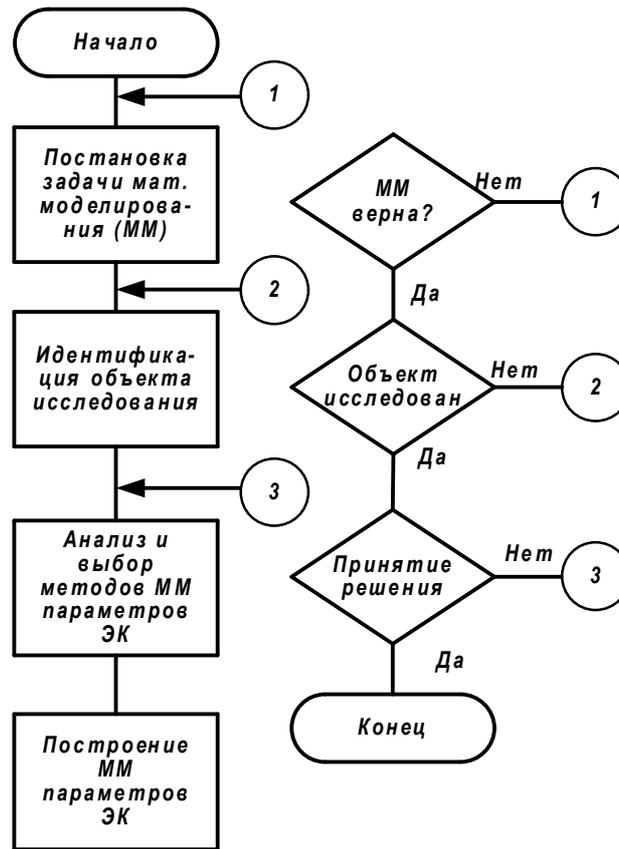


Рис. 2. Блок-схема, отображающая этапность математического моделирования параметров экранирующей конструкции

С учетом наличия показателя, а также практики расчета и построения экранирующих конструкций, для адекватного математического моделирования её параметров наиболее целесообразно использовать подход, ориентированный на использование математических моделей обратных задач дифракции, которые эффективны при синтезе импедансного покрытия, связанных с направленным изменением характеристик рассеяния в волновой зоне по сравнению с идеально проводящим телом и заключающийся в выборе физически реализуемой конструкции, которая в пределах заданной точности моделирует электромагнитное поле (ЭМП) с требуемыми характеристиками.

Данный метод моделирования снимает проблему единственности решения, присущую задачам идентификации, где необходимо определить реальный объект, создающий наблюдаемое ЭМП.

В данном аспекте, который предусматривает впоследствии физически реализуемую конструкцию, решение задачи дифракции будет предусматривать синтез импедансного покрытия тела вращения с целью минимизации обратного поперечника, расположенного в полупространстве с потерями в компактном классе тел. Предлагаемый метод удобен с точки зрения управления энергетическими характеристиками в волновой зоне с целью направленного изменения характеристик рассеяния в данной зоне по сравнению с идеально проводящим телом, что предусматривает вариационную постановку и быстрые алгоритмы решения прямых дифракционных задач линейно поляризованной плоской волны, распространяющейся вдоль оси симметрии  $\{E^0, H^0\}$  в классе импедансов, который автоматически удовлетворяет условиям физической и конструктивной реализуемости [7].

Анализ современного состояния теории и практики экранирования показал, что на настоящий момент определяющей тенденцией развития является переход от совокупности частных решений к комплексным способам. Предлагаемым решением является построение

многослойной экранирующей конструкции со слоями с различными ЭФС и технологическими неоднородностями (рис. 3).

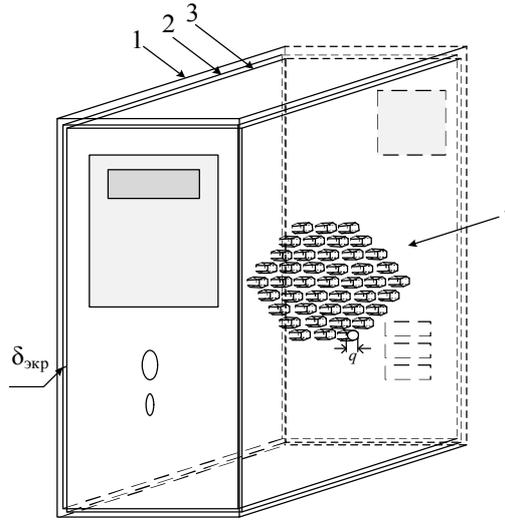


Рисунок 3 – Многослойная экранирующая конструкция с технологическими неоднородностями в экране: 1, 2, 3 – первый, второй и третий слой устройства; 4 – технологические неоднородности

Пусть внешнее воздействие обозначено  $\{\mathbf{E}^0, \mathbf{H}^0\}$ , тогда постановка задачи синтеза на теле предусматривает граничные условия (ГУ) Леонтовича первого рода:

$$\begin{aligned} \mathbf{rot}\mathbf{H}_j &= -i\omega\boldsymbol{\varepsilon}_j\mathbf{E}_j, \quad \mathbf{rot}\mathbf{E}_j = i\omega\boldsymbol{\mu}_j\mathbf{H}_j, \quad \text{в } D_j, \quad j = 1, 2, \dots, L, \\ \left[ \nu, \mathbf{E}_j^N \right]_{\eta_l} &= \xi \left[ \nu, [\nu, \mathbf{H}_j^N] \right]_{\eta_l}, \quad \eta_l \in \wp \quad \text{на } \partial D, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\left[ \left\{ \sqrt{\varepsilon_L} \mathbf{E}_L; \sqrt{\mu_L} \mathbf{H}_L \right\}, R/R \right] + \left\{ \sqrt{\mu_L} \mathbf{H}_L; -\sqrt{\varepsilon_L} \mathbf{E}_L \right\} = \mathbf{O}(R^{-1}), \quad R \rightarrow \infty$$

где  $\mathbf{E}_j, \mathbf{H}_j$  – вектора напряженности ЭМП;  $\nu = \{\beta; 0; -\alpha\}$  – в цилиндрической системе координат,  $\beta \neq \pm \sqrt{2}$ ;  $\{\eta_l\}_{l=1}^L$  – множество точек коллокации;  $L$  – размерность подпространства. Границы раздела сред с различными электрофизическими (электродинамическими)  $\{\varepsilon_L, \mu_L\}_{j=1}^L$  представляют собой односвязные поверхности вращения  $\{\partial D_j\}_{j=0}^{L-1} \in A^{(2,\alpha)}$ . При  $\text{Im} \varepsilon_L \geq 0, \quad \text{Im} \mu_L \geq 0, \quad \text{Im} \varepsilon_L + \text{Im} \mu_L > 0, \quad j = 1, 2, \dots, L-1, \quad \text{Im} \{\varepsilon_L; \mu_L\} = 0$  характеристики  $\{\varepsilon_L, \mu_L\}_{j=1}^L$  принимают постоянные значения в областях  $D_j$ . Приближенное решение задачи (2) находится с учетом следующего представления внешнего воздействия [7]:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_j^N &= \mathbf{E}_j^{N+} + (1 - \delta_{jL}) \mathbf{E}_j^{N-}, \quad \mathbf{H}_j^N = \mathbf{H}_j^{N+} + (1 - \delta_{jL}) \mathbf{H}_j^{N-} \\ \mathbf{E}_j^{N\pm} &= \sum_{n=1}^{N_j} p_{nj}^{e\pm} \mathbf{rotrot}(\psi_{nj}^{\pm} \mathbf{e}_x) + p_n^{h\pm} i\omega\boldsymbol{\mu}_j \mathbf{rot}(\psi_{nj}^{\pm} \mathbf{e}_y), \\ \mathbf{H}_j^{N\pm} &= \sum_{n=1}^{N_j} -p_{nj}^{e\pm} i\omega\boldsymbol{\varepsilon}_j \mathbf{rot}(\psi_{nj}^{\pm} \mathbf{e}_x) + p_{nj}^{h\pm} \mathbf{rotrot}(\psi_{nj}^{\pm} \mathbf{e}_y), \\ \psi_{nj}^{\pm} &= h_0^{(1,2)} \left( k_j R_{\eta_{zn}^j} \right), \quad R_{\eta_{zn}^j}^2 = \rho^2 + (z - z_n^j)^2, \quad k_j^2 = \omega^2 \boldsymbol{\varepsilon}_j \boldsymbol{\mu}_j, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\{z_n^j\}_{n=1}^{N_j} = \omega_0^j$  – множества вспомогательных источников;  $\{p_{nj}^{e\pm}, p_{nj}^{h\pm}\}$  – коэффициенты разложения приближенного решения (2), которые определяются из граничного условия

$\min_{p^{e,h}} \left\| \left[ v, \mathbf{E}_j^N + \mathbf{E}^0 \right] \right\|_{L(\varphi)}$  лишь на образующей поверхности вращения  $\wp$ , т.е. осуществлен

переход от поверхностной аппроксимации поля  $\left[ v, \mathbf{E}^0 \right]$  к решению задачи одномерной аппроксимации и имеет вид конечной линейной комбинации элементарных функций;  $\delta_{jL}$  – символ Кронеккера;  $\psi_{nj}^{\pm}$  – функция, означающая представление поля в виде суперпозиции «приходящих» и «уходящих» волн внутри каждого слоя.

На рисунке 4 представлены графики распределения плотности вероятности электрической и магнитной составляющей ЭМП в соответствии с ТТХ ЭМИ, соответственно.

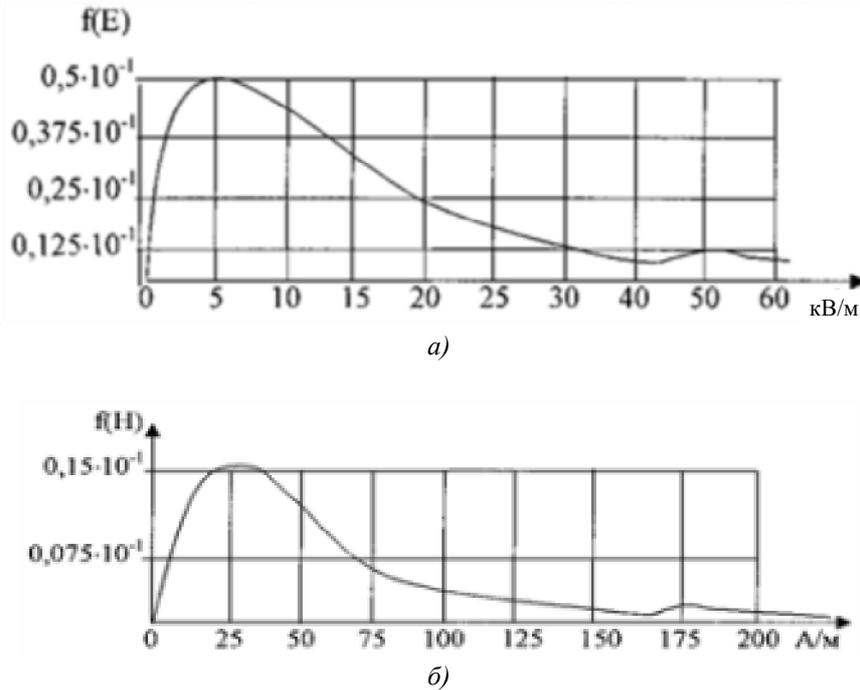


Рис. 4. Распределение плотности вероятности электрической и магнитной составляющей ЭМП ЭМИ в соответствии с характеристиками ЭМИ

В качестве наблюдаемых величин рассматриваются компоненты диаграммы направленности рассеянного поля, представленной формулой Шулейкина-Ван-дер Поля:

$$E_e(M) = \frac{e^{-ik_e R}}{R} \mathbf{F}(\theta, \varphi) + \mathbf{O}(R^{-1}), R \rightarrow \infty, \quad (4)$$

где  $(R, \theta, \varphi)$  – сферические координаты точки  $M$ ,  $(\theta, \varphi) \in \Omega$ ;  $\mathbf{F}(\theta, \varphi)$  – диаграмма направленности рассеянного поля, определяемая с помощью выражения:

$$\mathbf{F}(\theta, \varphi) = H(\xi)\mathbf{J}(\xi) \text{ на } \Omega, \quad (5)$$

где  $H(\xi)$  – интегрофункциональный оператор, действующий из  $\partial D$  на  $\Omega$ , линейно зависящий от поверхностного импеданса  $\xi$ , задающий область локализации поверхностного импеданса, что обеспечивает условие конструктивной реализуемости (УКР);  $\mathbf{J}$  представляет собой

аналитическую функцию параметра  $\xi$  в области значений  $\text{Re } \xi \geq 0$ , в силу чего  $\mathbf{F}(\theta, \varphi)$  также будет аналитической функцией параметра  $\xi$  при  $\text{Re } \xi \geq 0$ , что также обеспечивает УКР. При этом, вопросы, связанные с возможностью аппроксимации  $\mathbf{F}(\theta, \varphi)$  выбором  $\xi$  при фиксированных значениях  $\omega, \partial D, \{\mathbf{E}^0, \mathbf{H}^0\}$ , до сих пор еще не получили строгого математического обоснования. При этом в стороне остается вопрос о величине достигнутого максимума. Следовательно, граничная задача с учетом доказательства теоремы единственности определения  $\xi$  (2) имеет единственное решение [7].

С учётом того, что в работе предстоит решать задачи по построению физически реализуемой конструкции, представляющей собой в общем случае периодическую структуру необходимо сформировать на границах раздела сред периодические ГУ [8]. Основное их предназначение состоит в том, что с их помощью анализ бесконечной решетки сводится к анализу одного периода, в связи с чем появляется возможность численного решения задачи, поскольку область, в которой теперь ищется поле ограничена в плоскости  $XOY$ :

$$\begin{aligned} \vec{E}_{\bar{A}'} &= \vec{E}_{\bar{A}} \cdot \exp(-i\Phi_y), & \vec{H}_{\bar{A}'} &= \vec{H}_{\bar{A}} \cdot \exp(-i\Phi_y), \\ \vec{E}_{\bar{B}'} &= \vec{E}_{\bar{B}} \cdot \exp(-i\Phi_x), & \vec{H}_{\bar{B}'} &= \vec{H}_{\bar{B}} \cdot \exp(-i\Phi_x). \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\Phi_{x,y}$  – постоянные, определяющие фазовые сдвиги между элементами периодической решетки;  $\vec{E}_{\bar{A},\bar{B}}$  и  $\vec{E}_{\bar{A}',\bar{B}'}$  – напряженности полей между стенками  $A$  и  $B$  волновода, соответственно. А граничные условия волновода в свою очередь представляются следующим образом [8]:

$$\begin{aligned} E_y = 0, \quad E_z = 0 & \quad \text{при} \quad x = 0, \quad x = A; \\ E_y = 0, \quad E_z = 0 & \quad \text{при} \quad y = 0, \quad y = B; \\ A_y^3 = 0, & \quad \text{при} \quad x = 0, \quad x = A; \\ \partial A_y^3 / \partial y = 0, & \quad \text{при} \quad y = 0, \quad y = B. \end{aligned} \quad (7)$$

Задача синтеза поверхностного импеданса в соответствии с [7] представляется следующим образом:

$$\min_{\xi \in Z_S} \sigma(\omega, \xi) \quad \text{при } \omega = \text{const}, \quad (8)$$

где  $\sigma(\omega, \xi)$  – обратный поперечник рассеяния;  $Z_S$  – допустимые значений импеданса:

$$Z_S = \left\{ \xi = \sum_{l=1}^L \xi_l g_l(\varphi), \text{Re } \xi_l \geq 0 \right\}, \quad (9)$$

где  $\xi_l$  – комплексные константы, подлежащие определению, а  $g_l(\varphi)$  – базис на области локализации поверхностного импеданса.

Для решения задачи минимизации (8) можно использовать градиентные методы, предусматривающие нахождение функционала:

$$\sigma(\omega, \xi) = 4 |F(\mathbf{E}, \mathbf{H})|^2, \quad (10)$$

соответствующий решению задачи (3) с учетом линейности граничных условий по  $\xi$ .

## Вывод

В представленном материале выполнена постановка задачи математического моделирования параметров экранирующей конструкции на основе применения математического метода решения задачи синтеза поверхностного импеданса (обратная задача дифракции), предусматривающая получение физически реализуемой конструкции с достижением требуемого коэффициента экранирования на основании нахождения минимума функционала  $\sigma(\omega, \xi) = 4|F(E, H)|^2$ . В дальнейшем данный подход к постановке задачи синтеза импедансного покрытия будет учтен для поиска минимума функционала энергии (потенциала) ЭМП, проникающей во внутренний объем экранирующей конструкции при внешнем воздействии ЭМИ и внешнее пространство, при возникновении внутренних паразитных электромагнитных излучений [9].

### Список литературы:

### References:

1. Полежаев, А. П. Оптимизация объектовой системы защиты информации об изделиях двойного назначения [Текст] / А. П. Полежаев, В. И. Василец // Специальная техника, № 5. – Москва: Электrozavod, 1996. – С. 1–5.
2. ГОСТ Р 51318.16.1.4-2008. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Ч.1–4. Аппаратура для измерения параметров радиопомех и помехоустойчивости. Устройства для измерения излучаемых радиопомех и испытаний на устойчивость к излучаемым радиопомехам. – М.: Стандартиформ, 2009.
3. Терехов, В. А. Влияние сверхкоротких импульсов электромагнитного излучения на параметры структур металл–диэлектрик–полупроводник [Текст] / В. А. Терехов, А. Н. Манько, Е. Н. Бормонтов, В. Н. Левченко, С. Ю. Требунских, Е. А. Тутов, Э. П. Домашевская // Физика и техника полупроводников, 2004, Т.38 – вып. 14.
4. Вернигоров, Н. С. Экспериментальные исследования воздействия импульсного СВЧ излучения на материалы [Текст] / Н. С. Вернигоров, А. П. Саркисян, А. С. Сулакшин, Ю. П. Шаркеев // Журнал «Радиоэлектроника и телекоммуникации». № 6 (24), 2004.
5. Двилянсий, А. А. Методология оценки комплексной защищенности объектов инфокоммуникационных систем от воздействия деструктивных электромагнитных излучений : монография [Текст] / А. А. Двилянсий, В. А. Иванов. – Орёл: Академия ФСО России, 2018. – 235 с.
6. Двилянсий, А. А. Синтез систем обнаружения аномального состояния в условиях недостаточной информации для формирования признакового пространства [Текст] / А. А. Двилянсий, В. Б. Ивкин, А. А. Селин // Промышленные АСУ и контроллеры: Научтехлитиздат. – № 7, 2015. – С. 13–17.
7. Ерёмин, Ю. А. Метод дискретных источников в задачах электромагнитной дифракции [Текст] / Ю. А. Ерёмин, А. Г. Свешников. – М: Издательство МГУ, 1992. – 182 с.
8. Банков, С. Е. Электродинамика и техника СВЧ для
1. Polezhaev, A. P. Optimizaciya ob'ektovoj sistemy zashchity informacii ob izdeliyah dvojnogo naznacheniya [Tekst] / A. P. Polezhaev, V. I. Vasilec // Special'naya tekhnika, № 5. – Moskva: Elektrozavod, 1996. – S. 1–5.
2. GOST R 51318.16.1.4-2008. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Trebovaniya k apparature dlya izmereniya parametrov radiopomekh i pomexoustojchivosti i metody izmerenij. CH.1–4. Apparatura dlya izmereniya parametrov radiopomekh i pomexoustojchivosti. Ustrojstva dlya izmereniya izluchaemyh radiopomekh i ispytanj na ustojchivost' k izluchaemym radiopomekham. – M.: Standartinform, 2009.
3. Terekhov, V. A. Vliyanie sverhkorotkih impul'sov elektromagnitnogo izlucheniya na parametry struktur metall–dielektrik–poluprovodnik [Tekst] / V. A. Terekhov, A. N. Man'ko, E. N. Bormontov, V. N. Levchenko, S. YU. Trebunskih, E. A. Tutov, E. P. Domashevskaya // Fizika i tekhnika poluprovodnikov, 2004, T.38 – vyp. 14.
4. Vernigorov, N. S. Eksperimental'nye issledovaniya vozdejstviya impul'snogo SVCH izlucheniya na materialy [Tekst] / N. S. Vernigorov, A. P. Sarkis'yan, A. S. Sulakshin, YU. P. SHarkeev // ZHurnal «Radioelektronika i telekommunikacii». № 6 (24), 2004.
5. Dvilyanskij, A. A. Metodologiya ocenki kompleksnoj zashchishchennosti ob'ektov infokommunikacionnyh sistem ot vozdejstviya destruktivnyh elektromagnitnyh izluchenij : monografiya [Tekst] / A. A. Dvilyanskij, V. A. Ivanov. – Oryol: Akademiya FSO Rossii, 2018. – 235 s.
6. Dvilyanskij, A. A. Sintez system obnaruzheniya anomal'nogo sostoyaniya v usloviyah nedostatochnoj informacii dlya formirovaniya priznakovogo prostranstva [Tekst] / A. A. Dvilyanskij, V. B. Ivkin, A. A. Selin // Promyshlennye ASU i kontrollery: Nauchtekhlitizdat. – № 7, 2015. – S. 13–17.
7. Eryomin, YU. A. Metod diskretnyh istochnikov v zadachah elektromagnitnoj difrakcii [Tekst] / YU. A. Eryomin, A. G. Sveshnikov. – M: Izdatel'stvo MGU, 1992. – 182 s.
8. Bankov, S. E. Elektrodinamika i tekhnika SVCH dlya

пользователей САПР [Текст] / С. Е. Банков, А. А. Курушин. – М: Солон-Пресс. 2008. –276 с.

9. Двилянский А.А. Математический метод моделирования, позволяющий получать параметры экранирующей конструкции, обеспечивающей функциональную устойчивость компонентов объектов критической информационной инфраструктуры при воздействии электромагнитных импульсов [Текст] / А. А. Двилянский // Промышленные АСУ и контроллеры: Научтехлитиздат. – № 1, 2020. – С. 18–27.

pol'zovatelej SAPR [Tekst] / S. E. Bankov, A. A. Kurushin. – M: Solon-Press. 2008. –276 s.

9. Dvilyanskij A.A. Matematicheskij metod modelirovaniya, pozvolyayushchij poluchat' parametry ekraniruyushchej konstrukcii, obespechivayushchej funkcional'nyuyu ustojchivost' komponentov ob'ektov kriticheskoj informacionnoj infrastruktury pri vozdeystvii elektromagnitnyh impul'sov [Tekst] / A. A. Dvilyanskij // Promyshlennye ASU i kontrollery: Naughtekhlitizdat. – № 1, 2020. – S. 18–27.

*Статья поступила в редколлегию 02.02.2020.*

*Рецензент:*

*д-р. техн. наук, доцент,*

*Брянский государственный технический университет*

*Захарова А.А.*

*Статья принята к публикации 10.02.2020.*

#### Сведения об авторах:

##### **Двилянский Алексей Аркадьевич**

канд. техн. наук, доц.

сотрудник ФГКБОУ ВО Академия Федеральной службы охраны России

E-mail: [advil@mail.ru](mailto:advil@mail.ru)

##### **Мосин Юрий Викторович**

канд. физ.-мат. наук доц.

ФГКБОУ ВО Академия Федеральной службы охраны России

E-mail: [yamosin@mail.ru](mailto:yamosin@mail.ru)

#### Information about authors:

##### **Dviljanskiy Alexey Arkadevich**

Cand. Tech. Sci.,

the employee of FSSEIHVT Academy of Federal Agency of protection of Russia,

E-mail: [advil@mail.ru](mailto:advil@mail.ru)

##### **Mosin Yuri Viktorovich**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,

Associate Professor FSSEIHVT Academy of Federal Agency of protection of Russia

E-mail: [yamosin@mail.ru](mailto:yamosin@mail.ru)