

УДК 621.396

Т.В. Глотова

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН**

Воронежский институт высоких технологий

Рассматриваются возможности использования многокритериальной оптимизации методом Роя частиц для проектирования планарных многослойных поглотителей электромагнитных волн при определении Парето-оптимального решения. При оптимизации определялся возможный компромисс между толщиной материала и коэффициентом отражения поглотителей. Разработанный алгоритм синтеза поглощающего материала является простым и быстрым.

Ключевые слова: оптимизация, моделирование, поглощающий материал, проектирование, электромагнитная волна.

Широкое распространение на практике электромагнитных поглотителей, потребовали от инженеров исследований, связанных с оптимизацией подобных конструкций на основе разработки соответствующих алгоритмов.

В идеале тонкий, легкий и небольшой по весу и широкополосный поглотитель является оптимальным. Но те функции, которые заложены в него, являются, по своей сути, противоречивыми.

Например, можно спроектировать поглотитель с высоким значением коэффициента поглощения, но при этом будет большая толщина или вес. С другой стороны тонкий и легкий поглотитель может иметь высокий коэффициент отражения.

Таким образом, для практических случаев физической реализации поглотителей, инженеры часто занимаются многими проблемами, в которых осуществляется поиск правильного компромисса между конфликтующими целями.

Так что, если вместо одного решения существует множество оптимальных решений, проектировщик может выбрать лучшие компромиссы в каждом конкретном случае.

Этот набор оптимальных решений называется Парето-оптимальным или оптимальным по Парето, или паретовским в литературе по оптимизации.

К настоящему времени уже многие авторы занимались поиском Парето-оптимального решения [1, 2].

Также исследователями проводились расчеты для метода роя частиц в качестве эффективного алгоритма оптимизации для различных электромагнитных задач проектирования.

Каждая из частиц имеет адаптивную скорость. Более того, каждая частица имеет память, вспоминая лучшие позиции в поисковом пространстве, которое когда-либо посещали.

Частицы имеют тенденцию летать к лучшему поисковому району в течение процесса поиска.

Таким образом, их движение - это совокупное ускорение в направлении улучшения поиска решения [3, 4].

Предположим, что пространство поиска является D-мерным, и i-я частица роя может быть представлена в D-мерном векторе $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})^T$.

Скорости этой частицы представляются другим D-мерным вектором $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})^T$.

Лучший опыт i-й частицы (Pbest) обозначается как $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})^T$.

Пусть G является индексом лучшей частицей в рое, и надстрочные обозначения количество итераций, затем в глобальной версии Роя манипулируют согласно следующим двум уравнениям:

$$v_i^{t+1}(d) = \omega * v_i^t(d) + c_1 * rand(p_i^t(d) - x_i^t(d)) + c_2 * rand(p_g^t(d) - x_i^t(d)) \quad (1)$$

$$x_i^{t+1}(d) = x_i^t(d) + v_i^{t+1}(d) \quad (2)$$

где $v_i^t(d)$ и $x_i^t(d)$ дают текущую скорость и позицию d-й размерности i-й частицы, соответственно и *rand* дает случайное равномерное распределение в диапазоне;

c_1 , c_2 – это положительные константы, называемые константами ускорения, и ω представляет собой соответствующий вес.

Вышеуказанные уравнения представляют собой основные формы единого Парето-оптимального решения.

Понятие Парето-оптимальности, которое было составлено итальянском экономистом Вильфредо Парето, в его работе, в руководстве по политической экономии в 1906 году.

Для определения оптимальности по Парето отметим некоторые базовые понятия. Доминирование: в позиции вектора, x_1 доминирует позиция вектора, x_2 , где $x_1 < x_2$ с), тогда и только тогда, когда

$$f_k(x_1) \leq f_k(x_2) \forall k = 1, \dots, n_k \quad (3)$$

$$f_k(x_1) \leq f_k(x_2) \text{ для по крайней мере одного } k \quad (4)$$

Парето-оптимальность: вектор позиции, то $x^* \in F$ является Парето-оптимальным, если там не существует позиции вектор, $x \neq x^* \in F$, который доминирует.

Парето-оптимальное множество: множество всех Парето-оптимальных векторов формируют Парето-оптимальное множество

Парето-фронт: все объективные векторы, соответствующие положениям векторов Парето-оптимального набора.

Первый шаг в любой сложной задаче алгоритма оптимизации является минимизация расстояния между растворами и фронта Парето.

В генетических алгоритмах для этой цели должны быть определены соответствующие фитнес-функции. Традиционный тип присвоения фитнес-функции агрегирования существует на основе способа, где фитнес-функция представляет собой взвешенную сумму ограничительных функций.

Однако этот классический подход может быть очень чувствителен к точному агрегированию целей и, как правило, оказывается малоэффективным и неэффективным, поэтому некоторые исследователи предложили использовать весьма сложные методы [5-8], например, применять нейронную сеть для получения оптимальных весов целевой функции.

Представляет интерес применить метод роя частиц для оптимизации исследуемой электродинамической задачи.

Основные части этого алгоритма работают следующим образом: После инициализации популяции и архива, мы должны генерировать гиперкубы в пространстве поиска, и обнаружить частицы с помощью этих гиперкубов, как система координат, где каждой частицы координат определяются в соответствии со значениями своих целевых функций.

Скорость каждой частицы вычисляется следующим соотношением:

$$v_i^{t+1}(d) = \omega * v_i^t(d) + c_1 * rand(p_i^t(d) - x_i^t(d)) + c_2 * rand(archive_h^t(d) - x_i^t(d)) \quad (5)$$

Термин *archive* берется из архива. В тех гиперкубах, которые содержат более чем одну частицу назначается фитнес-функция равная результату деления любого числа $x > 1$ (мы взяли его 10) на число частиц, которые они содержат. Эта работа направлена на снижение фитнес-этих гиперкубов, которые содержат больше частиц и может рассматриваться как форма обобщения фитнеса. Затем мы применяем случайный выбор, выделение с помощью этих фитнес-значений для выбора гиперкубов из

которых мы примем соответствующие частицы. На Рисунке 1. Приведена блок-схема алгоритма.

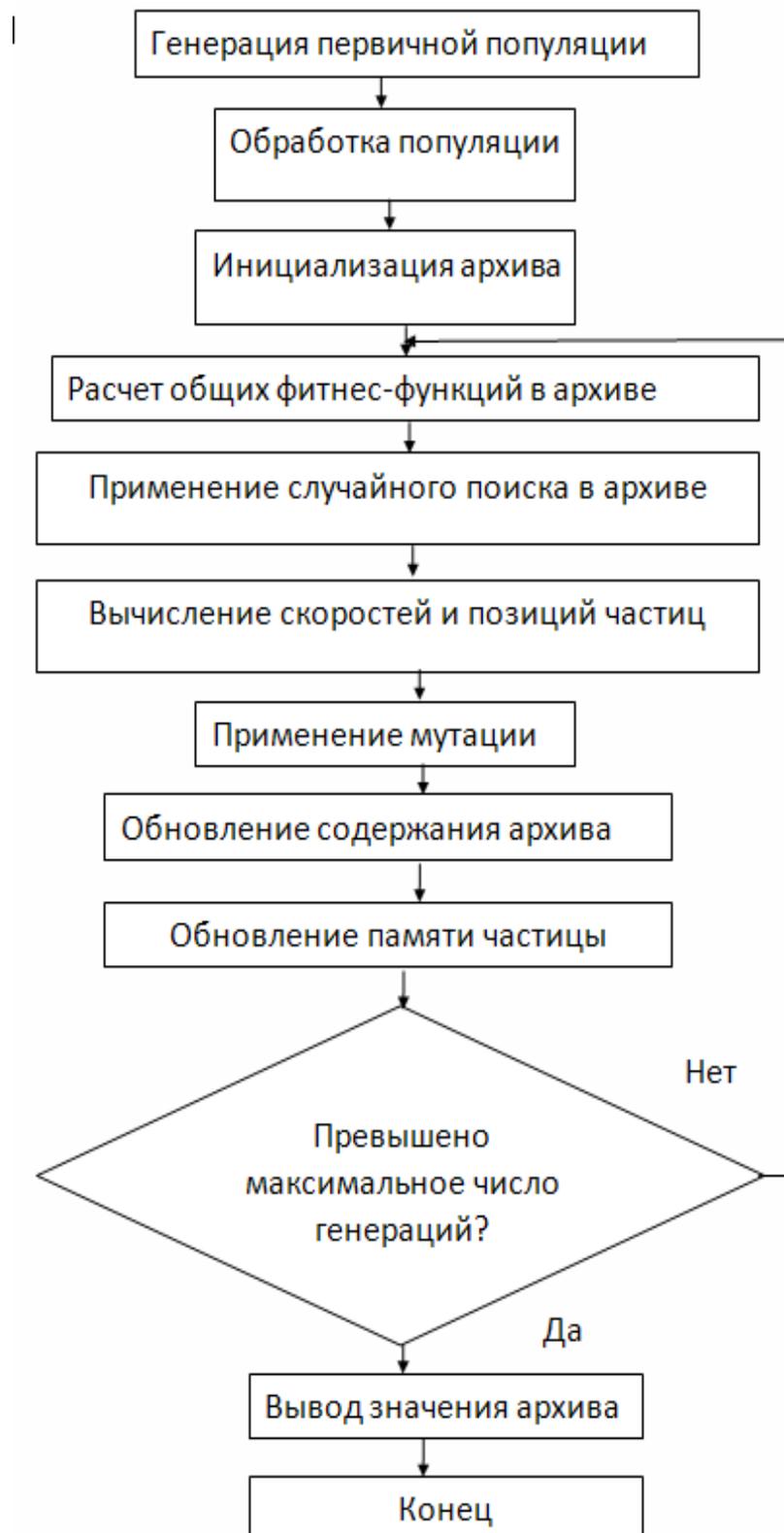


Рисунок 1–Блок-схема алгоритма

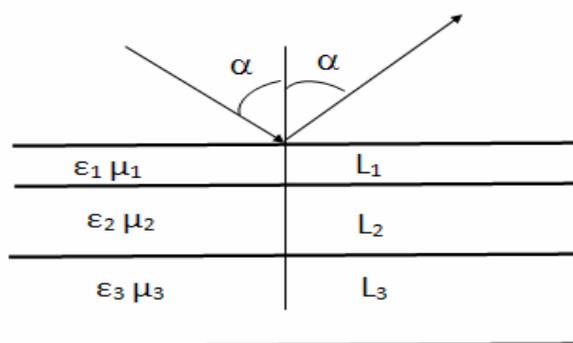


Рисунок 2–Схема многослойного поглотителя.

Далее приведем результаты моделирования. На Рисунке 2 приведена схема исследуемого поглотителя.

Таблица 1–Данные по поглощающему материалу

ϵ_1, μ_1, L_1			ϵ_2, μ_2, L_2			ϵ_3, μ_3, L_3		
$5+j*4$	$6+j*12$	0.132мм	$1+j*7$	$8+j*2$	0.178мм	$1+j*7$	$9+j*10$	0.152мм

Результаты синтеза рассматриваемого материала были получены после нескольких десятков итераций.

В Таблице 1 приведены характеристики сформированного поглощающего материала, который имеет максимальное поглощение для частоты 920 МГц.

На входе алгоритма мы задаем первичные значения диэлектрических и магнитных проницаемостей. На выходе – итоговые синтезированные значения диэлектрических и магнитных проницаемостей, а также толщин материалов. Было получено пять альтернативных решений, среди которых было отобрано наилучшее, приведенное в Таблице 1.

Другими возможными подходами к решению уравнений распространения электромагнитных волн в материалах является применение методов конечных элементов. К достоинствам указанных методов можно отнести те факты, что высокие порядки аппроксимации достигаются вследствие применения ограниченных шаблонов, также происходит снижение требований к равномерности сетки. Для каждого элемента решение ищут как проекцию на пространство непрерывных базисных функций. Определение неизвестных коэффициентов разложения производят на основе решения системы дискретных уравнений, которая получается, когда умножаются дифференциальные уравнения на пробные функции.

Поглощающие материалы могут использоваться в металло-диэлектрических антеннах [9].

Вывод. В работе рассмотрен подход, позволяющий проводить синтез поглощающего многослойного материала при заданных требованиях к толщине и уровням снижения вторичного рассеянного электромагнитного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чопоров О.Н. Методы анализа значимости показателей при классификационном и прогностическом моделировании / О.Н.Чопоров, А.Н.Чупеев, С.Ю.Брегеда // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 9. С. 92-94.
2. Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения / Я. Е. Львович // Воронеж, 2006, Издательство: Издательство "Кварта" (Воронеж), 415 с.
3. Львович Я.Е. Принятие решений в экспертно-виртуальной среде / Я.Е.Львович, И.Я.Львович // Воронежский ин-т высоких технологий, Российский новый ун-т, Воронежский филиал. Воронеж, 2010, Издательство: ООО "Издательство "Научная книга" (Воронеж), 139 с.
4. Преображенский Ю.П. Оценка эффективности применения системы интеллектуальной поддержки принятия решений / Ю.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2009. № 5. С. 116-119.
5. Пеньков П.В. Экспертные методы улучшения систем управления / П.В.Пеньков // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 108-110.
6. Косилов А.Т. Методы расчета радиолокационных характеристик объектов / А.Т.Косилов, А.П.Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 68-71.
7. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / О.В.Милошенко // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 60-62.
8. Преображенский А.П. Методика прогнозирования радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на дискретных частотах / А.П.Преображенский, О.Н.Чопоров //

Системы управления и информационные технологии. 2004. Т. 14. № 2. С. 98-101.

9. Львович И.Я. Расчет характеристик металлodieлектрических антенн / И.Я. Львович, А.П. Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 11. С. 26-29.

T.V. Glotova

THE APPLICATION OF OPTIMIZATION METHODS FOR THE DESIGN OF ABSORBERS OF ELECTROMAGNETIC WAVES

Voronezh Institute of High Technologies

The paper deals with the use of multi-objective optimization particle swarm optimization for designing of planar multilayered electromagnetic absorbers in the determination of Pareto-optimal solution. During optimal solution presents we determined the compromises between the thickness and reflection coefficient of the absorbers. The developed algorithm for synthesis of absorbing material is simple and quite fast.

Keywords: optimization, modeling, absorbent material, design, electromagnetic wave.