

УДК 537.6: 539 + 530.1.002.2

**А.А. РОДИОНОВ, Н.М. ИГНАТЕНКО, Э.И. ВАТУТИН,
С.Ю. ЧЕВЫЧЕЛОВ**

Курский государственный технический университет

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ
МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ
МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННЫХ СИСТЕМ**

В работе на основе компьютерного моделирования приведено решение задачи оптимизации параметров дисперсных магнитных систем, используемых в качестве активного элемента ультразвуковых излучателей.

Применение упругих колебаний в широком диапазоне частот (инфразвуковые, звуковые, ультразвуковые и гиперзвуковые) в науке, технике и производстве (например, литье металлов, пайка и сварка материалов, дефектоскопия и т.д.) делает актуальной задачу разработки эффективных излучателей упругих колебаний. К числу перспективных излучателей можно отнести излучатель на основе магнитоупорядоченных систем под воздействием на них постоянного и переменного магнитных полей. Такие системы могут быть как жидкими (при диспергировании магнитных частиц в жидкость), так и твердыми (полученными, например, замораживанием или полимеризацией коллоидного неэлектропроводного раствора однодоменных магнитных частиц) [1, 2].

Построенная нами математическая модель [3] позволяет рассчитать амплитуду акустического сигнала, генерируемого переменным магнитным полем в тонкослойном композите, в зависимости от совокупности параметров (амплитуда переменного поля, константа магнитострикции и т.д.). Ввиду громоздкости расчетных формул, многие из которых заданы в неявном виде, аналитическое выражения для расчета амплитуды

акустического сигнала получить затруднительно. Поэтому расчет проводится с использованием разработанной вычислительной программы. В программе имеется возможность построения графических зависимостей амплитуды магнитострикции от одного из параметров, пределы изменения которого задаются.

Анализ графиков зависимостей, полученных при помощи программы, показывает, что существует набор параметров, для которых наблюдается ярко выраженный максимум, например, зависимость от константы анизотропии $\lambda_k(K_1)$ (рис.1).

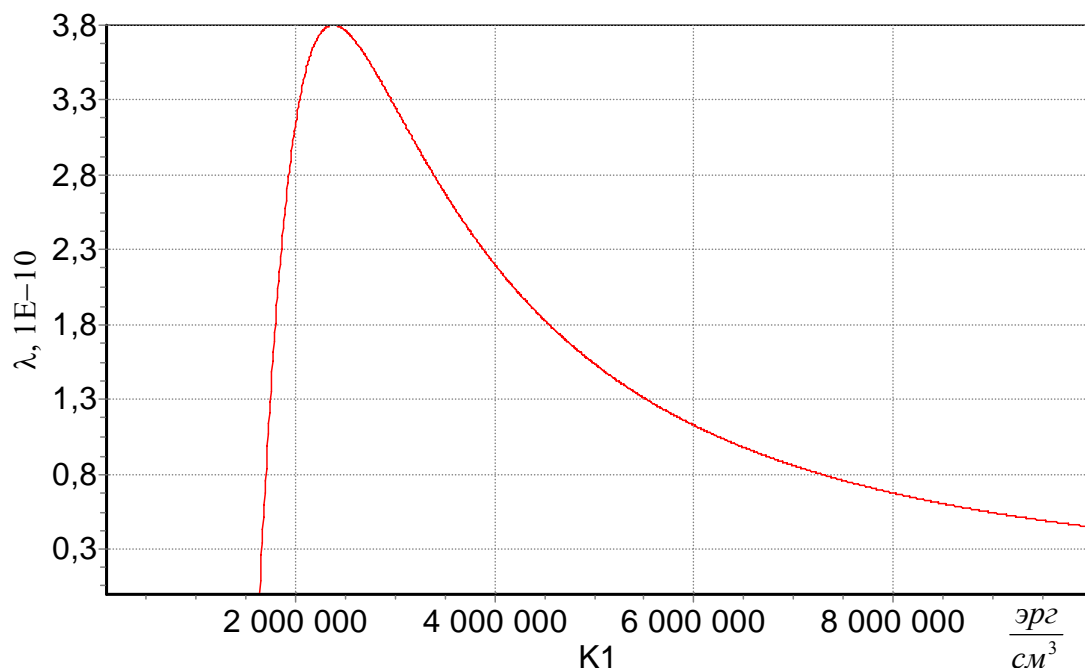


Рис.1

Для создания эффективного излучателя необходимо было решить задачу поиска оптимального сочетания семнадцати параметров, при котором значение амплитуды акустического сигнала будет максимальным. С этой целью разработанная программа [3] была дополнена алгоритмом организации поиска максимума функции (решение задачи многомерной оптимизации) методом деформированного многогранника (Нелдера-Мида) [?].

Суть алгоритма сводится к следующему. Задается начальное приближение, вокруг которого с заданной степенью разброса случайным образом выбирается $N+2$ ($N=17$ – количество параметров функции) вершин многогранника, в каждой из

которых рассчитывается значение функции. Затем на каждой итерации алгоритма из множества точек выбирается такая, в которой значение функции минимально, и отражается симметрично относительно центра многогранника, образуемого оставшимися точками (вершинами). Если новое значение в отраженной точке оказывается меньше старого, то происходит уменьшение расстояния, на которое отражается точка.

Если начальное приближение выбрано вдали от максимума, то сперва происходит движение многогранника в область ближайшего локального максимума. При достижении определенной окрестности максимума происходит уменьшение размеров многогранника и расположение вершин вокруг максимума. Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока изменения значения функции на очередной итерации не станут меньше определенного значения.

Путем выбора начального приближения и степени разброса можно управлять процессом нахождения максимума. Скорость схождения и качество полученного решения существенно зависят от начального расположения вершин многогранника, которое задается случайным образом. При нескольких запусках алгоритма поиска максимума возможно нахождение нескольких локальных максимумов.

В процессе поиска может возникнуть ситуация, когда параметры функции потеряют физический смысл (размер частиц станет отрицательным, константы магнитострикции или анизотропии выйдут за пределы реальных материалов). Чтобы этого избежать, вводится ряд ограничений вида $A_{\min} \leq A \leq A_{\max}$, т.е. задаются пределы изменения всех параметров. Если в процессе вычисления новых координат вершины оказывается, что какая-либо координата выходит за допустимые пределы, то она принимается равной пределу.

В процессе поиска максимума может возникнуть необходимость в изменении только части параметров при неизменных остальных, что также учтено в программе (рис.2).

Рассмотрим результаты работы алгоритма на примерах.

Пример 1. Поиск оптимального сочетания параметров для тонкослойного композита в твердой фазе с магнитной

составляющей на основе кобальта. В качестве изменяющихся параметров выбраны: концентрация φ , поле замораживания H_3 , подмагничивающее поле H_0 , частота сигнала ω . (При поиске максимума игнорируются параметры, изменение которых приводит к пропорциональному изменению сигнала. К таким параметрам можно отнести амплитуду сигнала переменного поля H_m и константу магнитострикции λ_C). В результате компьютерного моделирования получено следующее оптимальное сочетание параметров. Для неизменных параметров $a = 1 \cdot 10^{-6}$ см, $E_M = 2 \cdot 10^{12} \frac{\text{ДИН}}{\text{см}^2}$, $E_{\text{ж}} = 2,8 \cdot 10^{10} \frac{\text{ДИН}}{\text{см}^2}$, $T_3 = 273$ К, $I_S = 1440$ Гс, $K_1 = 4,1 \cdot 10^6 \frac{\text{ЭРГ}}{\text{см}^3}$, $\lambda_C = 126 \cdot 10^{-6}$, $H_m = 0,5$ Э, $\Theta = 800$ К, $T = 270$ К получены оптимальные значения $\varphi = 0,25$, $H_3 = 0,1$ Э, $H_0 = 2300$ Э, $\omega = 1 \cdot 10^5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, соответствующие максимальной амплитуде $\lambda_K = 5,0 \cdot 10^{-9}$ см.

Подобный расчет можно произвести для композитов на основе других магнитных частиц (например, на основе железа).

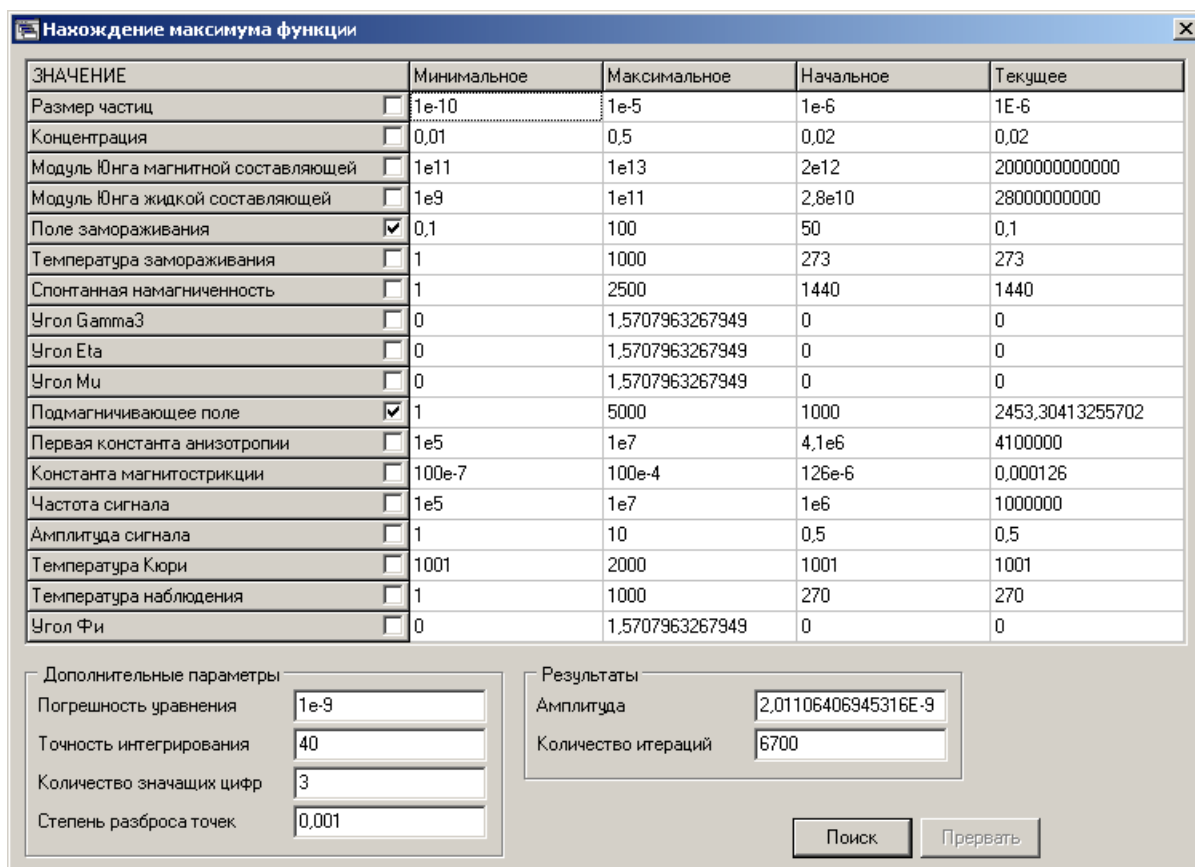


Рис.2

Пример 2. **Выбор материалов для магнитострикционного излучателя с наилучшими характеристиками.** В данном расчете производится изменение всех параметров, за исключением линейноизменяющихся. При этом для выбранных постоянных параметров $\lambda_C = 126 \cdot 10^{-6}$, $H_m = 0,5$ Э, $T = 270$ К получено следующее оптимальное сочетание $a = 2,1 \cdot 10^{-8}$ см, $\varphi = 0,22$, $E_M = 2,6 \cdot 10^{12} \frac{\text{ДИН}}{\text{см}^2}$, $E_{\text{ж}} = 6,4 \cdot 10^{10} \frac{\text{ДИН}}{\text{см}^2}$, $H_3 = 56$ Э, $T_3 = 107$ К, $I_s = 2000$ Гс, $H_0 = 39$ Э, $K_1 = 1,0 \cdot 10^5 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3}$, $\omega = 1,0 \cdot 10^5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, $\Theta = 2000$ К, приводящее к максимальному отклику магнитоупругой системы. Для второго случая амплитуда сигнала $\lambda_K = 1,1 \cdot 10^{-7}$ см.

Из проведенных расчетов видно, что амплитуда акустического сигнала оптимизированных дисперсных магнитных систем превышает амплитуду неоптимизированных

на несколько порядков. Очевидным является и то, что использование в качестве диспергированных магнитных частиц редкоземельных металлов с гигантской магнитострикцией позволит еще на два порядка увеличить амплитуду упругих колебаний излучателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Родионов А.А., Игнатенко Н.М., Петрова Л.П. Генерация упругих волн переменным магнитным полем в магнитоупорядоченных композитах // Сб. научн. тр. 9-й Международ. конф. по магн. жидкостям. Плес, 2000. С. 155–161.
2. Игнатенко Н.М. Дисперсная система магнитных частиц как преобразователь энергии переменного магнитного поля в упругие колебания. Дис.... канд. физ.-мат. наук, Курск. политехн. ин-т., 1984. 162 с.
3. Родионов А.А., Игнатенко Н.М., Ватугин Э.И., Чевычелов С.Ю. Некоторые результаты моделирования процесса генерации упругих волн переменным магнитным полем в магнитоупорядоченных композитах // Рег. сб. научн. тр. “Сварка и родственные технологии в машиностроении и электронике”. Курск, 2002, С. 175–182.