

*Куликова И.В., Галдецкий А.В., Приступчик Н.К.
АО НПП «Исток» им. Шокина»*

Исследование свойств магнитной системы на постоянных магнитах для ленточного высокоперевансного пучка

Исследованы конструктивные особенности создания магнитных систем на постоянных магнитах для высокоперевансных ленточных пучков. С помощью численного эксперимента определены оптимальные соотношения длина-толщина магнитов в зависимости от их расположения в конструкции.

Ключевые слова: Магнитная система, ленточный пучок, численный эксперимент.

Для создания вакуумных СВЧ-приборов на основе ленточных пучков с высоким перевансом, с небольшой плотностью тока с эмиттера (5-10 А/см²) требуется сильная компрессия и для дальнейшего удержания пучка – интенсивное постоянное магнитное поле превышающее Бриллюэновское минимум в 2 раза [1]. Для создания магнитной системы среднемощных вакуумных приборов традиционно используют постоянные магниты [1-3].

Цель работы – исследовать возможность получения больших значений (более 0,4 Тл) магнитного поля на оси прибора и минимизация массогабаритных показателей постоянных магнитов.

Для достижения поставленной цели были разработаны два варианта магнитных систем, представленных на рисунке 1, отличающихся расположением магнитов. На рисунке 1 голубым раскрашены магнитомягкие материалы, а розовым – постоянные магниты. С помощью численного эксперимента были проведены исследования влияния длины магнита – L и толщины магнита – H, на максимальное значение B_z компоненты магнитного поля на оси. Для сокращения времени расчетов решалась двумерная задача и не исследовалось влияние ширины магнитов. На рисунке 2 представлены зависимости максимального значения осевой компоненты магнитного поля от длины и ширины магнитов для двух вариантов конструкции.

Для оценки влияния длины и ширины магнитов на величину магнитного поля предлагается использовать функцию $\psi(L, H) = \frac{\partial^2 B_z}{\partial L \partial H}$, значения которой определяются

численно на основе данных моделирования. Распределение $\psi(L, H)$ представлено на рисунке 3. Изолинии имеют рваные края из-за численного шума, вследствие дискретизации исходных уравнений. На рисунке 3 белая область соответствует отрицательным значениям $\psi(L, H) < 0$, темно-синяя область соответствует $\psi(L, H) = 0$.

Длина и толщина магнитов определяет значение функции $\psi(L, H)$. Если $\psi(L, H) \leq 0$ (на рис. 3 соответствует белой и темно-синей областям) массогабаритные показатели магнитов будут неоптимальными. Область оптимальных значений длины и толщины соответствует желтому цвету на графиках и в зависимости от выбранного варианта расположения магнитов будет иметь разное соотношение.

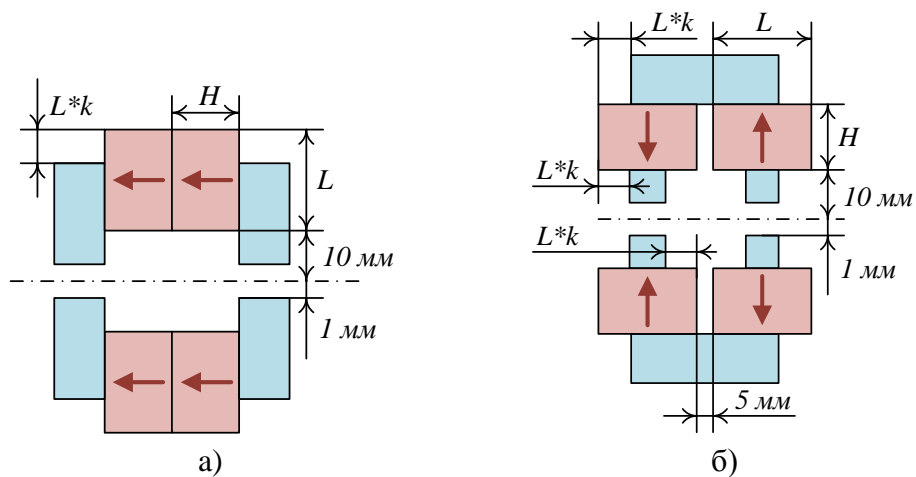


Рис. 1. Конструкции магнитных систем с различным расположением магнитов.

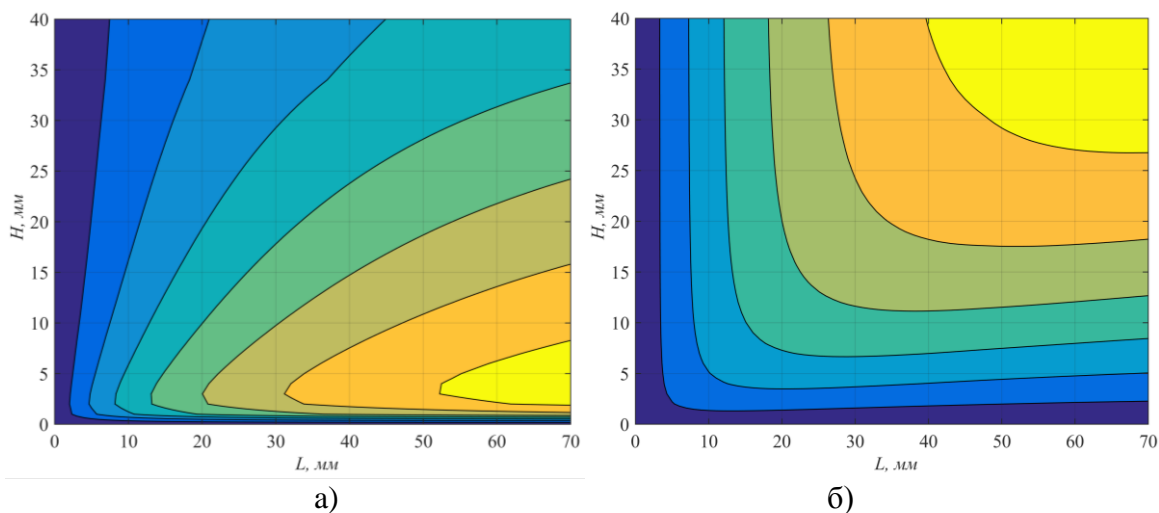


Рис. 2. Зависимость максимального значения B_z от длины и ширины магнитов для различных вариантов конструкции: а) конструкция а, рис. 1; б) конструкция б, рис. 1.

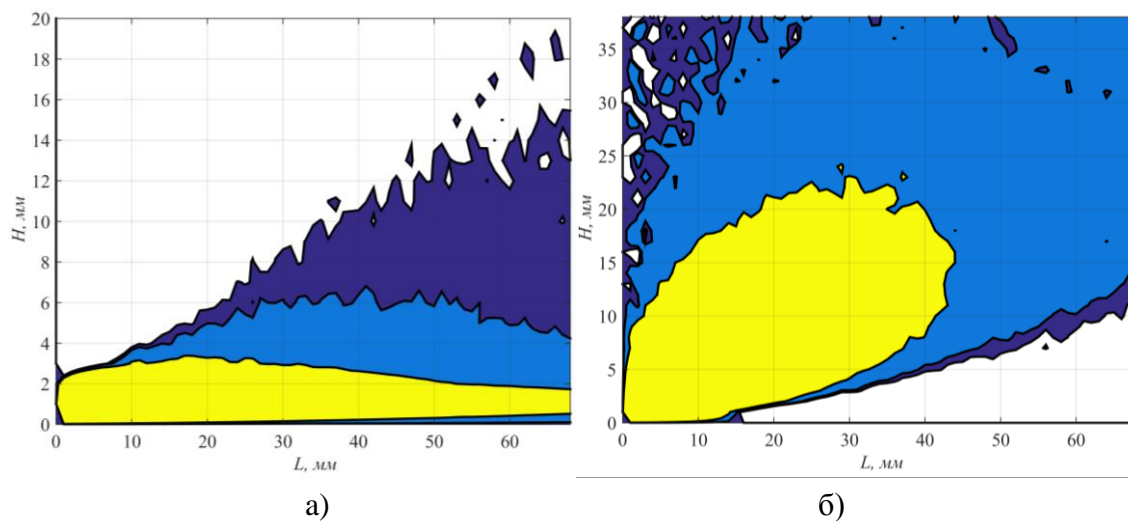


Рис. 3. Зависимость $\psi(L, H) = \frac{\partial^2 B_z}{\partial L \partial H}$ от длины и ширины магнитов для различных вариантов конструкции: а) конструкция а, рис. 1; б) конструкция б, рис. 1.

На рисунке 4 представлены распределение B_z вдоль оси для двух вариантов конструкций при $L = 20$ мм и $H = 5$ мм. Вариант конструкции «б» дал на 4,5% больше магнитное поле поскольку соотношение длина-толщина для конструкции «б» взята оптимальной, в то время как для варианта «а» это соотношение не является таковым, хотя размеры магнитов были одинаковыми. Так же на рисунке 4 приведены два распределения B_z вдоль оси для двух вариантов конструкций при $L = 20$ мм и $H = 5$ мм без магнитопроводов.

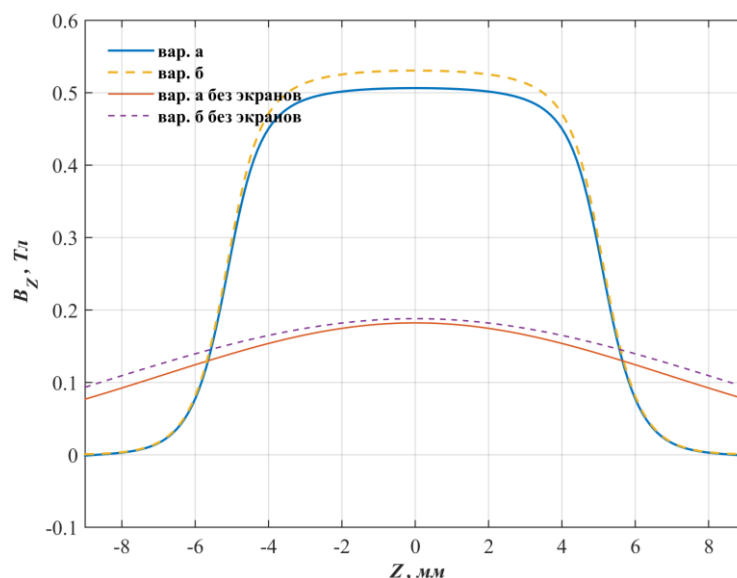


Рис. 4. Зависимость B_z компоненты магнитного поля вдоль канала для различных вариантов расположения постоянных магнитов магнитов ($L = 20$ мм, $H = 5$ мм).

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Для получения максимального значения магнитного поля на оси прибора не имеет значения по какому варианту расположены магниты (вариант «а» или «б»).

2. Оптимальная толщина магнитов для первого варианта конструкции составляет 3 мм для длины менее 10 мм и не может быть больше 5 мм для длины магнита от 15 до 70 мм. При увеличении толщины магнитов более вышеупомянутых значений сначала будет нарастать масса магнитов без увеличения поля (голубая область на графике), а дальнейшее увеличение этого размера приведет к падению максимального значения магнитного поля (белая область на графике).

3. Оптимальная толщина магнитов для второго варианта составляет от 0 до 15 мм для длины менее 15 мм, от 3 до 20 мм для длины магнита от 20 до 30 мм, и от 5 до 25 для длины от 30 до 40. При увеличении длины магнитов более вышеупомянутых значений сначала будет нарастать масса магнитов без увеличения поля (голубая область на графике), а дальнейшее увеличение этого размера приведет к падению максимального значения магнитного поля (белая область на графике).

Библиографический список

1. Гилмор А.С.-мл. Лампы с бегущей волной. – М. Изд-во «Техносфера», 2013. – 616 с.
2. А.Н. Дармаев, С.П. Морев, Э.К. Муравьев. Приближенное решение задачи о приосевом распределении магнитного поля в реверсной магнитной системе с двумя магнитомягкими вставками для мощных вакуумных СВЧ-приборов. Материалы международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АНЭП - 2016. Том 1, Саратов, 2016, С.97-100.
3. Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. – М. Изд-во «Советское радио», 1966. – 456 с.