

СОЛЕНОИД С РАБОЧИМ ДИАМЕТРОМ 110 ММ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ В ПОСТОЯННЫХ ПОЛЯХ С ИНДУКЦИЕЙ 12 Т

Л. П. Максимов, Б. П. Шурухин

УДК 537.538

В статье рассмотрены области применения соленоида, описана конструкция, приведены результаты испытаний.

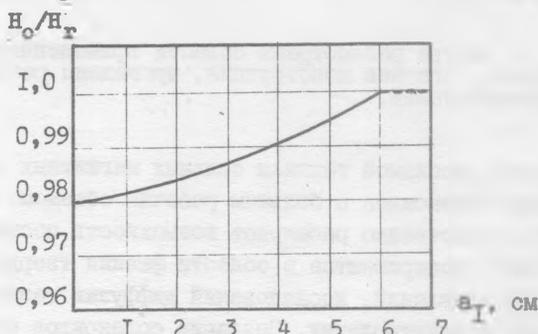
Актуальной проблемой техники сильных магнитных полей является создание соленоидов с большим рабочим объемом. Прогресс в этой области существенно расширяет возможность постановки новых физических экспериментов в области физики твердого тела, физики высоких давлений, исследований диффузии газов в полимерных мембранах и электролитах. Создание соленоидов с индукцией 12 Т в больших объемах открыло перспективы прикладного характера для магнитной сепарации природных минеральных ресурсов и разделения частиц коллоидального размера в больших масштабах и при высоких скоростях потока. Кроме того, соленоиды с высокой индукцией в больших объемах позволят решить задачу по созданию новых типов магнитных систем для уникальных физических исследований в полях 35 Т.

Плотности тока в обмотке соленоида с большим объемом достигают высоких значений, порядка  $0,65 \cdot 10^9$  А/м<sup>2</sup>, при которых взаимосвязь между расположением отверстий охлаждения и распределением тока в диске  $j(r)$  имеет сложный характер и не поддается точному расчету.

Расчет соленоида выполнялся по методу Монтгомери /1/, с использованием более общего подхода, позволяющего точнее определить зависимость поля  $H_0$ , генерируемого в центре соленоида, от потребляемой им мощности  $w$ ,

$$H_0 = G_{(\alpha, \beta)} k k_1 \sqrt{w \lambda / \rho a_1} \quad (1)$$

где  $H_0$  - напряженность поля в центре объема соленоида, А/м;  
 $G(\alpha, \beta)$  - коэффициент эффективности;  $k = (1 + \gamma)/(1 - \gamma)$  -  
 коэффициент, учитывающий охлаждающие отверстия в диске;  $\gamma$  -  
 отношение площади поперечного сечения всех отверстий в диске к  
 площади диска без отверстий;  $w$  - рассеиваемая мощность в соле-  
 ноиде, Вт;  $\lambda$  - осевой коэффициент заполнения, обусловленный  
 наличием изоляции;  $\rho$  - удельное электросопротивление проводни-  
 ка, Ом·м;  $a_I$  - внутренний радиус соленоида, м;  $k_1$  - коэффициент  
 рабочего объема (рис. I).



Р и с. I. Распределение радиальной составляющей магнитного поля  $H_T$  в рабочем объеме соленоида вдоль радиуса  $a_I$

Формула (I) показывает, что при увеличении напряженности магнитного поля  $H_0$  и объема соленоида мощность, рассеиваемая в обмотке, растет гораздо быстрее, чем по известному соотношению Фабри. Для рассмотренного ниже соленоида, если не учитывать коэффициенты  $k$  и  $k_1$ , это отклонение составляет более 12%.

В ФИАНе спроектирован и изготовлен соленоид с рабочим диаметром 110 мм с напряженностью поля 12,5 Т. За основу конструкции соленоида была взята дисковая обмотка с аксиальными отверстиями для охлаждения [2]. Такая обмотка хорошо охлаждается, обладает высокой прочностью и хорошо зарекомендовала себя в процессе эксплуатации и ремонта. Виток катушки соленоида собирается из двух медных дисков. Диски охлаждаются дистиллированной водой, прокачиваемой через аксиальные отверстия диаметром 3 мм. Отверстия в диске располагаются кольцевыми цепочками; расстояние между отверстиями в цепочке пропорционально радиусу. Для сборки обмотки

в спираль в каждом диске вырезается сектор  $33^\circ$ . При сборке всей обмотки соленоида каждый последующий диск поворачивается относительно предыдущего на угол  $33^\circ$ , образуя таким образом непрерывную спираль. В качестве изоляции между витками прокладывается стеклоткань, пропитанная полиамидным лаком (СИПН-2), толщиной 0,1 мм с аналогичными кольцевыми цепочками отверстий для протока воды. Все узлы соленоида изготовлены из стали Х18Н10Т, кроме силовых узлов, которые изготовлены из бронзы БР-Б2 с последующей закалкой. Результаты испытаний соленоида с большим рабочим объемом показали его экономичность и высокую надежность. Рабочие характеристики описываемого соленоида приведены в таблице, а распределение радиальной составляющей магнитного поля в рабочем объеме показано на рис. 1. Авторы благодарны Е. Н. Большакову за помощь в конструировании соленоида.

Таблица

№	Наименование	Обозначение	Величина
1.	Индукция магнитного поля	$H_0$	12,5 Т
2.	Рабочий диаметр соленоида	$2a_1$	110 мм
3.	Мощность, потребляемая соленоидом	$w$	$4,47 \cdot 10^3$ Вт
4.	Ток, потребляемый соленоидом	$I$	$19,2 \cdot 10^3$ А
5.	Перепад температуры охлаждающей воды	$\Delta t^\circ$	20,5 $^\circ\text{C}$
6.	Расход воды при перепаде давления 8 атм.	$Q$	248 м <sup>3</sup> /час
7.	Отношение внешнего радиуса к внутреннему	$\alpha$	3,47
8.	Отношение полудлины катушки к внутреннему радиусу	$\beta$	0,942
9.	Число витков	$n$	150
10.	Толщина витка обмотки	$t$	1,5 мм

Поступила в редакцию  
19 ноября 1979 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Д. Монтгомери. Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов, Изд-во "Мир", 1971 г.
2. Л. П. Максимов, Б. П. Шурухин, Краткие сообщения по физике ФИАН № 9, 35 (1972).