

ДИПОЛЬНЫЙ МАГНИТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ УСКОРИТЕЛЯ «ЭПОС»

*И.С. Гук, А.Н. Довбня, С.Г. Кононенко, В.Н. Лященко, А.О. Мыцыков, В.П. Ромасько,
А.С. Тарасенко, В.Н. Щербинин*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Украина, Харьков*

E-mail: guk@kipt.kharkov.ua

Разработан и изготовлен дипольный магнит для системы энергетического фильтра ускорителя «ЭПОС». Магнит имеет С-образную конструкцию с прямоугольными срезами. Измерено распределение поля в медианной плоскости магнита. Эффективная длина магнита при работе в режиме фильтра равна 133,79 мм.

1. ВВЕДЕНИЕ

Для работы в составе энергетического фильтра на выходе технологического ускорителя «ЭПОС» [1] необходимо было разработать дипольный магнит с максимальным полем 0,1 Тл, способный работать в условиях повышенного радиационного фона. Поскольку угол поворота частиц в магните в рабочем диапазоне энергий ускорителя 20...35 МэВ составляет не более 0,05 рад, для разработки была принята С-образная конструкция магнитопровода с прямоугольными срезами, как наиболее технологичная в изготовлении. Для упрощения обслуживания обмотка магнита должна была охлаждаться за счет естественной циркуляции воздуха. С целью уменьшения тока в обмотке, её конструкция была выбрана многовитковой. Поскольку на выходе ускорителя установлен коллиматор диаметром 15 мм, зазор между полюсами был выбран равным 25 мм. В такой геометрии магнита потери частиц в вакуумной камере минимальны. Параметры магнита выбирались согласно описанной ранее в работе [2] методике.

Разработка рабочей документации магнита проводилась с помощью пакета объёмного проектирования AutoCAD [3]. Общий вид спроектированного магнита с подставкой, позволяющей корректировать его положение по отношению к оси пучка, представлен на Рис.1.

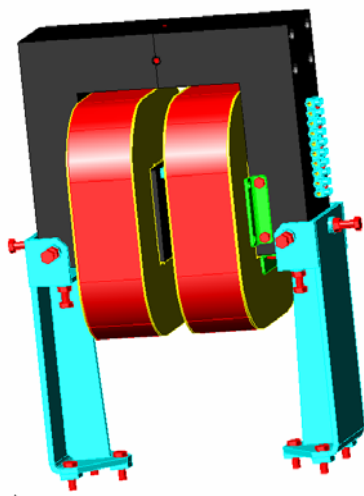


Рис.1. Рабочий проект магнита

Общий вид катушек магнита приведен на Рис.2. Каркас катушек изготовлен из латуни. Для намотки

катушек использована медная проволока круглого сечения диаметром 1,57 мм. Эмалевая изоляция провода покрыта двумя слоями стекловолкнистой намотки с пропиткой термостойким лаком. Такая изоляция сохраняет свои свойства до температуры 180°C. Каждая катушка содержит 1140 витков с отводом от 700-го витка. Полное сопротивление обмотки – 3,45 Ом (700 витков – 2,75 Ом). Рабочими являются 700 витков катушки, остальная часть намотки – резервная.

В процессе эксплуатации магнита на установке в рабочем режиме температура обмотки не превышала температуру окружающего воздуха более чем на 15°C.



Рис.2. Намотанные катушки магнита

Ярмо магнита изготовлено из железа АРМКО. Оно собрано из двух половинок с помощью болтов, что позволяет надеть катушки на полюсные наконечники сечением 100×100 мм.

Общий вид изготовленного магнита, установленного на выходе ускорителя «ЭПОС», представлен на Рис.3.

Вакуумная камера магнита изготовлена из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ

С помощью матриц датчиков Холла были проведены измерения топографии магнитного поля в медианной плоскости магнита. На Рис.4 представлено измеренное распределение для величины индукции поля 0,05 Тл, близкой к выбранному рабочему значению поля в фильтре. Представленные на рисунке данные привязаны к физическим границам полюсов

магнита. Привязка поперек движения пучка осуществлялась к внутреннему краю магнита.

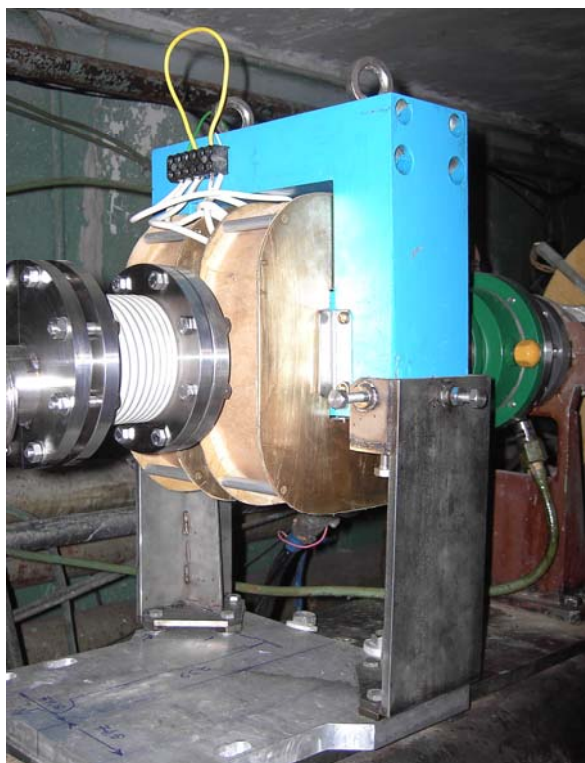


Рис.3. Магнит в бункере ускорителя «ЭПОС»

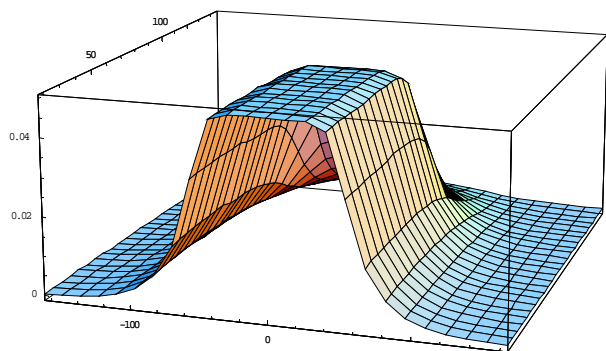


Рис.4. Распределение магнитного поля в медианной плоскости магнита для поля в магните 0,05 Тл. Вертикальная ось – поле (Тл); горизонтальная ось – расстояние от центра полюса вдоль пучка (мм)

Измерения проводились матрицей из семи датчиков, которая передвигалась вдоль оси движения пучка в магните. Расстояние между датчиками в матрице было близким к 6 мм, расстояние между точками измерения вдоль движения матрицы изменялось от 3 до 5 мм. Относительная погрешность измерений была не хуже 0,01 %.

Для уменьшения усилий на ярмо на внутреннем срезе полюсного наконечника была установлена проставка из немагнитного материала, которая ограничивала область измерений внутри магнита.

На Рис.5 представлено измеренное распределение поля вдоль середины магнитных полюсов магнита, а на Рис.6 – распределение поля поперёк этой линии.

Интегрирование экспериментально полученных распределений вдоль центральной линии позволяет определить эффективную длину магнита. Эта величина, как и моделирование движения частиц вдоль

траектории пучка с учётом реального распределения поля (см. Рис.4), позволяет рассчитать параметры пучка на выходе фильтра. Для данных, представленных на Рис.5, она равна $L_{эфф.} = (133,8 \pm 0,5)$ мм.

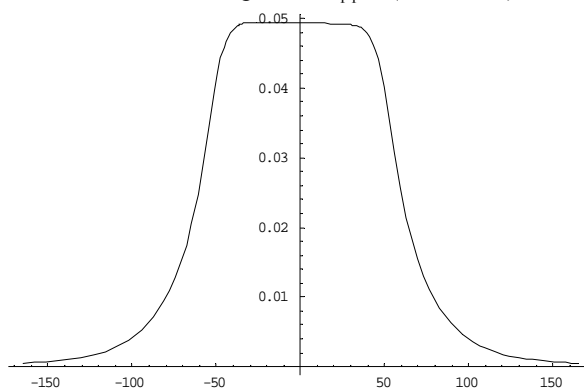


Рис.5. Распределение магнитного поля вдоль центральной линии магнита. Вертикальная ось – поле (Тл); горизонтальная ось – расстояние от центра полюса (мм)

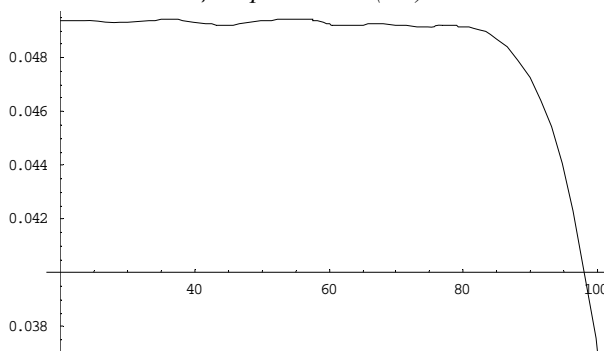


Рис.6. Распределение магнитного поля перпендикулярно центральной линии магнита

Как видно из Рис.6, распределение поля поперек движения электронов в магните достаточно однородно. При изменении координаты пучка на ± 10 мм от центральной линии в магните поле изменяется менее чем на 0,25 %.

Для измерения кривых намагничивания использовались 2 обмотки по 700 витков на полюс. Измерения величины поля проводились с помощью датчика Холла, прокалиброванного по датчику ЯМР с точностью не хуже 0,1 %. Кривая намагничивания при изменении величины тока в обмотке от 0 до 3 А приведена на Рис.7.

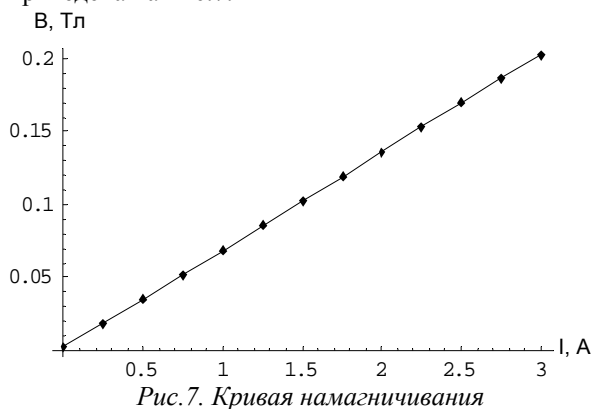


Рис.7. Кривая намагничивания

Приведенная на Рис.7 кривая с точностью $\pm 0,5$ % может быть аппроксимирована зависимостью:

$$B[\text{Тл}] = 0,0017 + I[\text{А}] \times 0,067.$$

Для получения стабильных результатов при изменении поля в магните использовалась следующая процедура размагничивания: ток в обмотке медленно увеличивался от 0 до 3 А, а затем с той же скоростью уменьшался до 0. Цикл намагничивания-размагничивания повторялся несколько раз.

В процессе измерений было исследовано влияние вакуумной камеры на распределение поля в магните. Измерения проводились с помощью перемещения 2-х датчиков Холла вдоль одной и той же траектории (вдоль по пучку) в одном и том же поле для 2-х случаев. В первом случае измерялось распределение поля без вакуумной камеры. Во втором случае измерялось распределение поля с вакуумной камерой. Величина показаний датчиков уменьшалась не более чем на 0,5 %, эффективная длина магнита изменялась также не более чем на 0,5 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный и изготовленный магнит полностью отвечает требованиям работы в составе энергетического фильтра для ускорителя «ЭПОС». После установки на ускоритель он отработал более 1300 часов в условиях высоких радиационных полей. Охлаждение обмотки за счет естественной циркуляции воздуха оказалось эффективным.

Использованный для питания обмоток стабилизированный источник тока обеспечивает долговременную (в течение 400 и более часов) стабильность поля в магните лучше 0,05 % [4]. Диапазон измене-

ния тока в этом источнике позволяет получать в магните поле с индукцией до 0,2 Тл. Это расширяет возможности использования магнита также и для работ по исследованию характеристик пучка на выходе ускорителя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. M.I. Ayzatskiy, V.N. Boriskin, A.M. Dovbnya, V.A. Kushnir, V.A. Popenko, V.A. Shendrik, Yu.D. Tur, A.I. Zykov. THE NSC KIPT electron linacs - R&D // *Problems of Atomic Science and Technology. Series "Nuclear Physics Investigations"* (33). 2003, №2, p.19-25.
2. И.С. Гук, А.Н. Довбня, Г.Г. Ковалёв, С.Г. Кононенко, А.О. Мыщыков, Ф.А. Пеев. Эскизный проект электромагнитной системы рециркулятора SALO // *Вісник Харківського університету, №784. Серія фізична «Ядра, частинки, поля»*, в.4/36/, 2007, с.3-14.
3. <http://www.autodesk.ru/adsk/servlet/pc/index?siteID=871736&id=14626749>
4. V.N. Boriskin, A.N. Savchenko, A.A. Sarvilov, D.L. Stepin, G.N. Tsebenko, A.S. Chepurinov, I.V. Gribov. CANopen Connected Power Supply Control Systems for the Electron Linacs // *Proceedings of RuPAC-2010*, Protvino, Russia, p.266-268.

Статья поступила в редакцию 25.09.2011 г.

THE DIPOLE MAGNET OF THE ENERGY FILTER FOR ACCELERATOR "EPOS"

I.S. Guk, A.N. Dovbnja, S.G. Kononenko, V.N. Ljashchenko, A.O. Mytsykov, V.P. Romas'ko, A.S. Tarasenko, V.N. Scherbinin

The dipole magnet for system of the energy filter for acelerator "EPOS" is designed. and manufactured. The magnet has the C-shaped design with rectangular pole-faces. Measured field distribution in the median plane of the magnet. The effective magnet length at operating in energy filter mode is equal 133.79 mm.

ДИПОЛЬНИЙ МАГНІТ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ФІЛЬТРА ДЛЯ ПРИСКОРЮВАЧА «ЭПОС»

I.S. Guk, A.M. Dovbnja, S.G. Kononenko, V.M. Ljashchenko, A.O. Mytsykov, V.P. Romas'ko, O.S. Tarasenko, V.M. Scherbinin

Розроблений та виготовлений дипольний магніт для системи енергетичного фільтра прискорювача «ЭПОС». Магніт має С-твірну конструкцію з прямокутними зрізами. Проведено виміри розподілу поля в медіанній площині магніту. Ефективна довжина магніту при використанні в режимі фільтра дорівнює 133,79 мм.