

И. Г. Игнатъев, М. И. Захарец, С. В. Колинько, Д. П. Шульга

Институт прикладной физики НАН Украины, Сумы

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ ПОДАВЛЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ПУЧКА ИОНОВ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ

Представлены результаты экспериментального исследования профиля и эмиттанса пучка ионов электростатического ускорителя «Сокол» до и после оснащения магнитной системой подавления радиационного излучения.

Ключевые слова: пучок ионов, эмиттанс, электростатический ускоритель.

Введение

В работах [1 - 3] был предложен способ подавления радиационного излучения электростатических ускорителей (ЭСУ) ионов мегаэлектронвольтовых энергий. Способ основан на размещении вдоль ускоряющей трубки (УТ) системы постоянных магнитов. Направление магнитного поля изменяется по длине УТ по периодическому закону, сильно влияя на траектории электронов, что приводит к оседанию их на электродах УТ.

Способ был внедрен на ЭСУ «Сокол», входящем в состав аналитического ускорительного комплекса (АУК) Института прикладной физики НАН Украины [2]. В результате мощность дозы тормозного излучения понизилась почти на два порядка (при энергии ионов H^+ 1 МэВ), что позволило обеспечить работу персонала категории А на каналах АУК при включенном ускорителе.

Однако уже предварительные численные и аналитические расчеты показали, что на выходе из УТ при энергии пучка протонов 1 МэВ магниты отклоняют его от оптической оси на расстояние 1 мм [3]. Несмотря на то, что этот эффект не оказывает значительного воздействия на режим работы ЭСУ [2], он является одним из важных факторов, определяющим его ионно-оптические характеристики.

Целью работы является экспериментальное исследование влияния магнитной системы подавления радиационного излучения на ионно-оптические характеристики пучка ионов. Это вызвано необходимостью оптимизировать динамику пучка в каналах АУК (используя эмиттанс и профили пучка на выходе из УТ) и выработать меры по коррекции отклонения пучка от оптической оси.

Эмиттансометр и схема эксперимента

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Пучок ионов H^+ создается высокочастотным источником 1. Энергия пучка в

точке входа в УТ 2 ($z = 0$) составляет $E_0 = 8,5$ кэВ. На выходе из УТ в точке $Z_0 = 266$ см (вход в измеритель эмиттанса и профиля пучка 3) энергия $E = 1000$ кэВ. Вдоль УТ размещены постоянные магниты 4, создающие на оптической оси OZ поперечное отклоняющее магнитное поле B_x . Таким образом, заряженные частицы движутся в скрещенных магнитном B_x и электрическом E_z полях ускоряющей трубки.

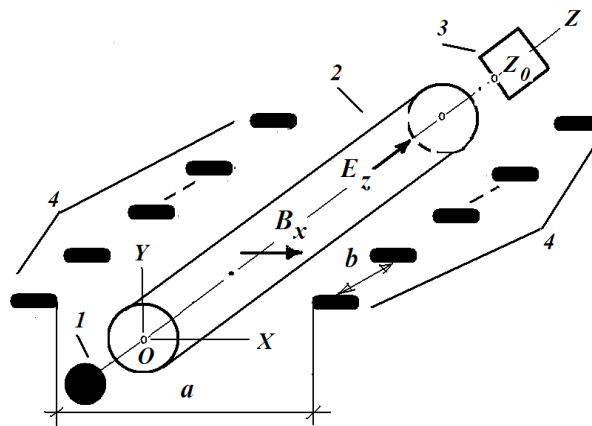


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения профиля и эмиттанса пучка ионов ЭСУ «Сокол».

Магнитная система и ее характеристики детально описаны в работах [2, 4].

Распределение индукции магнитного поля, измеренное при помощи гаусс-тесламетра FH-54, представлено на рис. 2.

Для определения ионно-оптических характеристик пучка использовался прибор, созданный в ИПФ НАН Украины. Схема измерителя профиля и эмиттанса пучка (эмиттансометра) представлена на рис. 3. Часть тока ионного пучка, прошедшая через перемещаемую диафрагму (щель) 1, измеряется при помощи проволочного зонда 2. Эмиттанс вычисляется по положениям щели диафрагмы и зонда, которые определяют угловые и пространственные параметры пучка ионов. Перед камерой находится осевой шарикоподшипник 3, позволяющий повернуть систему на 90 градусов для

перехода к измерениям от координаты X к координате Y . Перемещение диафрагмы и проволочного зонда обеспечивается шаговыми двигателями 4 посредством червячной передачи 5. За камерой с проволочным зондом установлен цилиндр Фарадея 6, служащий для измерения тока пучка ионов. Методика определения эмиттанса и профиля пучка описана в работах [5 - 7].

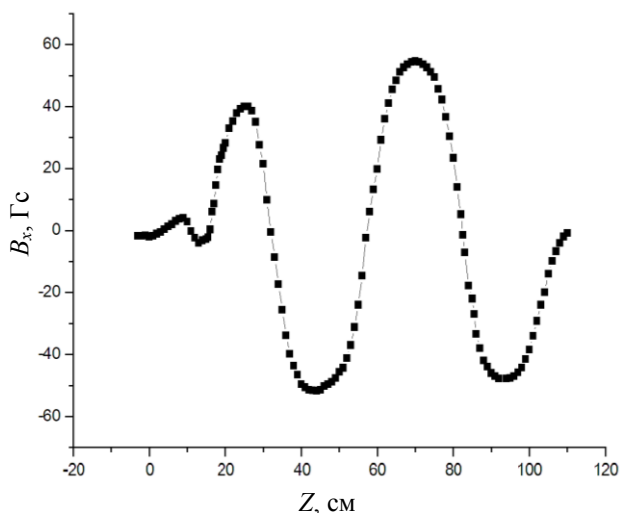


Рис. 2. Распределение индукции магнитного поля по оси УТ, $z = 110$ см соответствует концу УТ.

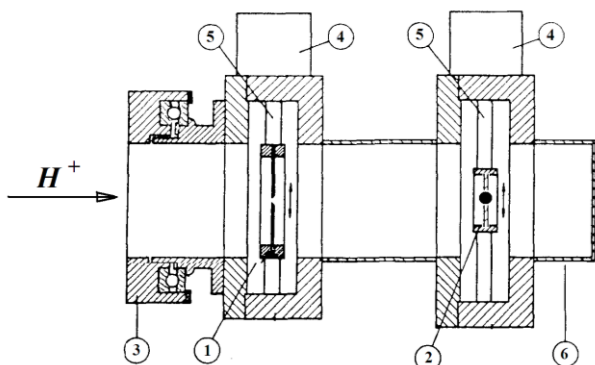


Рис. 3. Схема эмиттансометра.

Измерение профиля и эмиттанса пучка ЭСУ «Сокол»

Профиль пучка определялся по оси Y (рис. 4), эмиттанс – как проекция фазового объема на фазовую плоскость (Y, Y') (рис. 5). Из рис. 4 видно, что под действием магнитов происходит разделение пучка ионов H^+ по массам на компоненты H_1^+ , H_2^+ и H_3^+ .

Исходными данными для определения эмиттанса являются двумерные распределения интенсивности пучка по координате Y и углу $Y' = Y'_z$.

Проведенные исследования показывают, что магнитная система подавления радиационного излучения ускоряющей трубки ЭСУ существенно влияет на ионно-оптические характеристики пучка ионов, что вызвано сепарацией ионов по массе. Прежде всего, это изменение профиля пучка (состоящее в разделении его по массам 1 - 3 а.е.м) и его фазового портрета (сдвиг и изменение формы).

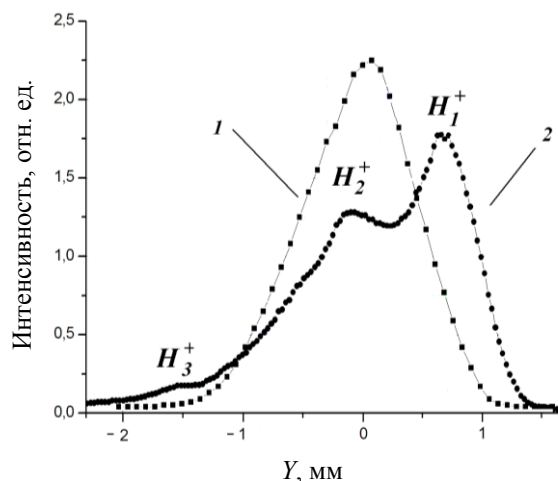


Рис. 4. Профили пучка ионов: 1 – до установки магнитов; 2 – после установки магнитов.

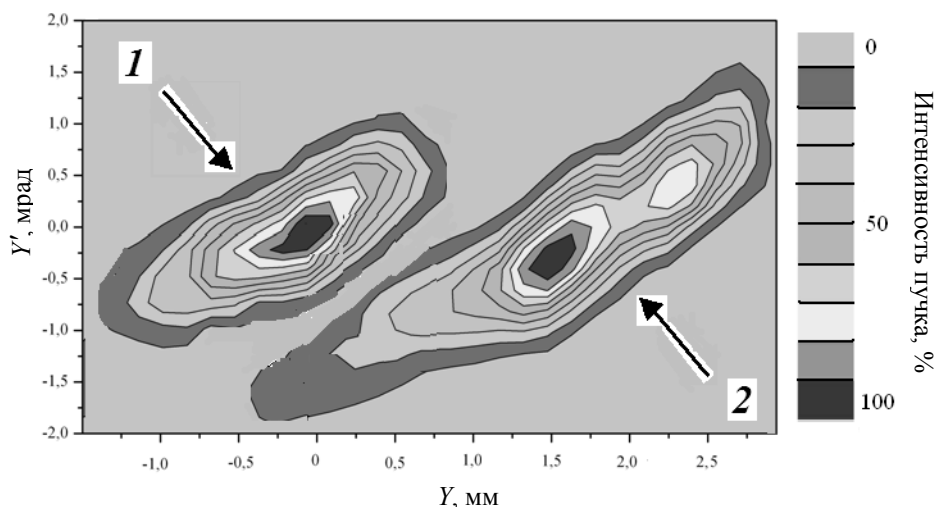


Рис. 5. Эмиттанс пучка ионов на выходе из ЭСУ «Сокол»: 1 – без магнитной системы радиационной защиты; 2 – с магнитной системой.

На ЭСУ «Сокол» сдвиг пучка устраняется за счет электромагнитного корректора [8]. Ионы H_2^+ и H_3^+ удаляются из ускорительного тракта поворотным (анализирующим) магнитом. Таким образом, устраняется негативное влияние системы подавления на параметры пучка ионов.

Изменение эмиттанса пучка необходимо контролировать для исключения рассогласования с акцептансом системы.

В настоящее время полученные результаты используются для оптимизации систем проводки пучка ионов по каналам АУК ИПФ НАН Украи-

ны. Данные, представленные на рис. 5, позволяют определить начальные условия движения ионов (координаты, углы). Из рис. 4 методом аппроксимационного разделения пиков (<http://www.netzsch-thermal-analysis.com>) определяется массовый состав пучка в каждой точке Y плоскости $z = z_0$ (см. рис. 1).

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИПФ НАН Украины В. И. Возному, А. А. Дрозденко, В. З. Кацера, М. В. Козину, Н. М. Марченко, А. Г. Пономареву за помощь и внимание к работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 89995 Україна, МПК⁽⁵¹⁾ (2009) H 05 H5/00, H 01 J37/08, G 21 F7/00. Спосіб заглушення радіаційного випромінювання у прискорювальній трубці прискорювача іонів прямої дії / І. Г. Ігнат'єв, А. І. Михайліченко, В. І. Мирошніченко, В. Ю. Сторишко / Заявник і власник Інститут прикладної фізики НАН України. - № 165250 А 2007; заявл. 12.12.2007; опубл. 25.03.2010. - Бюл. № 6. - 3 с.
2. Ігнат'єв І.Г., Мирошніченко В.І., Сиренко А.М., Сторишко В.Е. Подавлення рентгеновського випромінювання ускорителя іонів на 2 МэВ // Ядерна фізика та енергетика. - 2008. - № 3 (25). - С. 90 - 93.
3. Ігнат'єв І.Г., Мирошніченко В.І., Сторишко В.Е., Сиренко А.М. Система подавлення радіаційного випромінювання малогабаритного ускорителя іонів на 2 МэВ // Тр. Междунар. совещ. «Микро- и нанотехнологии с использованием пучков ионов, ускоренных до малых и средних энергий» (Обнинск, 16 - 18 октября 2007 г.). - Обнинск: ФЭИ, 2007. - С. 71.
4. <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/rupac2012/html/auth0261.htm>
5. Брагин С.Е., Володкевич О.М., Гайдаш В.А. и др. Измерения эмиттанса пучка на канале инжекции ионов H^- линейного ускорителя ИЯИ РАН // Вопросы атомной науки и техники. - 2012. - № 3(79). - С. 58 - 62.
6. Возный В.И., Мирошніченко В.І., Мордик С.Н. и др. Экспериментальная установка для тестирования источников ионов // Вопросы атомной науки и техники, серия (3). - 2003. - № 4. - С. 284 - 287.
7. Ігнат'єв І.Г., Захарець М.І., Колінько С.В., Шульга Д.П. Измерение эмиттанса пучка ионов электростатического ускорителя // Нано- и электронная физика. - 2014. - Т. 6, № 1. - С. 01026-1 - 01026-3.
8. Дрозденко А.А., Пономарев А.Г., Сторишко В.Е. Аналитический ускорительный комплекс ИПФ НАН Украины // Тр. ІХХ Междунар. конф. по электростатическим ускорителям и пучковым технологиям (Обнинск, 13 - 15 ноября 2012 г.). - Обнинск: ФЭИ, 2014. - С. 136 - 142.

І. Г. Ігнат'єв, М. І. Захарець, С. В. Колінько, Д. П. Шульга

Інститут прикладної фізики НАН України, Суми

ВПЛИВ СИСТЕМИ ЗМЕНШЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ПАРАМЕТРИ ПУЧКА ІОНІВ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПРИСКОРЮВАЧА

Представлено результати експериментального дослідження профілю пучка і емітанса електростатичного прискорювача «Сокол» до і після оснащення магнітною системою зменшення рентгеновського випромінювання.

Ключові слова: пучок іонів, емітанс, електростатичний прискорювач.

I. G. Ignat'ev, M. I. Zakharets, S. V. Kolinko, D. P. Shulha

Institute of Applied Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Sumy

EFFECT OF X-RAY SUPPRESSION SYSTEM UPON PARAMETERS OF ELECTROSTATIC ACCELERATOR ION BEAM

Experimental study results are presented for a beam profile and emittance of an electrostatic accelerator "Sokol" before and after being equipped with magnet X-ray suppression system.

Keywords: ion beam, emittance, electrostatic accelerator.

REFERENCES

1. *Patent for invention № 89995 Ukraine, MPK⁽⁵¹⁾ (2009) H 05 H5/00, H 01 J37/08, G 21 F7/00. Method of ionizing radiation suppression in the accelerating tube of the direct action ion accelerator / I. G. Ignat'yev, A. I. Mykhailichenko, V. I. Myroshnichenko, V. Yu. Storizhko / The applicant and the owner - Institute of Applied Physics, National Academy of Sciences of Ukraine. - № 165250 A 2007; announced 12.12.2007; publ. 25.03.2010. - Bul. No. 6. - 3 p. (Ukr)*
2. *Ignat'ev I.G., Miroshnichenko V.I., Sirenko A.M., Storizhko V.E. // Nucl. Phys. At. Energy. - 2008. - № 3 (25). - P. 90 - 93. (Rus)*
3. *Ignat'ev I.G., Miroshnichenko V.I., Storizhko V.E., Sirenko A.M. // Tr. Mezhdunar. soveshchaniya «Mikro- i nanotekhnologii s ispol'zovaniem puchkov ionov, uskorenykh do malykh i srednikh energij» (Obninsk, 16 - 18 Oct. 2007). - Obninsk: IPPE, 2007. - P. 71. (Rus)*
4. *<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/rupac2012/html/auth0261.htm>*
5. *Bragin S.E., Volodkevich O.M., Gajdash V.A. et al. // Voprosy atomnoj nauki i tekhniki. - 2012. - No. 3(79). - P. 58 - 62. (Rus)*
6. *Voznyj V.I., Miroshnichenko V.I., Mordik S.N. et al. // Voprosy atomnoj nauki i tekhniki, seriya (3). - 2003. - No. 4. - P. 284 - 287. (Rus)*
7. *Ignat'ev I.G., Zakharets M.I., Kolin'ko S.V., Shul'ga D.P. // Nano- i elektronnyaya fizika. - 2014. - Vol. 6, No. 1. - P. 01026-1 - 01026-3. (Rus)*
8. *Drozdenko A.A., Ponomarev A.G., Storizhko V.E. // Tr. IXX Mezhdunar. konf. po elektrostatcheskim uskoritelyam i puchkovym tekhnologiyam (Obninsk, 13 - 15 November 2012). - Obninsk: IPPE, 2014. - P. 136 - 142. (Rus)*

Надійшла 09.09.2014
Received 09.09.2014