

# МАГНИТООПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕЦИРКУЛЯТОРА SALO С НЕПРЕРЫВНОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ ЭНЕРГИИ В ДИАПАЗОНЕ 60...740 МэВ

*И.С. Гук, С.Г. Кононенко, Ф.А. Пеев, А.С. Тарасенко*

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

*Харьков, Украина*

*E-mail: ast@kipt.kharkov.ua*

Приведены параметры магнитооптической системы рециркулятора SALO с плавной регулировкой энергии в диапазоне 60...740 МэВ, что достигается регулировкой энергии инжекции в диапазоне 7...20 МэВ. Приведены результаты оптимизации магнитооптической системы первого и второго кольца рециркуляции. Рассчитаны огибающие пучка на тракте инжекции, первом, втором кольце рециркуляции и при прохождении ускоряющей секции. Приводятся фазовые портреты пучка вдоль траектории движения и энергетический разброс на входе каналов транспортировки.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всего времени разработки установки SALO было рассмотрено несколько вариантов магнитооптической системы рециркулятора [1,2]. Это было связано как с изменением некоторых основополагающих требований к установке, так и с уточнением технических и технологических возможностей при производстве ускоряющей структуры. К настоящему времени основные параметры МОС выбраны [3], разработаны эскизные проекты магнитных элементов и основные усилия направлены на совершенствование этой структуры с целью получения на входе каналов транспортировки пучков электронов с наилучшими параметрами.

Общий вид установки вместе с возможными каналами транспортировки представлен на Рис.1.



Рис.1. Общий вид комплекса.

*A, B, C, D, E – каналы вывода пучка на экспериментальные станции для работ с электронами*

С целью улучшения параметров пучка на всех этапах ускорения была проведена оптимизация магнитооптической системы первого и второго кольца рециркуляции. Особое внимание было уделено второму обороту, поскольку выбранная ранее структура имела большое значение вертикальной бета-функции и большую частотную производную дисперсионной функции [4]. Вариация геометрии структуры этого кольца позволила не только существенно улучшить фокусировку пучка, но и отказаться от сильных квадрупольных элементов, которые были введены в структуру для уменьшения огибающей на этом участке. Функции фокусировки и дисперсионная функция для второго кольца представлены на Рис.2 и 3.

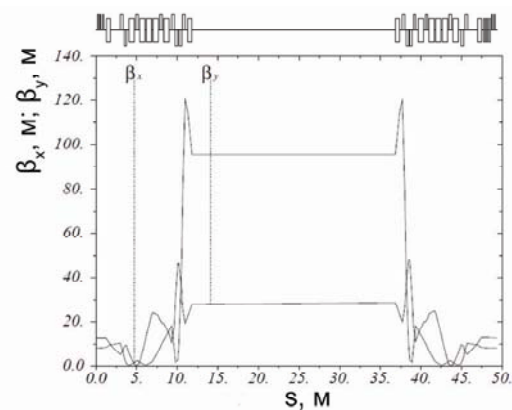


Рис.2. Амплитудные  $\beta_x$ - и  $\beta_y$ -функции фокусировки для второго кольца

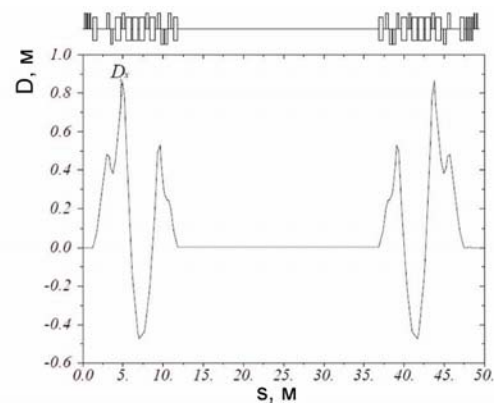


Рис.3. Дисперсионная функция фокусировки  $D_x$  для второго кольца

## 2. ВЫВОД ПУЧКА В ДИАПАЗОНЕ 60...260 МэВ

Вывод пучка в диапазоне 60...260 МэВ может быть осуществлен в каналы A,B,C,D,E путём регулировки параметров ускоряющей структуры (максимальный градиент ускоряющего поля принят равным 20 МэВ/м). Минимальная энергия, которую возможно вывести при этом, определяется требуемой стабильностью поля в магнитных элементах и по оценкам соответствует 60 МэВ. Для получения наилучших параметров на выходе ускоряющей структуры энергия инжекции должна быть максимальной, 20 МэВ [5].

Расчеты динамики пучка проводились с использованием программы MAD-X [6], которая позволяет учитывать продольную фазировку и поперечную фокусировку частиц при прохождении ускоряющих секций. Моделирование велось путём трекинга отдельных частиц через структуру. Начальное распределение частиц в шестимерном фазовом пространстве подчинялось нормальному закону. Общее число частиц при моделировании равнялось 500.

На Рис.4-6 представлены фазовые портреты пучка и энергетический разброс для энергии 60 МэВ. Аналогичные данные для энергии 260 МэВ представлены на Рис.7-9. В расчётах использовались параметры пучка на выходе источника неполяризованных электронов [2].

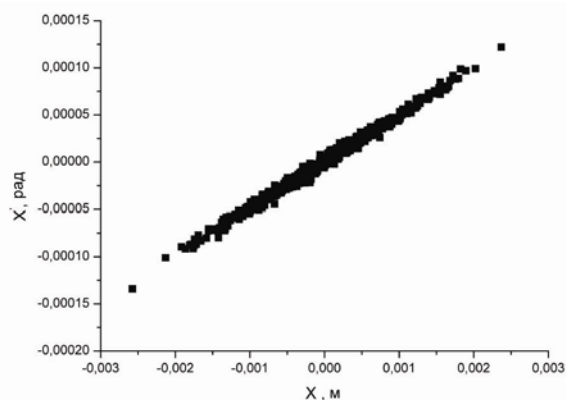


Рис.4. Фазовый портрет пучка на плоскости  $x', x$ ; энергия 60 МэВ

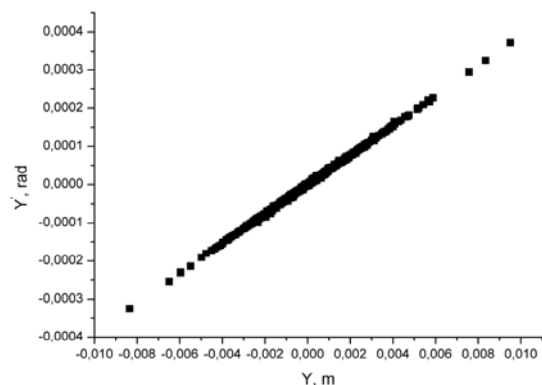


Рис.5. Фазовый портрет пучка на плоскости  $y', y$ ; энергия 60 МэВ

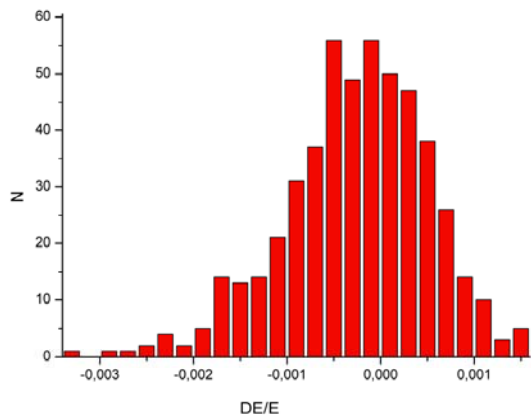


Рис.6. Энергетический разброс пучка; энергия 60 МэВ

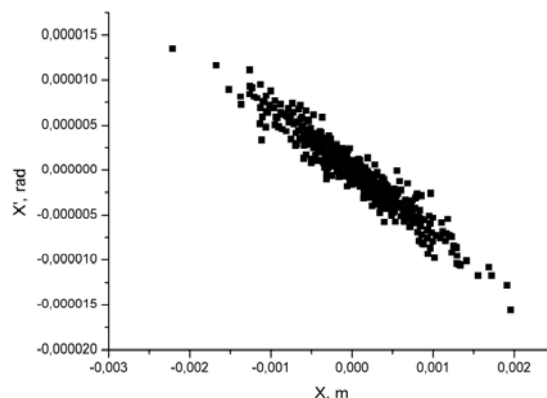


Рис.7. Фазовый портрет пучка на плоскости  $x', x$ ; энергия 260 МэВ

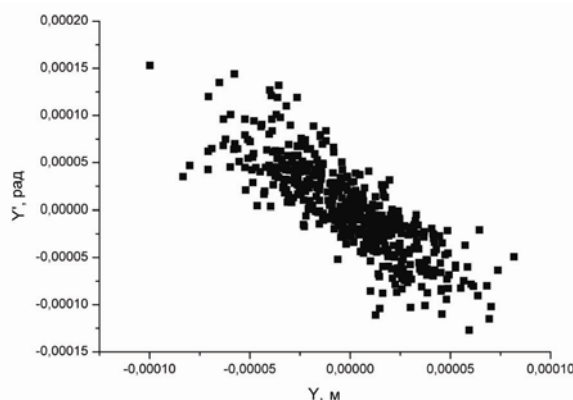


Рис.8. Фазовый портрет пучка на плоскости  $y', y$ ; энергия 260 МэВ

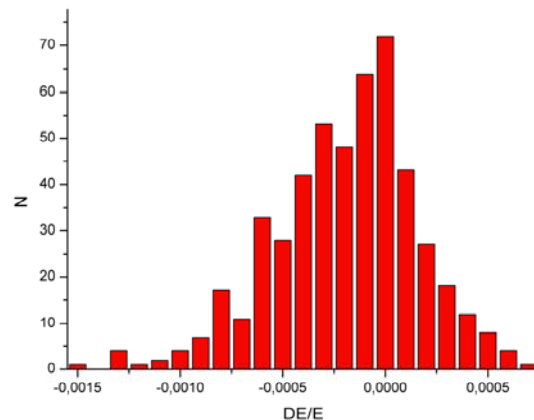


Рис.9. Энергетический разброс пучка; энергия 260 МэВ

### 3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНТЕРВАЛ 175...493 МэВ

Вывод пучка в этом интервале энергий осуществляется при двукратном прохождении пучка через основную ускоряющую структуру при изменении инжекции в интервале 7...20 МэВ [5] только на каналы E и D, поскольку включение поворотных магнитов первого кольца не позволяет вывести пучок в залы A, B, C.

На Рис.10-12 представлены фазовые портреты и энергетический разброс пучка для энергии 493 МэВ в месте вывода пучка в канал E.

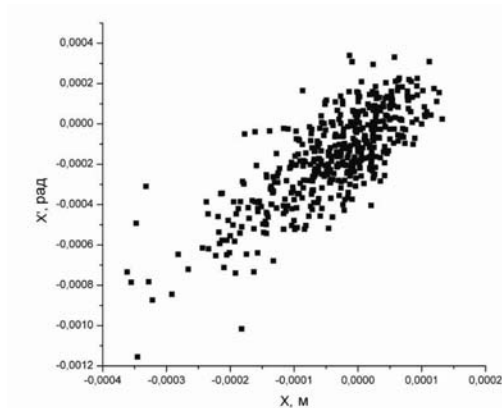


Рис.10. Фазовый портрет пучка на плоскости  $x', x$ ; энергия 493 МэВ

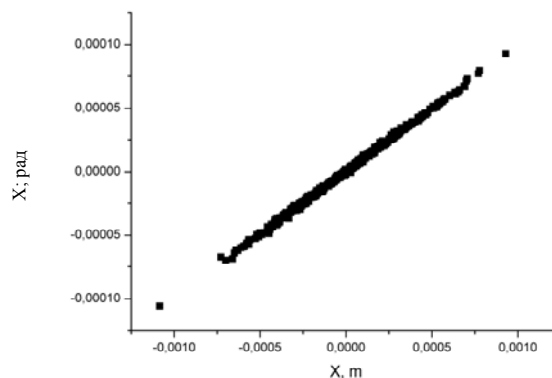


Рис.13. Фазовый портрет пучка на плоскости  $x', x$ ; энергия 255 МэВ

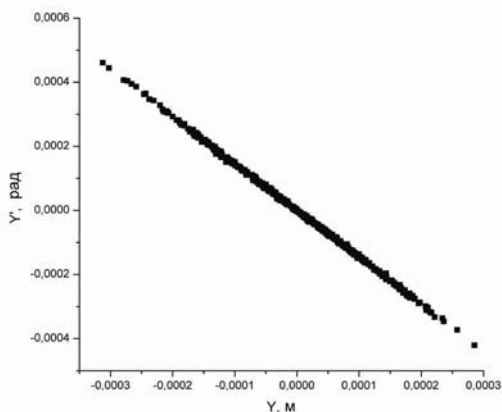


Рис.11. Фазовый портрет пучка на плоскости  $y', y$ ; энергия 493 МэВ

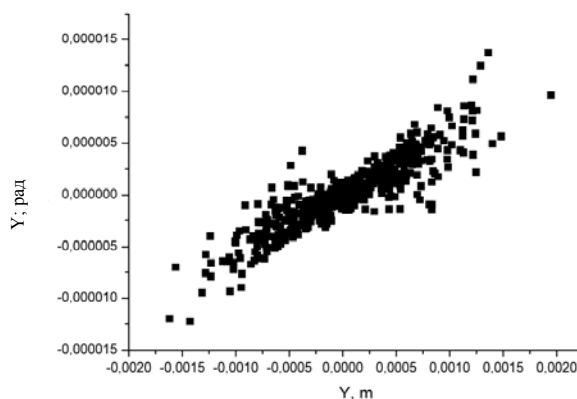


Рис.14. Фазовый портрет пучка на плоскости  $y', y$ ; энергия 255 МэВ

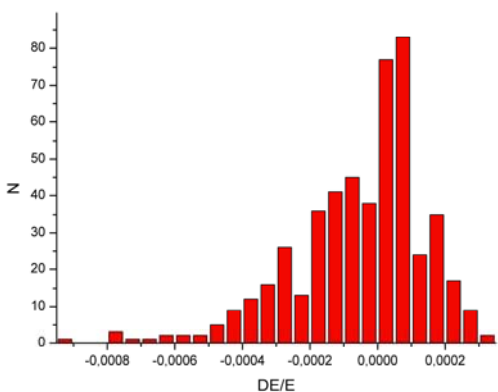


Рис.12. Энергетический разброс пучка; энергия 493 МэВ

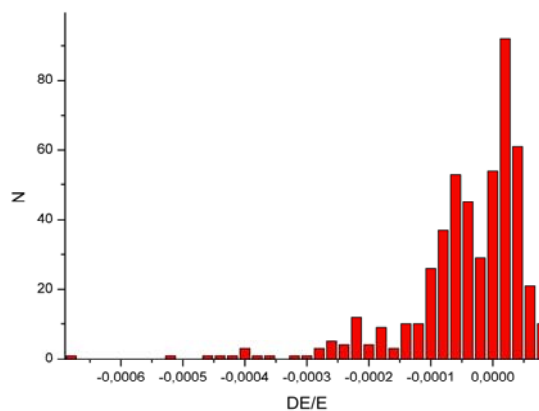


Рис.15. Энергетический разброс пучка; энергия 255 МэВ

#### 4. ВЫВОД ПУЧКА В КАНАЛЫ А, В, С; ИНТЕРВАЛ ЭНЕРГИЙ 250...730 МэВ

Максимальная энергия на выходе рециркулятора при энергии инжекции 20 МэВ составляет 740 МэВ. Для обеспечения непрерывного изменения интервала энергии до 260 МэВ необходимо энергию инжекции уменьшить до 7 МэВ [5].

На Рис.13-15 представлены фазовые портреты и энергетический разброс пучка для энергии 255 МэВ.

При увеличении энергии до 730 МэВ размеры и расходимость пучка, а также энергетический разброс не претерпевают существенных изменений на входе в каналы А, В, С.

На Рис.16-18 представлены фазовые портреты и энергетический разброс пучка для энергии 730 МэВ.

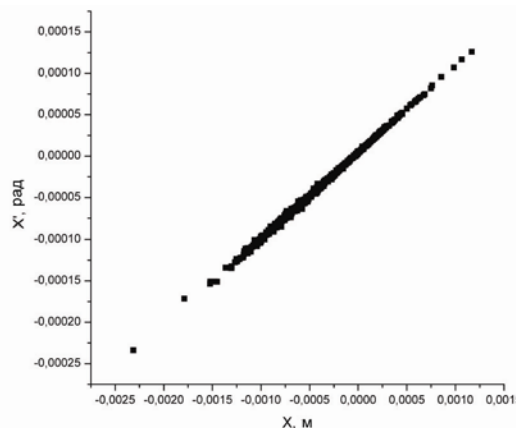


Рис.16. Фазовый портрет пучка на плоскости  $x', x$ ; энергия 730 МэВ

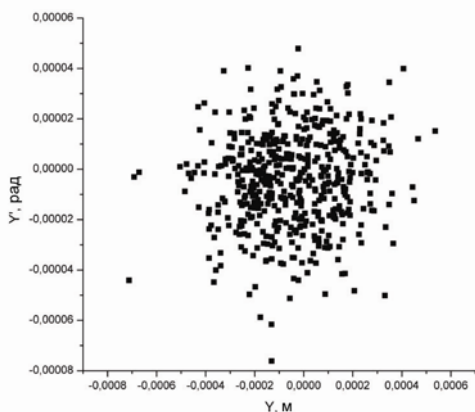


Рис.17. Фазовий портрет пучка на плоскості  $y'$ ,  $y$ ; енергія 730 МэВ

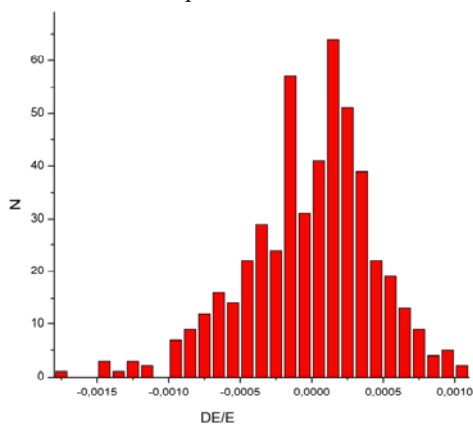


Рис.18. Енергетический розброс пучка; енергія 730 МэВ

### ВЫВОДЫ

Для выбранной структуры рециркулятора были проведены расчёты огибающих пучка на первом и втором кольце рециркуляции. Максимальное значение огибающей по горизонтали составляет 0,004 м, а по вертикали – 0,002 м для энергии 730 МэВ, а для энергии 255 МэВ не превышает 0,002 м по горизонтали и 0,002 м по вертикали.

## MAGNETO-OPTICAL SYSTEM OF RECIRCULATOR SALO WITH ENERGY OVER THE RANGE 60...740 MeV REGULATION

*I.S. Guk, S.G. Kononenko, F.A. Peev, A.S. Tarasenko*

The parameters of recirculator SALO magneto-optical system with energy smooth regulation over the range 60...740 MeV are given. It is achieved by the injection energy regulation over the range 7...20 MeV. The results of magneto-optical system of the first and second recycling ring optimization are given. The beam envelopes for injection beam line, the first and the second recycling rings, and for the accelerating section are calculated. The beam phase portraits along a movement trajectory and energy spread on the beam lines entrance are submitted.

## МАГНІТООПТИЧНА СИСТЕМА РЕЦИРКУЛЯТОРА SALO З ПЛАВНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ЕНЕРГІЇ В ДІАПАЗОНІ 60...740 MeV

*I.S. Guk, S.G. Kononenko, F.A. Peev, O.S. Tarasenko*

Наведено параметри магнітооптичної системи рециркулятора SALO з плавним регулюванням енергії в діапазоні 60...740 MeV, що забезпечується зміною енергії інжекції в межах 7...20 MeV. Наведено результати оптимізації магнітооптичної системи першого і другого кола рециркуляції. Розраховано огинаючі пучка на першому та другому колах рециркуляції, а також при проходженні прискорюючої секції. Приводяться фазові портрети пучка вздовж траєкторії руху та енергетичний розкид на вході каналів транспортування пучків на фізичні установки прискорювального комплексу.

Показано, что при использовании дополнительной ускоряющей секции, позволяющей регулировать энергию электронов на входе в основную ускоряющую структуру рециркулятора, можно получить непрерывную регулировку энергии пучка на физических установках на всех каналах вывода пучка из комплекса.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.М. Аркатов, А.В. Гламаздин, И.С. Гук, А.Н. Довбня, С.Г. Кононенко, М. van der Wiel, J.I.M. Botman, Ф.А. Пеев, А.С. Тарасенко. Базовая ускорительная установка ННЦ ХФТИ по ядерной физике и физике высоких энергий // "SALO" Project. Харьков: Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт». 2004, с.94.
2. A.N. Dovbnya, I.S. Guk, S.G. Kononenko, et al. Accelerating Complex for Basic Researches in the Nuclear Physics // *Proceedings of the 2-nd International Conference "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy"*, June 9 to June 15, 2008, Kyiv, Ukraine. 2009, p.790-795.
3. И.С. Гук, А.Н. Довбня, Г.Г. Ковалёв, С.Г. Кононенко, А.Ю. Мыщиков, Ф.А. Пеев. Эскизный проект электромагнитной системы рециркулятора SALO // *Вісник Харківського Університету, №784, Серія фізична «Ядра, частинки, поля»*. 2007, в.4(36), с.14.
4. I.S. Guk, A.N. Dovbnya, S.G. Kononenko, et al. Isochronous Magneto-optical Structure of Recirculator SALO // *Proc. of EPAC - Edinburg, Scotland*. 2006, p.2035-2037.
5. I.S. Guk, S.G. Kononenko, F.A. Peev, A.S. Tarasenko. Change of the Plan of Beam Injection in Recirculator SALO // *Proceedings of RuPAC 2008*. Zvenigorod, Russia. 2008, p.327-329.
6. MAD-X Home Page, <http://mad.web.cern.ch/mad/>

Статья поступила в редакцию 08.09.2009 г.