

УСКОРИТЕЛИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 621.384.6:615.849

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ КОМПАКТНОЙ УСКОРЯЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ S-ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА УСТАНОВКИ РАДИАЦИОННОЙ ТЕРАПИИ

© 2023 г. А. А. Батов^а, *, Р. А. Збруев^а, М. А. Гусарова^а, М. В. Лалаян^а

^аНациональный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, 115409 Россия

*E-mail: batov23@gmail.com

Поступила в редакцию 20.07.2022 г.

После доработки 01.08.2022 г.

Принята к публикации 02.08.2022 г.

Представлены результаты проектирования ускоряющей структуры компактного линейного ускорителя электронов для установки радиационной терапии. Получены оптимизированная геометрия и электродинамические характеристики структуры.

Ключевые слова: бипериодическая ускоряющая структура, линейный ускоритель электронов

DOI: 10.56304/S2079562922050050

ВВЕДЕНИЕ

Линейные ускорители электронов S-диапазона успешно применяются в медицинской сфере. В частности, такие ускорители используются в установках для лечения онкологических заболеваний. Данная работа описывает разработку линейного ускорителя электронов с энергией пучка 6.3 МэВ для радиационной терапии.

Ускоритель разработан на базе бипериодической ускоряющей структуры с внутренними ячейками связи с повышенным коэффициентом связи, спроектированной в НИЯУ МИФИ [1–3]. Необходимо было в условиях жестких ограничений по геометрическим размерам структуры получить высокие коэффициенты связи между ячейками и эффективное шунтовое сопротивление структуры. Структура включает в себя группирователь, состоящий из трех ускоряющих ячеек, а также регулярную часть (пять ячеек) [4].

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГУЛЯРНЫХ ЯЧЕЕК

Настройка и оптимизация ячеек регулярной части проводилась на макете, состоящем из двух ускоряющих полужеек и ячейки связи. Значения коэффициента связи, эффективного шунтового со-

противления скорректированы изменением положения и площади окон связи. Выбор оптимального положения окон связи позволил увеличить шунтовое сопротивление регулярных ячеек без значительных потерь коэффициента связи по сравнению с предыдущими результатами [4]. Результаты оптимизации структуры представлены в табл. 1 и на рис. 1.

НАСТРОЙКА ЯЧЕЕК ГРУППИРОВАТЕЛЯ

Была проведена настройка ячеек группирователя. В соответствии с требованиями расчета динамики пучка, между соседними ячейками группирователя соотношение значений электромагнитных полей находится в диапазоне от 0.4 до 1, считая от начала группирователя. Настройка соотношения полей производилась путем изменения площадей окон связи в соседних ячейках группирователя. С целью достижения необходимого соотношения полей в первой ячейке группирователя было принято решение модернизировать модель — удалить “носики”, как показано на рис. 2.

Таблица 1. Электродинамические характеристики регулярной ячейки

Параметр	Коэффициент связи	Частота	Добротность	Коэффициент перенапряженности	Эффективное шунтовое сопротивление
Значение	8.1%	2997.8 МГц	15313	2.28	79.2 МОм/м

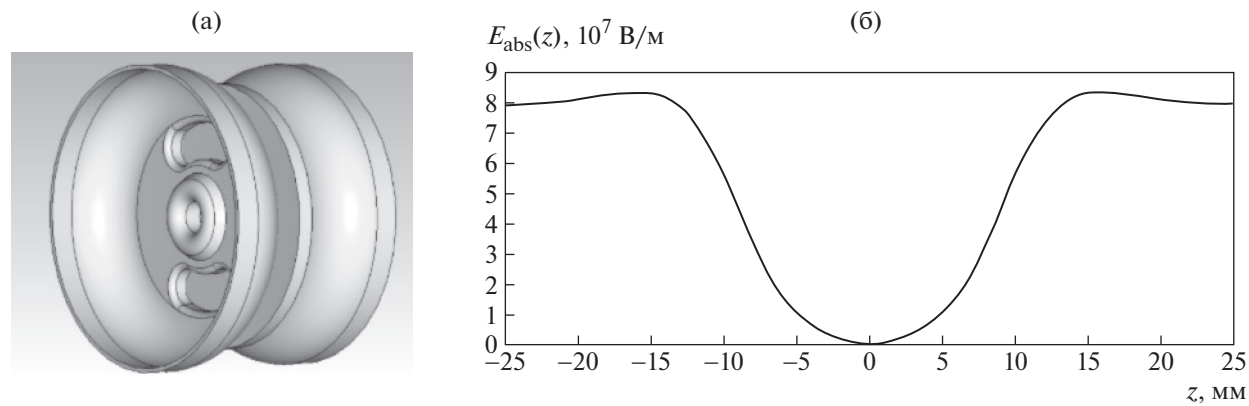


Рис. 1. Геометрия регулярной ячейки (а) и распределение продольной составляющей электрического поля на оси ячейки (б).

Таблица 2. Электродинамические характеристики полной структуры

Параметр	Коэффициент связи	Потери в структуре	Добротность	Коэффициент перенапряженности	Эффективное шунтовое сопротивление
Значение	9.85%	1.23 МВт	15299	2.60	70.52 МОм/м

УСКОРЯЮЩАЯ СТРУКТУРА В СБОРЕ

Для завершающего этапа настройки была построена полная параметрическая модель ускоряющей структуры. Отдельное внимание при сборке уделялось настройке первой и последней ячеек структуры, так как они отличаются от стандартных, отсутствием с одной стороны окон связи. Результаты настройки полной структуры и полученные электродинамические характеристики представлены ниже на рис. 3 и в табл. 2.

В процессе настройки выявлена чувствительность электродинамических характеристик к изменению параметров модели. Построены вариацион-

ные характеристики (рис. 4, 5) и по их результатам определены оптимальные допуски на изготовление опытных образцов ускоряющей структуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена настройка ячеек ускоряющей структуры (как основной регулярной части, так и ячеек группирователя) на требуемую рабочую частоту. Настроены соотношения полей в ячейках группирователя. Достигнуты установленные техническим заданием ЭДХ ускоряющей структуры. Определены все геометрические размеры и допуски на

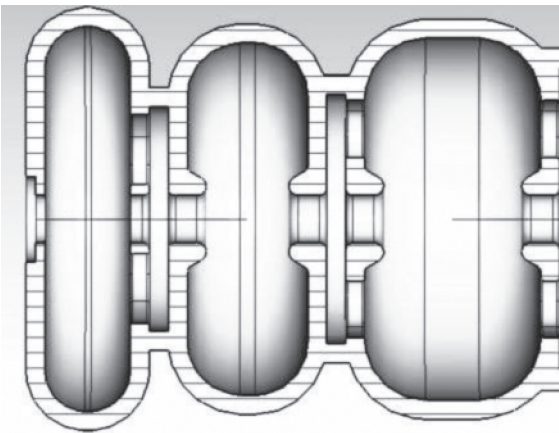


Рис. 2. Ячейки группирователя.

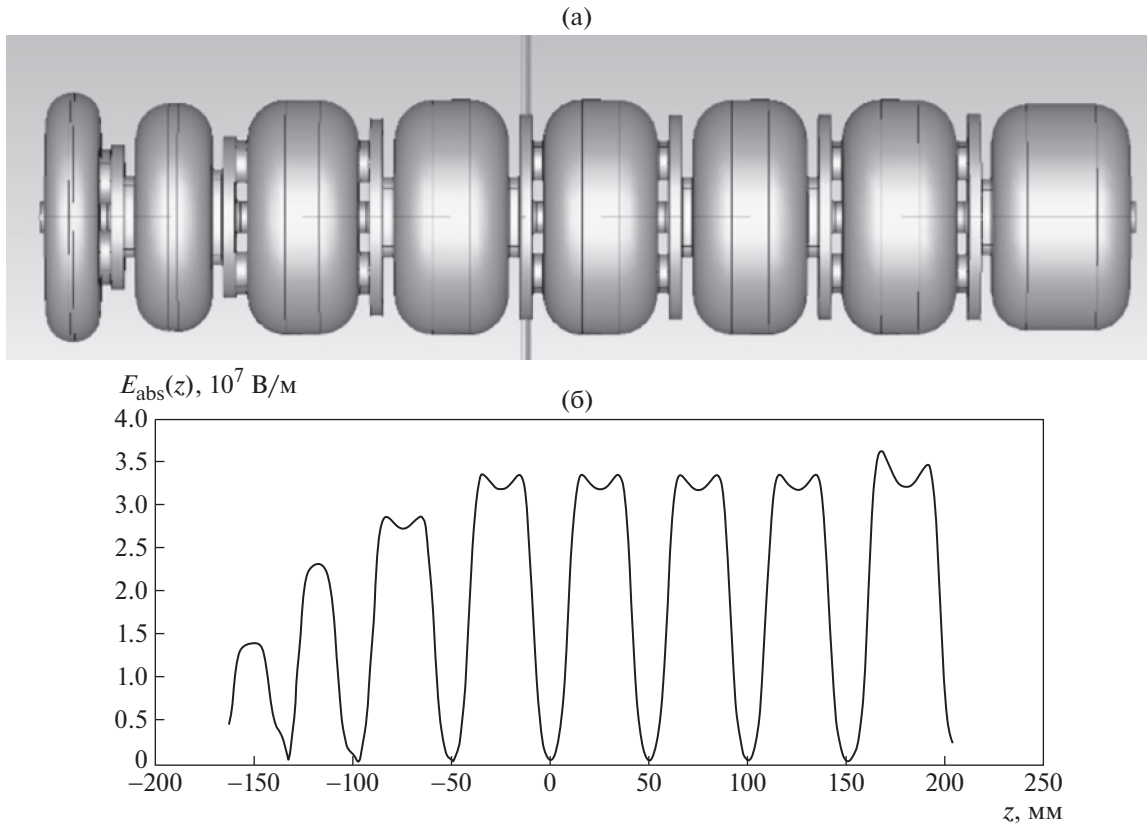


Рис. 3. Геометрия структуры (а) и распределение продольной составляющей электрического поля на оси структуры (б).

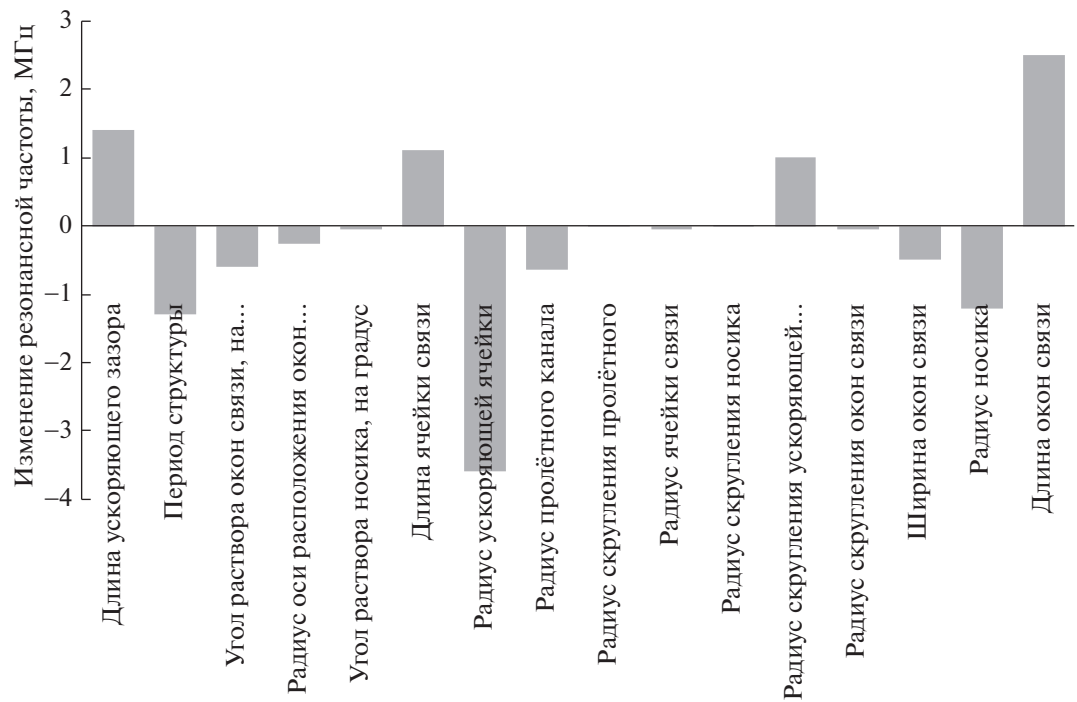


Рис. 4. Влияние изменения на 0.1 мм параметров модели на частоту ускоряющего поля.

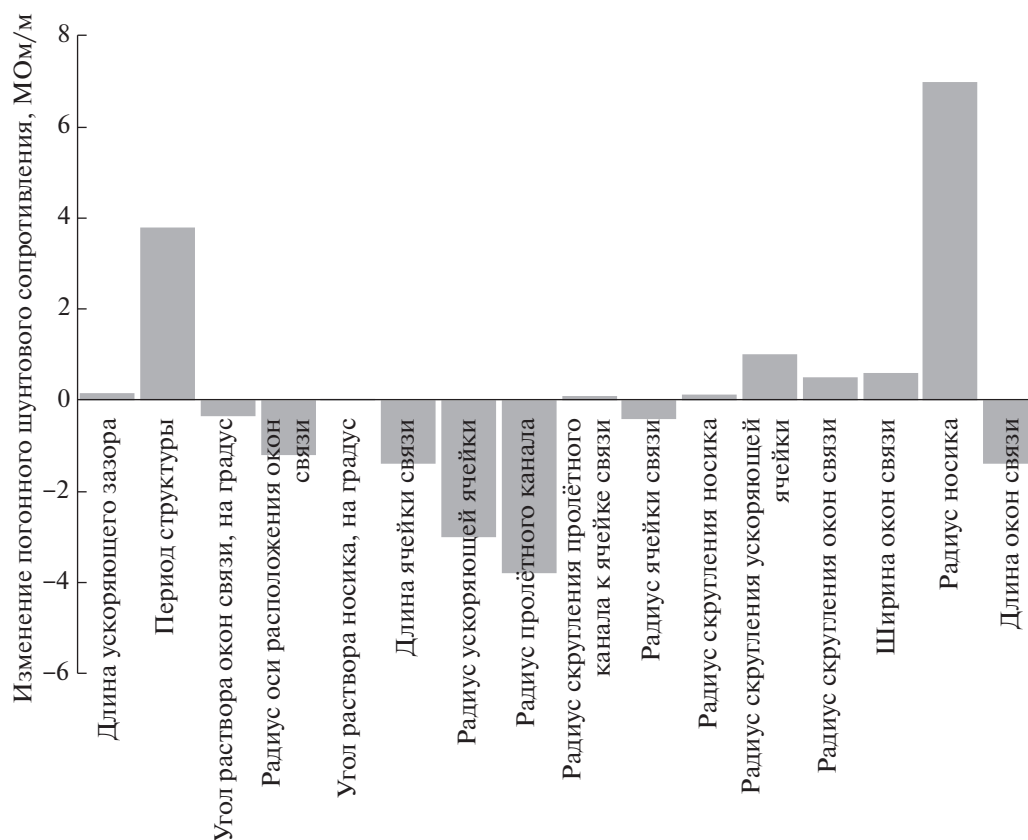


Рис. 5. Изменение погонного шунтового сопротивления при изменении значения параметра на 1 мм, МОм/м.

изготовление, позволяющие создать опытный образец ускоряющей структуры с требуемыми электродинамическими параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Savin E.A., Sobenin N.P. // Tech. Phys. 2013. V. 58. P. 760–765. <https://doi.org/10.1134/S1063784213050198>
2. Kostin R.A. et al. // Tech. Phys. 2013. V. 58. P. 601–607. <https://doi.org/10.1134/S1063784213040105>
3. Polozov S.M., Pronikov A.I. // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. V. 1238. P. 012076. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1238/1/012076>
4. Lalayan M.V., Batov A.A., Gusarova M.A., et al. // Proc. RuPAC'21. P. 186–188. <https://doi.org/10.18429/JACoW-RuPAC2021-MOP-SA42>

The Geometry Optimization of S-Frequency Range Compact Accelerating Structure for the Radiation Therapy Facility

A. A. Batov¹, *, R. A. Zbruev¹, M. A. Gusarova¹, and M. V. Lalayan¹

¹National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, 115409 Russia

*e-mail: batov23@gmail.com

Received July 20, 2022; revised August 1, 2022; accepted August 2, 2022

Abstract—The paper presents result of design of the accelerating structure for a compact linear electron accelerator for a radiation therapy facility. The optimized geometry and electrodynamic characteristics of the structure are obtained.

Keywords: biperiodic accelerating structure, linac