

УДК 621.385.6

## **СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕСУРСА ИМИТАТОРА УСКОРЯЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ КОЛЛАЙДЕРА CLIC ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧАСТОТЕ 30 ГГц**

*А. В. Елжов<sup>а</sup>, Н. С. Гинзбург<sup>б</sup>, Н. И. Зайцев<sup>б</sup>, И. Н. Иванов<sup>а</sup>,  
Е. В. Иляков<sup>б</sup>, А. К. Каминский<sup>а</sup>, В. В. Косухин<sup>а</sup>, С. В. Кузиков<sup>б</sup>,  
И. С. Кулагин<sup>б</sup>, Н. Ю. Песков<sup>б</sup>, Э. А. Перельштейн<sup>а</sup>, М. И. Петелин<sup>б</sup>,  
С. Н. Седых<sup>а</sup>, А. П. Сергеев<sup>а</sup>, А. С. Сергеев<sup>б</sup>, И. В. Сырачев<sup>в</sup>*

<sup>а</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

<sup>б</sup>Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

<sup>в</sup>ЦЕРН, Женева

На базе МСЭ-генератора в ОИЯИ создан стенд для исследования ресурса медного резонатора по отношению к циклическому СВЧ-нагреву. Параметры резонатора выбраны так, что на его стенке воспроизводятся условия нагрева ускоряющей структуры коллайдера CLIC (рабочая частота 30 ГГц). СВЧ-мощность от генератора передается через квазиоптический двухзеркальный тракт транспортировки и преобразователи типа волны. Обсуждается постановка эксперимента и предварительные результаты по запитке резонатора.

A test facility for investigation of the lifetime of a copper resonator with respect to cyclic RF heating has been created on the base of JINR FEM oscillator. The test cavity is designed so that the heating condition corresponding to CLIC collider accelerating structure (operating frequency is 30 GHz) is provided at the surface. The RF power from the oscillator is transmitted via quasi-optic two-mirror transmission line and wavetype converters. The experiment design and preliminary results of the cavity powering are discussed.

Проект электрон-позитронного коллайдера CLIC, разрабатываемый в ЦЕРН, предусматривает возможность расширения исследований в физике частиц на долгосрочную перспективу (после ЛНС). За счет повышения рабочей частоты до 30 ГГц в основном варианте проекта [1] предусматривается достижение темпа ускорения 150 МэВ/м и энергии частиц 3 ТэВ, что существенно выше, чем в других проектах линейных коллайдеров.

На темп ускорения коллайдера при комнатной температуре накладываются ограничения из-за СВЧ-пробоя, темновых токов и импульсного нагрева. Зависимости предельных ускоряющих градиентов от длины волны [2] приведены на рис. 1.

В последние годы в SLAC ведутся экспериментальные исследования ресурса ускоряющих структур на частоте 11,4 ГГц [2]. При рабочих частотах коллайдера около 30 ГГц и выше ограничение из-за импульсного нагрева становится наиболее значительным. В

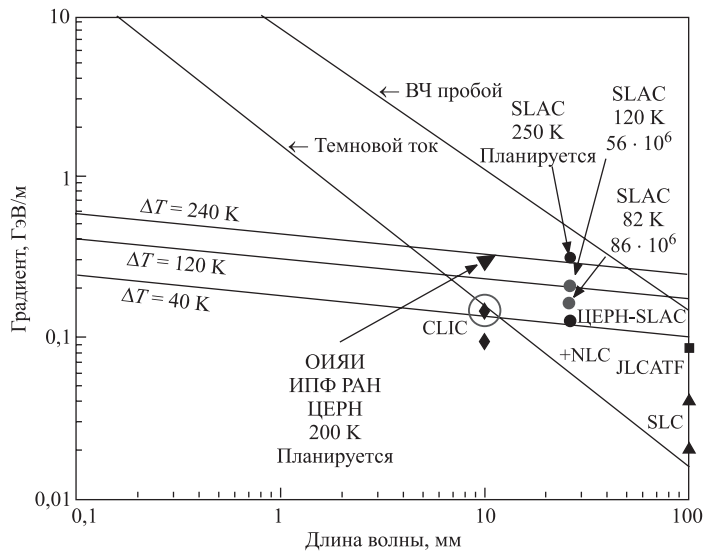


Рис. 1. Ограничения темпа ускорения в коллайдерах. Ограничения на ускоряющий градиент: 1) из-за ВЧ-пробоя  $G_{\text{break}} = \frac{1,1 \text{ ГэВ/м}}{[\lambda (\text{см})]^{7/8}}$ ; 2) из-за темновых токов  $G_{\text{trap}} = \frac{1,6 \text{ МэВ}}{\lambda}$ ; 3) из-за импульсного нагрева  $G_{\text{pulse}} = (28 \text{ МэВ/м}) \frac{\Delta T^{1/2}}{[\lambda (\text{мм})]^{1/8}}$

ОИЯИ, в рамках коллаборации CLIC, создан СВЧ-стенд для исследования ресурса поверхности медного резонатора, подвергаемого импульсному нагреву до 200 °С на частоте 30 ГГц.

Схема стенда (см. рис.2) включает ускоритель электронов, МСЭ-генератор, тестовый резонатор, канал транспортировки СВЧ-пучка к резонатору и системы диагностики электронного пучка и СВЧ-мощности.

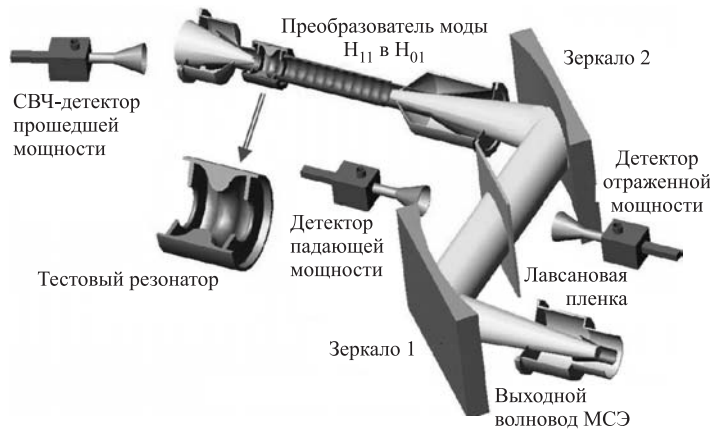


Рис. 2. Вид экспериментального стенда для нагрева тестового резонатора

Выходная мощность имеющегося СВЧ-источника — МСЭ-генератора — значительно ниже, чем требуется для запитки секции ускоряющей структуры коллайдера. В связи с этим для решения поставленной задачи выбран специальный высокодобротный резонатор, в котором моделируются условия ускоряющей структуры коллайдера CLIC по напряженности электромагнитного поля на поверхности металла. Были исследованы различные профили поверхности резонатора и выбрана форма с двумя диафрагмами с синусоидальным участком между ними. При оптимизации параметров резонатора учитывались переходный процесс во время заполнения резонатора, рост сопротивления и эффект изменения добротности (нагрузки резонатора) с нагревом, а также спектральные потери мощности. Параметры тестового резонатора выбраны таким образом, чтобы при доступной мощности и длительности импульса МСЭ-генератора температура на стенке составляла 200 °С. Изготовленный резонатор показан на рис. 3.

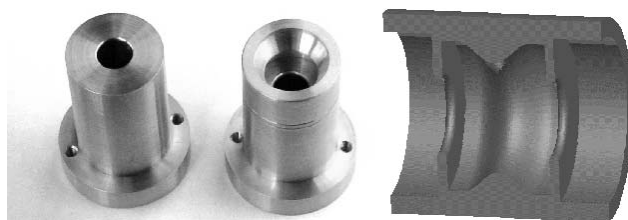


Рис. 3. Вид и поперечное сечение тестового резонатора

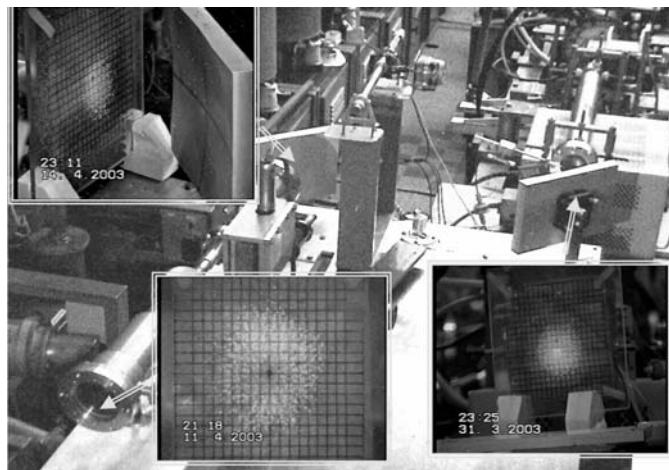


Рис. 4. Автографы поперечного сечения волнового пучка в различных участках тракта транспортировки

Для измерения пространственных распределений СВЧ-мощности на мегаваттном уровне в ближней зоне разработан и изготовлен оригинальный детектор на основе диэлектрического волновода с регулируемым ослаблением. Для упрощения наладки и юстировки тракта транспортировки создан и испытан монитор положения и размера волнового пучка. Изображения, полученные с его помощью, иллюстрирует рис. 4.

Мазер на свободных электронах (МСЭ), созданный в ЛФЧ ОИЯИ совместно с ИПФ РАН [3], работает в генераторной схеме с брэгговским резонатором на частоте 30 ГГц. Он создает СВЧ-излучение с выходной мощностью около 20–25 МВт и длительностью импульса до 200 нс при спектральной ширине около 20 МГц. Для генерации используются пучок линейного ускорителя ЛИУ-3000 (0,8 МэВ, 220 А, 250 нс, 0,5 Гц), токовый вигглер и соленоид, создающие спиральное и продольное ведущее магнитные поля.

В экспериментах по исследованию стабильности работы генератора проанализировано более  $10^4$  импульсов [4, 5]. Показано, что в коротких сериях (по 500 импульсов) интервал разброса по амплитудам и длительностям СВЧ-импульсов не превышает 10% при ширине спектра не более 0,1%. Долговременная стабильность требует дальнейшего улучшения.

При оптимизации СВЧ-мощности и длительности импульсов на выходе тестового резонатора проявлялись два ограничивающих фактора: отражение от вакуумного окна и других элементов тракта транспортировки и электрические пробой в различных участках тракта. На рис. 5 показан пробой на вакуумном окне выхода МСЭ.



Рис. 5. Фотография электрического пробоя на вакуумном окне

Путем численного моделирования и в холодных измерениях было найдено положение вакуумного окна МСЭ, при котором влияние обоих указанных ограничений минимально. Более подробно процедура оптимизации рассмотрена в работе [6]. В дополнение к этому для устранения пробоев в невакуумных СВЧ-элементах тракта предполагается заполнение опасных участков эле-газом ( $SF_6$ ) под небольшим давлением.

В последней серии экспериментов мощность, регистрируемая за тестовым резонатором с помощью СВЧ-детекторов и калориметра, достигала уровня 0,4–0,5 от мощности на выходе МСЭ. Устранение пробойных явлений в ближайших экспериментах может позволить приблизиться к обеспечению желаемых условий нагрева в резонаторе.

Работа поддержана РФФИ, грантом №№ 03-02-16530, 02-02-17438.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Delahaye J.-P. et al.* CLIC, a 0.5 to 5 TeV  $e^\pm$  Linear Collider // Proc. of EPAC'98, Stockholm, June 1998. P. 58.
2. *Pritzkau D.P.* Experimental Study of RF Pulsed Heating on Oxygen Free Electronic Copper // Phys. Rev. Spec. Topics – Accel. Beams. 2002. V. 5. 112002. 22 p.
3. *Ginzburg N.S. et al.* High-Efficiency Single Mode FEM-Oscillator Based on a Bragg Resonator with Step of Phase of Corrugation // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 84. P. 3574.
4. *Elzhov A. V. et al.* 30 GHz Test Facility for Experimental Study of Accelerating Structure Damage due to the Pulse Heating // Proc. of EPAC'2002, Paris, June 2002. P. 2311.
5. *Elzhov A. V. et al.* JINR–IAP FEM Oscillator with Bragg Resonator: Experimental Investigation and Application // Strong Microwaves in Plasmas. Nizhny Novgorod, 2003. V. 1. P. 184.
6. *Елзов А. В. и др.* Возможности улучшения характеристик МСЭ-генератора с брэгговским резонатором // Письма в ЭЧАЯ. 2004. Т. 1, № 3(120). С. 18–21.