

# ИССЛЕДОВАНИЕ УСКОРЯЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЛИНАК-200

*К. Е. Юненко<sup>а, 1</sup>, В. В. Кобец<sup>а</sup>,  
А. Н. Трифонов<sup>а</sup>, А. М. Барняков<sup>б</sup>*

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

<sup>б</sup> Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

Исследовалась резонансная структура ускоряющих секций ускорителя Линак-200 в программной среде CST Studio. Проводилось моделирование для разных рабочих условий конструкции, т. е. при комнатной температуре ( $T = 20^\circ\text{C}$ ) и при использовании системы термостабилизации ( $T = 45^\circ\text{C}$ ). Эти результаты будут нужны при настройке температурного режима для секций ускорителя.

The resonant structure of the accelerating sections of the Linac-200 accelerator in the CST Studio software has been investigated. Simulation has been carried out for different operating conditions of the structure, i.e., at room temperature ( $T = 20^\circ\text{C}$ ) and using a thermal stabilization system ( $T = 45^\circ\text{C}$ ). These results will be needed when setting the temperature regime for accelerator sections.

PACS: 29.20.Bj; 29.27.-a

## ВВЕДЕНИЕ

Сейчас на установке Линак-200 [1, 2] в ЛЯП ОИЯИ ведутся пусконаладочные работы, частью которых является настройка ВЧ-системы. Для этого производится установка термостабилизационной системы на ускоряющих секциях ускорителя [3] (рис. 1). На сегодня работы по установке завершены на первых двух секциях.

Таким образом, появляется задача определить, как изменение температуры секции повлияет на резонансную частоту [4]. Чтобы это сделать, была создана и исследована модель ускоряющей структуры ускорителя в программной среде CST Studio [5], в которой рассматривалось изменение температуры секции от  $T = 20^\circ\text{C}$  до  $T = 45^\circ\text{C}$ .

---

<sup>1</sup>E-mail: yunke@jinr.ru

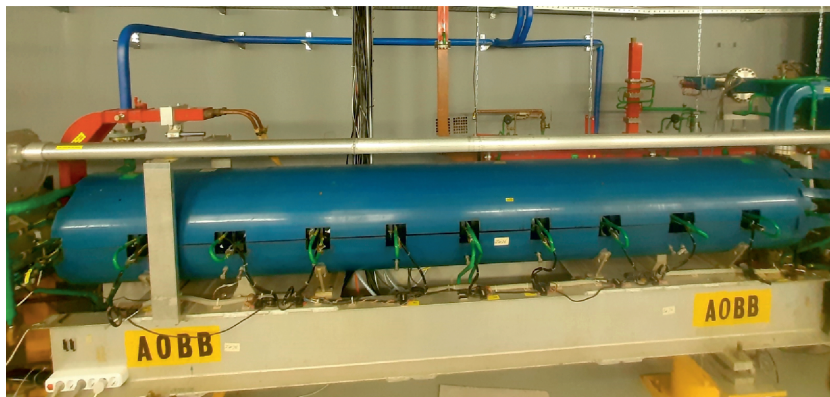


Рис. 1. Ускоряющая секция (короткая) АОВВ с подключением к системе термостабилизации

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Были изучены различные документы, хранимые на ускорителе, где обнаружались сведения о замерах собственной частоты каждой отдельной секции, однако эти данные (табл. 1) нуждаются в перепроверке, так как они были получены более 45 лет назад в рабочих условиях, отличных от наших. Как метод проверки актуальности данных и способ спрогнозировать результаты работы системы термостабилизации решено было создать модель ускоряющей секции в программном пакете CST Studio.

Таблица 1. Параметры, найденные в архивах

Параметр	Значение	Вычисленные законы масштабирования
Относительная влажность RH, %	40	$\delta f / \delta RH = -3,3 \text{ КГц}/1\%$ при 22 °С и 760 Торр
$T$ (воздух), °С	22	$\delta f / \delta T_{\text{air}} = -4,6 \text{ КГц}/^\circ\text{C}$ при 40% RH и 760 Торр
Барометрическое давление $P$ , Торр	760	$\delta f / \delta P = -1 \text{ КГц}/\text{Торр}$ при 22 °С и 40% RH
$T$ (волновод), °С	24	$\delta f / \delta T_{\text{Cu}} = -4,8 \text{ КГц}/0,1^\circ\text{C}$

В ходе работы была сделана модель ускоряющей однородной периодической структуры в используемой программе (рис. 2). Выбор такой конфигурации модели (8 ячеек и 2 полужайчки) обусловлен оптимизацией работы программной среды [4]. Размеры модели были взяты из чертежей, однако некоторые параметры (диаметр и длина ячеек) пришлось выяснить самостоятельно, согласуя элементы ВЧ-структуры (рис. 3) (прямоугольный волновод, трансформатор типа волн, ускоряющая секция).

Параметры секций на ускорителе и параметры полученной в программе модели представлены в табл. 2 и 3.

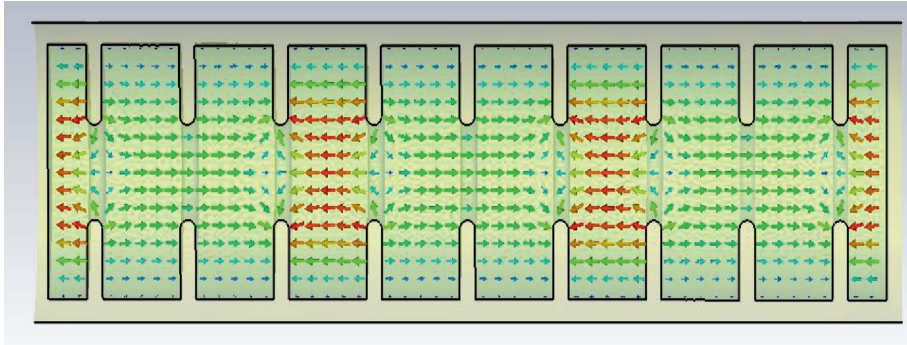


Рис. 2. Распределение поля в сечении при моделировании

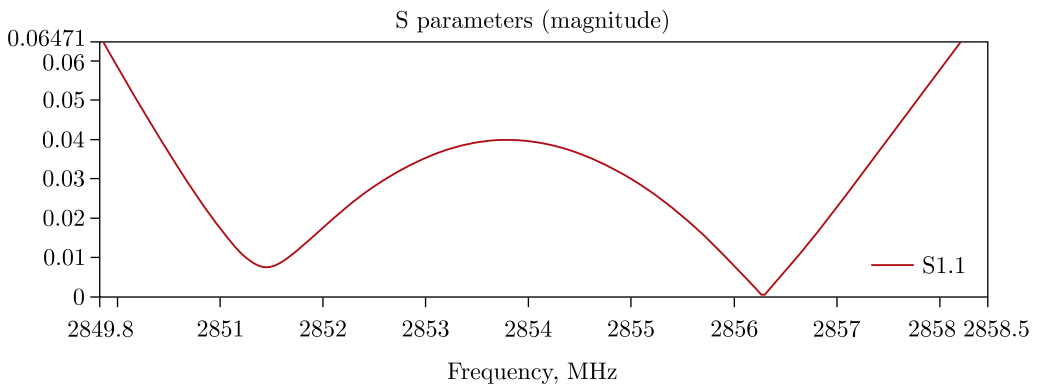


Рис. 3. Согласование трансформатора типа волны с ускоряющей структурой

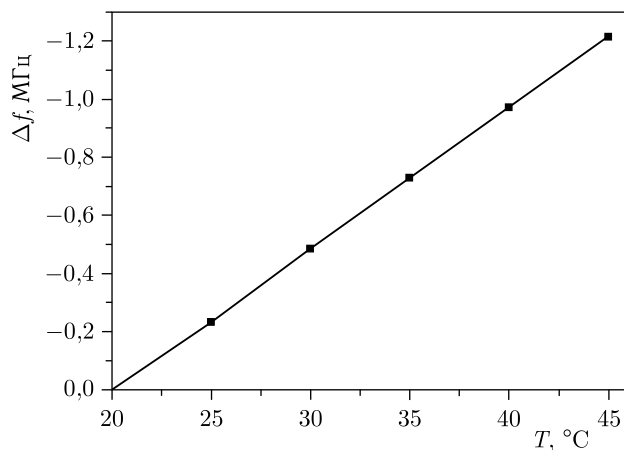
Таблица 2. Параметры секций на ускорителе

Параметр	Короткие	Длинные
Количество секций	3	18
Количество ячеек в секции	105	210
Длина по ускорительным промежуткам, м	3,673	7,346
Количество однородных сегментов на секцию	11	11
Частота, МГц	2856	
Мода колебаний	$2\pi/3$	

С использованием инструментов программной среды CST Studio производилось моделирование для исследуемой структуры. Проведен расчет для температурного диапазона 20–45 °С с шагом 5 °С (рис. 4). В результате при начальном значении  $f = 2856,036$  МГц, зная изменение частоты  $\Delta f = -1,214$  МГц, получили значение резонансной частоты структуры для температуры  $T = 45$  °С  $f = 2854,822$  МГц. Также можно получить коэффициент  $k = -0,04875$  МГц/°С (изменение собственной частоты  $\Delta f$  от температуры секции  $T$ ) для масштабирования.

Таблица 3. Параметры модели

Параметр	Значение
Толщина диафрагмы, мм	5,84
Радиус отверстия диафрагмы, мм	16
Толщина стенки ячейки, мм	7,62
Длина ячейки, мм	29,14
Радиус ячейки, мм	42,24

Рис. 4. График зависимости изменения собственной частоты  $\Delta f$  секции от температуры секции  $T$ 

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом проделанной работы стало создание модели ускоряющей периодической структуры, соответствующей секциям линейного ускорителя электронов Линак-200, согласование ее с другими элементами ВЧ-системы, а также нахождение резонансной частоты секции при использовании термостабилизации (температура  $T = 45^\circ\text{C}$ ). В дальнейшей пусконаладочной работе полученные данные будут использованы для настройки системы ВЧ-питания ускорителя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Trifonov A.N., Brukva A.E., Gostkin M.I., Demin D.L., Kobets V.V., Nozdrin M.A., Shabratov V.G., Shirkov G.D., Yunenko K.E., Zhemchugov A.S., Zhuravlyov P.P.* Linac-200: A New Electron Test Beam Facility // PoS. Proc. of the 41st Intern. Conf. on High Energy Physics (ICHEP2022), Bologna, Italy, June 2023. P.1–4.
2. *Baldin A., Baldina E., Bogoslovsky D., Bleko V., Beloborodov A., Dorokhov A., Fedorov A., Kharyuzov P., Korovkin D., Safonov A., Kobets V., Zhemchugov A., Gostkin M., Samofalova I., Trifonov A., Tyutyunnikov S., Yunenko K., Kubankin A., Nazhmudinov R., Kishchin I., Zakhvalinskii V., Myshelovka L., Vokhmyanina K., Stuchebrov S., Potylitsyn A., Bulauskaya A., Cherepennikov Yu., Kim V., Kuznetsova E., Zelenov A., Karataev P.*

- Fedorov K., Bazarov Yu., Karpov M., Kuleshov S., Zamora Saa J., Aryshev A., Popov K., Kocharyan V., Mkrtchyan A., Movsisyan A., Grigoryan L., Saharian A., Aloyan L., Dalyan Y., Karapetyan N., Avetisyan A., Shahbazyan A.* FLAP Collaboration: Tasks and Perspectives. Study of Fundamentals and New Applications of Controllable Generation of Electromagnetic Radiation by Relativistic Electrons Using Functional Materials // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2021. V. 18, No. 3. P. 338–353.
3. *Linear Accelerators* / Eds.: P. M. Lapostolle, A. L. Septier. Amsterdam: North-Holland Publ. Company, 1970. P. 265–313.
  4. *Левичев А. Е., Павлов В. М.* Линейные СВЧ-ускорители. Ч. I. Электродинамика ускоряющих структур на основе круглого диафрагмированного волновода: Учеб. пособие. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2015. С. 78–92; 95–96.
  5. CST. <https://www.cst.com/>.

Получено 15 сентября 2023 г.