

Разработка линейного ускорителя для комплекса лучевой терапии

18.04.2018

м.н.с. Овчинникова Любовь Юрьевна (lub.ovch@yandex.ru)

г.н.с. Шведунов Василий Иванович

Обзор известных вариантов

1. Вертикальное размещение ускоряющей системы в Г-образной вращающейся части гантри

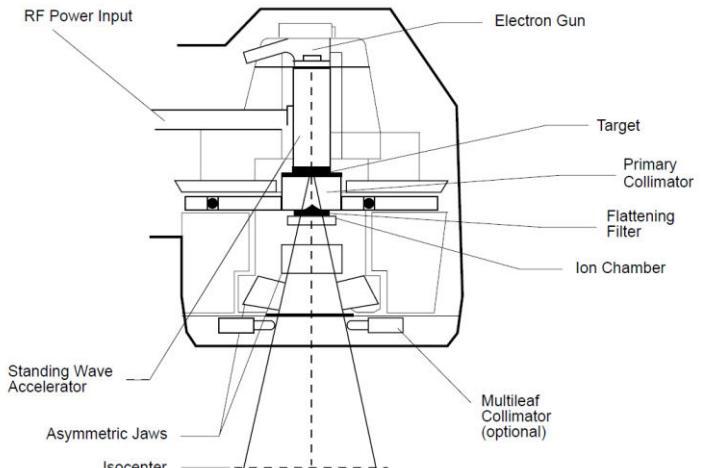


Комплекс лучевой терапии
UNIQUE (Varian Medical
Systems)



Комплекс лучевой терапии
Compact (Elekta)

Ускоряющая система на
основе структуры S-диапазона
со стоячей волной с боковыми
ячейками связи комплекса
UNIQUE

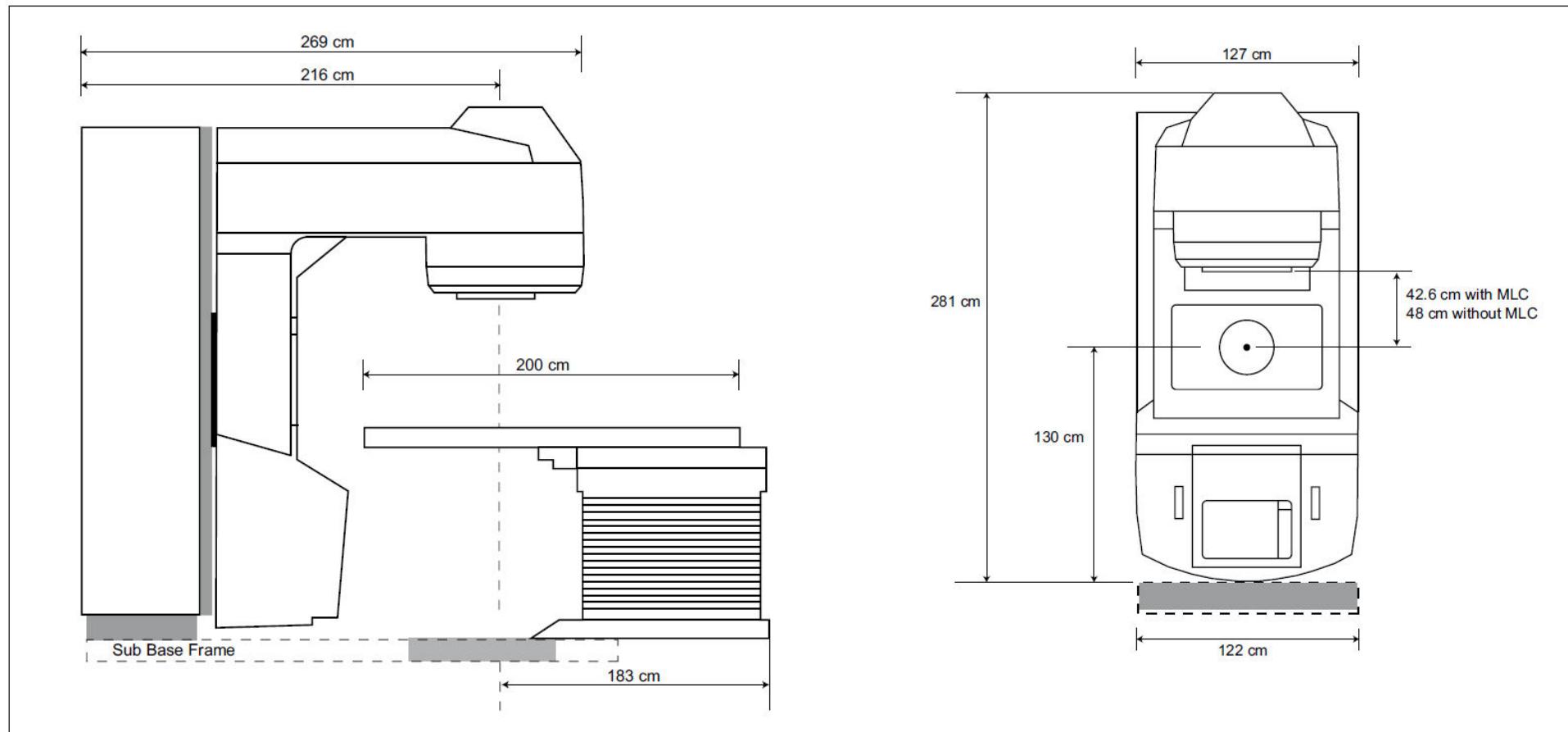


Размещение ускоряющей
системы в головной части
гантри



Обзор известных вариантов

1. Вертикальное размещение ускоряющей системы в Г-образной вращающейся части гантри



Комплекса UNIQUE

Обзор известных вариантов

2. Горизонтальное или наклонное размещение ускоряющей системы в Г-образной врачающейся части гантри



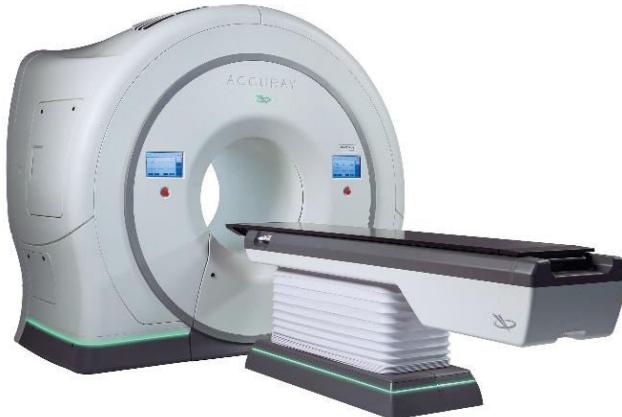
КЛТ SL75-5-М (НИИЭФА)



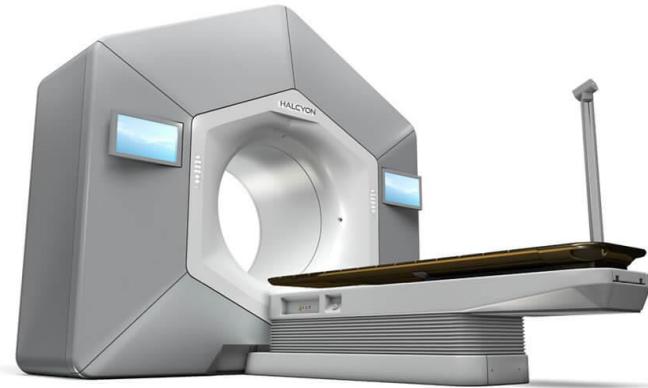
«ЭЛЛУС-6М»

Обзор известных вариантов

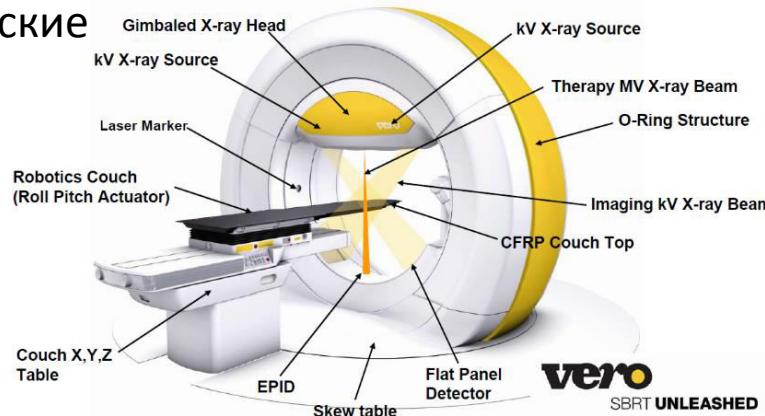
3. Вертикальное размещение ускоряющей системы торообразной вращающейся части гантри



Спиральный
томотерапевтический
КЛТ TomoTherapy
(Accuray)



Halcyon (Varian Medical Systems)



MHI-TM2000 - Vero (Mitsubishi Heavy Industries)



Unity (Elekta)

Характеристики ускорителя для КЛТ-6

Параметр	Величина	
Высокая энергия	6 МэВ ($\pm 5\%$)	фиксирована
Низкая энергия, не более	2,5 МэВ	
Диапазон регулирования мощности дозы в режиме высокой энергии	1 - 10 Гр/мин на 1 м	
Диапазон регулирования мощности дозы в режиме низкой энергии	0,005 – 0,05 Гр/мин на 1 м	Изменение за счет выбора частоты следования импульса
Размер пучка на мишени	> 2 мм	

$$D \approx 0,33E^3 I_{pulse}/Q$$

E - энергия электронного пучка на тормозной мишени, МэВ, I_{pulse} - импульсный ток пучка, мА, Q – скважность по току пучка. Для типичного значения $Q = 1000$, $D = 10$ Гр/мин, получаем $I_{pulse} \approx 140$ мА. Данная величина тока ускоренного пучка может быть получена при токе инжекции от электронной пушки $I_{gun} \approx 250 - 300$ мА

Прототип ускорителя



Ускоритель электронов С-диапазона для мобильного инспекционно-досмотрового комплекса УЭЛР-6-0,2-Д-0,6-1, разработанный ООО «ЛЭУ МГУ»

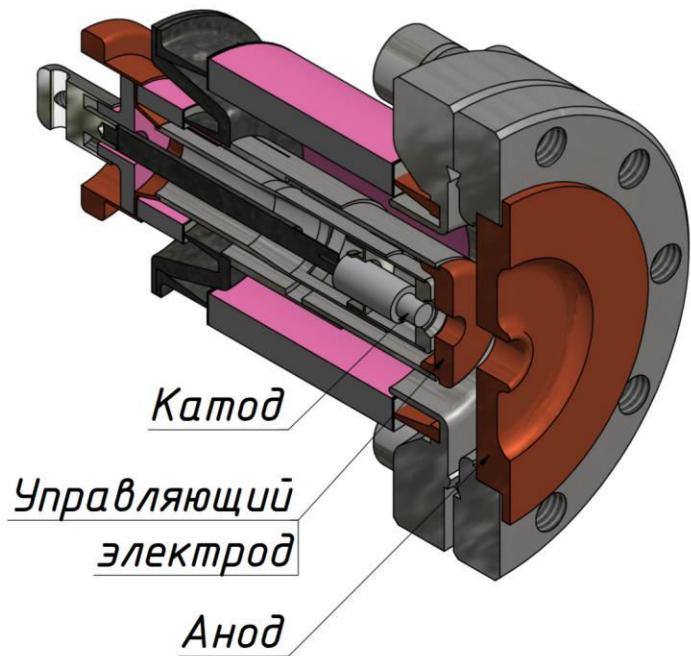


Ускоряющая структура С-диапазона со стоячей волной

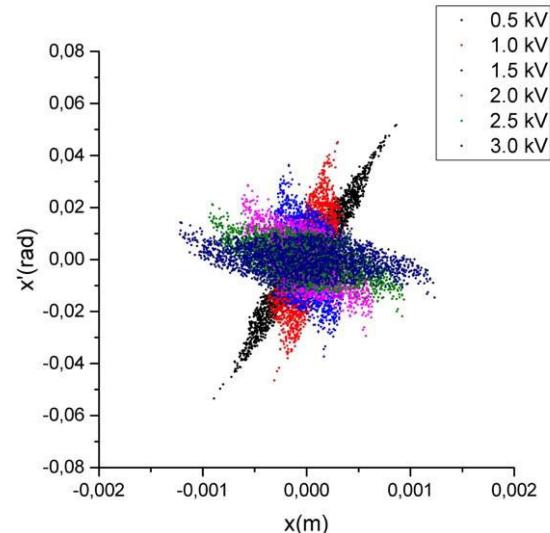
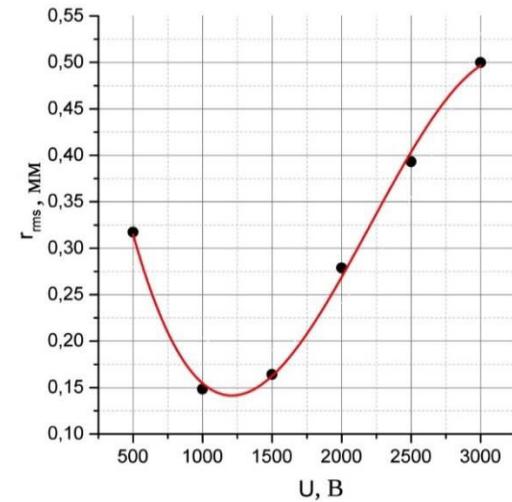
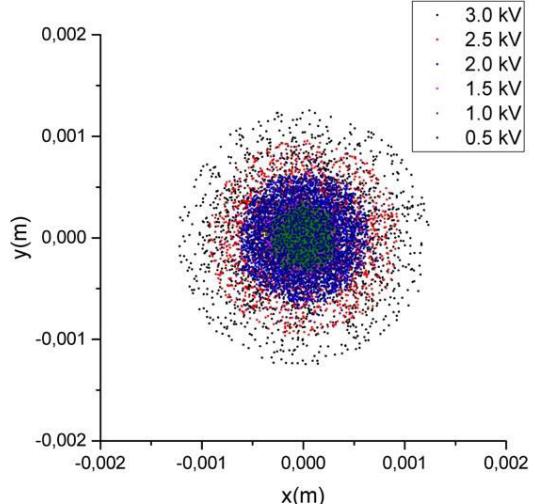
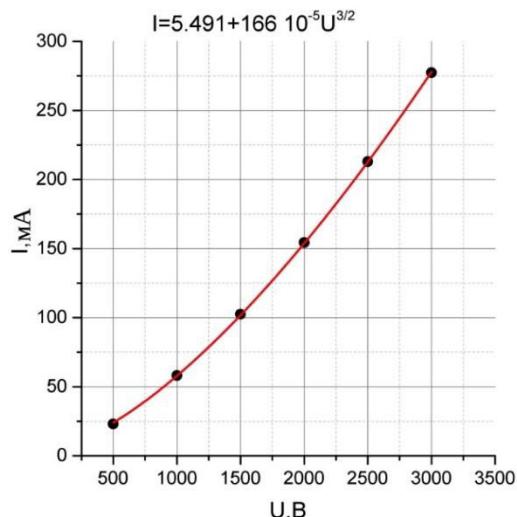


Многолучевой клистрон С-диапазона КИУ-271

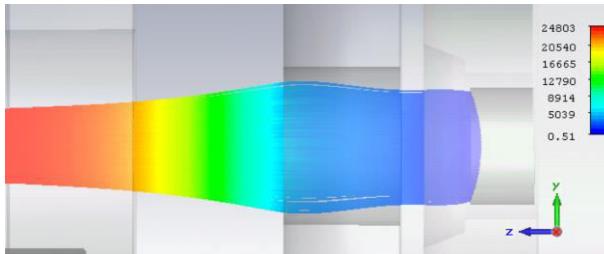
Электронная пушка для КЛТ-6



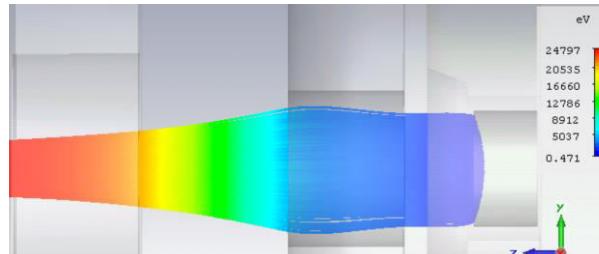
Конструкция электронной пушки ускорителя для КЛТ



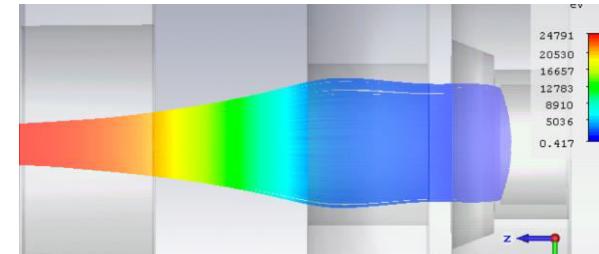
Электронная пушка для КЛТ-6



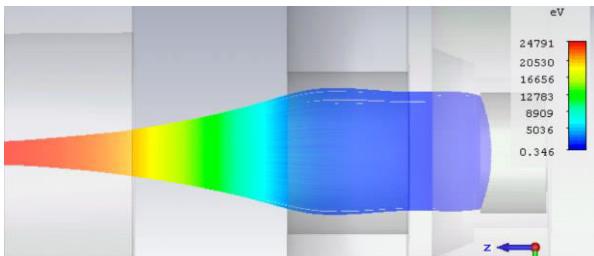
3.0 кВ



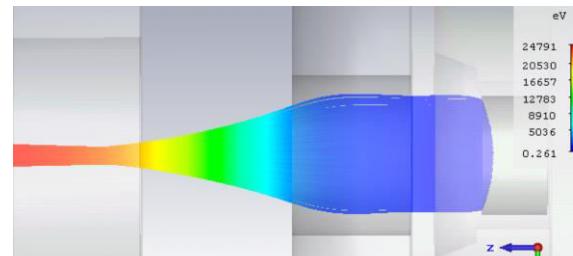
2.5 кВ



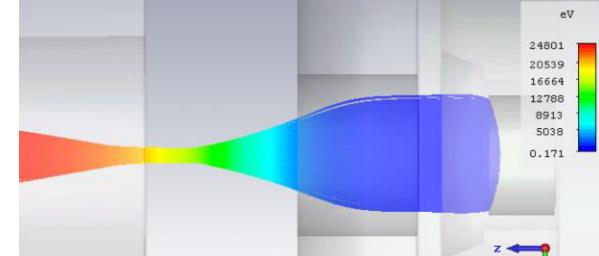
2.0 кВ



1.5 кВ

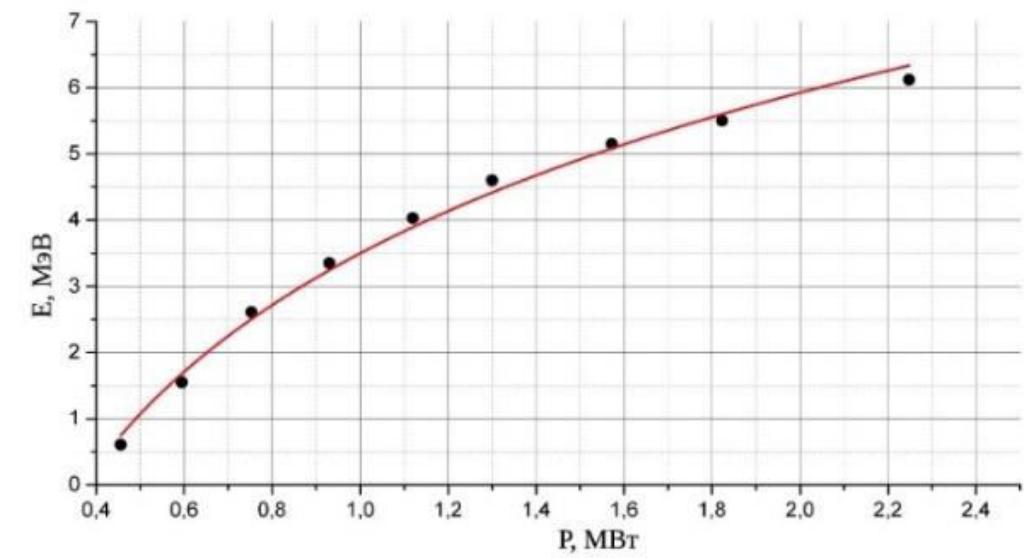
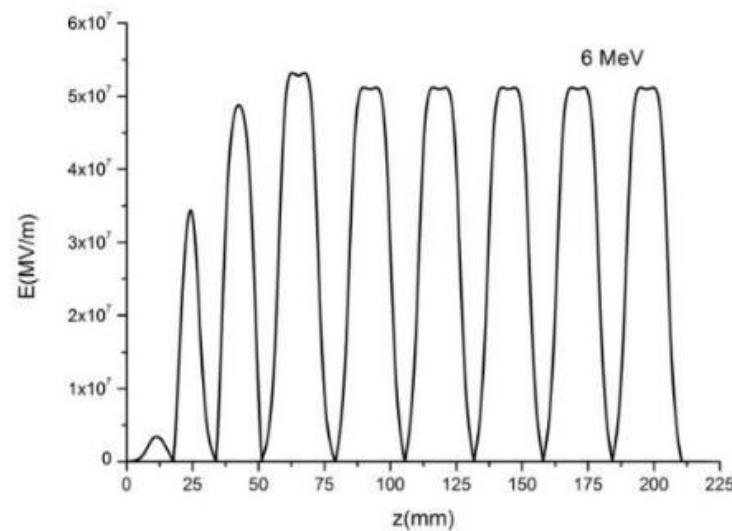
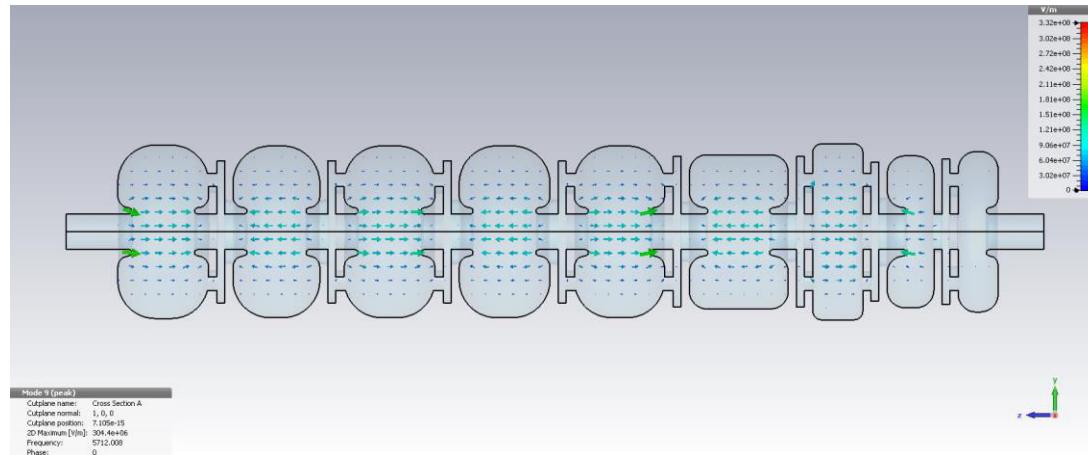


1.0 кВ

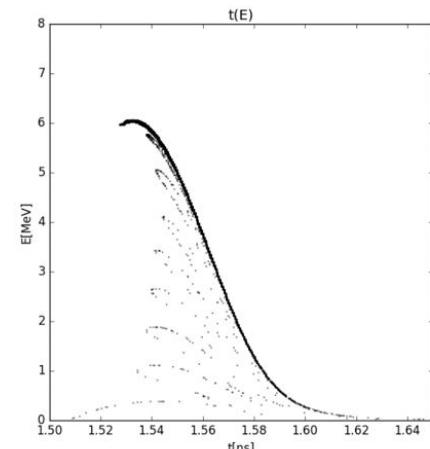
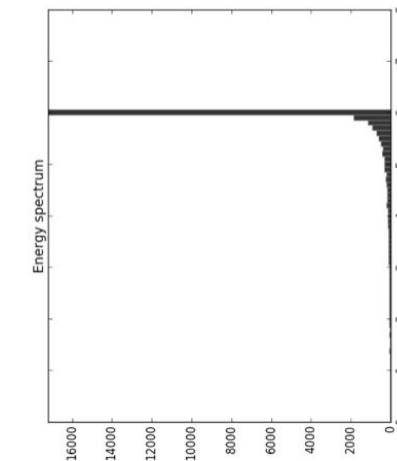
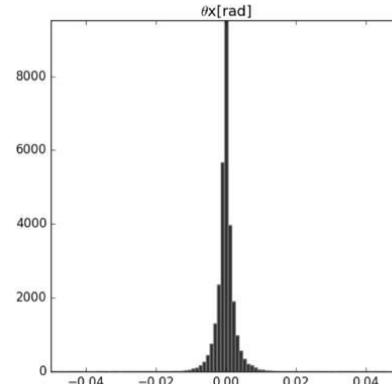
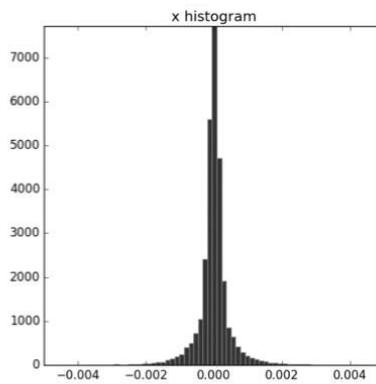
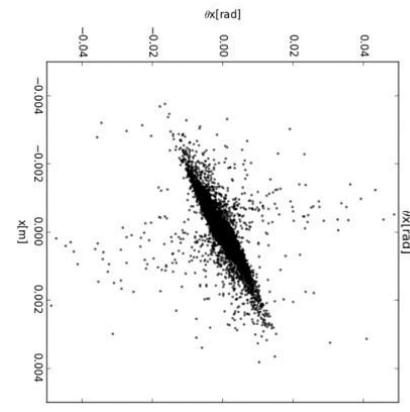
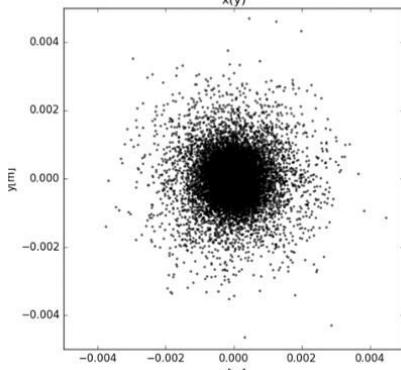


0.5 кВ

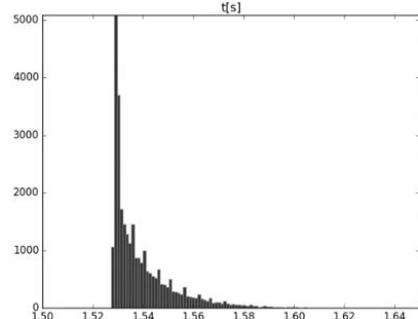
Динамика пучка в ускоряющей системе



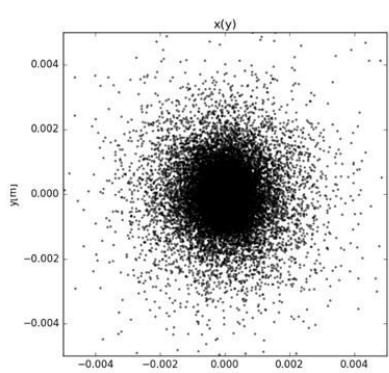
Характеристика пучка на выходе из структуры (6 МэВ)



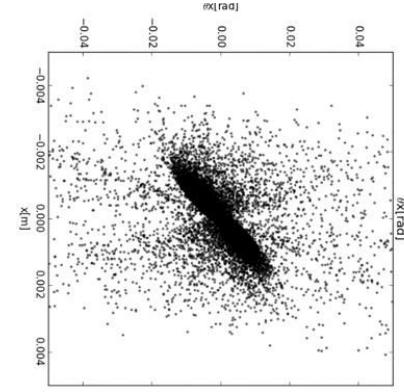
Характеристика	Значение
Доза для скважности 840, Гр/мин	10,5
Инжектируемые ток в структуру, мА	245
Ускоренный ток, мА	150
Коэффициент захвата, %	60
Среднеквадратичный радиус пучка, мм	0,7
Среднеквадратичная расходимость, мрад	8,2
Ширина энергетического спектра, кэВ	100
Затраты СВЧ мощности на создание поля, МВт	2,3
Импульсная мощность ускоренного пучка, МВт	0,9



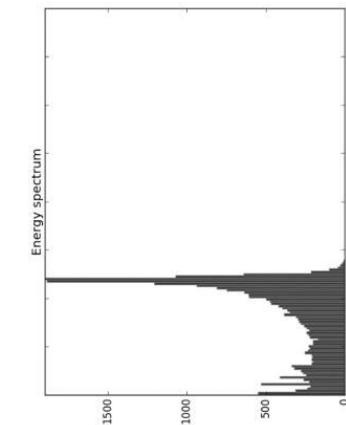
Характеристика пучка на выходе из структуры (2.5 МэВ)



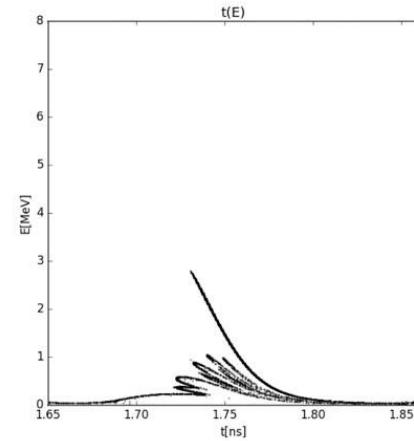
(а)



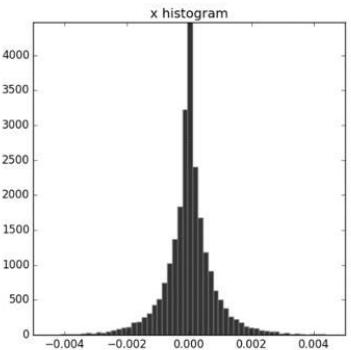
(б)



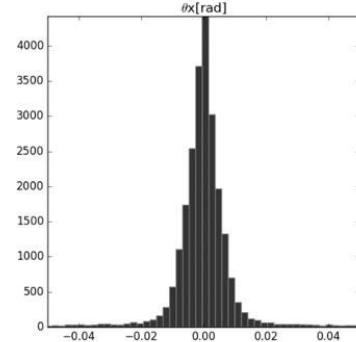
(а)



(б)

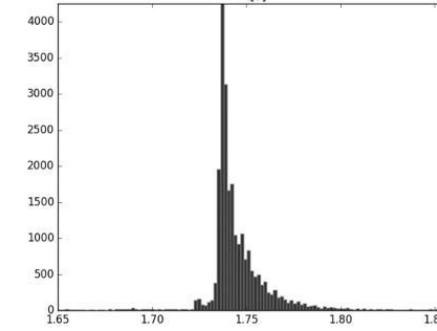


(в)



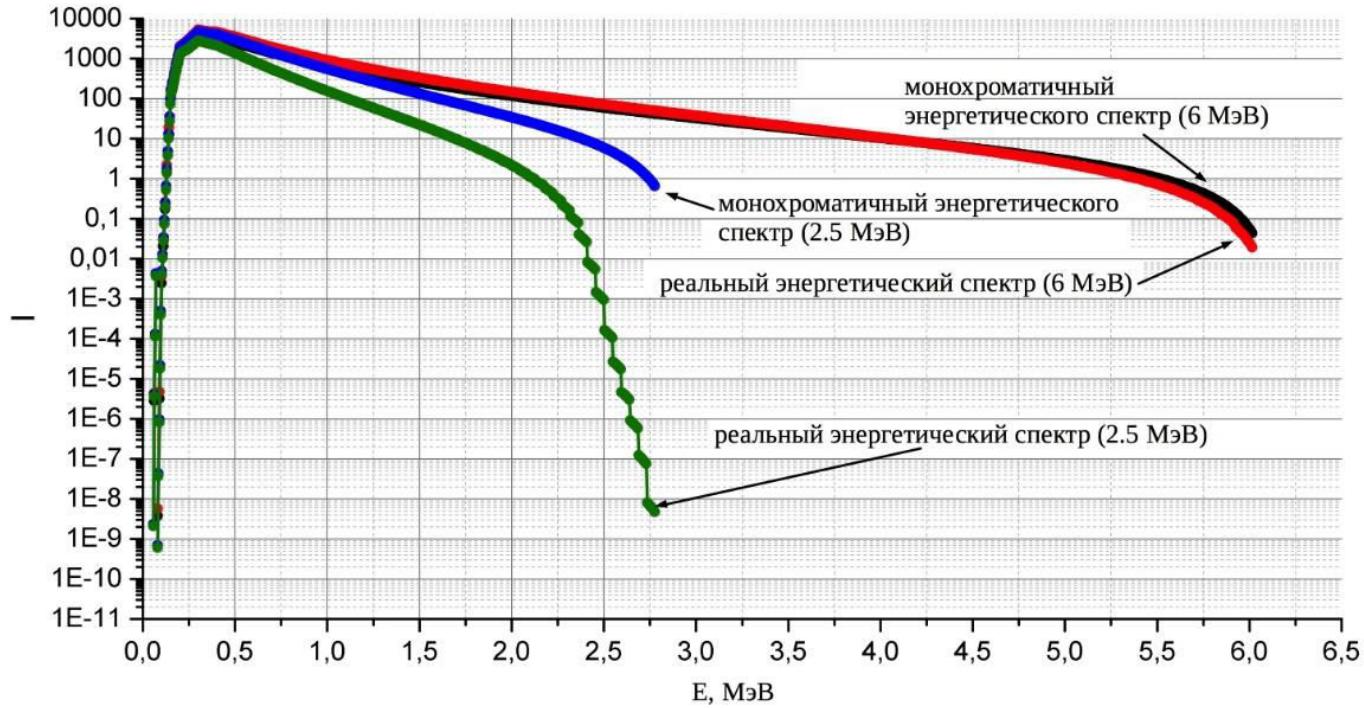
(г)

Характеристика	Значение
Доза для скважности 840, Гр/мин	0,37
Инжектируемый ток в структуру, мА	245
Ускоренный ток, мА	124
Коэффициент захвата, %	50
Среднеквадратичный радиус пучка, мм	0,84
Среднеквадратичная расходимость, мрад	29
Ширина энергетического спектра, кэВ	500



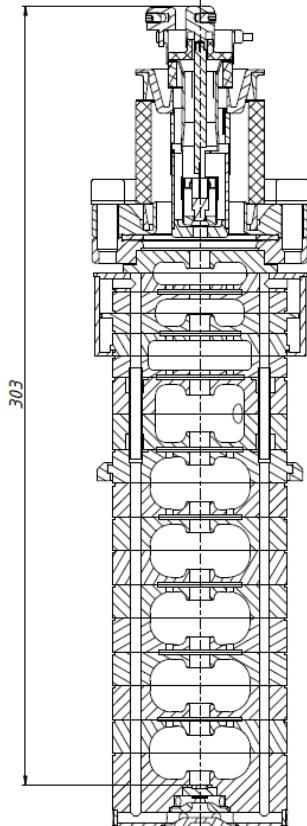
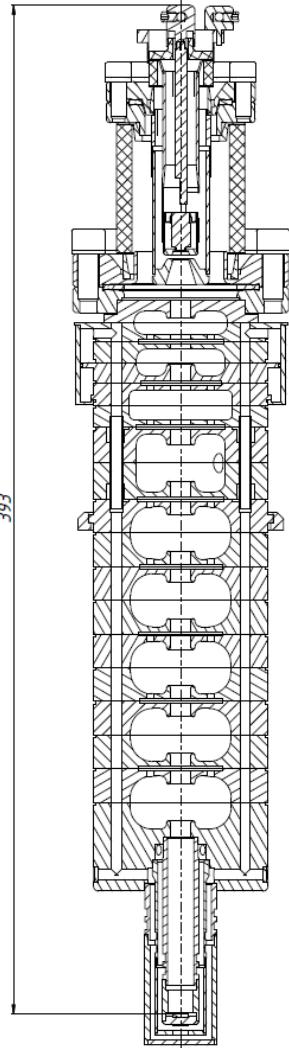
(в)

Тормозной спектр



$S_{eff}(k) = \sum_{i=1}^{N_H} \alpha_i S(E_i, k) S(E_i, k)$ – спектр тормозного излучения для монохроматического пучка электронов с энергией E_i , соответствующей i -му шагу гистограммы спектрального распределения электронов, k – энергия фотона, N_H – число разбиений гистограммы, α_i – доля электронов с энергией E_i в спектральном распределении, $\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1$.

ИТОГИ:



Основные результаты работы заключаются в следующем:

- выбрана схемы размещения оборудования ускорителя в комплексе лучевой терапии КЛТ6;
- на основании расчетов электронной пушки, динамики пучка теплового режима ускоряющей структуры проведена модификация конструкции ускоряющей системы ускорителя мобильного ИДК в соответствии с требованиями КЛТ6;

Спасибо за внимание!