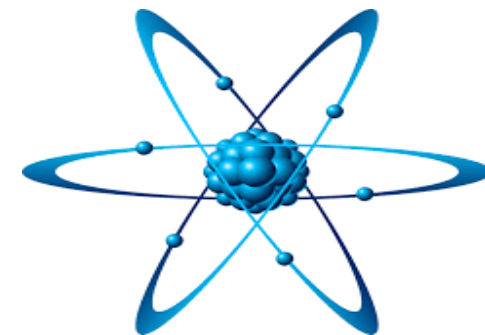


Skobeltsyn
Institute of Nuclear Physics

Lomonosov Moscow State University



Статус линейного ускорителя электронов на энергию 35 МэВ НИИЯФ МГУ для исследования фотоядерных реакций и наработки медицинских изотопов

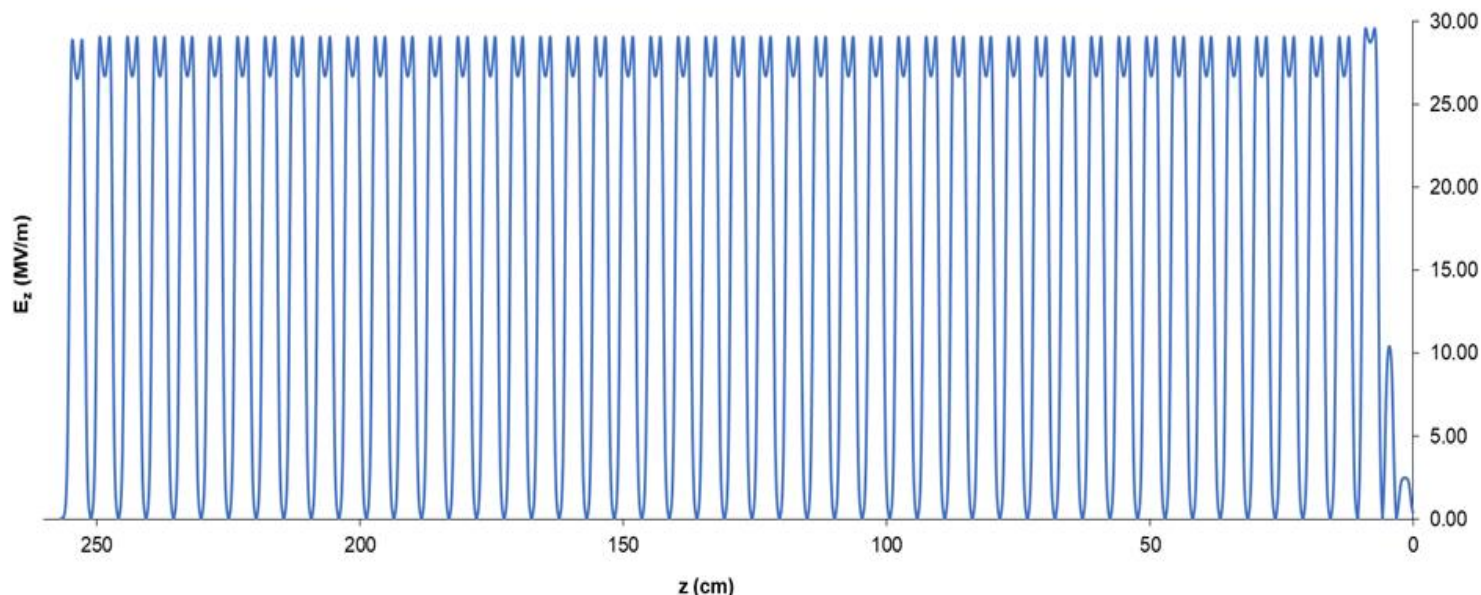
- Ермаков Андрей Николаевич,
- Ведущий научный сотрудник ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, к.ф.-м.н.,
- E-mail: a_ermak1978@mail.ru
- +7(495)939-24-51

г. Москва, 26 октября 2023 г.

Основные параметры ускоренного пучка

Номинальная энергия электронов в пучке	35 МэВ
Диапазон регулировки энергии электронов в пучке	10-35 МэВ
Энергетический разброс электронов на выходе из ускорителя	не более 10%
Номинальный импульсный ток ускоренного пучка электронов	100 мА
Номинальный средний ток пучка электронов на мишенном устройстве	100 мкА
Диапазон регулировки среднего тока электронов	30-100 мкА
Диаметр выходного пучка (доверительная вероятность для электронов оказаться в заданном диаметре 95,4%)мм	3-10 мм
Пространственная стабильность пучка на выходе из электронопровода (среднеквадратичное изменение положения пучка (2*сигма))	1 мм

Распределение ускоряющего поля двух секций



Суммарные затраты СВЧ мощности на ускорение пучка с импульсным током 100 мА до энергии 35 МэВ составляют около **5.2 МВт** (1-я секция) и **5.4 МВт** (2-я секция).

Оценки затрат СВЧ мощности на создание ускоряющего поля первой секции

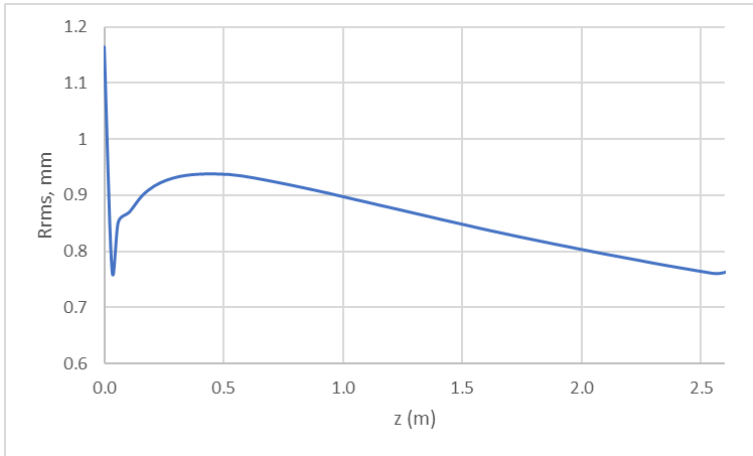
Оценки затрат СВЧ мощности на создание ускоряющего поля второй секции

#	L, см	Q	P (1 МВ/м), кВт	E(17.3 МэВ), МВ/м	P (17.3 МэВ), кВт
1	3.8	10430	0.724	1.74	2.19
2	2.6	7760	0.354	5.25	9.76
3	4.68	14230	0.474	20.5	199.2
4-25	5.23	14430	0.485	17.2	143.5
	126.1				3400

#	L, см	Q	P (1 МВ/м), кВт	E(17.7 МэВ), МВ/м	P (17.7 МэВ), кВт
1-25	5.23	14430	0.485	17.2	143.5
	130.75				3600

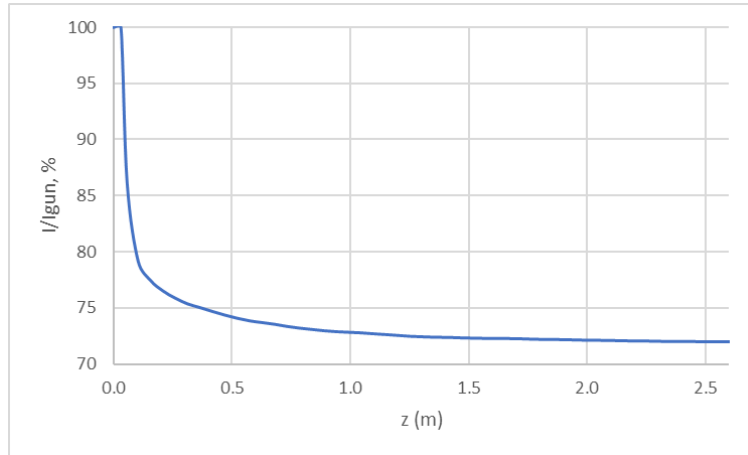
Расчет динамики пучка в линейном ускорителе

Изменение среднеквадратичного размера пучка в процессе ускорения.

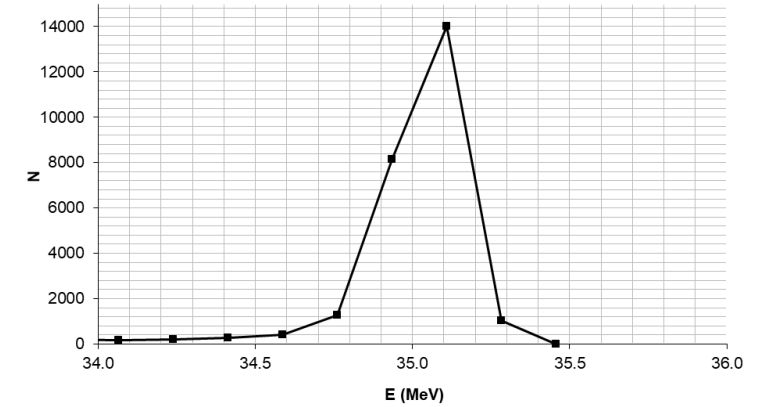


PARMELA Code [L.M. Young, "PARMELA", Los Alamos National Laboratory, LA-UR-96-1835 (preprint), Los Alamos, 1996, 93 p.]

Изменение тока пучка в процессе ускорения



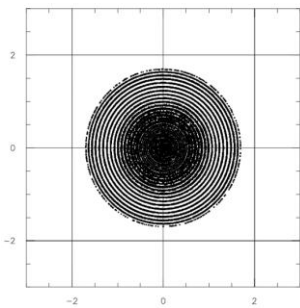
Спектр ускоренного пучка на выходе второй секции



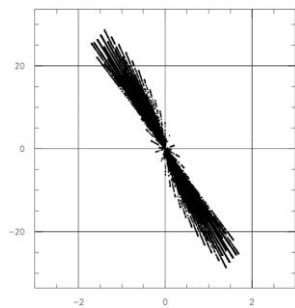
EGUN Code

[W. B. Herrmannsfeldt, "EGUN-an electron optics and gun design program", updated version of SLAC-226, Stanford]

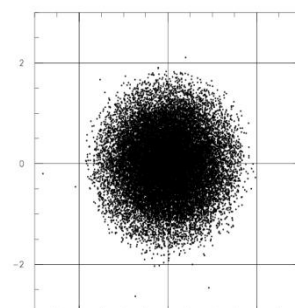
$U_c = 40 \text{ кВ}$, $U_e = 2 \text{ кВ}$,
 $I_c = 320 \text{ mA}$



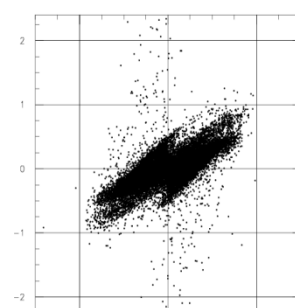
(xy)



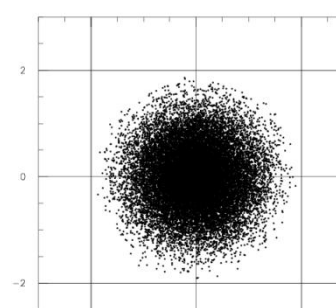
(xx')



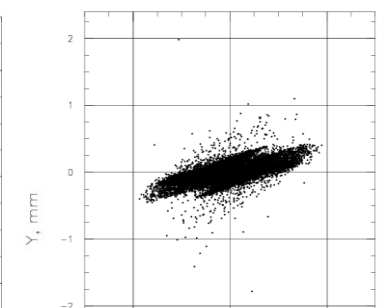
(xy)



(xx')



(xy)



(xx')

Проект линейного ускорителя электронов для исследования фотоядерных реакций и наработки медицинских изотопов

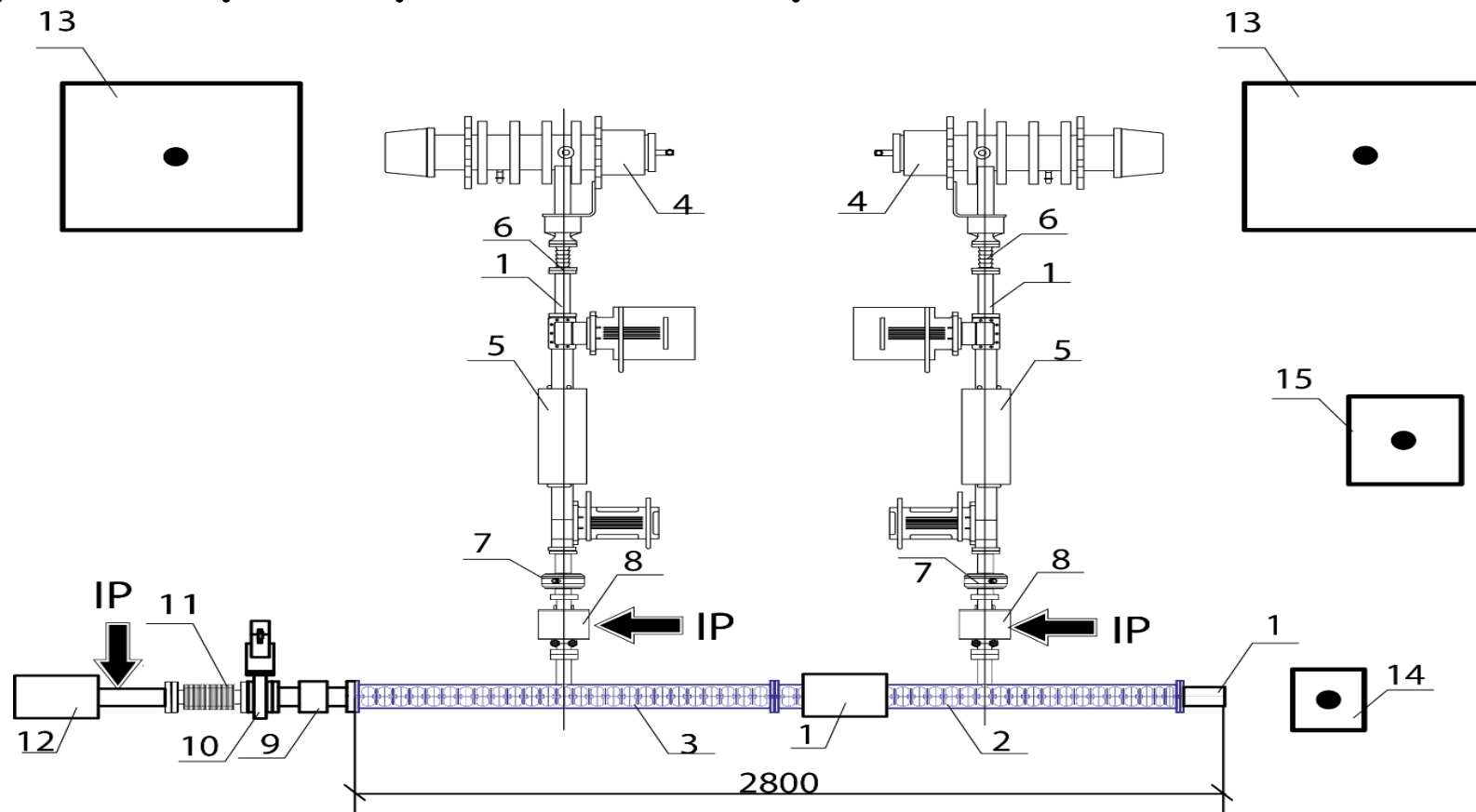
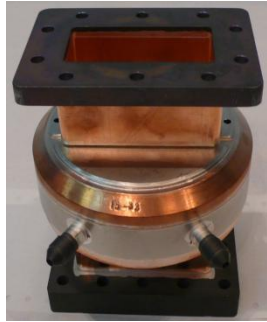
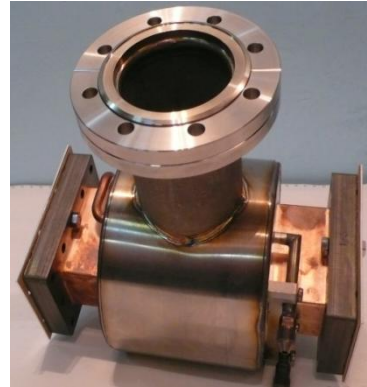


Схема ускорителя. 1 - электронная пушка с термокатодом, 2 - секция нерегулярной ускоряющей структуры, 3 - секция регулярной ускоряющей структуры, 4 - клистрон, 5 - ферритовый вентиль, 6 - гибкий волновод, 7 - вакуумное СВЧ окно, 8 - узел откачки, 9 - датчик тока пучка, 10 - вакуумный затвор, 11 - сильфон, 12 - тормозная мишень, 13 - высоковольтный модулятор клистрона, 14 - высоковольтный модулятор пушки, 15 - система контроля и управления.

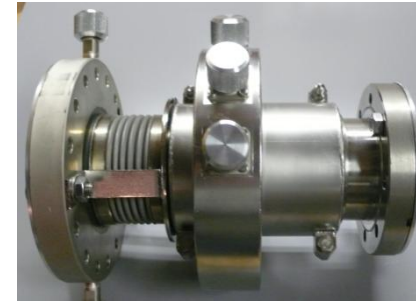
Компоненты ускорителя



Вакуумное СВЧ окно



Узел откачки



Датчик тока



Клистрон КИУ-168



Ферритовый вентиль ВФВВ2-16А

Компоненты ускорителя

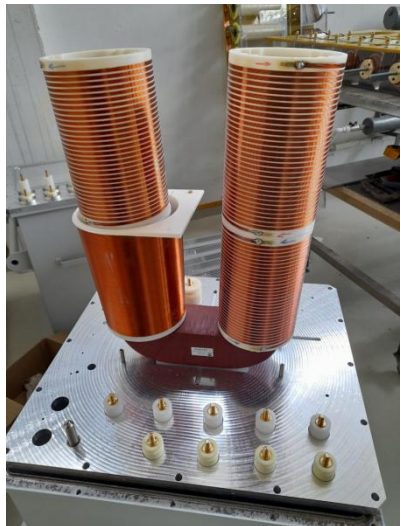
КИУ-284 и его основные характеристики



Основные технические характеристики, полученные по результатам испытаний прибора

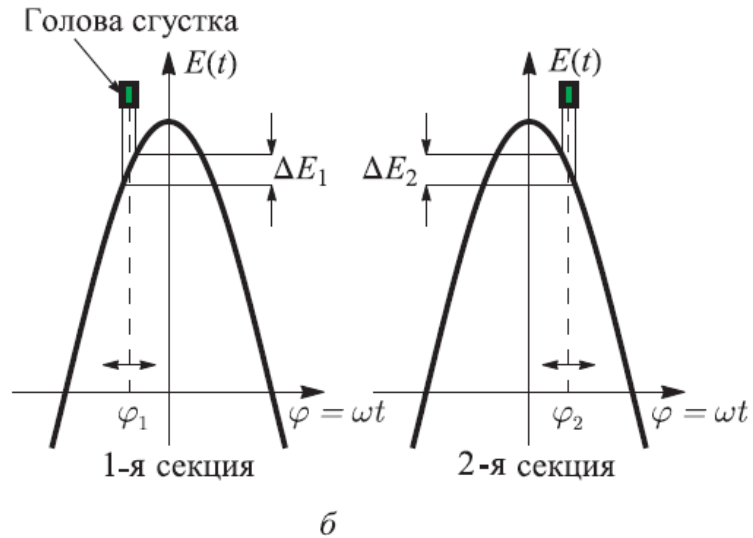
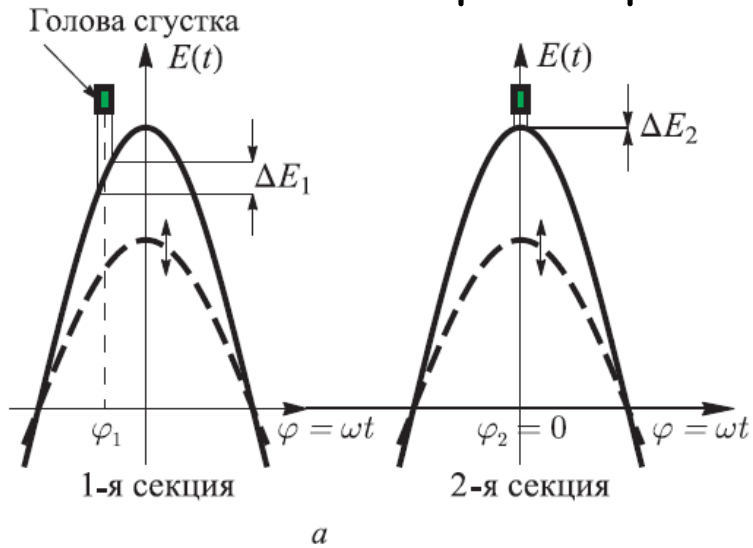
1	Центральная частота, МГц	2856
2	Напряжение катода, кВ	58
3	Выходная импульсная мощность, МВт	8
6	КПД, %	50
7	Коэффициент усиления, дБ	50
9	Вес, кг, не более	70
10	Габариты, см	80.5 x 47.0

1



Высоковольтный модулятор «ДиалТэк», г. Дубна

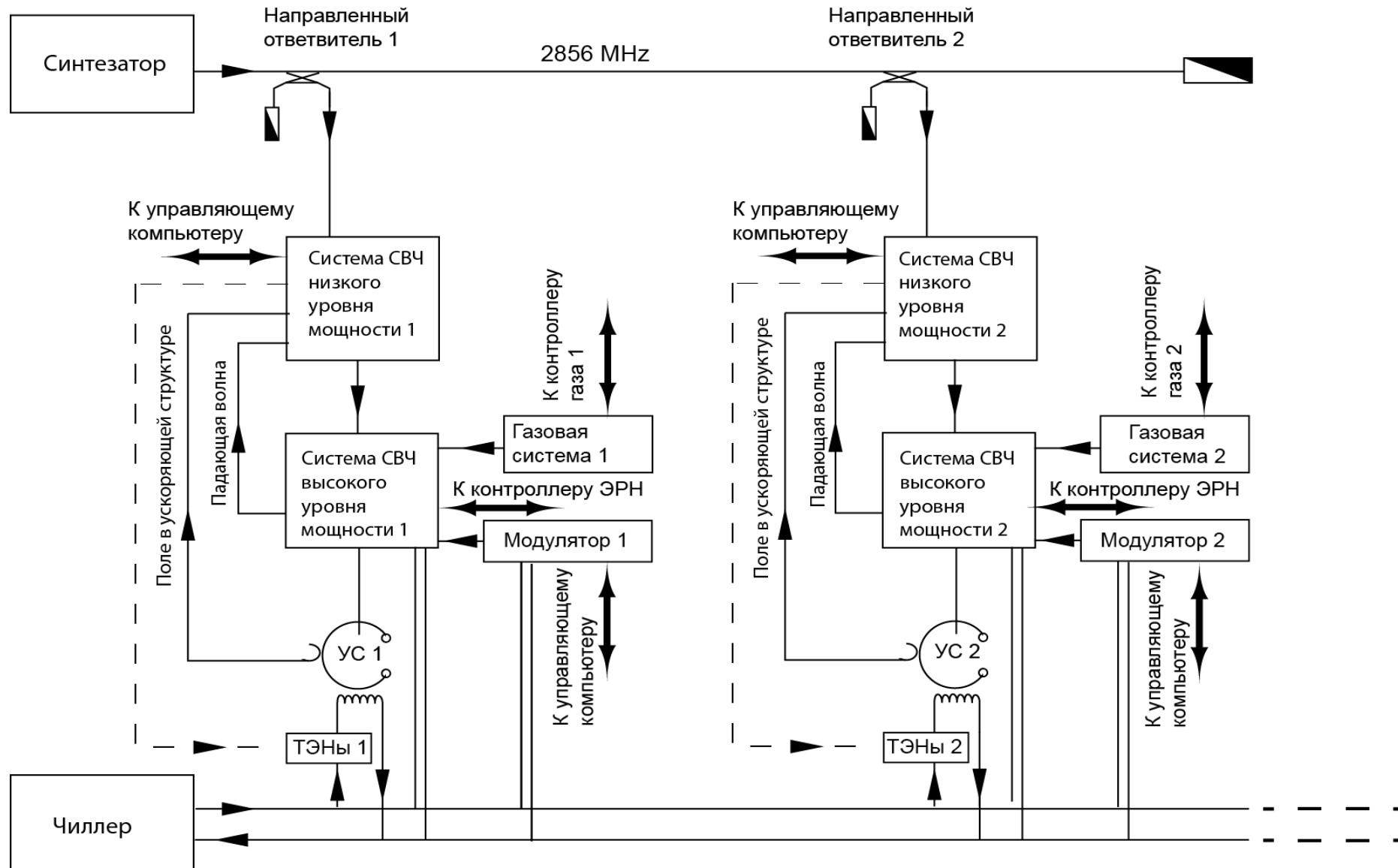
Регулирование энергии ускоренного пучка в пределах 10-35 МэВ при сохранении низкого энергетического разброса



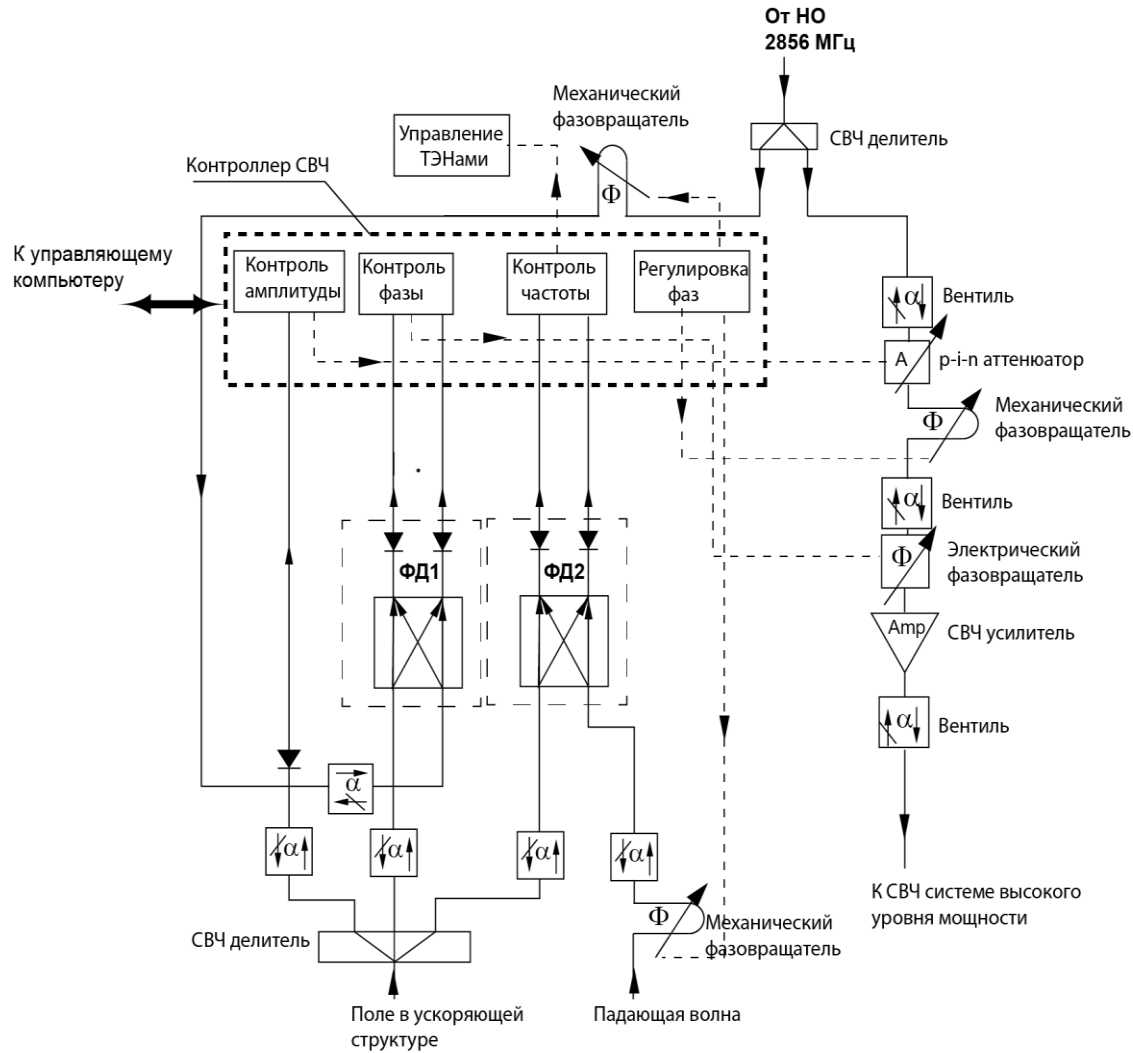
Два варианта регулирования энергии пучка:
 а — изменением амплитуд, б —

В первом варианте регулирование энергии осуществляется за счет изменения амплитуд ускоряющего поля обеих секций. Фаза поля первой секции выбирается вблизи фазы максимума ускорения на возрастающем участке для того, чтобы компенсировать энергетический разброс, вызванный действием сил пространственного заряда на участке дрейфа, где частицы, идущие в голове сгустка (раньше по времени), ускоряются, а в хвосте — тормозятся, а также компенсировать скольжение по фазе, обусловленное отличием скорости частиц от скорости света.

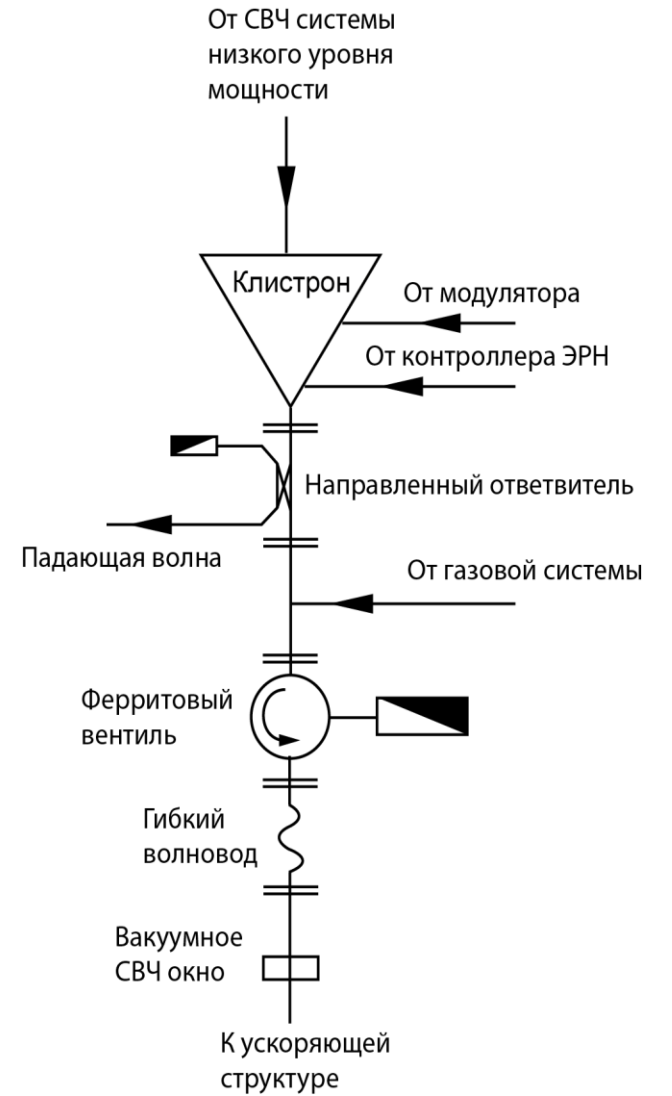
Блок-схема системы высокочастотного питания ускорителя



Система СВЧ питания

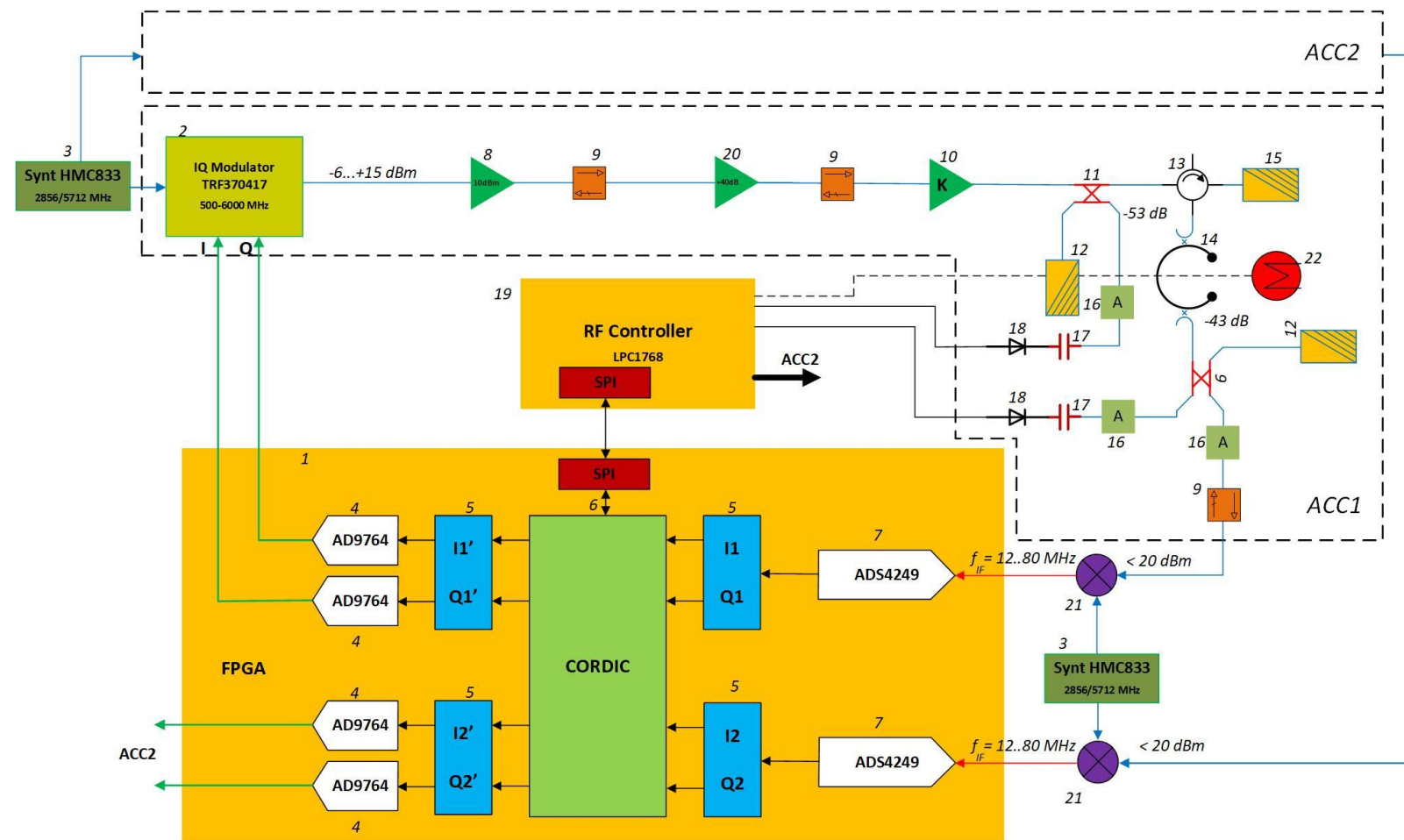


Низкий уровень мощности



Высокий уровень мощности

Тракт СВЧ с гетеродином в цепи обратной связи



Структурная схема тракта СВЧ: 1 - контроллер IQ-преобразования, 2 - модулятор СВЧ TRF370417, 3 - синтезатор HMC833, 4 - ЦАП AD9764, 5 - модуль алгоритма выделения I и Q составляющих, 6 - модуль алгоритма CORDIC, 7 - АЦП ADS4249, 8 - предварительный усилитель, 9 - вентиль, 10 - клистрон, 11 - волноводно-коаксиальный направленный ответвитель, 12 - коаксиальная нагрузка, 13 - циркулятор, 14 - ускоряющая структура, 15 - нагрузка циркулятора, 16 - аттенюатор, 17 - коаксиальная гальваническая развязка, 18 - детекторная головка, 19 - контроллер СВЧ, 20 - основной усилитель, 21 - смеситель ADL5801, 22 - ТЭН.

Спасибо за внимание!