

**Изохронный
циклотрон
H⁻-ионов, 80 МэВ,
100мкА**



**Ускорительный
отдел**

Г. Ф. Михеев

ГУТЧИНУ 2010

30.12.10



Циклотрон Ц-80





Составные части Ц-80

**3D-модель
сборки Ц-80
(Autodesk® Inventor)**

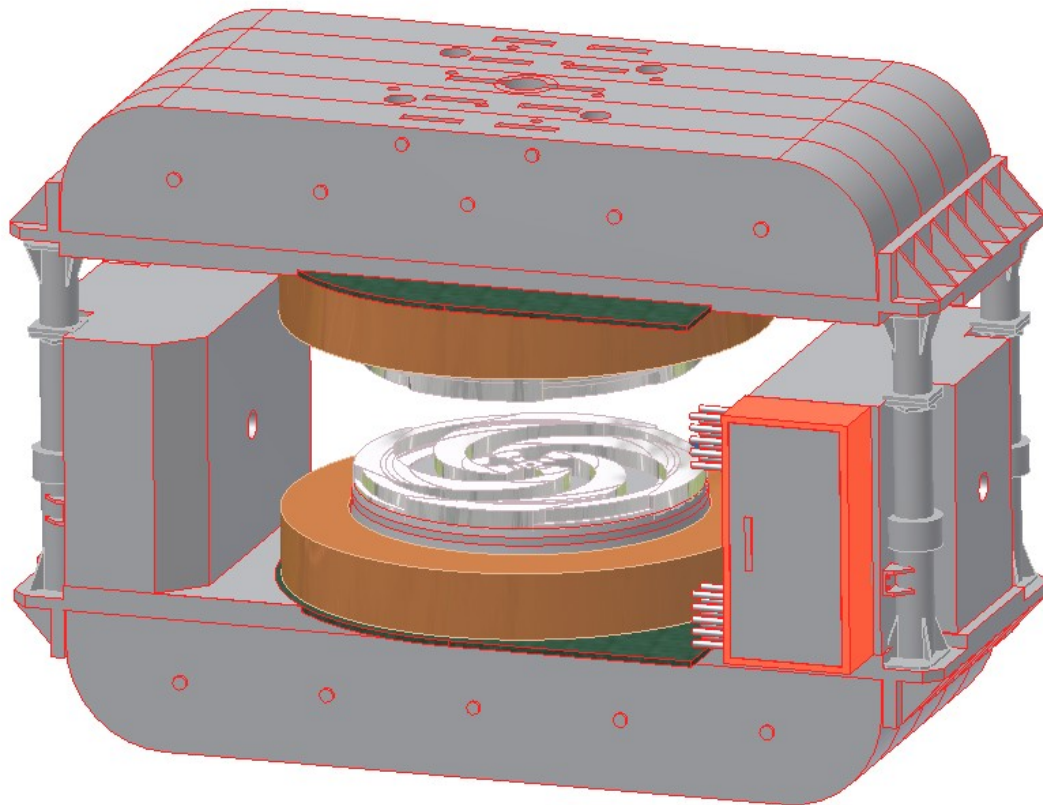
Кучер С.Е.



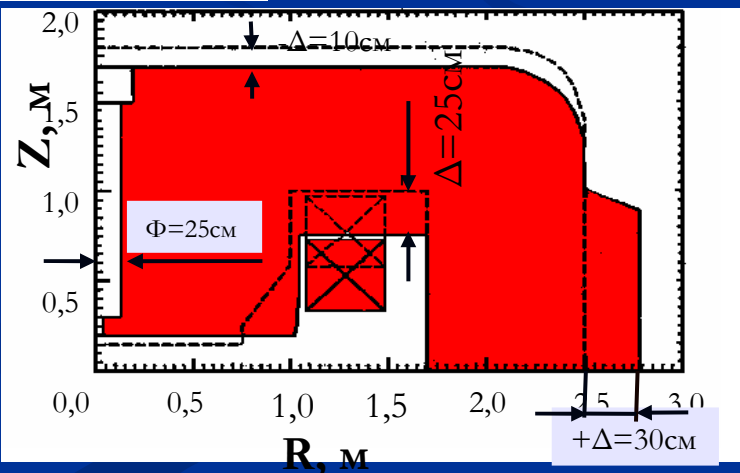
Электромагнит, гидроподъём

Основные параметры:

- Габариты: 5,7*2,6*3,4 м³
- Масса: 250 т
- Диаметр полюса: 2,05 м
- Зазор долина/холм: 386/146мм
- Число секторов: 4
- Поле в центре: 1,352 Тл;
 $\Delta H/H=8,5\%$
- Ток осн. обмотки: 784 А
- Вес обмотки: 17 т
- Мощность: 120кВт
- Высота подъема :
 $\Delta h_{\text{пнж}} = 450 \text{ мм}$

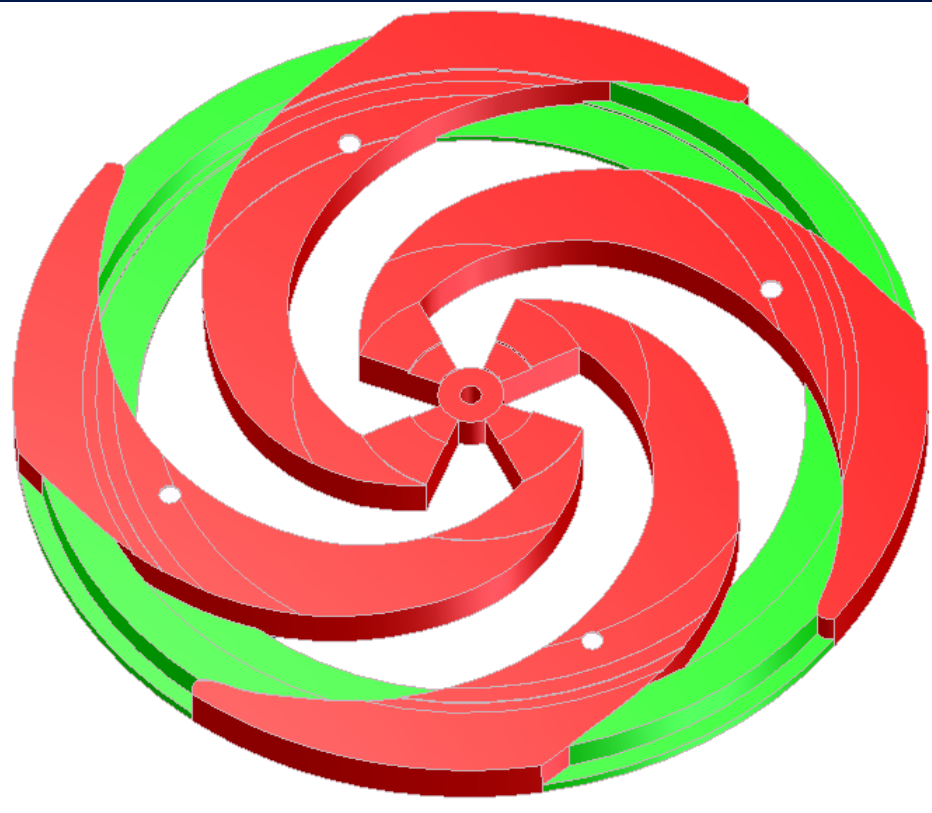
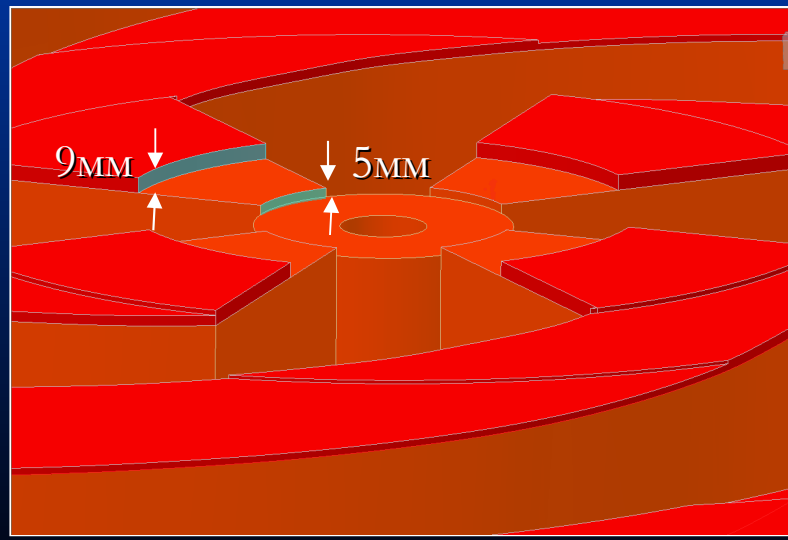


Оптимизация
магнитопровода





Секторные накладки



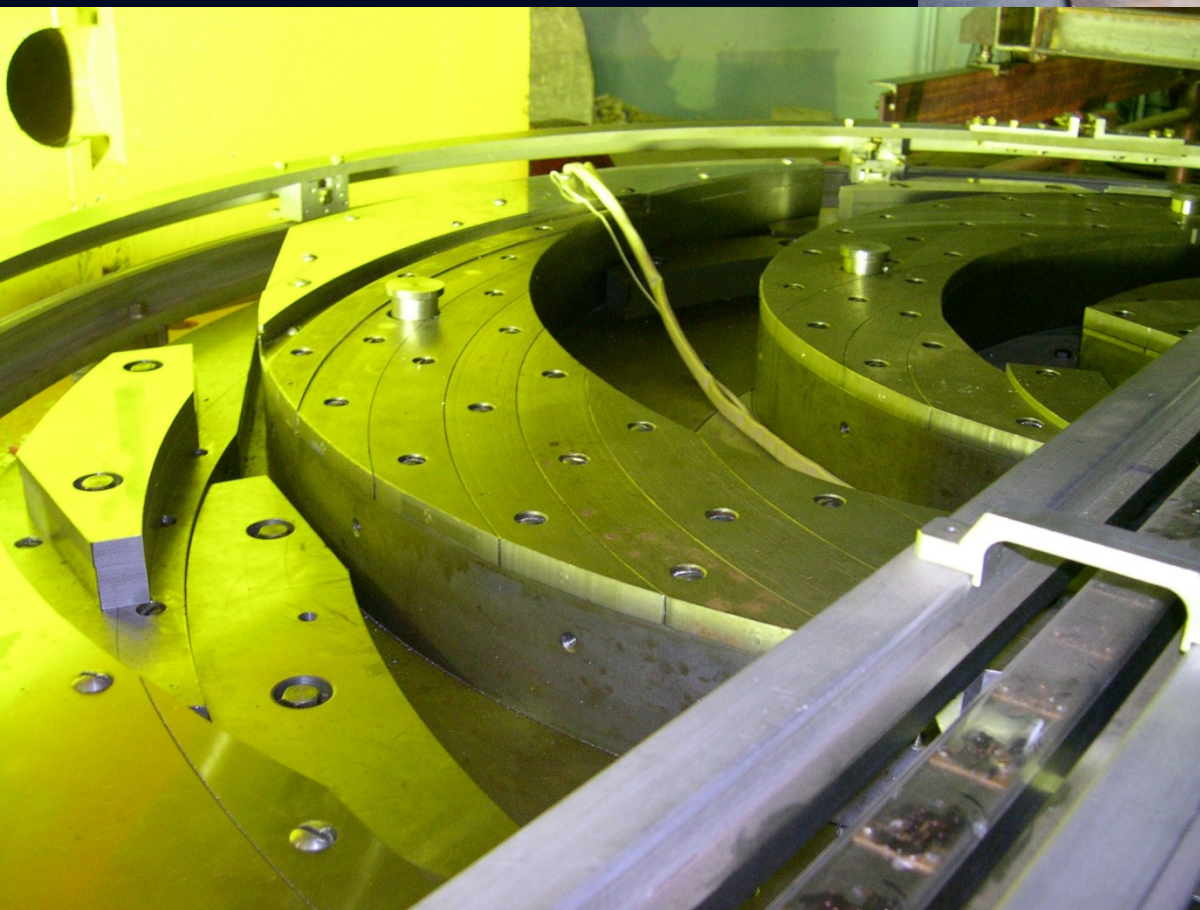
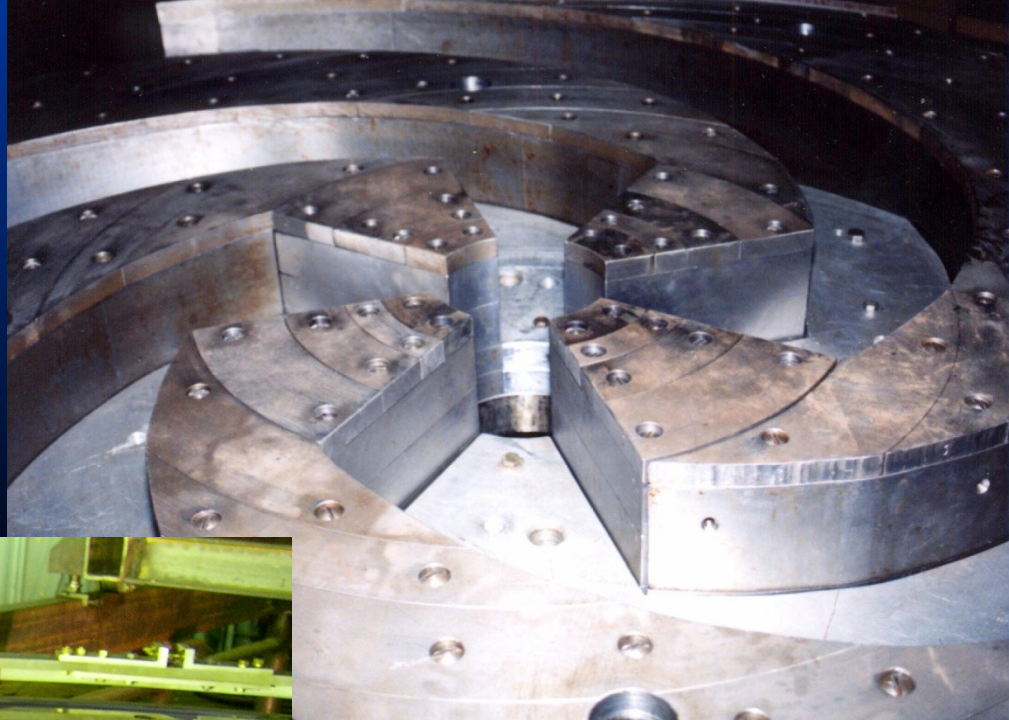
Основные параметры:

- Высота сектора - 90 мм,
- Высота накладок (max) - 18 мм,
- Угол спиральности – 65°,
- Флаттер $F \approx 0,025$

$$v_z^2 \approx -k + F \cdot (1 + 2 \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma) \quad \gamma = \operatorname{arctg} \left(r \cdot \frac{d\psi}{dr} \right) \quad k \cong \frac{2 \cdot W}{E_0} \quad F = \frac{\bar{B}^2 - (\bar{B})^2}{\bar{B}^2}$$

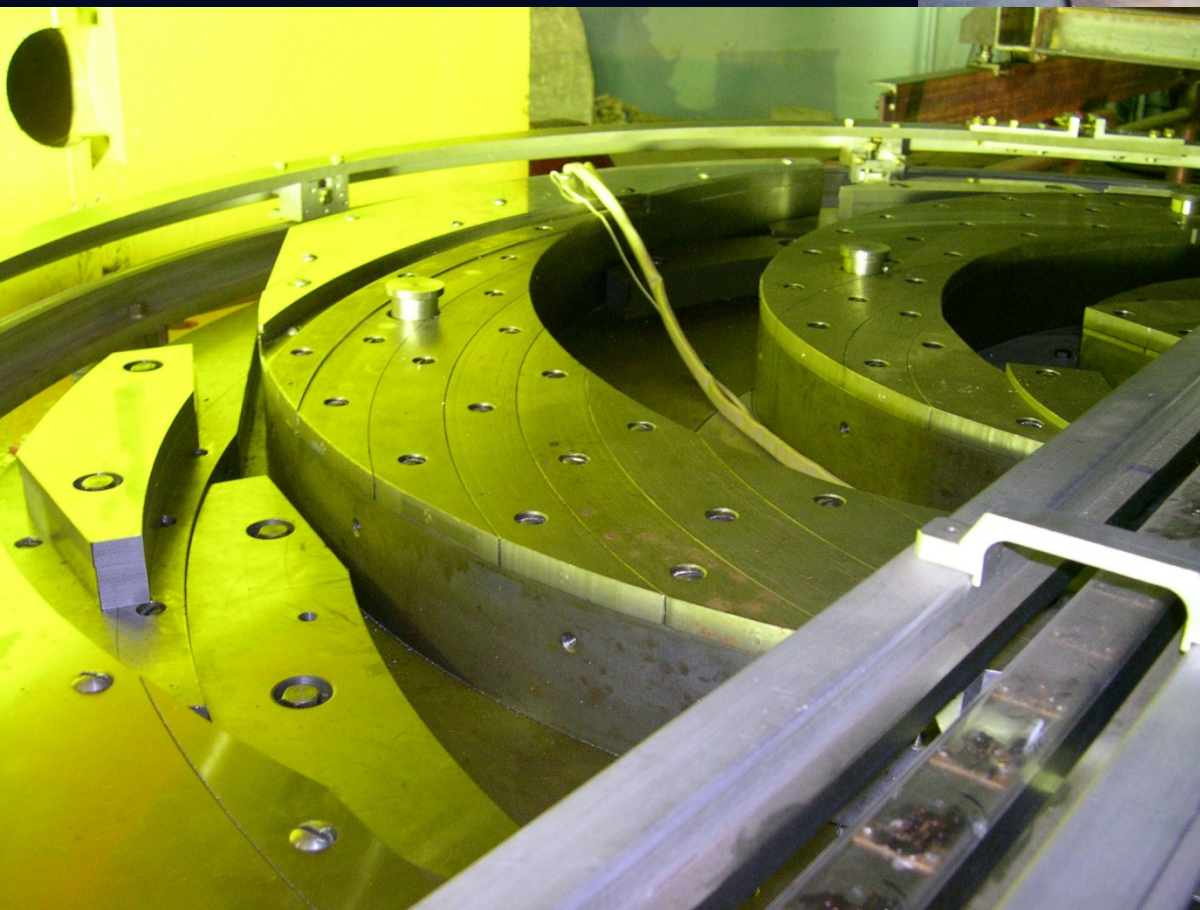
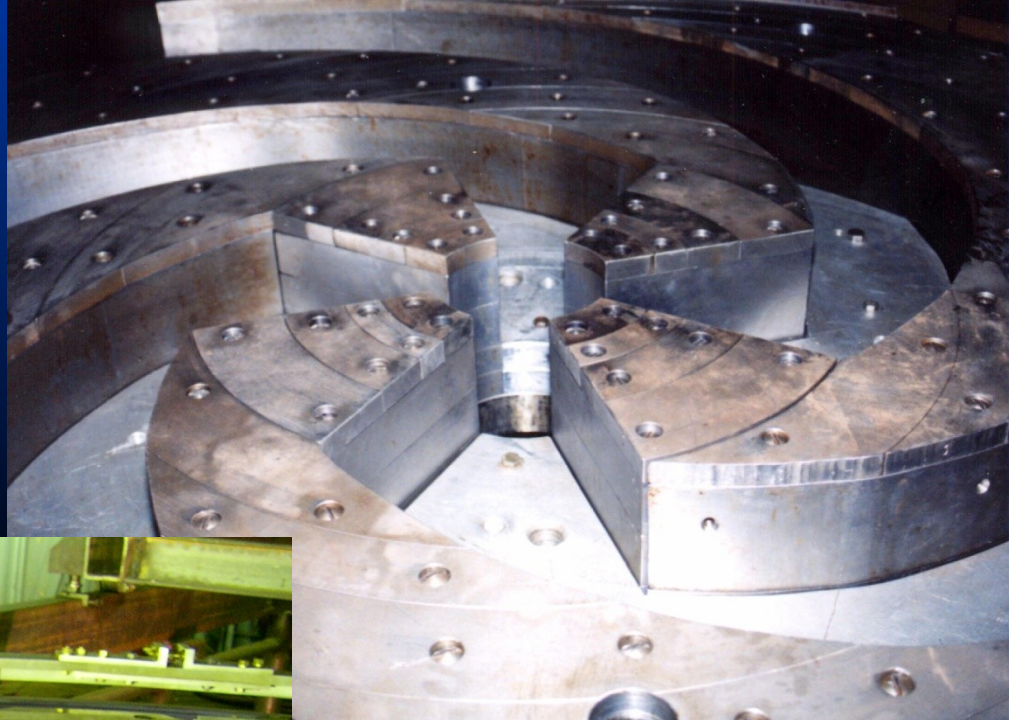


Секторные накладки

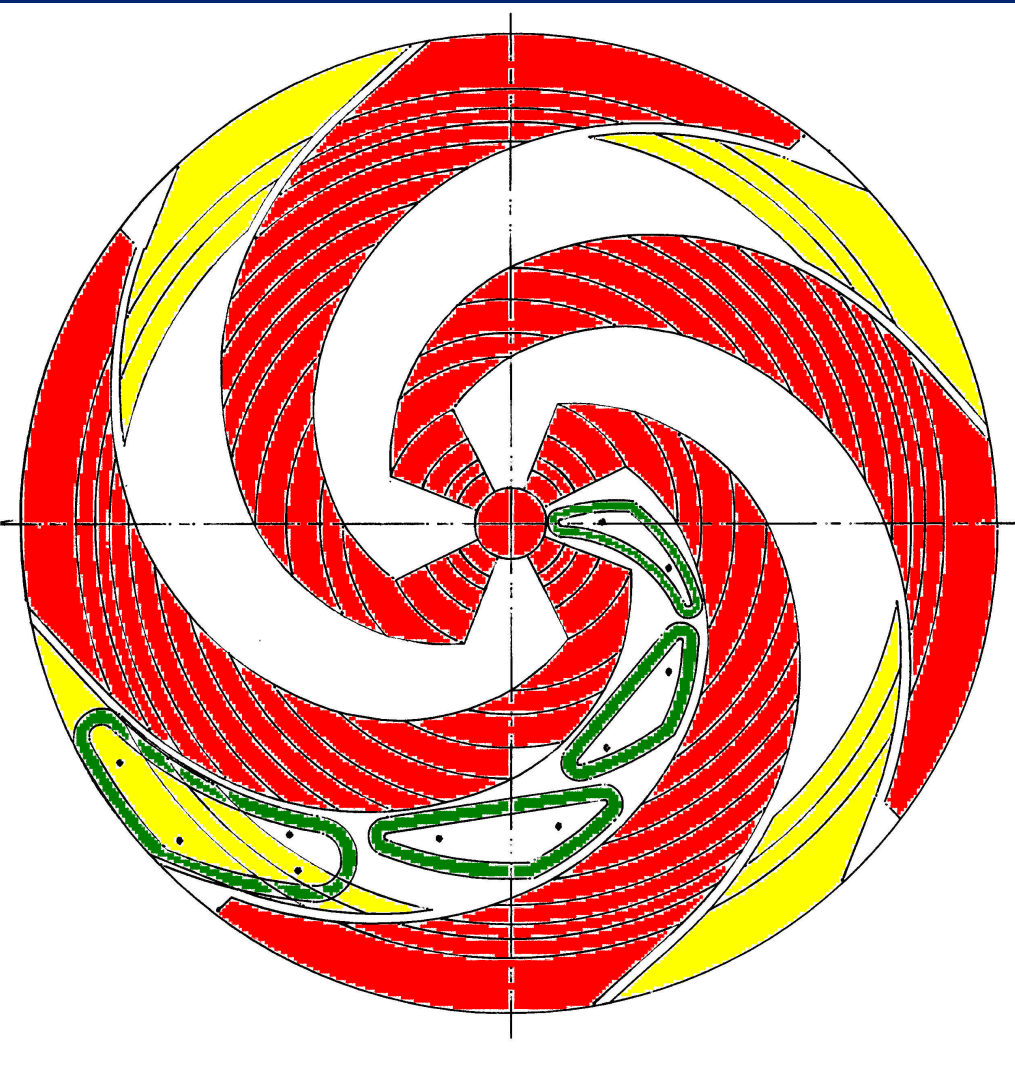




Секторные накладки



Корректирующие катушки

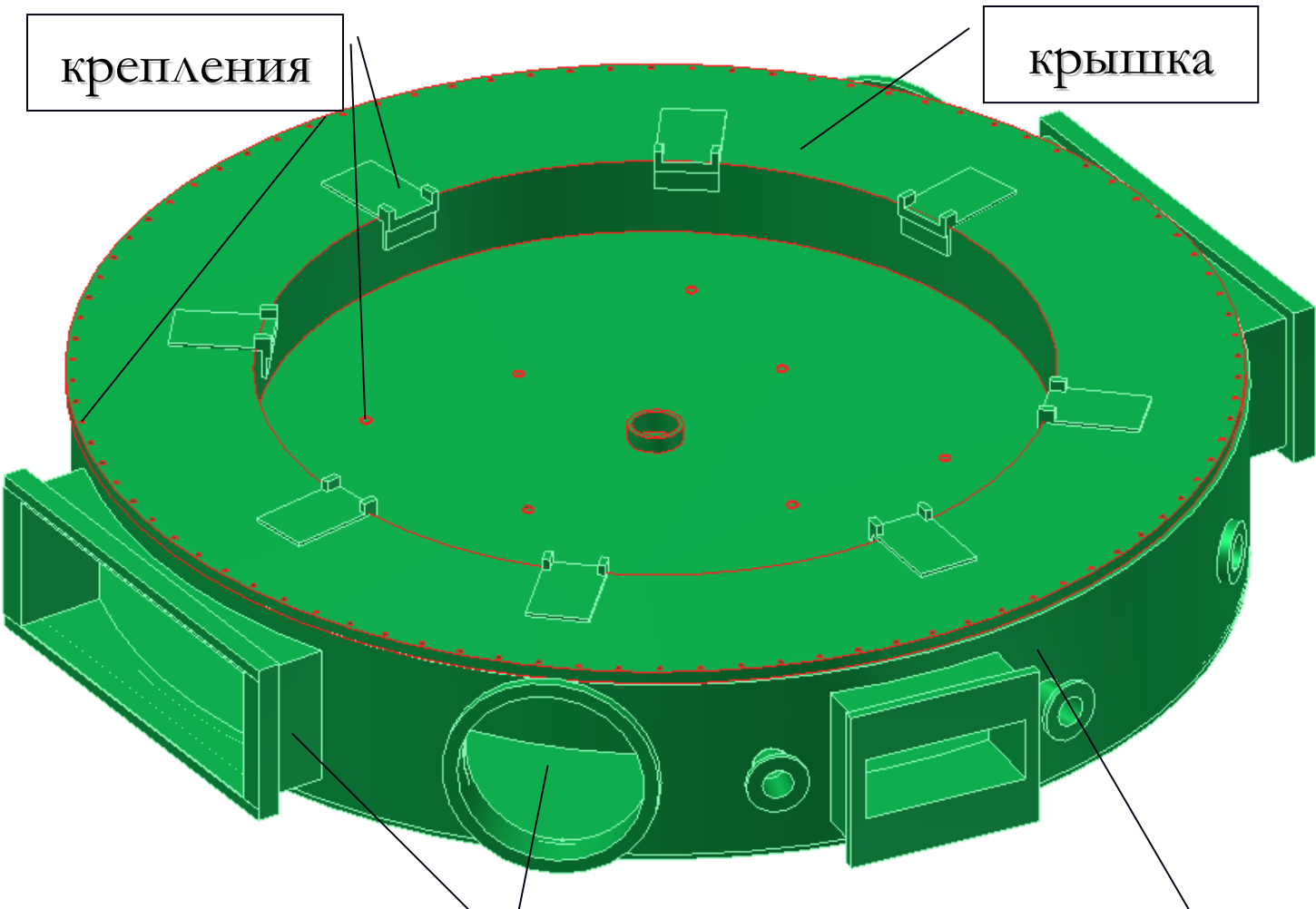


Основные параметры:

- Число катушек $4 \cdot 4 \cdot 2 = 32$ шт
- Ток катушек -20 А (24 шт)
40 А (8 шт)
- Число источников питания – 20шт
- $\Delta I / I \approx 10^4$
- Алгоритм управления



Вакуумная камера



Основные параметры:

- $p = 10^{-7}$ торр
- $V = 2,3 \text{ м}^3$
- $D = 3,1 \text{ м}$

Крепеж:

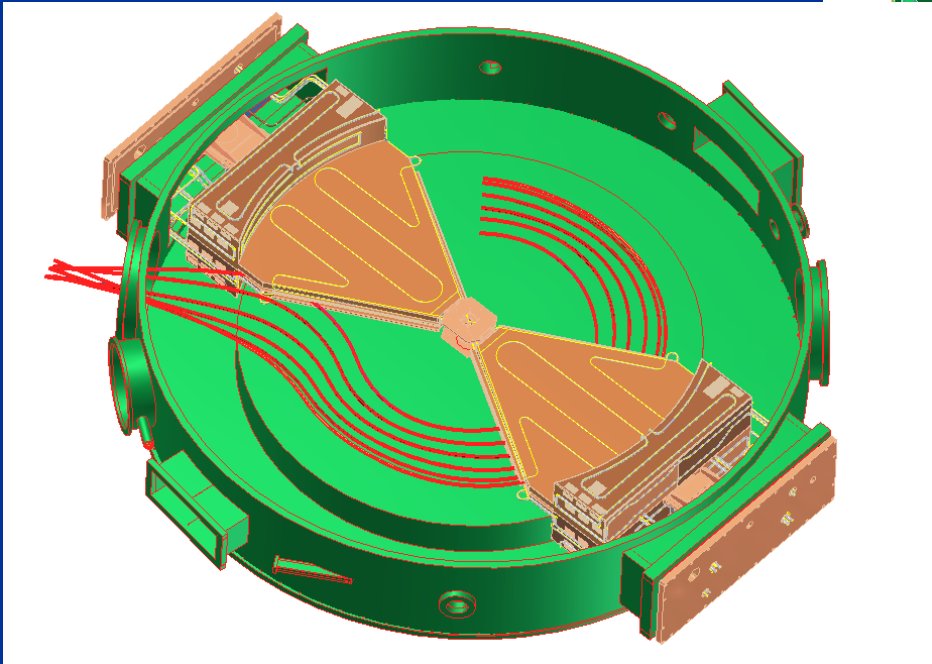
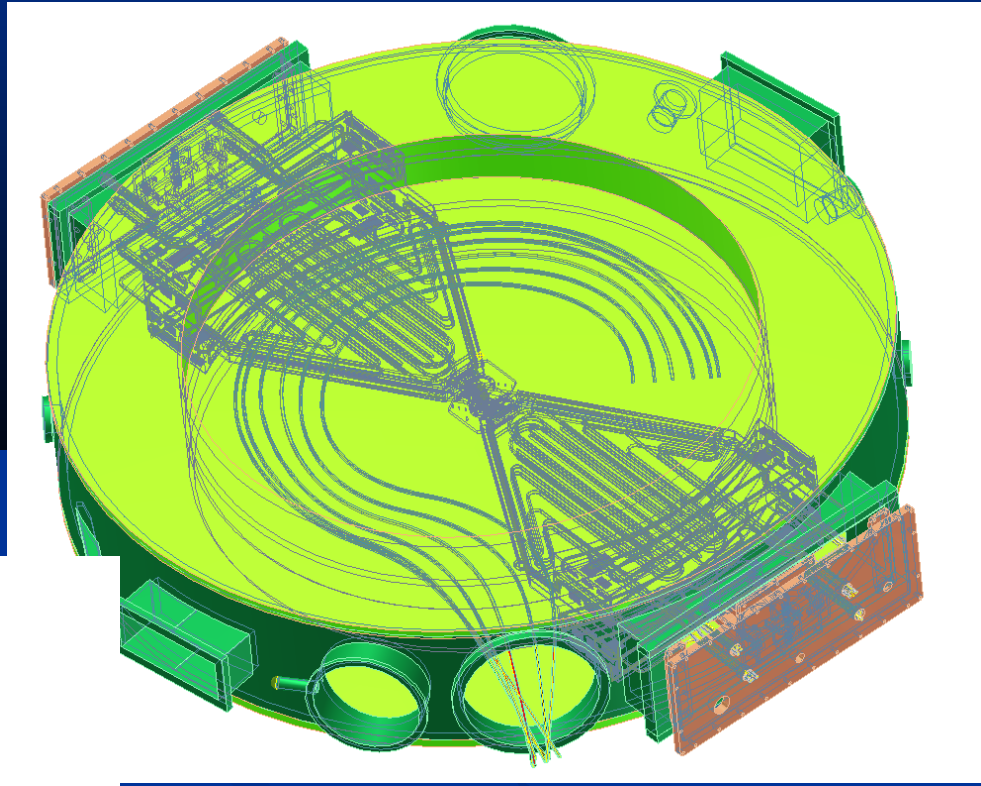
- 2*90 шт
- 2*8 шт
- 2*8 шт

окна-фланцы

обечайка

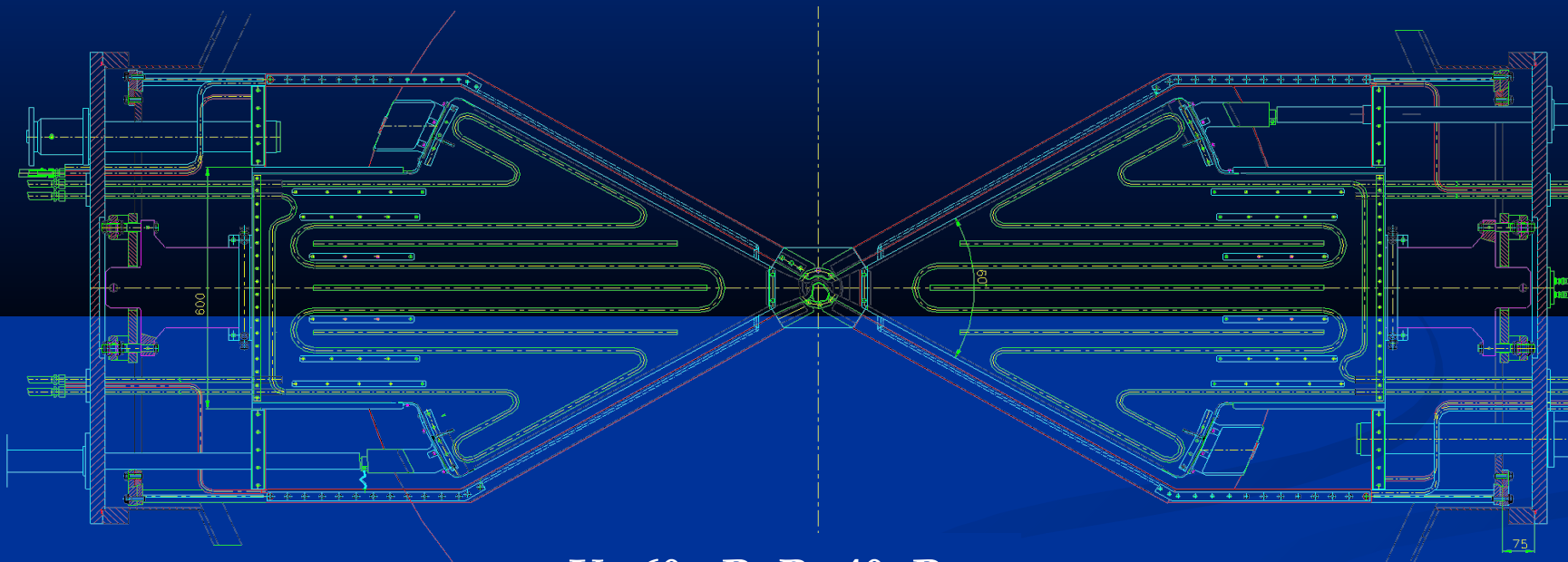


ВЧ - ускоряющая система

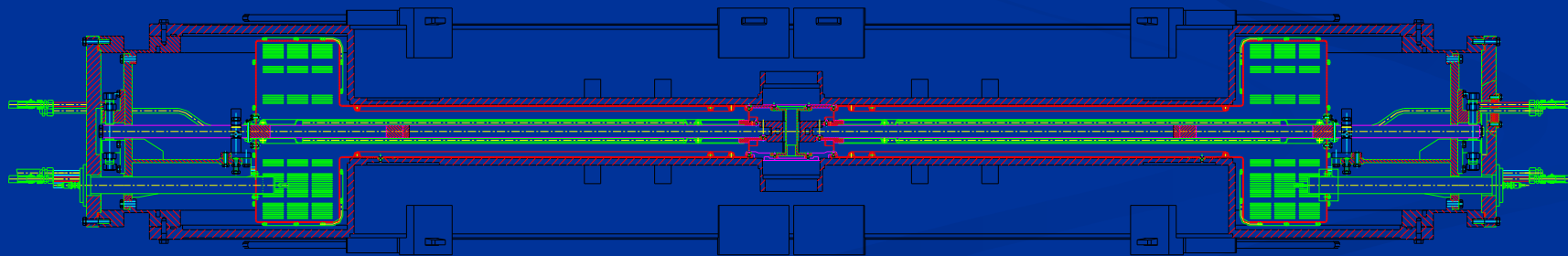




ВЧ-ускоряющая система



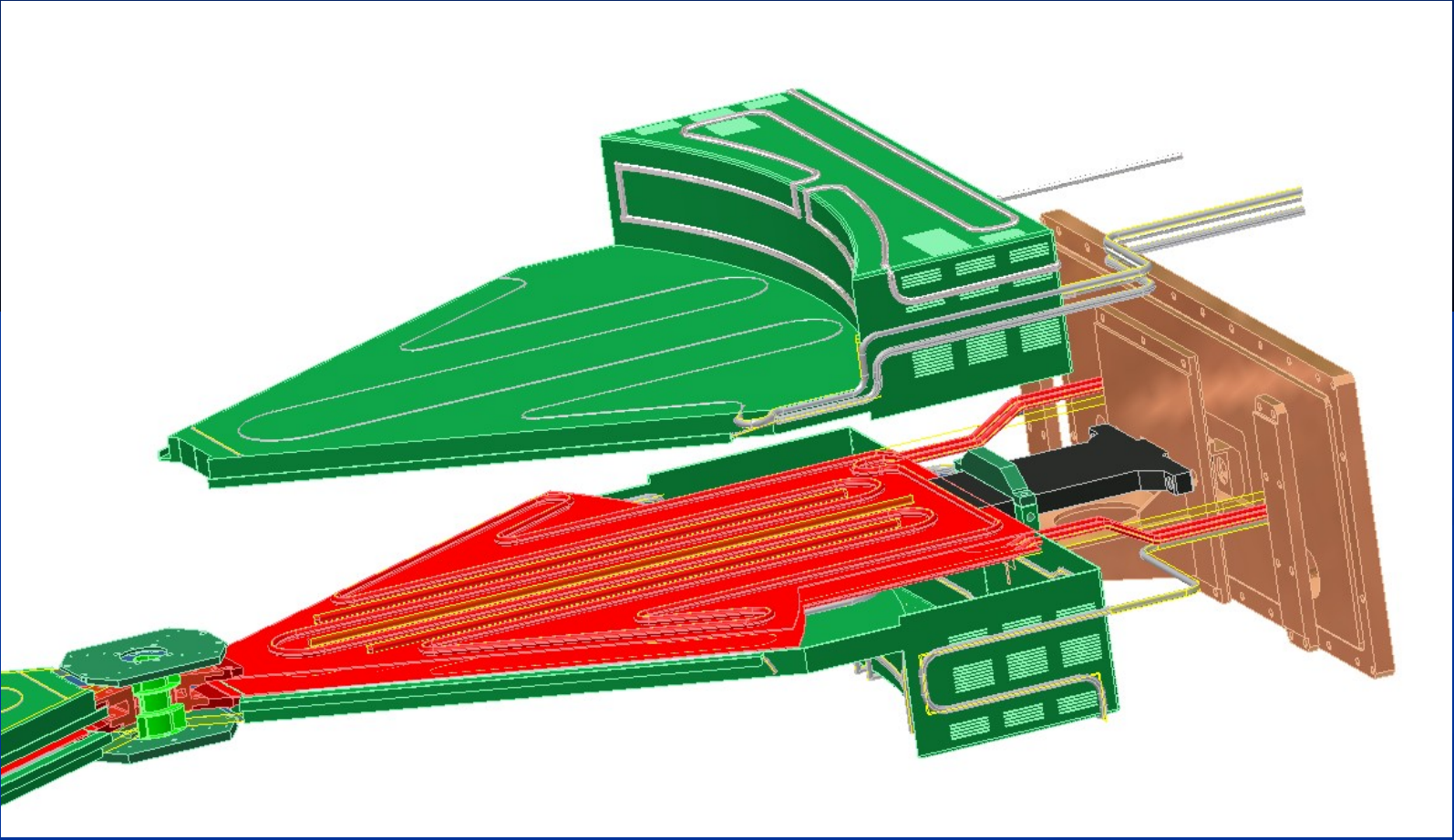
$U=60 \text{ кВ}; P=40 \text{ кВт}$



$f_0=41,2 \text{ МГц}; \lambda=7,28 \text{ м}$



ВЧ- резонансная система (правая половина)



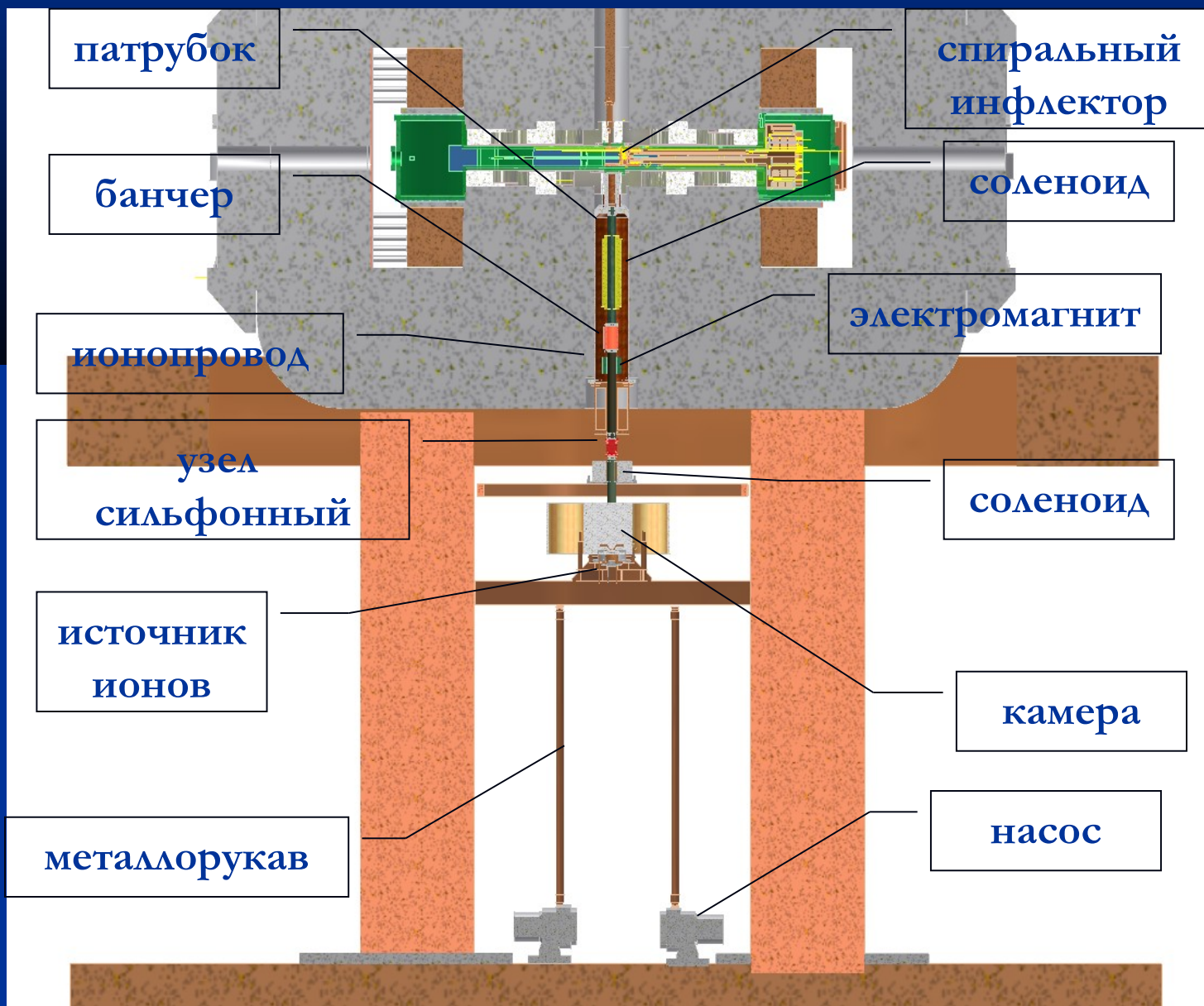
$f_0 = 41,2 \text{ МГц}$
 $U = 60 \text{ кВ}$

$P = 2 \cdot 20 \text{ кВт}$
 $Q = 6700$

$P_{г в ч} = 2 \cdot 40 \text{ кВт}$
 $\Delta E = 240 \text{ кэВ/оборот}$

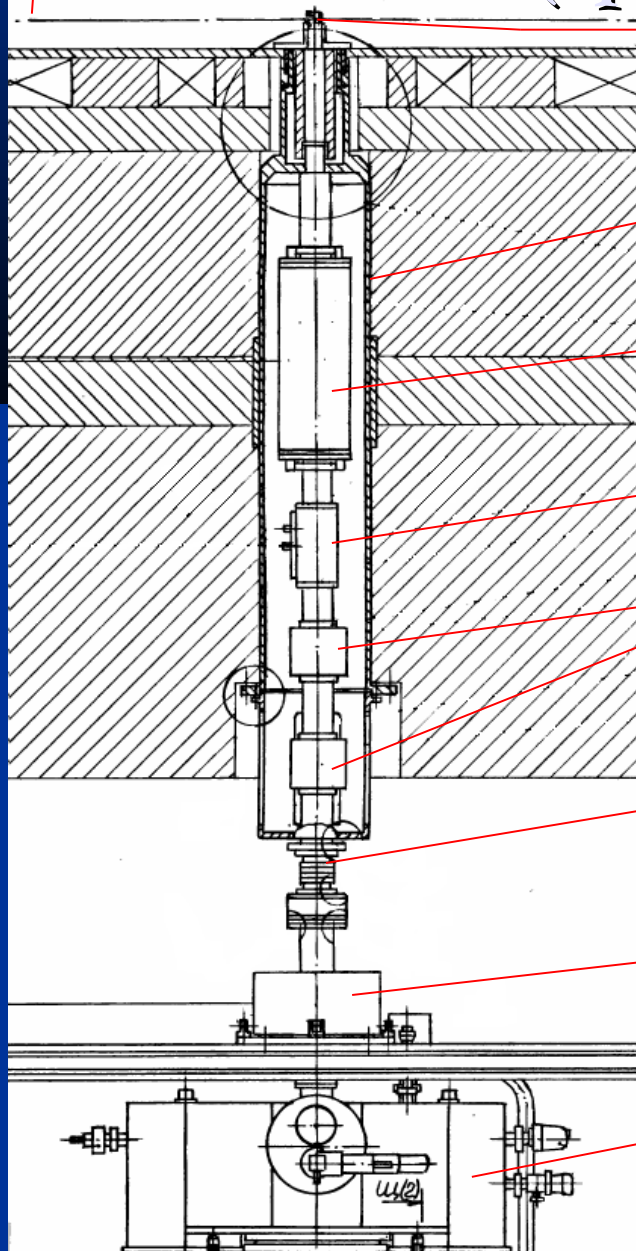
$t_y = 10^5 \text{ с}, n = 400 \text{ обор}$
ISFEL-3D ($6,2 \cdot 10^6$)

Система аксиальной инжекции



Система аксиальной инжекции (тракт транспортировки)

Медианная плоскость



Инфлектор
спиральный

Патрубок

Соленоид

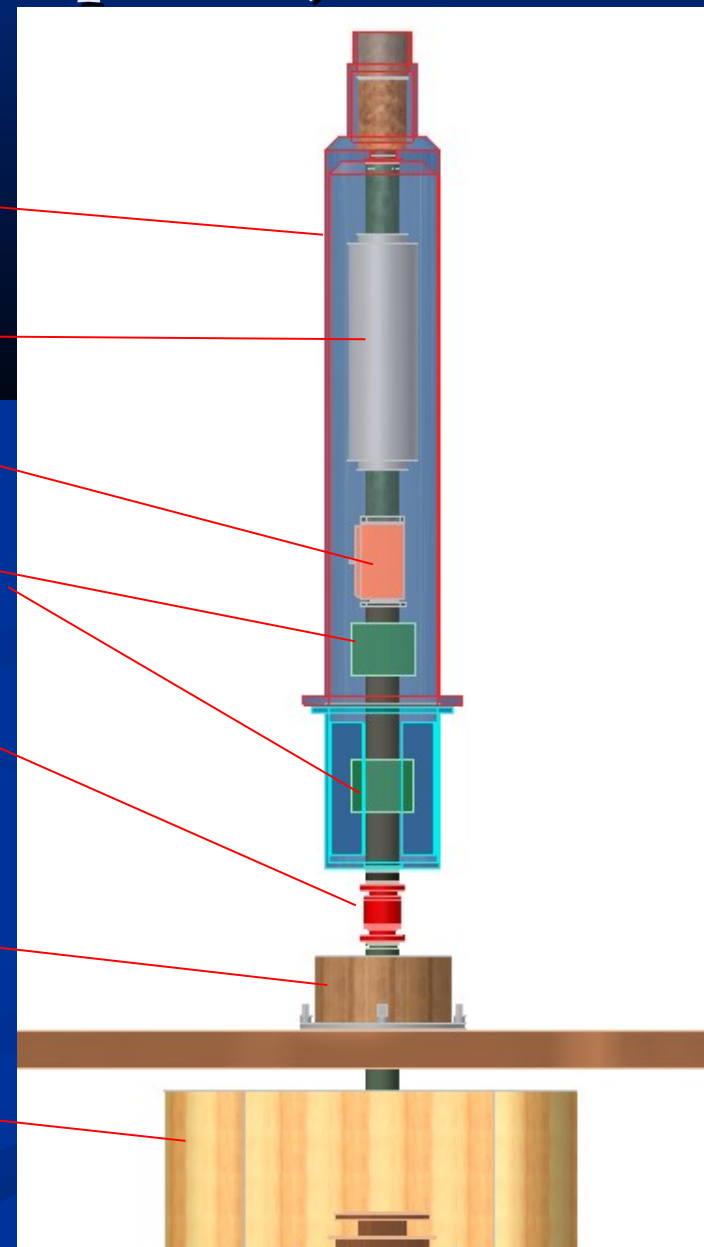
ВЧ банчер

Фокусирующие
электромагниты

Узел
сильфонный

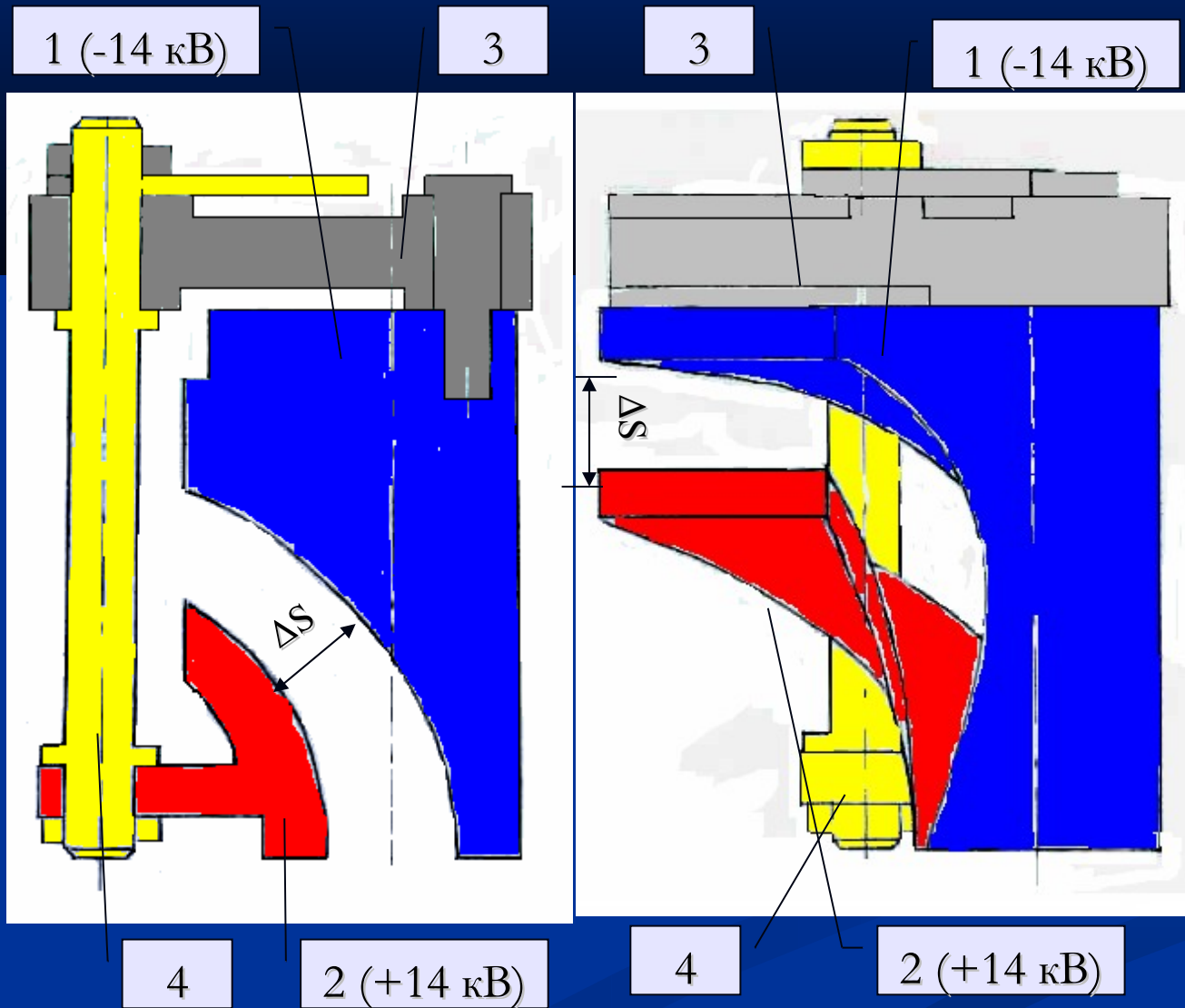
Соленоид

Ионный
источник





Эскиз спирального инфлектора



Составные части:

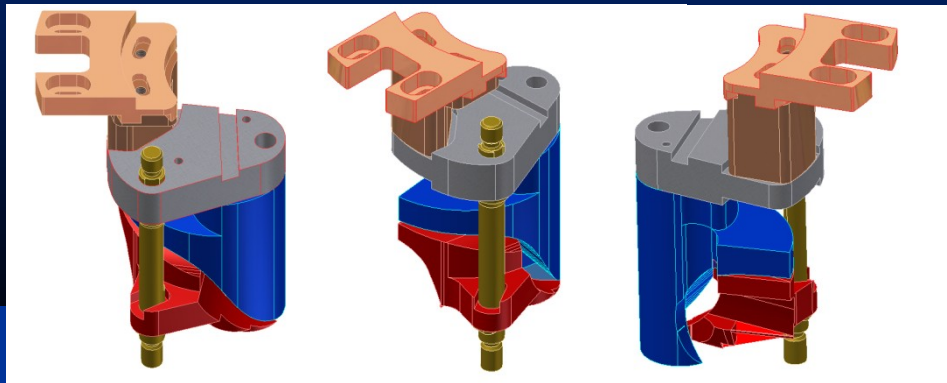
1. "верхний" электрод (-),
2. "нижний" электрод (+),
3. керамическое основание с держателями электродов
4. стойка

Н.К.Абросимов
Е.М.Иванов

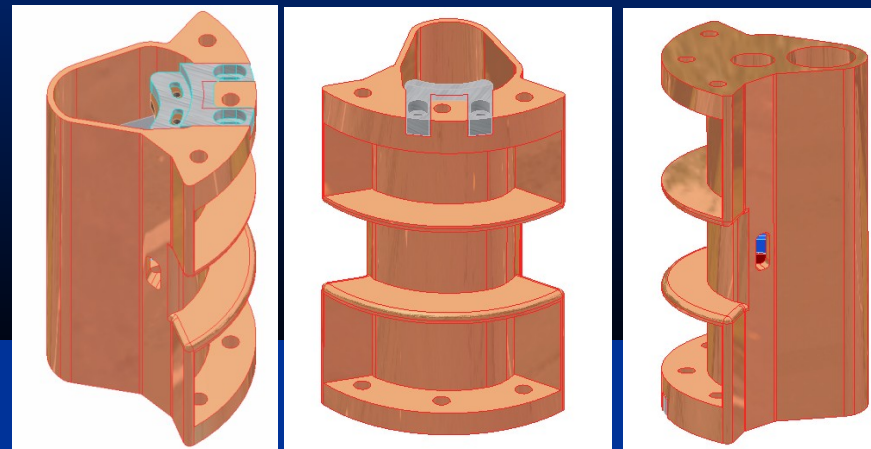


Спиральный инфлектор

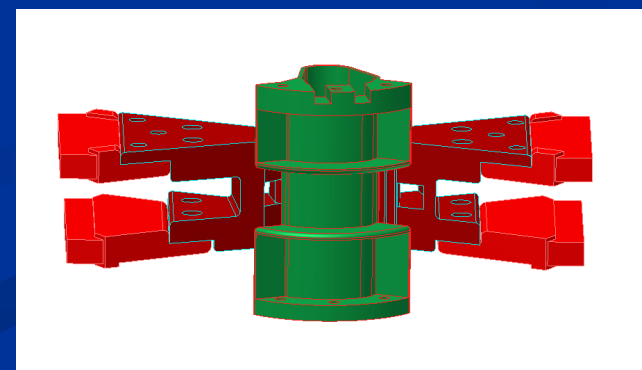
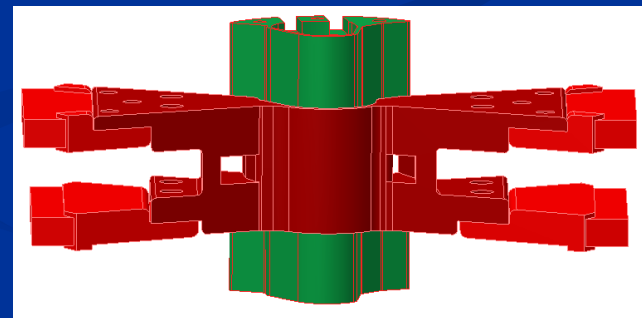
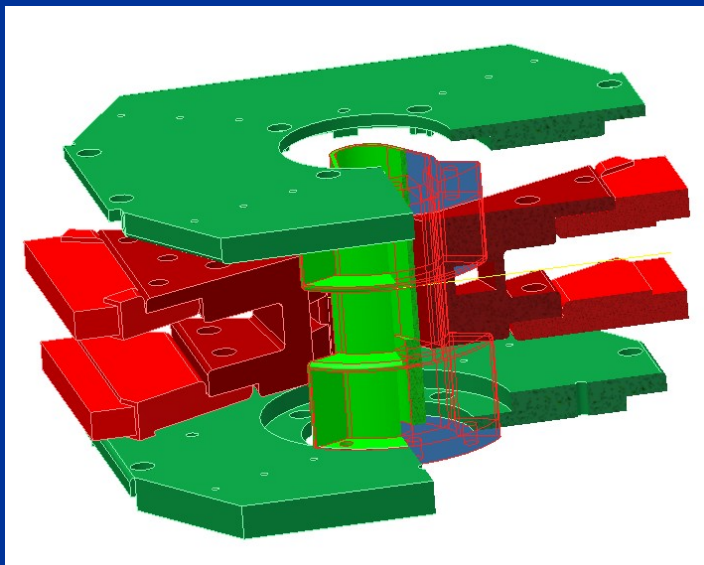
конструкция спирального инфлектора



экран инфлектора

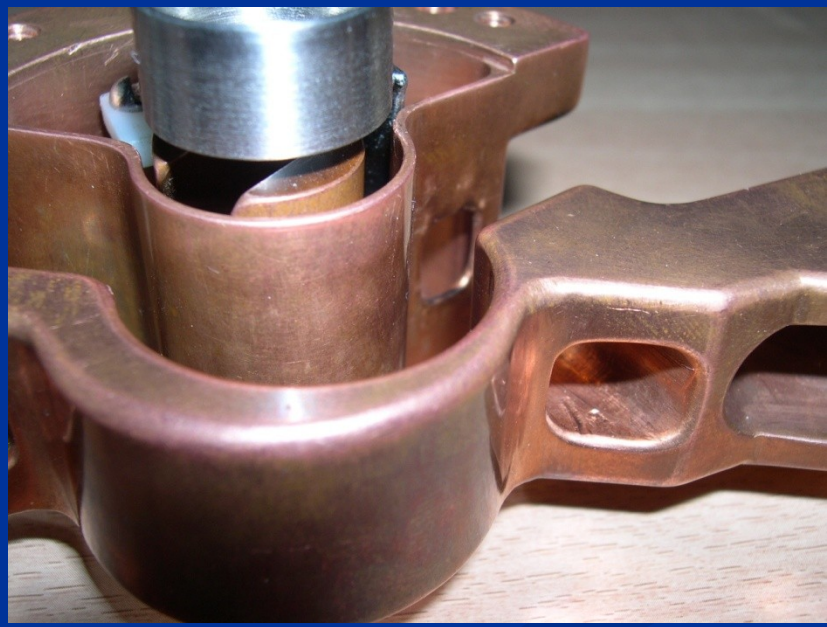


расположение экрана спирального инфлектора
между дуантами





Конструкция спирального инфлектора

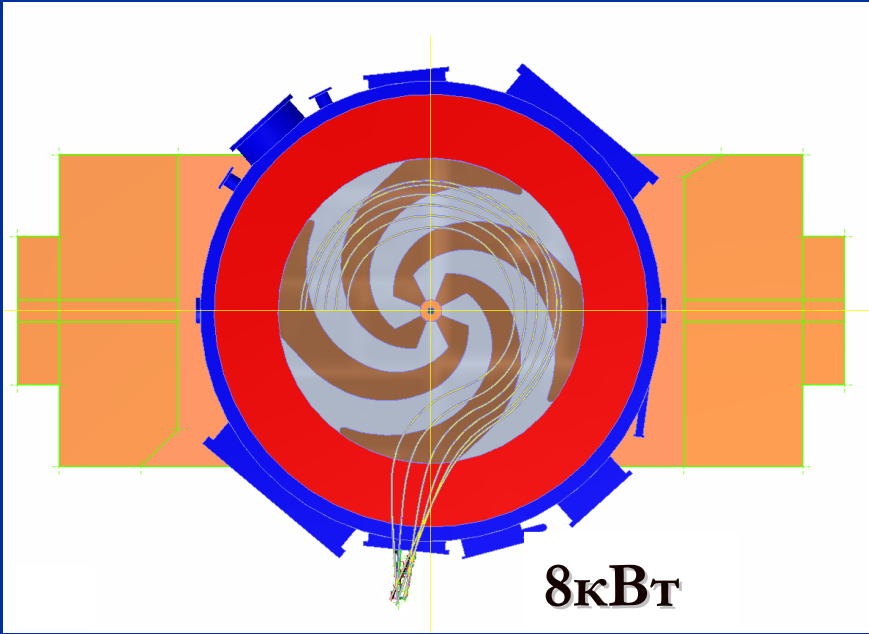


Система электропитания Ц-80

<p><u>Электромагнит</u> 1200А; 220В; 260кВт; 100А; 35В; 3,5кВт $\Delta I/I=5 \cdot 10^{-6}$, “Brucker”</p>	<p><u>Гарм. катушки коррекции</u> (1,8+2)кВт, 20-10А, $\Delta I/I=10^{-4}$, Алгоритм упр. “Brucker”</p>	<p><u>ВЧ-система</u> $f_0=41,2\text{МГц}$; $\Delta f/f=10^{-7}$ $U=60\text{кВ}$; 40/80кВт; $\Delta\varphi=\pm 0,5^\circ$, “Fillips”</p>	<p><u>Тракты трансп</u> 3канала, ~45м; Согл.М, 2повор.М, Квадр.Л., М-корр., проф., “Фарадей”; 2 ТМН; “НИИЭФА”-“Brucker”</p>	<p><u>Силовой Щит</u> 380//220; Стойки пит; Стабилизатор $\Delta U/U=10^{-2}$, “Земляная” автономная шина, Аварийное аккумулят. пит</p>
---	--	---	---	--

САИ
Ионн.ист.-3,5кВ;
Магнит-корр; 2соленоиды,
300В*10А
ВЧ-банчер, Инфл. $\pm 10\text{кВ}$,
ТВЧ (H_2); 2ТМН

$\Sigma 500\text{кВт}/200\text{кВт}$



8кВт

Пульт Ц-80
2РС; “Profibus”;
Сеть Ethernet;
Система АСУ и АСК;
Стойки связи;
Ц-80↔С-230↔СЦ-1000.

Вывод Н[±]
40-80 МэВ
Перезаряд на С
 $\Delta R=\pm 0,5\text{мм}$, 4 фольги

Биозащита
Радиа.контроль; Датчики
Местный отсос;
Пневмопочта;
Свето-звуковая сигнал;
Воздухообмен- 10⁻¹ час
разрежение(5торр)
СЦ-1000

Пробники
Диагн, 2 штатн.
400Вт; (1/20); H₂O;
($\Delta Z, \Delta R, \Delta n, I$), $\Delta R=\pm 0,5\text{мм}$

Шаг. двигатели
Стойки питания и упр.
Драйверы

Сист. водоохл.
2^х-контурная
Теплообменник
Термостаб. 25°C; $\pm 1^\circ$
“Giller”- 300кВт
Ионообм. очистка

Вентиляция
Приточная;
Вытяжка;
Кондиционеры;
Отсос от мишеней;
Сжат.воздух; Пневмопочта

Вак. откачка
10⁻⁷торр,
2 криог.н., 8 ТМН,
Фор. Насосы,
Быстрод.затворы





ПЛАН-ГРАФИК РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА Ц-80

Тендер на изготовление Ц-80 выигран НИИЭФА – 285 млн. руб.

Этап 2010 года – 150 млн. руб.

70 млн. руб.

НИИЭФА

- 1. Коррекция Тех.Проекта (10,7)
- 2. Вакуумная камера (25,54)
- 3. Система акс. инъекции (9,35)
- 4. Резонансная система (6,26)
- 5. Пробники, стриппер (7,85)

66 млн. руб.

Закупки(за рубежом)

- 1. Электропитание Ц-80 (17,97) (Bruker, Фр.)
- 2. ВЧ-Ген-р, усил. мощн. (18,23) (Coaxial, Англ.)
- 3. Подъемники (16,48) (Manex, Чехия)
- 4. Вак. насосы и оборуд. (6,86) (VAT, Швейц.)
- 5. Соглас. магнит (6,45) (Bruker, Фр.)
- 6. Ист. пит. САИ (Spellman, США)

Осталось на 2-ой этап - 135 млн. руб.

- 1. Система автоматизации через ПК
- 2. Система транспорт. пучка

- 4. Заводские испытания (10,5)
- 5. Монтаж, наладка всего Ц-80 (35)

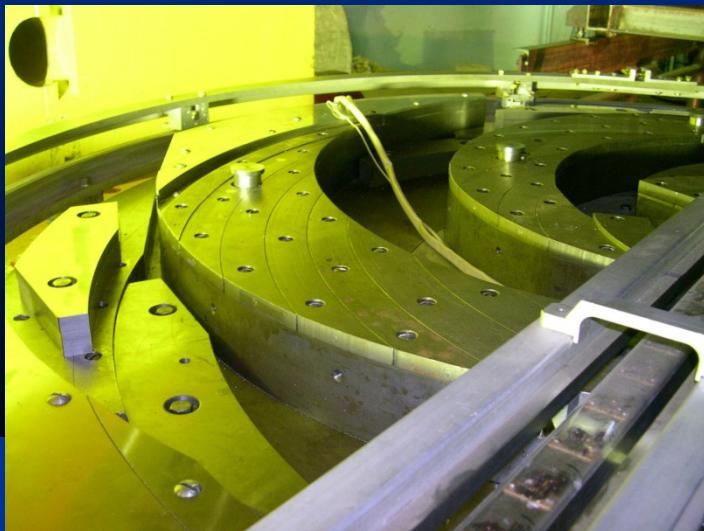


Работы, выполняемые в УО согласно плану-графику

- Закончить формирование магнитного поля (июль 2011 г.)
- Закончить расчет и конструкцию выводной системы (июль 2011 г.)
- Конструирование подъемников для магнита (март 2011 г.)
- Подготовка помещений и электронных версий чертежей зданий
- Авторский надзор и участие в реализации Проекта Ц-80
- Проект С-230. Технико-экономическое обоснование. Создание Тех. Проекта. Совместно с ИЯФ СО РАН (Новосибирск).



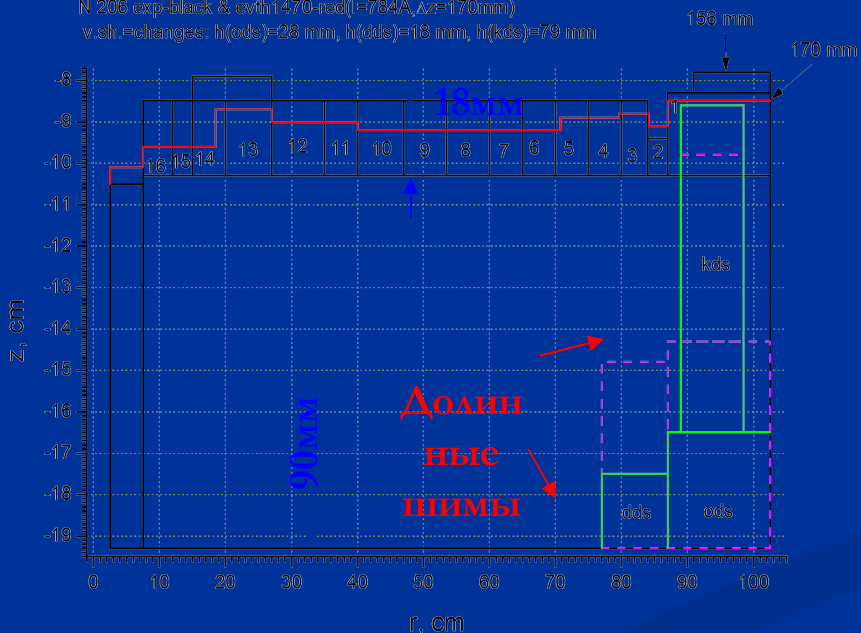
Формирование магнитного поля Ц-80



- Требования: $E=80$ Мэв; изохронность; Z-фокусировка; электродиссоциация $< 5\%$
- Поиск оптим. варианта шимм
- Метод: 3D – MERMAID → изготовление и монтаж шимм → магнитные измерения

Г.А.Рябов, С.А.Артамонов, В.А. Елисеев

N 206 exp-black & cvth1470-red($I=784A, \lambda z=170mm$)
 v.sh.=changes: $h(ods)=28$ mm, $h(dds)=18$ mm, $h(kds)=79$ mm

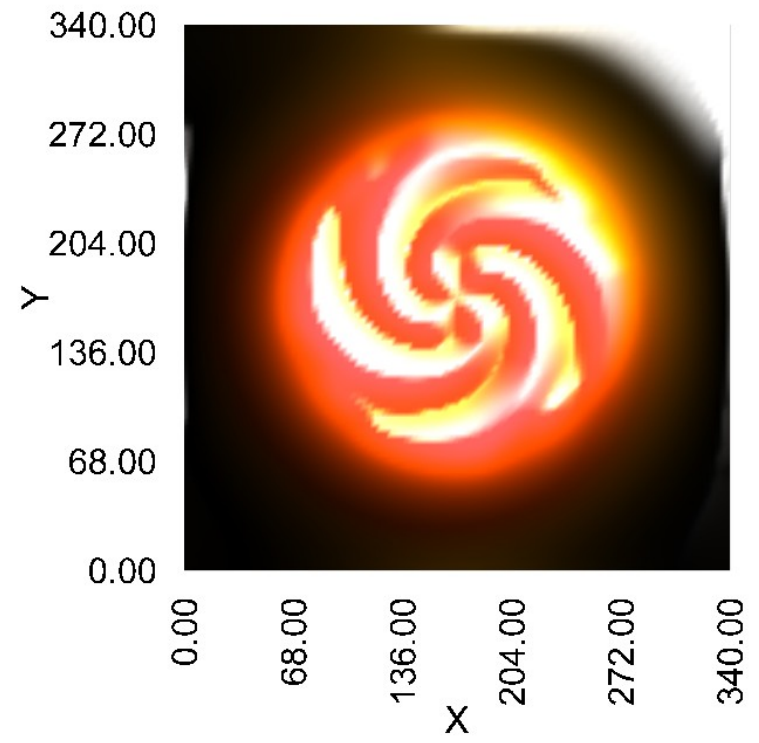
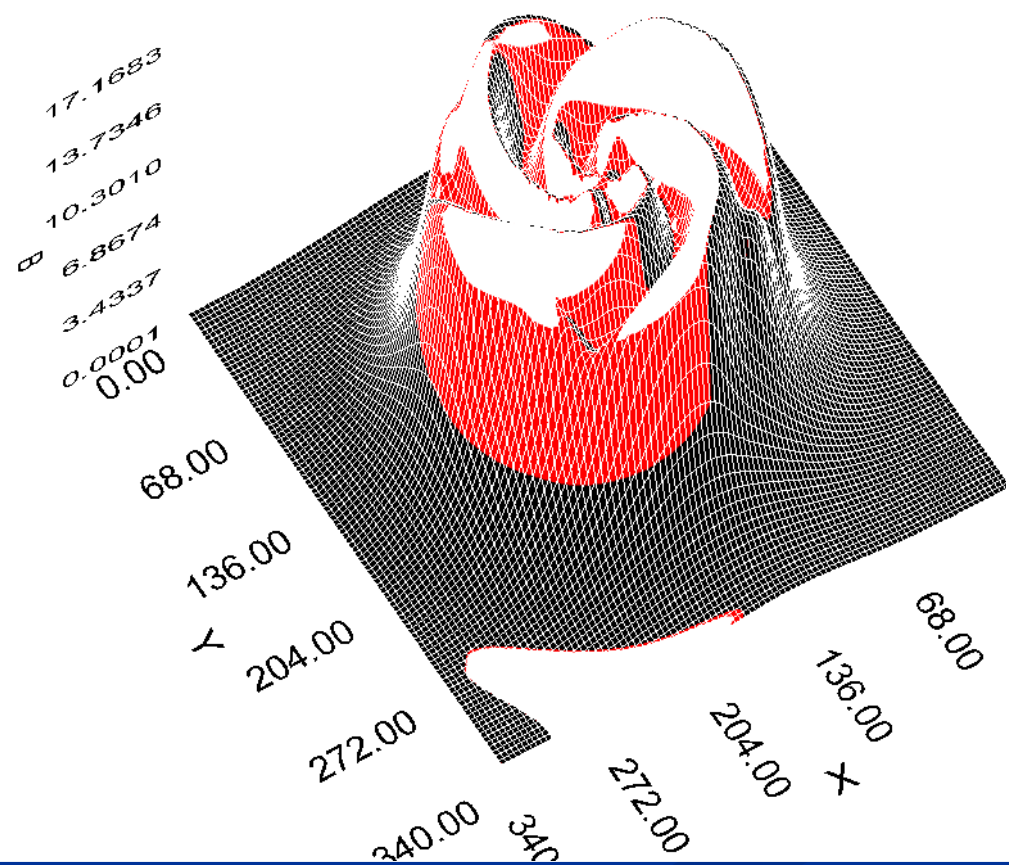


- Источники питания
 Ц-80: В.И.Юрченко,
 корр.обмотки(20шт): А.С.Покровский,
 Холл-стаб: Г.И.Горкин
- Измерения: А.Н.Чернов,
 М.В.Чернова,
 Д.А.Амерканов



Топография магнитного поля

3D - MERMAID



$B_{\text{в центре}}$ -1,352 Тл

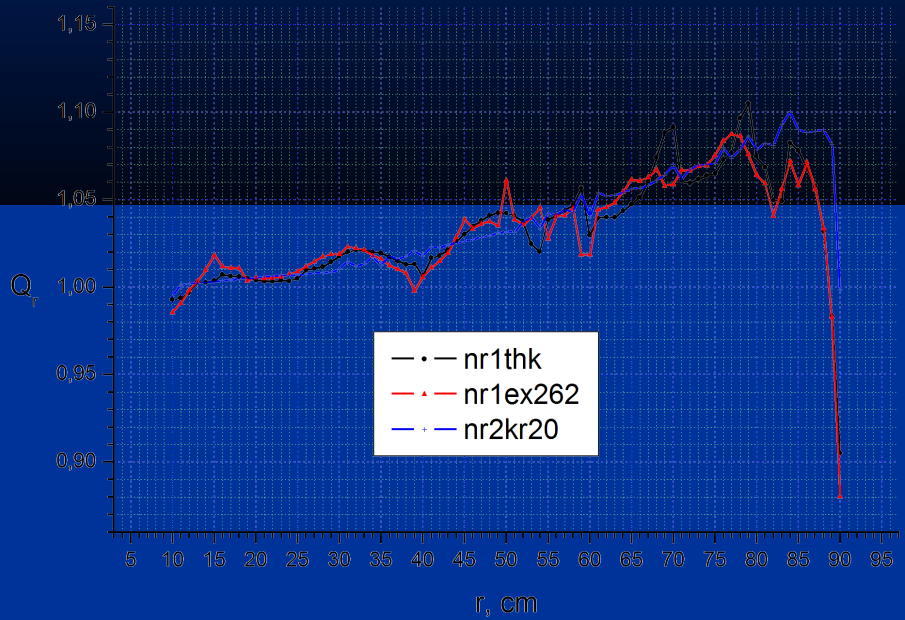
С.А. Артамонов



Частоты радиальных и вертикальных бетатронных колебаний

Black: 3D calc., $\Delta z=170$ mm, 76.5-77 μA
Red: exper.262, $\Delta z=170$ mm, 76.5-77 μA
Blue: 3D calc., $\Delta z=162$ mm, 79-80 μA (in progress)

Black: 3D calc., $\Delta z=170$ mm, 76.5-77 μA
Red: exper.262, $\Delta z=170$ mm, 76.5-77 μA
Blue: 3D calc., $\Delta z=162$ mm, 79-80 μA (in progress)

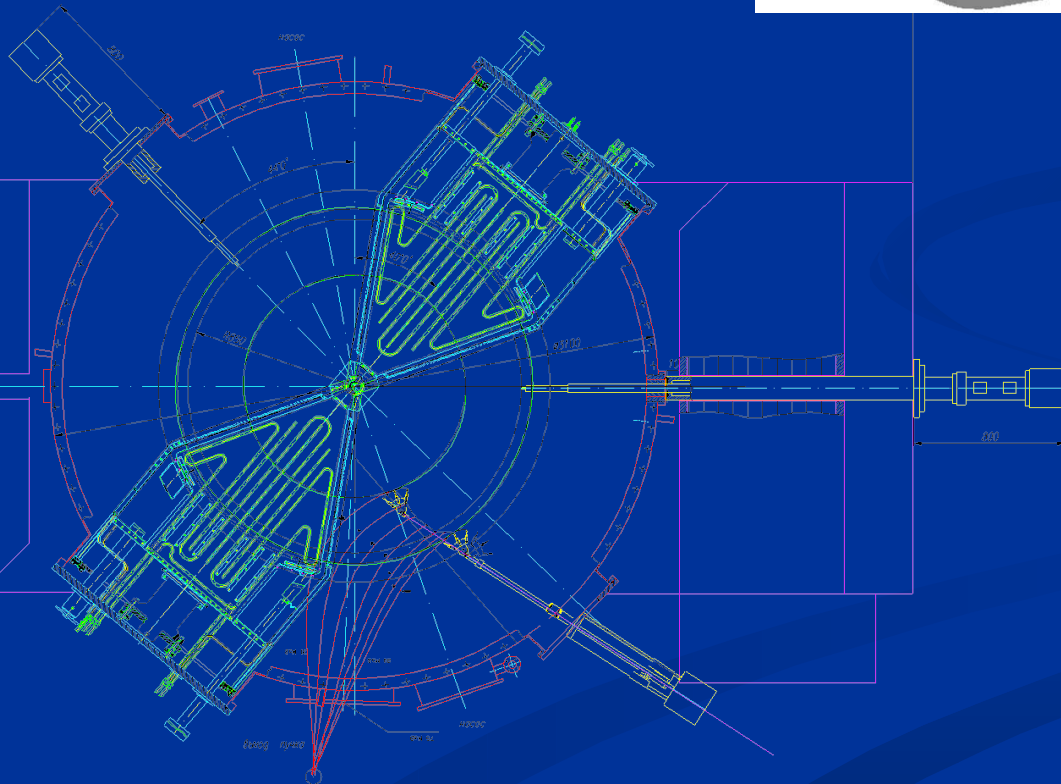
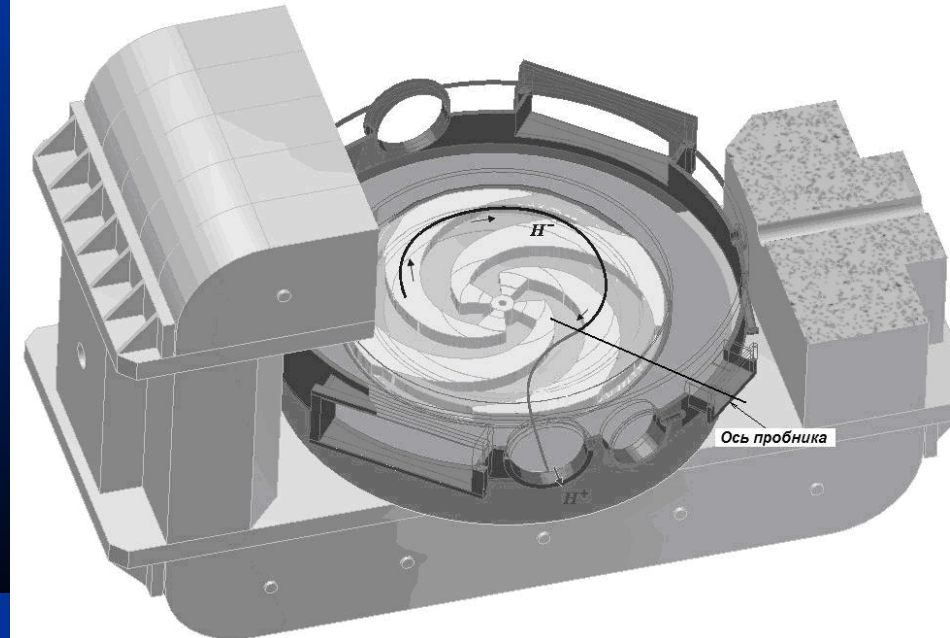


**Трудности при формировании магнитного поля связаны с предельными параметрами Проекта:
80МэВ при D=2м**

С.А.Артамонов



Система вывода H^+

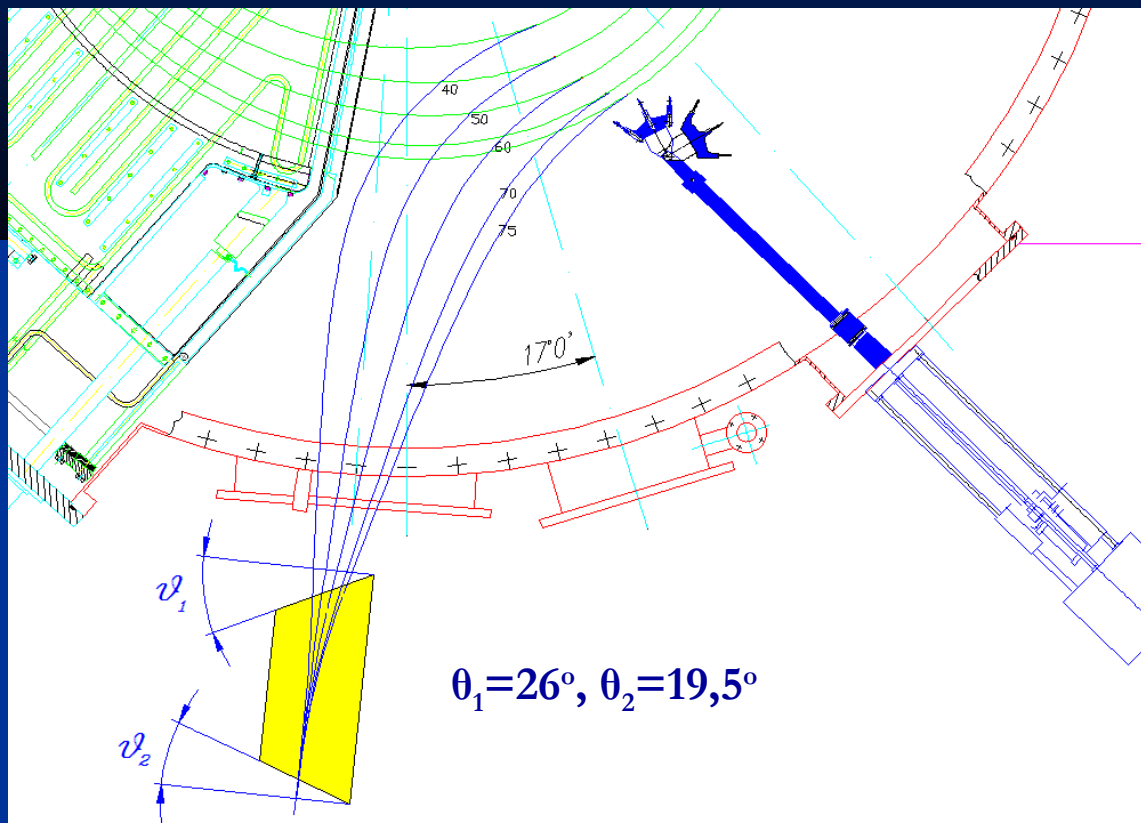


Основные параметры:

- $k = 100\%$
- $T_{\text{жвн}} = 2000 \cdot 3$ часов(?)
- $\Delta E = 40-80$ МэВ
- $\Delta R = 0,65-1,0$ м
- $\tau = 1 - 5$ нс
- $T = 24,3$ нс



Система вывода H^+



Определены :

- Выводное окно и стриппер
- Траектории движения после перезарядки
- Согласование с трактом
- Параметры магнит-корректора с Z-фокусировкой
- Конструкция пробника
Г.А.Рябов, А.Н..Чернов

Публикации по Ц-80 – 2010г.



- 1) *D.M.Seliverstov, N.K.Abrossimov, M.V.Chernova, E.M.Ivanov, G.A.Riabov.*

Presents status of the PNPI Medicine Center on the Base of 1000 MeV Proton Synchrocyclotron and Constructed 80 MeV Cyclotron for I=100 mA and the Development program.

CERN-Switzerland. Physics for Health in Europe Workshop 2-4 February 2010, 2010, Abstract ID:127, p. 36.

- 2) *С.А.Артамонов, Н.К.Абросимов, В.А.Елисеев, Г.А.Рябов.*

Оптимизация магнитной структуры Ц-80 на основе прецизионных пространственных моделей.

15 International workshops: Beam Dynamics & Optimization – BDO'2010, June 28-30, 2010, St.-Petersburg, Russia. Program and Abstracts, p.16-17.

- 3) *С.Е.Кучер, Н.К.Абросимов.*

Обработка данных магнитных измерений при формировании магнитного поля Гатчинского изохронного циклотрона (ГИЦ-80), проектируемого для медицинского комплекса.

Конференция по физике и астрономии для молодых ученых С.-Петербурга и Северо-Запада, Физика. СПб. 27-28 окт. 2010 г. Тезисы докладов. С. - Петербург, Политехнический Университет, 2010, с. 102 - 103.

- 4) *С.Е.Кучер, Н.К.Абросимов, С.И.Воробьев, Г.А.Рябов.*

Сглаживание и дифференцирование экспериментально измеренного распределения магнитного поля в зазоре электромагнита циклотрона.

Письма в ЖТФ, 2010, т. 36, вып. 6, С. Петербург, с. 86-94.



Публикации по Ц-80 – 2010г.

(продолжение)

- 5) Н.К.Абросимов, С.А.Артамонов, В.А.Елисеев, С.Е.Кучер, Г.А.Рябов, А.Н.Чернов.

Вывод пучка из H^- - циклотрона методом перезарядки.
Сообщение ПИЯФ РАН № , 2010, 15 с.

- 6) Н.К.Абросимов, Г.А.Рябов, А.Н.Чернов.

Простой алгоритм расчета оптики пучков в изохронном циклотроне. (Программа «Орбита-1»).

Сообщение ПИЯФ РАН, № , 2010, 20 с.

Всего 70 публикаций по теме Ц-80 и 1 авт.свид. на изобретение



Проблемы УО - ПИЯФ

- 1) 2-ой фин. транш для Ц-80 (150млн руб)
- 2) Офтальмологический центр ()
- 3) Центр производства изотопов ()
- 4) Кадры (+10-15 человек)



Основные участники разработки Ц-80

- ❖ Руководители: д.т.н. **Н.К.Абросимов**,
к.т.н. **Г.А.Рябов**, гл. инж. УК **Е.М.Иванов**
- ❖ В конструировании Ц-80 принимали участие:
С.А. Артамонов, Г.И.Горкин, В.П. Гресь, В.А.Елисеев,
А.Г. Котов, Б.Б. Токарев, Ю.Т. Миронов, Г.Ф. Михеев, И.А.Петров, А.С.
Покровский, В.А. Смолин, В.И. Юрченко
- ❖ Молодые кадры: **С.Е.Кучер, А.Н.Чернов, М.В.Чернова,**
Д.А.Амерканов
- ❖ от НИИЭФА :
Руководитель проекта: зам. дир. НИИЭФА, д.ф-м.н. **Ю.Н. Гавриш**,
Ведущие исполнители: к.т.н. **В.Г. Мудролюбов**,
гл. констр. **П.В. Богданов**



Спасибо всем!