



Статус систем синхротронов У70 / У1.5, существенных для ускорения пучка p^{\uparrow}

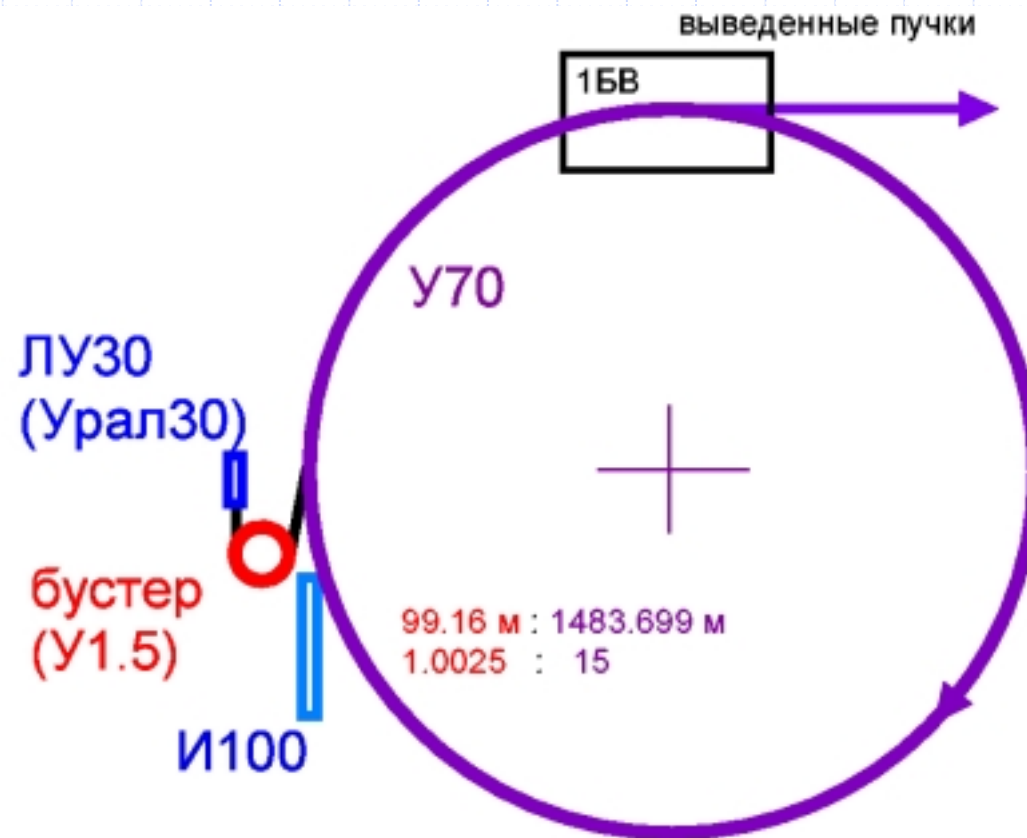
Е.Ф. Троянов, С.В. Иванов (ИФВЭ)

Рабочее совещание "Возможность ускорения поляризованного
протонного пучка на ускорительном комплексе У70"
ИФВЭ, Протвино, 1-2 марта 2005

Содержание

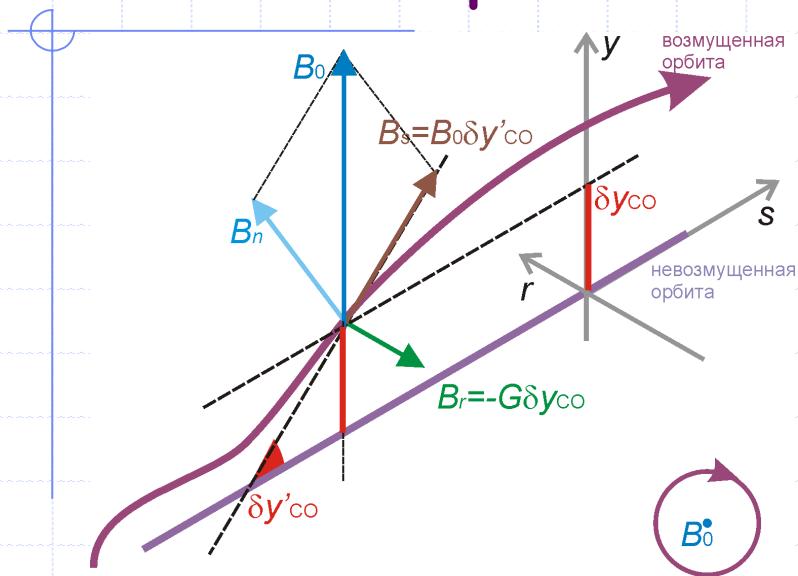
1. ускорительный комплекс ИФВЭ в целом
2. $p \uparrow$ в кольцевом ускорителе: спин и бетатронное движение
3. синхротрон У70
 - a) есть ли свободное место в кольце У70?
 - b) вертикальные искажения замкнутой орбиты
 - c) вертикальный эмиттанс пучка
4. бустер У1.5
5. заключение

Ускорительный комплекс ИФВЭ



Трассы пучков в одной плоскости

Поляризованные p в синхротроне



Динамика

$$\frac{d\vec{S}}{dt} = -\frac{e}{m_0\gamma} \left((1 + \gamma a) \vec{B}_\perp + (1 + a) \vec{B}_\parallel \right) \times \vec{S}$$

уравнение Thomas-BMT, 1927-59

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = -\frac{e}{m_0\gamma} \left(\vec{B}_\perp \right) \times \vec{p}, \quad a = 1.79285$$

сила Лоренца

Магнитооптические вставки, где?

Внешние резонансы

$$\nu = \gamma a = k$$

$$\epsilon_1 \propto (1 + \gamma a) \frac{\langle G \cdot \delta y_{co} \rangle}{B_0} + (1 + a) \frac{\langle B \cdot \delta y'_{co} \rangle}{B_0}$$

Вертикальные искажения ЗО

Линейные бетатронные резонансы

$$\nu = \gamma a = k \pm Q_y$$

$$\epsilon_2 \propto (1 + \gamma a) \frac{\langle (G + \delta G) \cdot y \rangle}{B_0} + (1 + a) \frac{\langle (B + \delta B) \cdot \delta y' \rangle}{B_0}$$

$$\epsilon_2 \propto \sqrt{\epsilon_y / \beta \gamma}$$

Вертикальный эмиттанс пучка

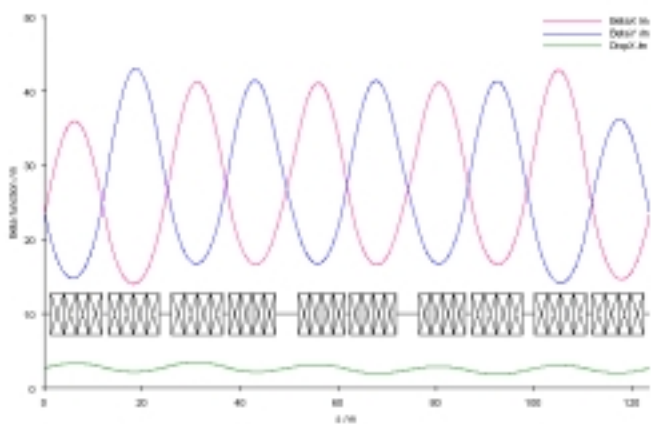
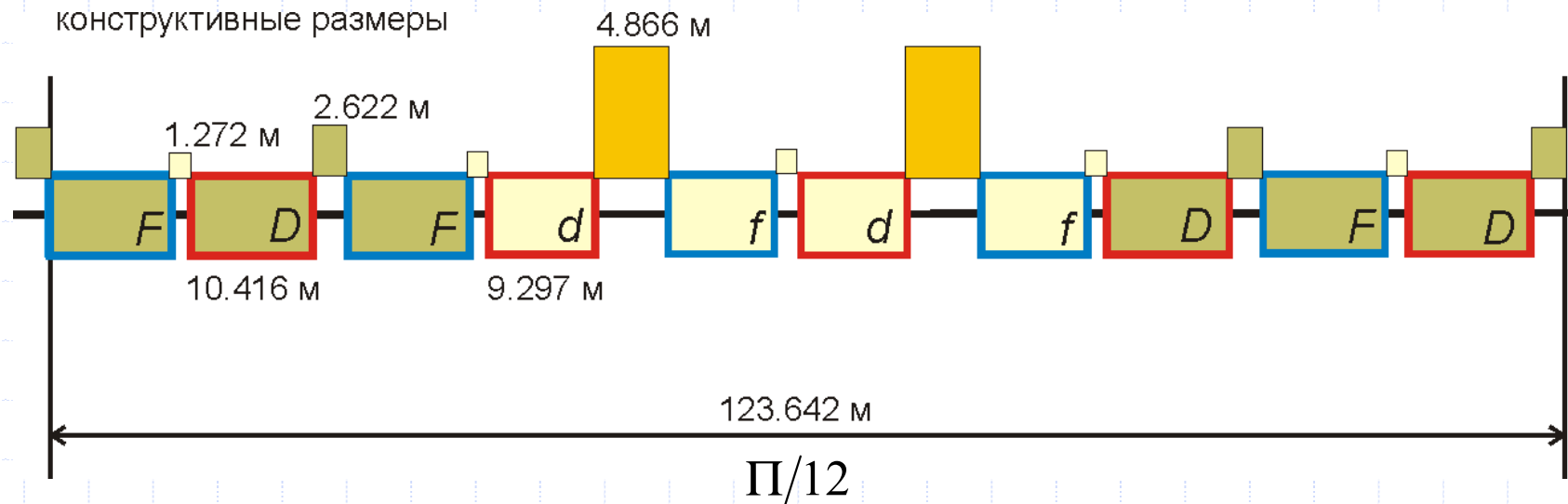
Протонный синхротрон У70



ИФВЭ, 1-2 марта 2005

Период магнитной структуры У70

конструктивные размеры



Коэффициент заполнения орбиты диполями

$$\frac{2\pi r}{\Pi} = \frac{2\pi \cdot 194.125 \text{ м}}{1483.699 \text{ м}} \cong 82\%$$

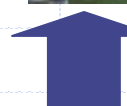
Прямолинейные промежутки У70



«короткий» ПТП (60)



«средний» ПТП (36)



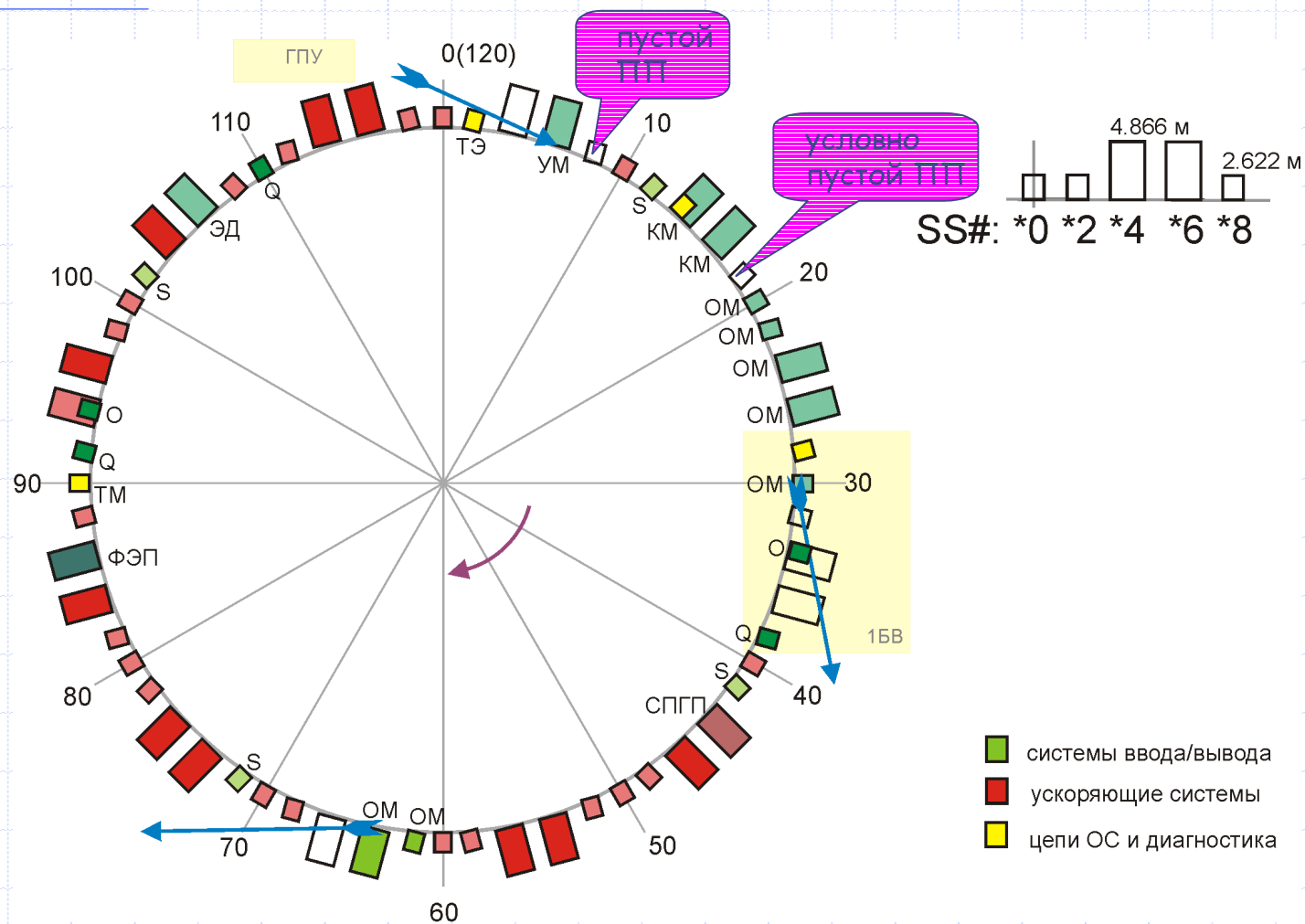
«длинный» ПТП (24)



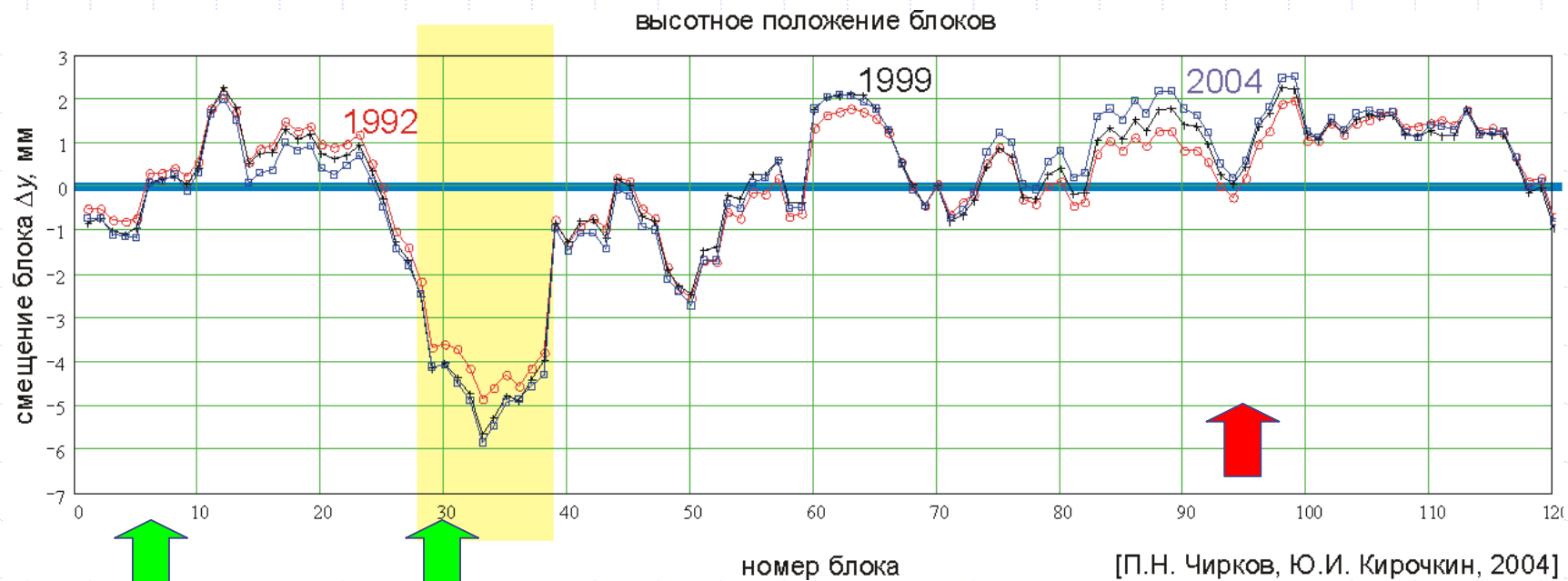
пустой ПТП8



Размещение оборудования в У70



Высотное положение магнитов



Система вертикальной коррекции ЗО

◆ Вход: $5 \times 12 = 60$ ВРМv (шаг $\sim 60^\circ$ по β -фазе)


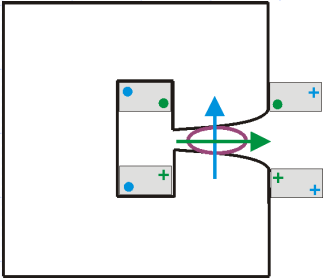
◆ Выход: дополнительные обмотки

◆ Схема подключения:

- гармоническая

↓
Hr10sin/cos, 16 + 12 блоков
Hr9sin/cos, 4 + 4 блоков
Hr11sin/cos, ...

- бамповая, 16 блоков



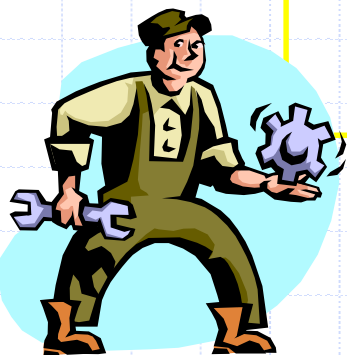
Наименование	Кол-во	Примечания
Hr10sin/cos	16 + 12	Блоков
Hr9sin/cos	4 + 4	Блоков
Hr11sin/cos	...	
Бамповая	16	Блоков

◆ Итог: остаточная ошибка ± 10 мм при апертуре ± 50 мм

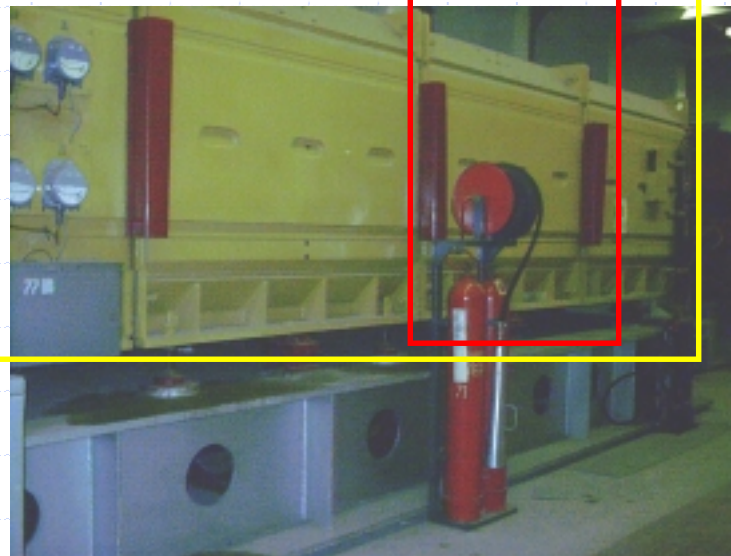
Юстировка магнитной структуры?

- Геодезическая сеть
- Методика: совмещенные функции; 5 пакетов = 1 блок
- Вес блока, пакета. Подъемное оборудование
- Персонал, опыт юстировки
- Головная часть каналов

$\Sigma = 21000 \text{ т}$



180 т
(160 т)



36 т
(16 т)

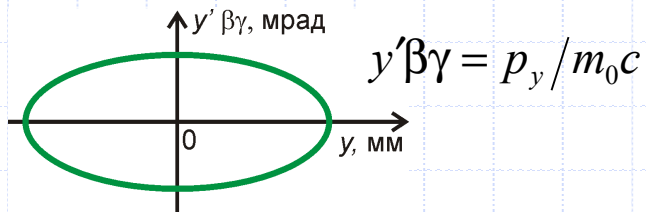


Эволюция вертикального эмиттанта

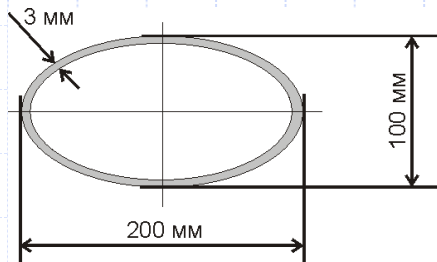
Инвариантный эмиттанс, вертикальный, π мм·мрад

	1σ	2σ (95%)	
BNL AGS; CERN PS, SPS	10	40	$\times 3.5$
У70, конец цикла, $\beta\gamma = 70$		$2 \cdot 70 = 140$	
У1.5, конец цикла, $\beta\gamma = 2.2$		$10 \cdot 2.2 = 22$	$\times 6.4$

ненормализованный



Резистивная стеночная неустойчивость



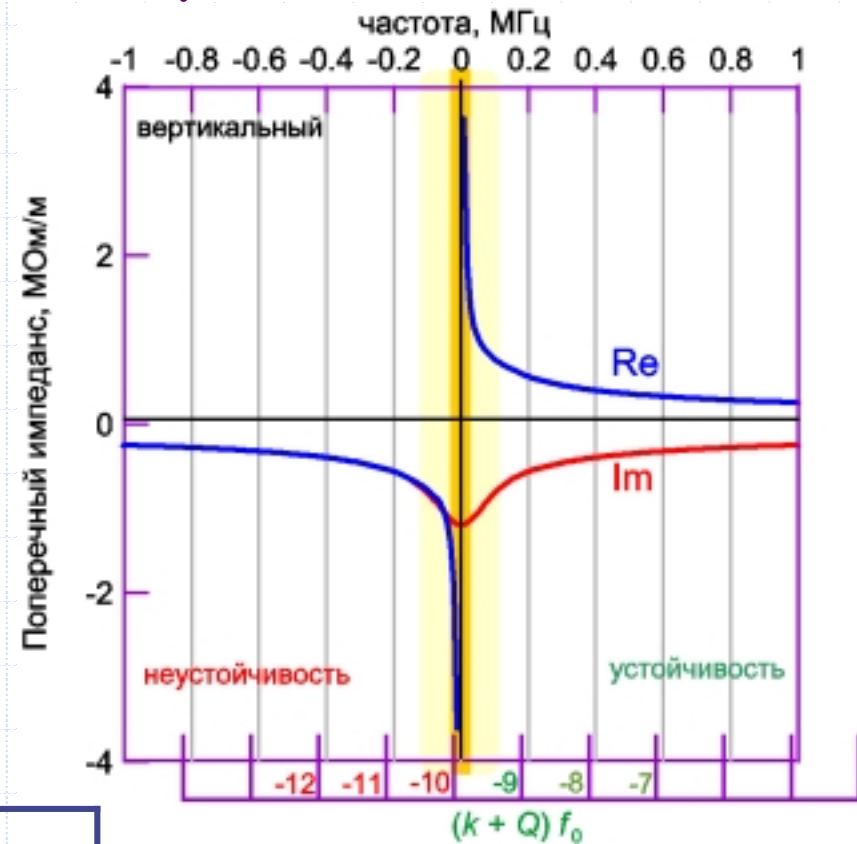
“сила”
неустойчивости
 $V: H = 1.83: 1$

$$S_k(\Omega) = \frac{i\beta\omega_0}{\Pi} Z_k(k\omega_0 + \Omega) D_k(\Omega)$$

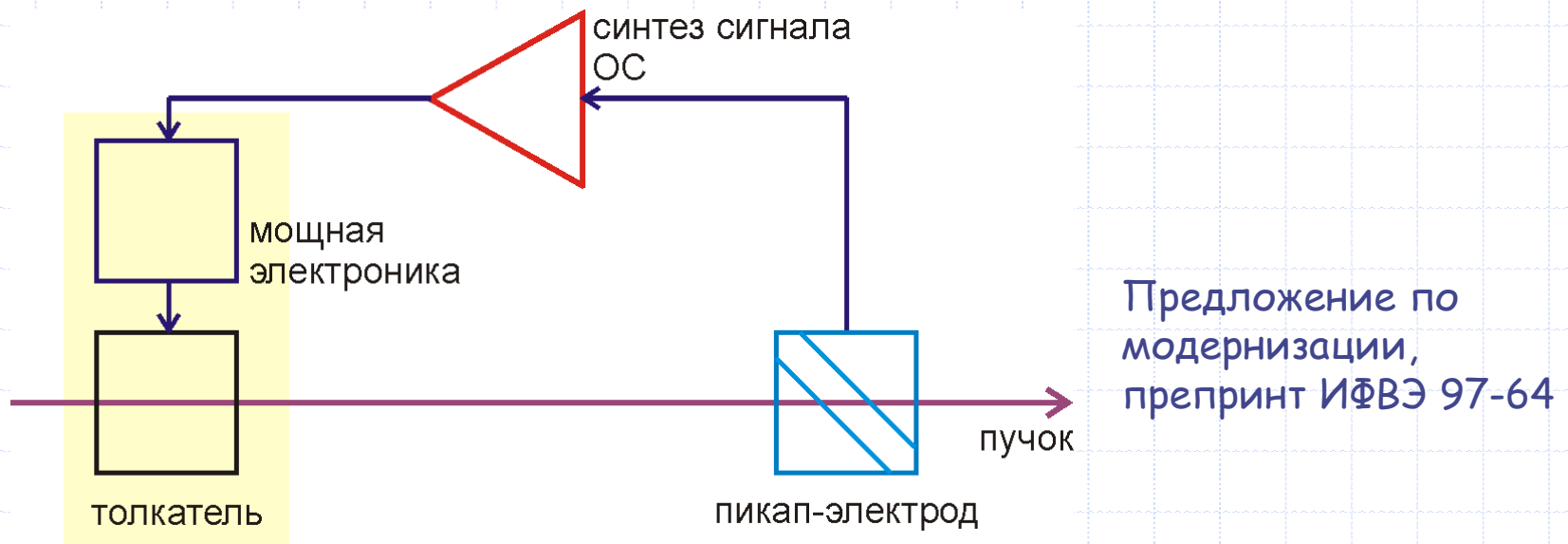
$$\Omega \cong Q\omega_0, \quad [Z] = \text{Ом/м}$$

$\Delta \begin{cases} \leq \\ \geq \end{cases} \delta(\omega)$

“тонкие” стенки	$Z_k(\omega) \propto 1/\omega + i \cdot \text{const}$
“толстые” стенки	$Z_k(\omega) \propto -i/\sqrt{-i\omega}$



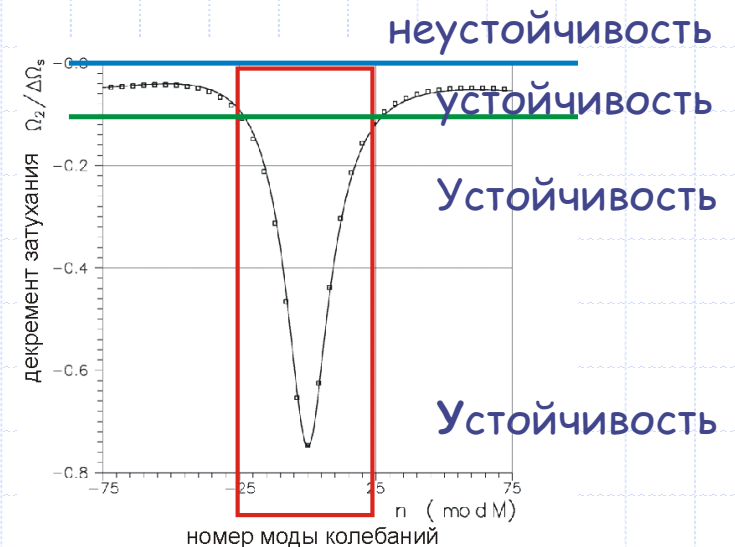
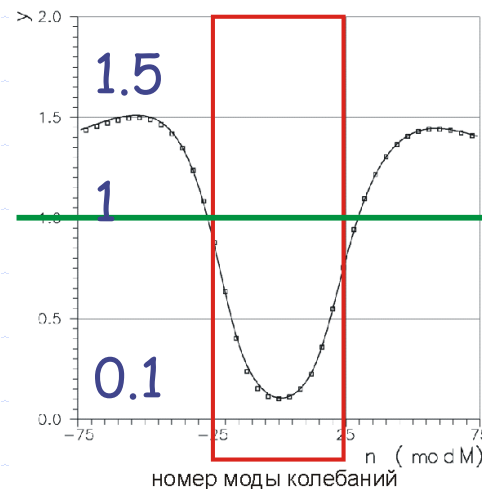
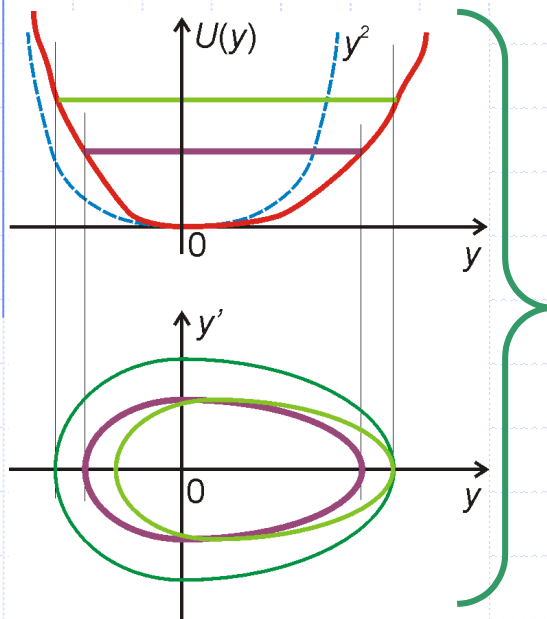
Системы поперечной ОС



ТЭ @ ПП2	0-0.2 МГц	± 35.0 кВ	РУ @ ПП116 (2) +
ТМ @ ПП90	0.2-3.5 МГц	± 10.7 кВ	РУ @ ПП107 + 111

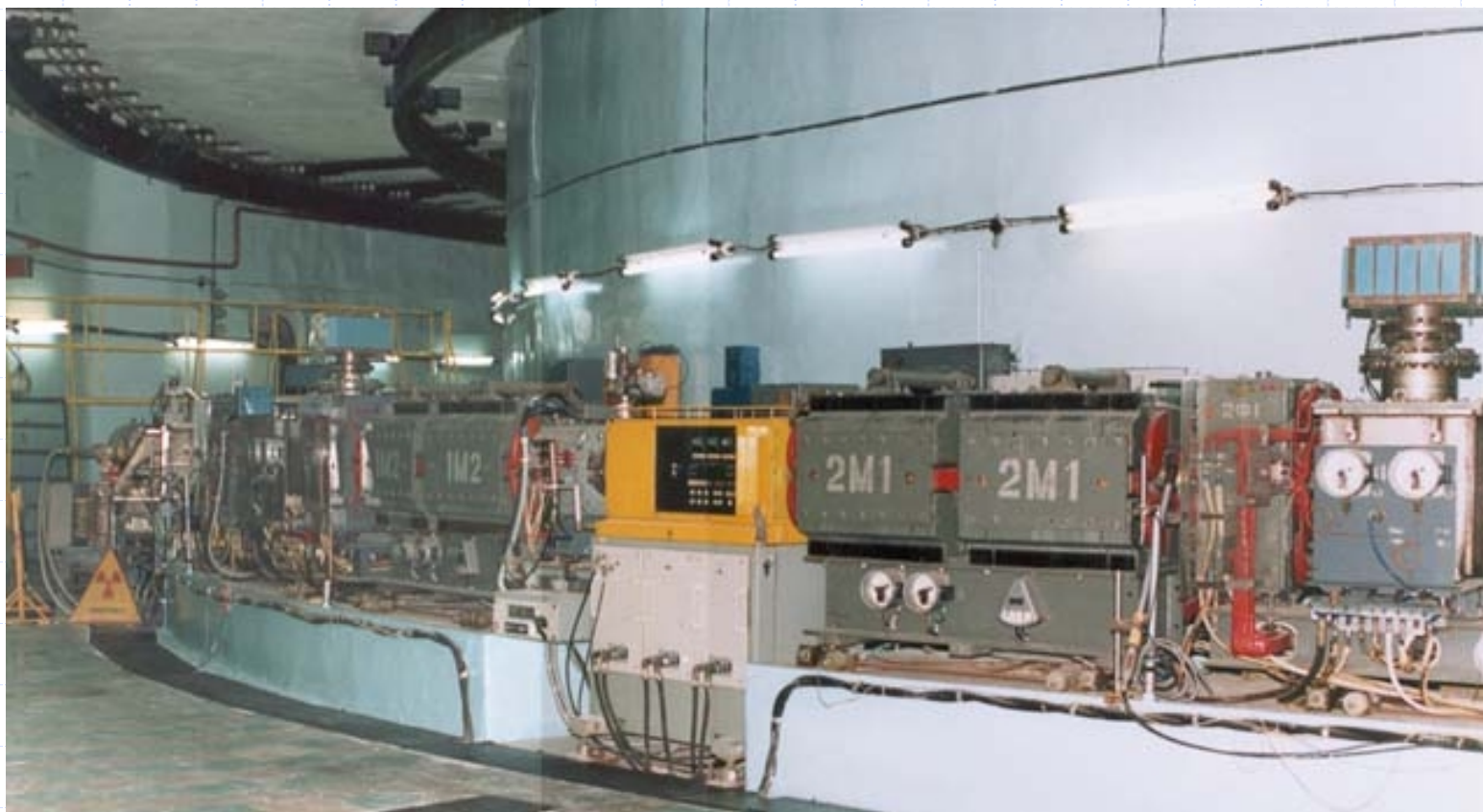
Предотвращение роста фазового объема

filamentation

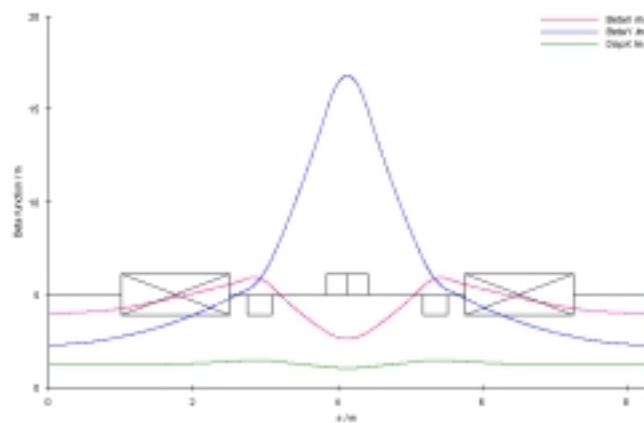
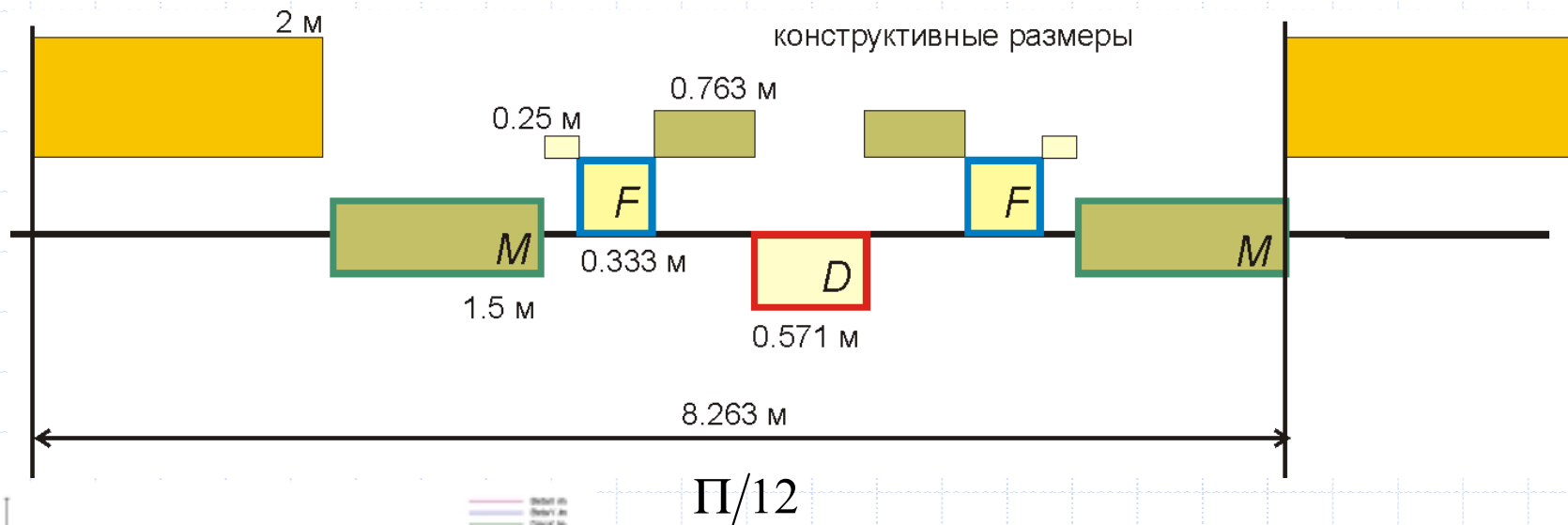


Баланс: коэффициент усиления, полоса пропускания, динамический диапазон, нелинейность движения

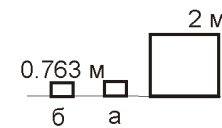
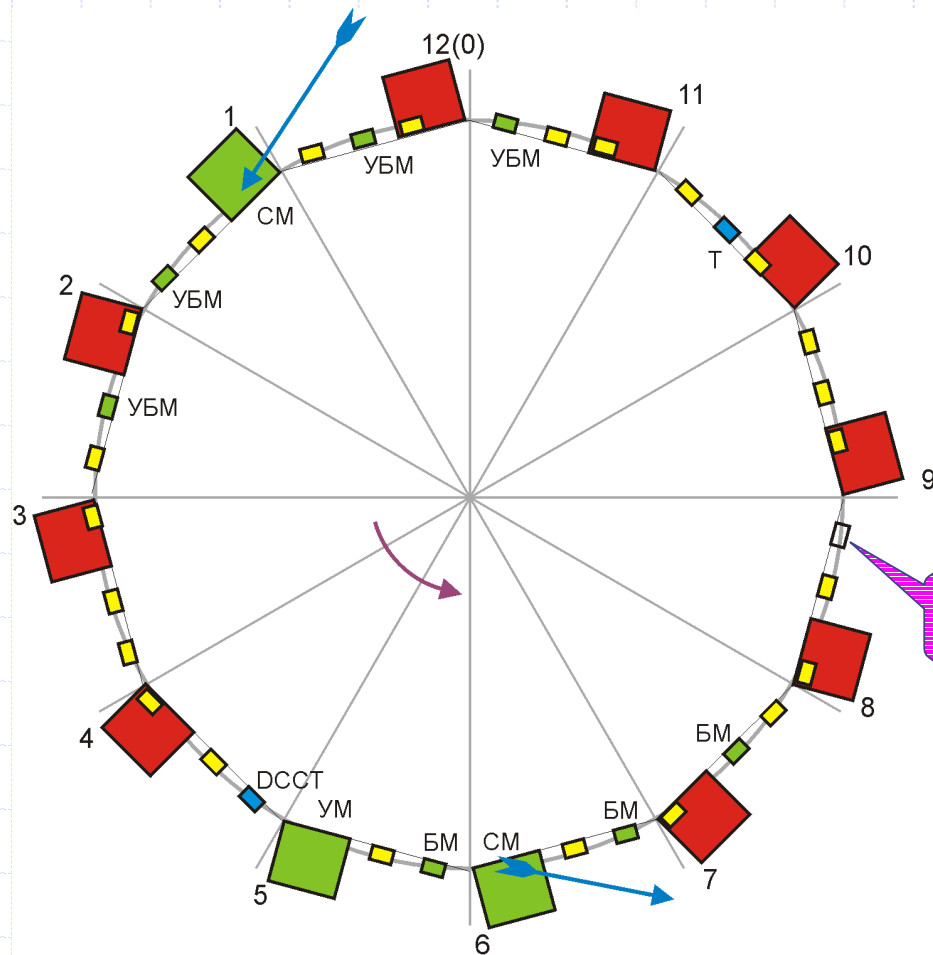
Синхротрон-бустер У1.5



Период магнитной структуры У1.5



Прямолинейные промежутки У1.5



препринт
ИФВЭ 92-142

$v = \gamma a$	2	3	3.8	4
E (кин), ГэВ	0.11	0.63	1.05	1.15

Перевод
при < 1 ГэВ

- системы ввода/вывода
- ускоряющие системы
- корректора магн. поля
- системы диагностики

D, Q, S, O
N & S
4 обмотки/к

Заключение

Необходимые мероприятия

Программа ускорения:	$p \leftrightarrow p^{\uparrow}$	
Освобождение места на орбите У70	--	+
Плоская орбита, юстировка м.структуры	-/+	+
Система вертикальной коррекции ЗО	+	+
Системы поперечной ОС	+	+
...		

