



# Статус систем синхротронов У70 / У1.5, существенных для ускорения пучка $p \uparrow$

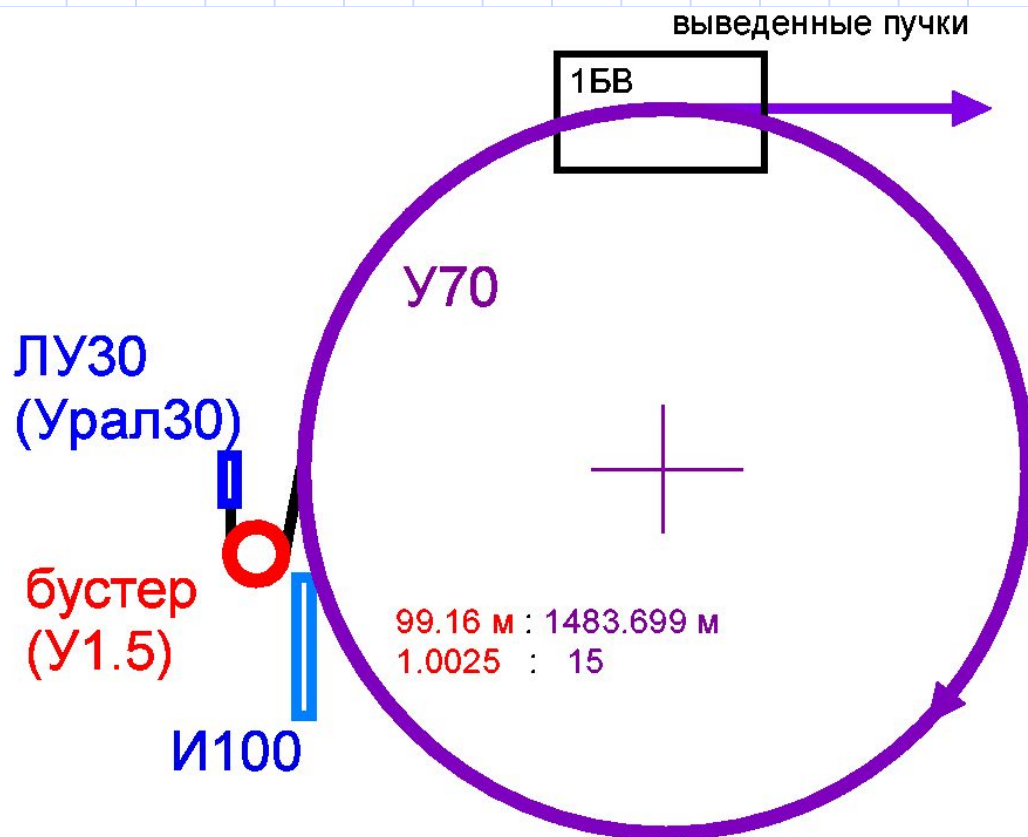
Е.Ф. Троянов, С.В. Иванов (ИФВЭ)

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

# Содержание

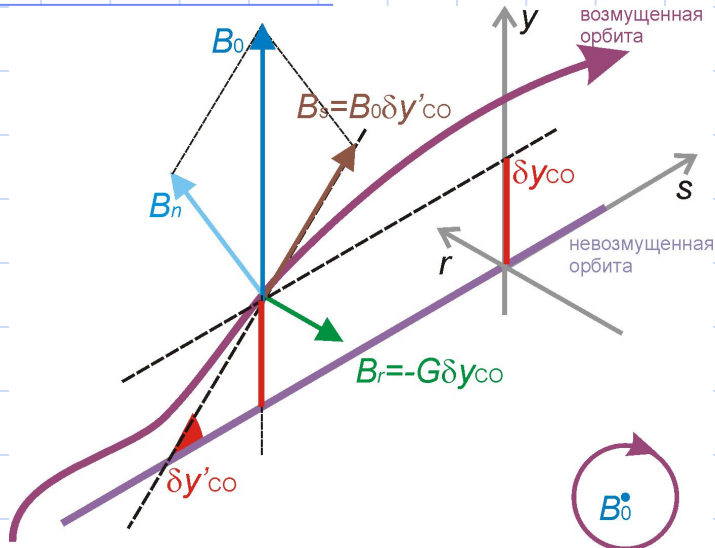
1. ускорительный комплекс ИФВЭ в целом
2.  $p \uparrow$  в кольцевом ускорителе: спин и бетатронное движение
3. синхротрон У70
  - a) есть ли свободное место в кольце У70?
  - b) вертикальные искажения замкнутой орбиты
  - c) вертикальный эмиттанс пучка
4. бустер У1.5
5. заключение

# Ускорительный комплекс ИФВЭ



Трассы пучков в одной плоскости

# Поляризованные $p$ в синхротроне



## Динамика

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{e}{m_0\gamma} \left( (1 + \gamma a) B_{\perp} + (1 + a) B_{\parallel} \right) \times S$$

уравнение Thomas-ВМТ, 1927-59

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{e}{m_0\gamma} (B_{\perp}) \times p, \quad a = 1.79285$$

сила Лоренца

**Магнитооптические вставки, где?**

## Линейные бетатронные резонансы

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

$$\varepsilon_2 \propto (1 + \gamma a) \frac{\langle (G + \delta G) \cdot y \rangle}{B_0} + (1 + a) \frac{\langle (B + \delta B) \cdot \delta y' \rangle}{B_0}$$

$$\varepsilon_2 \propto \sqrt{\varepsilon_y / \beta \gamma}$$

## Внешние резонансы

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

$$\varepsilon_1 \propto (1 + \gamma a) \frac{\langle G \cdot \delta y_{co} \rangle}{B_0} + (1 + a) \frac{\langle B \cdot \delta y'_{co} \rangle}{B_0}$$

**Вертикальные искажения ЗО**

**Вертикальный эмиттанс пучка**

# Протонный синхротрон У70

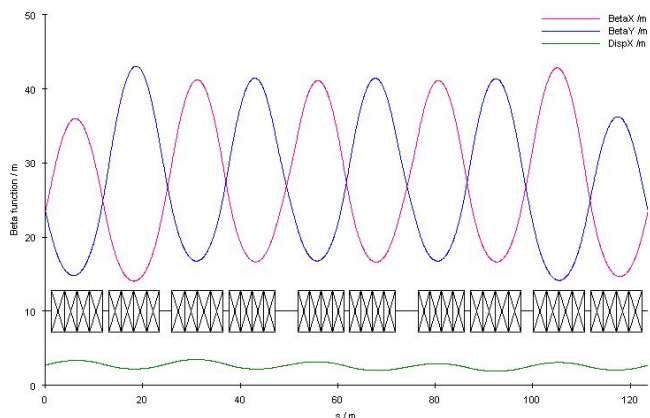
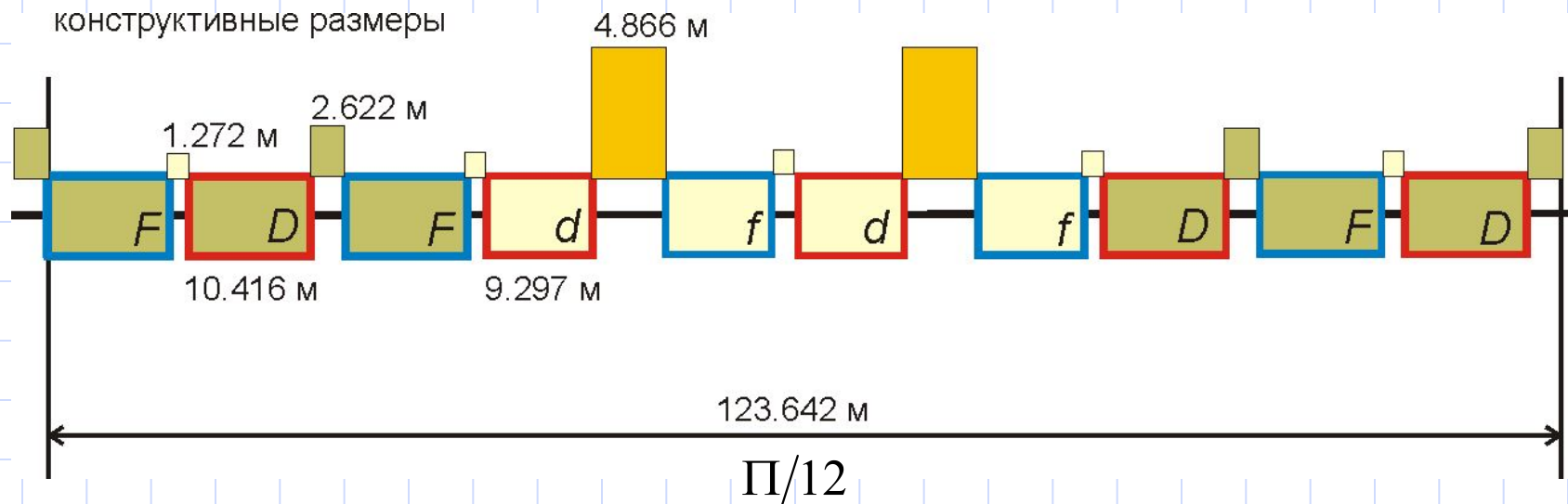


ИФВЭ, 1-2 марта 2005

5

# Период магнитной структуры У70

конструктивные размеры



Коэффициент заполнения орбиты диполями

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

# Прямолинейные промежутки У70



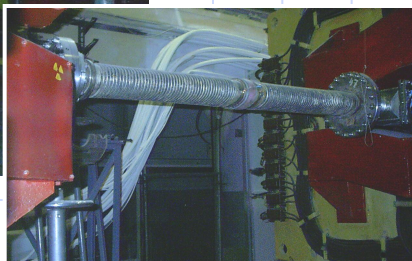
“короткий” ПТП (60)



“длинный” ПТП (24)



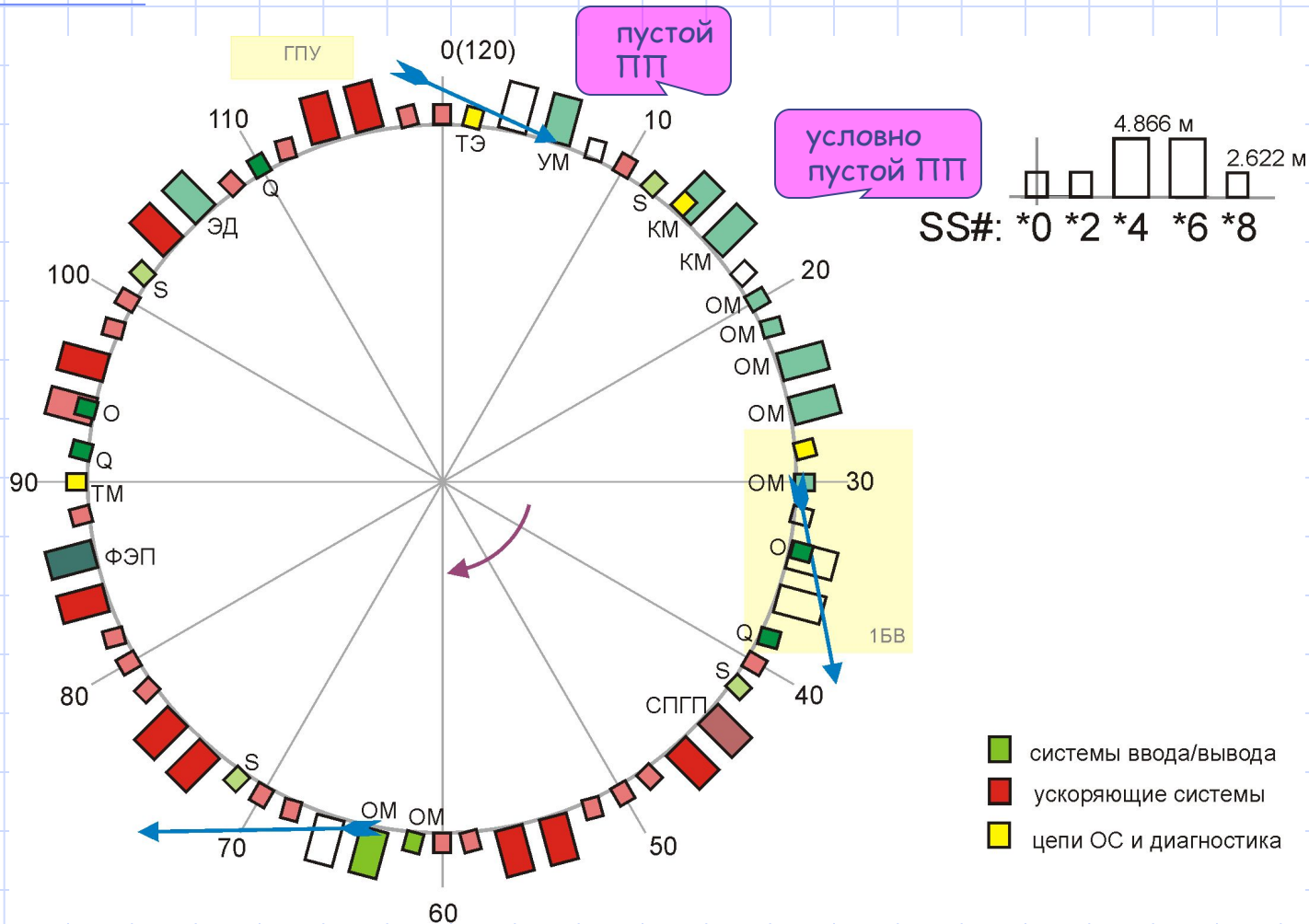
“средний” ПТП (36)



пустой ПТП8

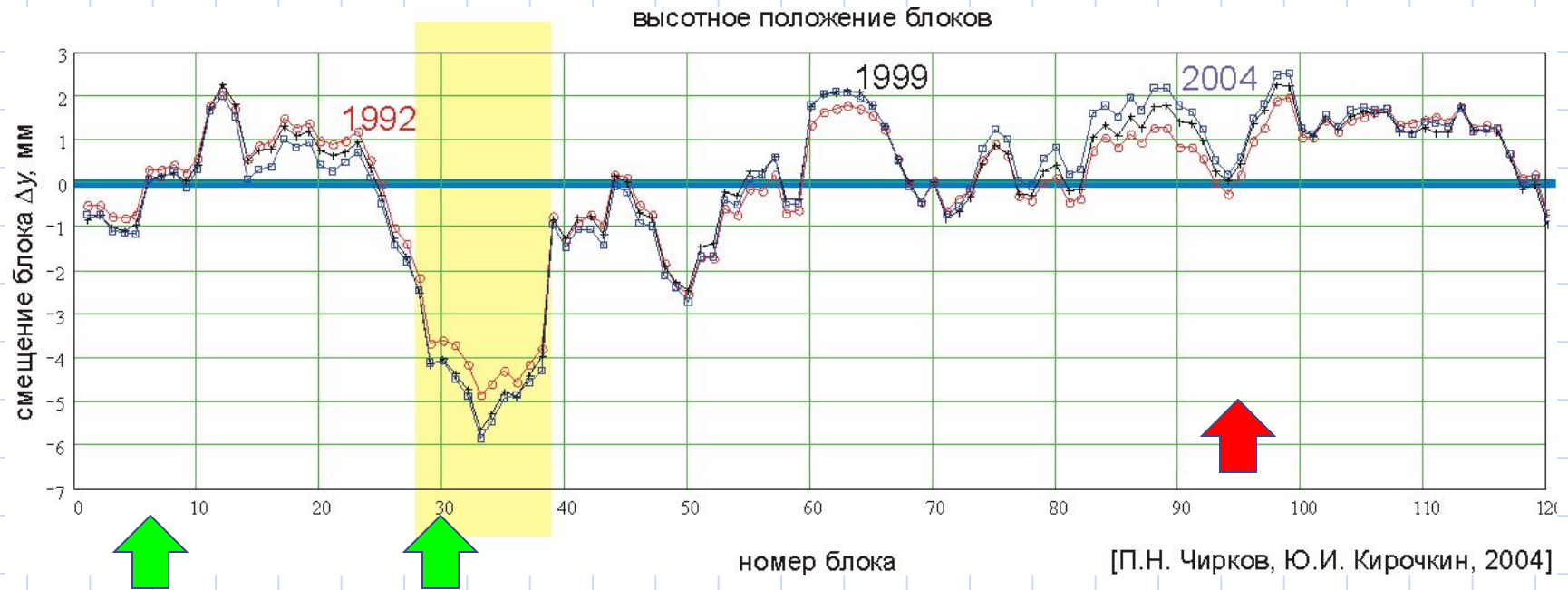


# Размещение оборудования в У70



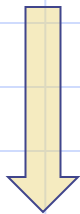
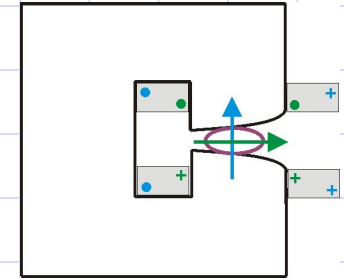


# Высотное положение магнитов



# Система вертикальной коррекции ЗО

- Вход:  $5 \times 12 = 60$  ВРМv (шаг  $\sim 60^\circ$  по  $\beta$ -фазе)
- Выход: дополнительные обмотки
- Схема подключения:



Hr10sin/cos, 16 + 12 блоков

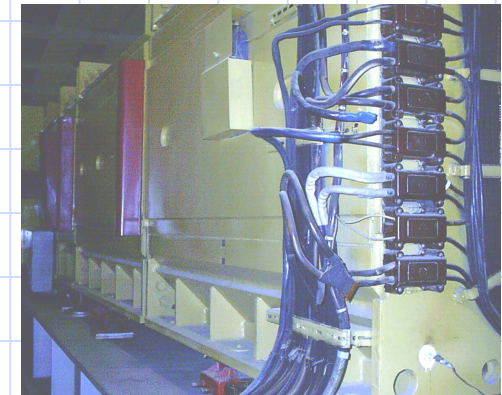
Hr9sin/cos, 4 + 4 блоков

Hr11sin/cos, ...

- бамповая, 16 блоков

Система коррекции

Система коррекции	l	K	R	l	l	Параметры блока	Тип обмотки
ВерхняяСос	52	1000	10	15	123	Универсальная обмотка ВРМ	20
НижняяСос	52	1000	0	15	123	Универсальная обмотка ВРМ	20
НерастянутаяСос	52	1100	10	12	124	Универсальная обмотка ВРМ	20
ВерхняяСос	52	1100	10	12	124	Универсальная обмотка ВРМ	20
НижняяСос	52	1100	10	12	124	Универсальная обмотка ВРМ	20
СредняяСос	52	1100	10	12	124	Универсальная обмотка ВРМ	20
Генератор	52	1100	10	12	124	Универсальная обмотка ВРМ	20
...	...	...	...	...	...	...	...

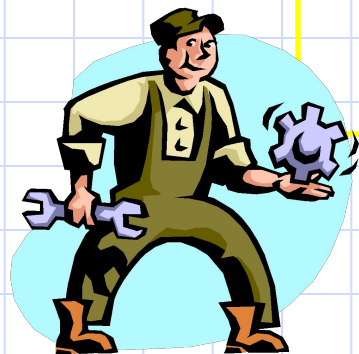


- Итог: остаточная ошибка  $\pm 10$  мм при апертуре  $\pm 50$  мм

# Юстировка магнитной структуры?

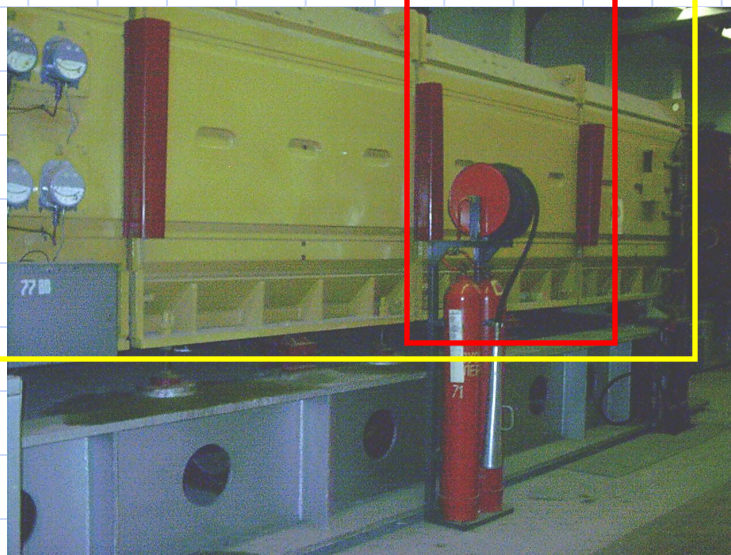
- Геодезическая сеть
- Методика: совмещенные функции; 5 пакетов = 1 блок
- Вес блока, пакета. Подъемное оборудование
- Персонал, опыт юстировки
- Головная часть каналов

$\Sigma = 21000 \text{ т}$



180 т  
(160 т)

36 т  
(16 т)



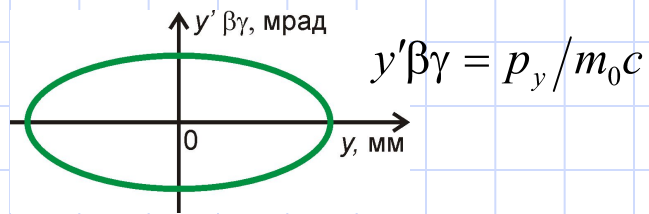
ИФВЭ, 1-2 марта 2005

# Эволюция вертикального эмиттанса

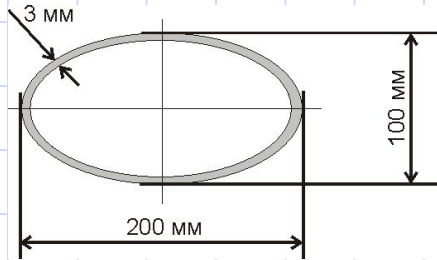
Инвариантный эмиттанс, вертикальный,  $\pi$  мм·мрад

	$1\sigma$	$2\sigma$ (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



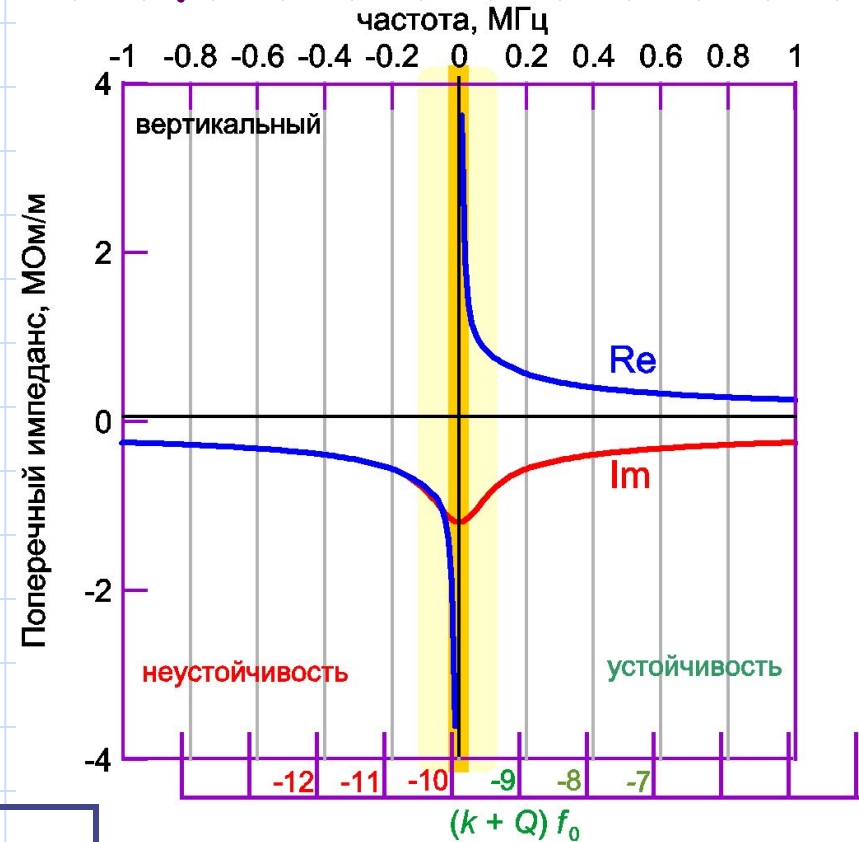
“сила”  
неустойчивости  
V: H = 1.83: 1

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

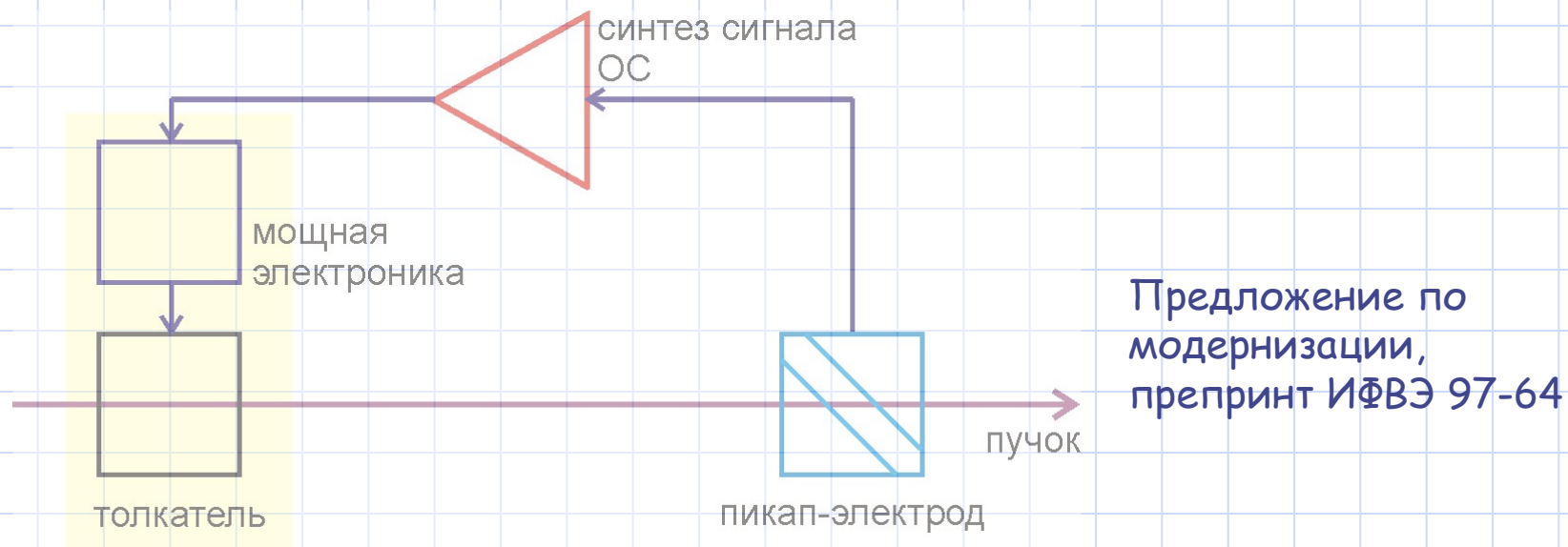
$$\Omega \cong Q\omega_0, \quad [Z] = \text{ОМ/М}$$

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

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



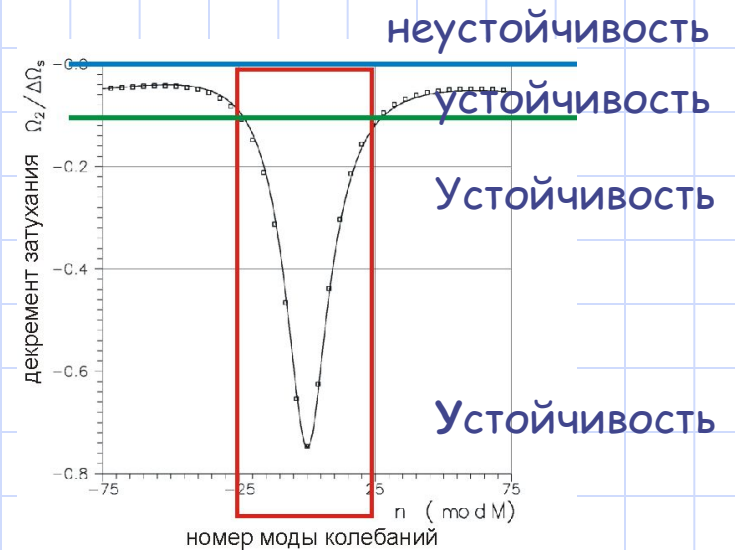
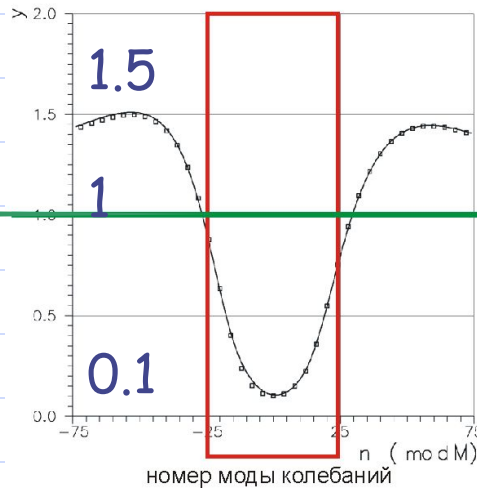
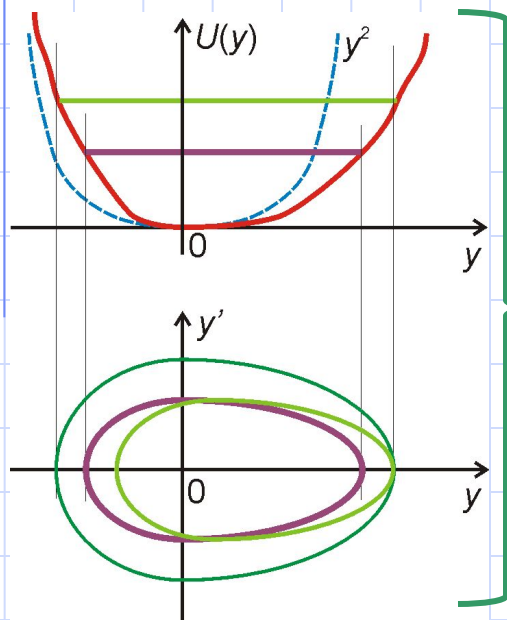
# Системы поперечной ОС



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

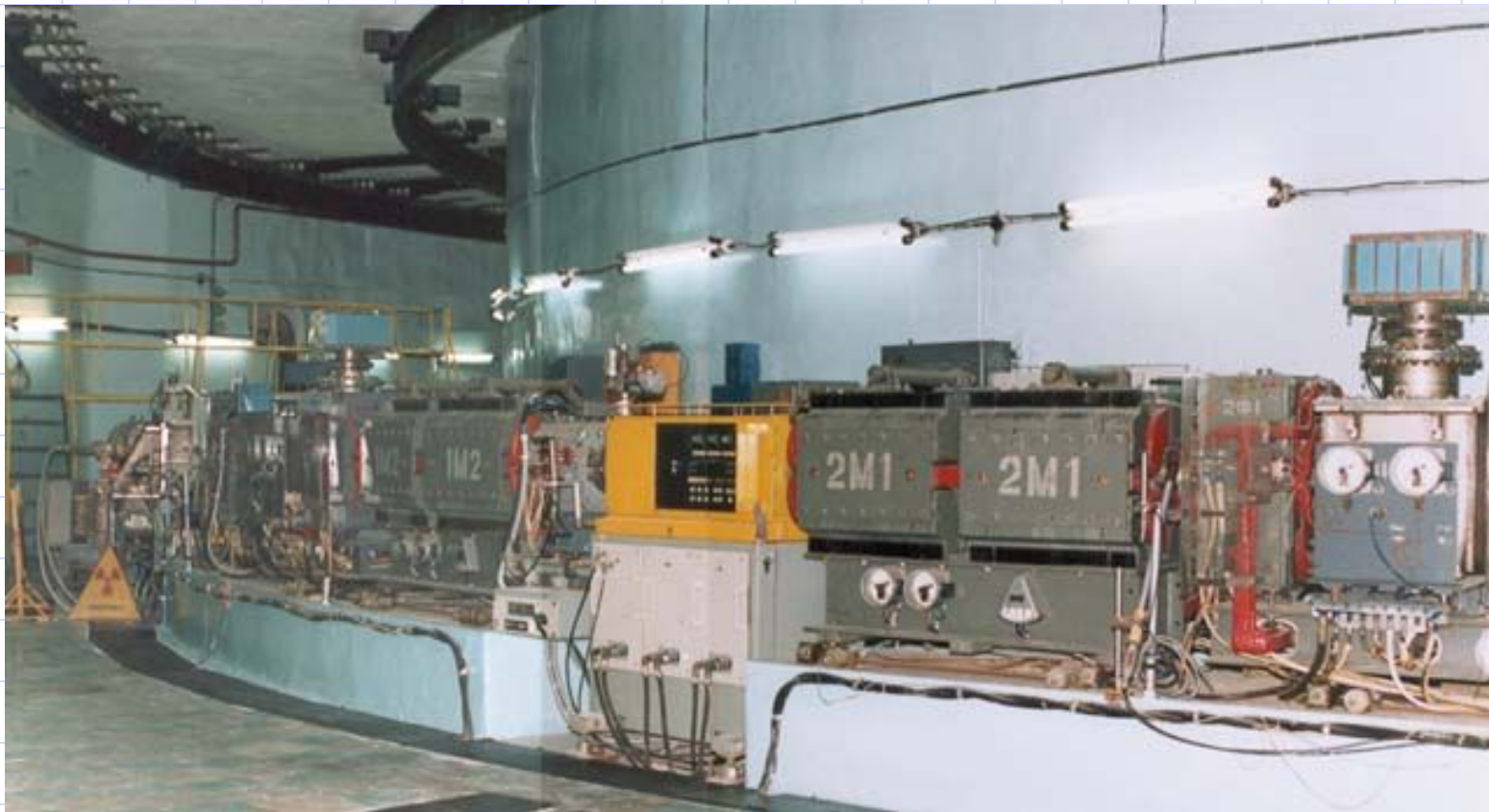
# Предотвращение роста фазового объема

filamentation



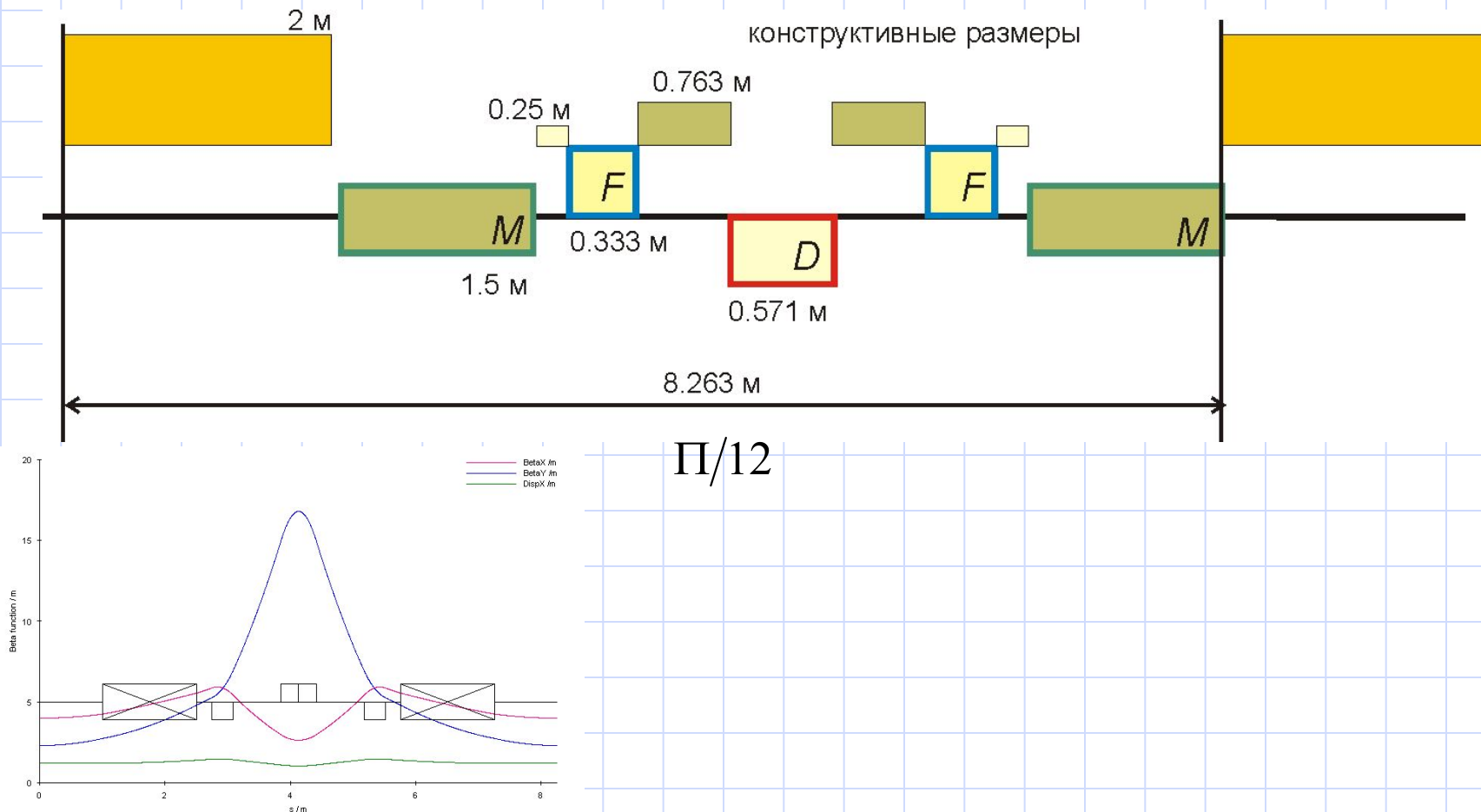
**Баланс:** коэффициент усиления, полоса пропускания, динамический диапазон, нелинейность движения

# Синхротрон-бустер У1.5

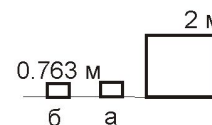
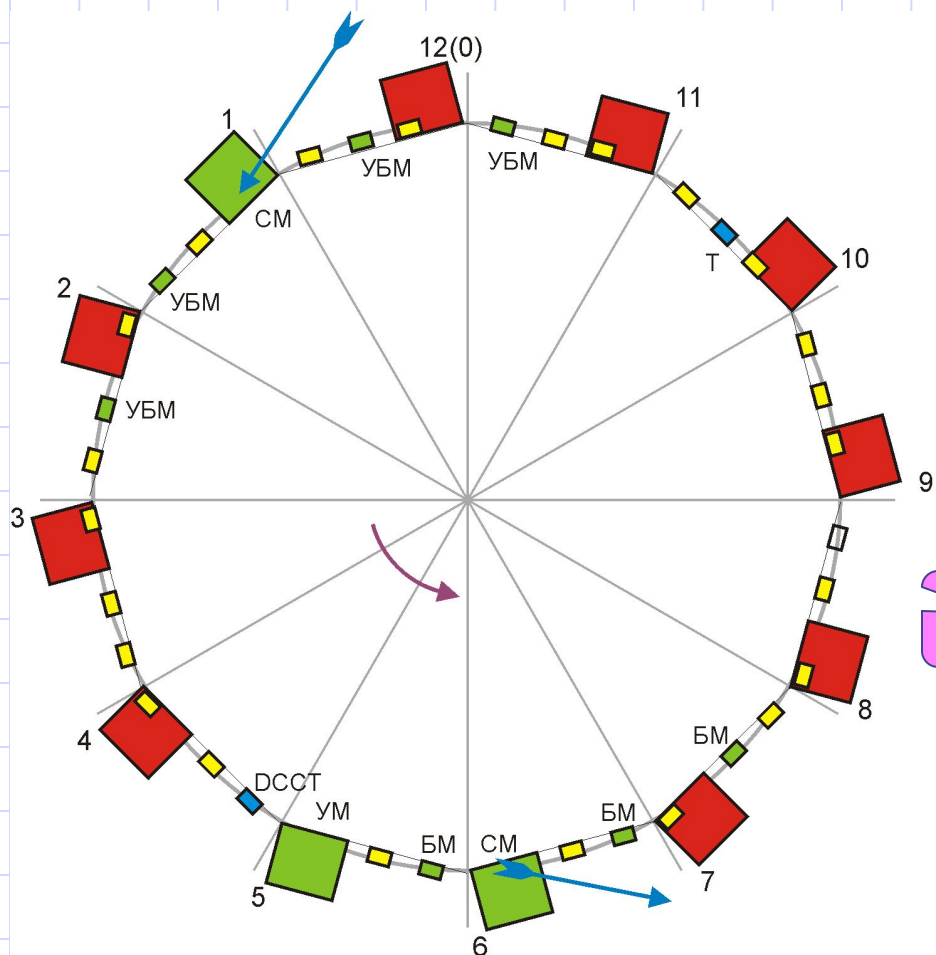




# Период магнитной структуры У1.5



# 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

пустой  
ППП

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

D, Q, S, O  
N & S  
4 обмотки/к

# Заключение

Необходимые мероприятия

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

