

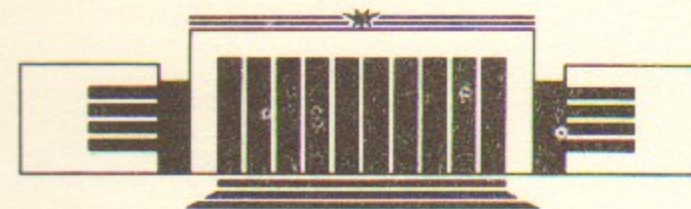


ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

А.Г. Валентинов, В.Н. Корчуганов,  
Г.Н. Кулипанов, Е.Б. Левичев, В.А. Ушаков

ПАРАМЕТРЫ ТНК  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИСТОЧНИКА  
СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ПРЕПРИНТ 90-129



НОВОСИБИРСК



A.T. Ваятнов, E.H. Давыдов, B.A. Ушаков  
T.H. Куликов

ПАРАМЕТРЫ ТНК  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИСТОЧНИКА  
СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ИСТИННУЮ ДЕРЖИМ

ИСТИННУЮ ДЕРЖИМ

1980

Всё это является частью комплекса исследований, проводимых в ИЯФ СО АН СССР и направленных на создание и эксплуатацию источника синхротронного излучения (СИ) на базе накопителя ТНК.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Накопитель электронов ТНК (г. Зеленоград), с энергией электронов  $E = 1 \div 2$  ГэВ, разработанный в ИЯФ СО АН СССР, является специализированным источником синхротронного излучения (СИ), предназначенным для решения задач субмикронной технологии, а также проведения различных исследований в диапазоне длин волн  $0.2 - 2000 \text{ \AA}$ .

Магнитная структура накопителя оптимизирована для получения интенсивных потоков фотонов высокой яркости как из поворотных магнитов, так и из специальных генераторов излучения — змеек и ондуляторов [1].

Кроме накопителя ТНК, комплекс включает инжектор-линяк ( $E = 80 \div 100$  МэВ), промежуточный накопитель-бустер ( $E = 450$  МэВ) и каналы транспортировки электронного пучка (рис. 1).

Параметры накопителя ТНК, структурные функции, пространственные и угловые размеры электронного пучка, даны в Приложениях 1—2.

В работе представлены основные потребительские характеристики (спектральная яркость, потоки фотонов, мощность излучения и т. п.) источников СИ ТНК.



## 2. ТОЧКИ ВЫВОДА ИЗЛУЧЕНИЯ

Накопитель состоит из шести одинаковых зеркально-симметричных суперпериодов. На рис. 2 показан один суперпериод и приведены точки излучения, пронумерованные по ходу электронного пучка:

- 1—центр ондуляторного промежутка (здесь будет ставиться ондулятор или многополюсная змейка) (канал  $0^\circ$ );
- 2—точка излучения из слабого поля поворотного магнита (см. ниже) (канал  $0^\circ$ );
- 3—точка излучения из основного поля магнита (канал  $5^\circ 20'$ );
- 4—точка излучения из основного поля магнита (канал  $17^\circ$ );
- 5—центр промежутка, где ставится сверхпроводящая или многополюсная змейка (канал  $0^\circ$ );
- 6—точка излучения из основного поля магнита (канал  $5^\circ 20'$ );
- 7—точка излучения из основного поля магнита (канал  $17^\circ$ ).

Все углы измеряются между центральным лучом указанного канала СИ и направлением предшествующего прямолинейного участка орбиты.

Важной потребительской характеристикой излучения является яркость источника, для расчета которой необходимо знание пространственных и угловых размеров источника. В Приложении 2, табл. 2.1—2.3 приведены значения структурных функций накопителя  $\beta_x$  и  $\beta_z$ , дисперсионной функции  $\eta$ , размеры ( $\sigma_x$  и  $\sigma_z$ ) и угловые расходимости ( $\sigma_x'$  и  $\sigma_z'$ ) электронного пучка для различных энергий. Для  $E=1.2$  ГэВ размеры рассчитывались с учетом эффекта Тушека, а для  $E=1.6$  ГэВ и  $E=2.0$  ГэВ по квантовым флуктуациям. Для всех таблиц коэффициент связи бетатронных колебаний  $\epsilon_z/\epsilon_x=1\%$ .

## 3. ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

### 3.1. Поворотный магнит

На накопителе имеется 24 магнита; их расположение показано на рис. 1. Поворотный магнит сделан таким образом (рис. 3), что на краю магнита, примыкающем к прямолинейному промежутку, есть короткий участок с полем, равным одной четверти основного поля магнита. Это позволяет

- обеспечить возможность использования длинноволновой части спектра СИ из магнита не заботясь о подавлении более жесткого излучения;
- обеспечить пространственное разделение фотонов из магнита и источника (змейки или ондулятора) в прямолинейном промежутке;
- уменьшить тепловую нагрузку на образцы при работе в области мягкого рентгена;
- уменьшить нагрев «холодных» элементов сверхпроводящих змеек в прямолинейном промежутке излучением с края магнита.

Таблица 3.1

Характеристики излучения из основного поля магнита

$E$ , ГэВ	$H$ , кГс	$\lambda_c$ , А	$\epsilon_c$ , кэВ	$F$ ( $\lambda=\lambda_c$ ), $10^{12}$ ф/с/мрад/0.1% BW	$B$ ( $\lambda=\lambda_c$ ), $10^{14}$ ф/с/мм <sup>2</sup> /мрад <sup>2</sup> /0.1% BW	$P$ , Вт/мрад
1.2	8.2	15.8	0.78	5.76	1.13	1.78
1.6	10.9	6.62	1.87	7.68	4.14	5.62
2.0	13.6	3.43	3.62	9.61	3.82	13.7

В табл. 3.1 приводятся различные характеристики излучения из основного поля поворотного магнита.

Здесь  $E$ —энергия электронов,  $H$ —основное поле поворотного магнита,  $\lambda_c$  и  $\epsilon_c$ —критическая длина волны и энергия излучения. Спектральный поток  $F$ —число фотонов в секунду, проинтегрированное по вертикальному углу, в 1 мрад горизонтального угла, в интервале длин волн (BandWidth) 0.1%. Яркость  $B$ —спектральный поток приходящийся на единицу фазового объема (мм<sup>2</sup>·мрад<sup>2</sup>) источника.  $P$ —мощность излучения, проинтегрированная по вертикальному углу в 1 мрад горизонтального угла.

Здесь и далее значения параметров излучения для магнита приводятся для точки излучения 3. Ток электронного пучка  $I=0.3$  А.

На рис. 7 и 9 показаны зависимости потока фотонов и яркости СИ из магнита от длины волны излучения для  $E=1.6$  ГэВ.

### 3.2. Ондулятор

На накопитель ставится два ондулятора (рис. 1) для работы со сверхъяркими пучками излучения в области мягкого рентгена и



вакуумного ультрафиолета [2]. Общий вид ондулятора показан на рис. 4. Основные параметры ондулятора сведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2  
Основные параметры ондулятора

Период $\lambda_u$ , см	11
Число периодов $N$	12
Полная длина $L$ , см	130.8
Амплитуда поля $H_{max}$ , кГс	1—6.5
Межполюсной зазор $g$ , см	3.2

Диапазон изменения амплитуды магнитного поля позволяет менять ондуляторный параметр  $K=0.934 H$  (тесла)  $\lambda_u$  (см) от 0 до 6.5. Для значений  $K=1, 3, 6$  в табл. 3.3 даны значения некоторых характеристик ондуляторного излучения ( $E=1.6$  ГэВ,  $I=0.3$  А); верхнее число соответствует первой гармонике, нижнее — третьей.

Здесь  $F$  — интенсивность ондуляторного излучения  $n$ -й гармоники на оси.

Таблица 3.3  
Характеристики излучения из ондулятора

$K$	$\lambda_n$ , Å	$v_n$ , эВ	$F$ ( $n=1/n=3$ ), $10^{12}$ ф/с/0.1% BW	$B$ ( $n=1/n=3$ ), $10^{16}$ ф/с/мм <sup>2</sup> /мрад <sup>2</sup> /0.1% BW
1	84/28	148/443	30/5	2.3/1.05
3	308/103	40/120	48/30	1.1/1.9
6	1066/355	12/35	50/32	0.3/0.6

На рис. 7 и 8 приведен спектральный поток излучения из ондулятора, на рис. 9, 10 и 11 — спектральная яркость, на рис. 12 и 13 угловая зависимость плотности мощности ондуляторного излучения.

### 3.3. Многополюсная змейка

Многополюсная (литографическая) змейка предназначена для получения интенсивных пучков СИ в диапазоне длин волн 5—40 Å, используемых для литографии [2]. Основные параметры змейки даны в табл. 3.4. Общий вид показан на рис. 5.

Таблица 3.4  
Основные параметры многополюсной змейки

Период $\lambda_u$ , см	24
Число полюсов $N$	9 (13)
Полная длина $L$ , см	133,6(181.6)
Максимальное поле $H_{max}$ , кГс	10
Межполюсной зазор $g$ , см	3.2

На накопителе будет установлено пять многополюсных змеек, как в промежутках с зануленной дисперсионной функцией (13 полюсов), так и в ондуляторных промежутках (9 полюсов). Размещение змеек на кольце показано на рис. 1.

Особое внимание при проектировании змейки обращалось на однородность пространственного распределения мощности излучения, что является весьма важным для литографии. В нашем случае обеспечивается однородность  $\Delta P/P < 5\%$  в интервале горизонтальных углов вывода СИ  $2\Delta\theta=4.6$  мрад. При этом изменение критической длины волны излучения также не превышает 5% в данном угловом интервале.

В табл. 3.5 приведены основные характеристики излучения из многополюсной змейки (13 полюсов, точка излучения 5,  $H=10$  кГс, ток электронов  $I=0.3$  А).

Обозначения такие же, как в таблице 3.1. Угол  $\alpha=K/\gamma$  ( $K$  — ондуляторный фактор) равен половине угла раскрытия излучения из змейки по горизонтали. Мощность  $P$  усреднена по горизонтальному углу  $2K/\gamma$ .

Таблица 3.5  
Характеристики излучения из многополюсной змейки

$E$ , ГэВ	$\alpha$ , мрад	$\lambda_c$ , Å	$v_c$ , кэВ	$F$ ( $\lambda=\lambda_c$ ), $10^{13}$ ф/с/мрад/0.1% BW	$B$ ( $\lambda=\lambda_c$ ), $10^{15}$ ф/с/мм <sup>2</sup> /мрад <sup>2</sup> /0.1% BW	$P$ , Вт/мрад
1.2	9.5	12.9	0.96	7.5	2.05	22.5
1.6	7.2	7.3	1.7	10	9.8	53.8
2.0	5.7	4.7	2.7	12.5	6.03	104

На рис. 7 показан поток из литографической змейки (13 полюсов) в сравнении с другими источниками, на рис. 9 — яркость для точки излучения 5. Зависимость плотности мощности излучения от вертикального и горизонтального углов приведена на рис. 14.



### 3.4. Сверхпроводящая змейка

Две сверхпроводящие змейки с полем 70—80 кГс, устанавливаемые в промежутках с нулевой дисперсией (рис. 1), призваны обеспечить экспериментаторов интенсивным жестким излучением с длиной волны  $\lambda < 1 \text{ \AA}$  [3]. Рис. 6 схематично показывает расположение полюсов и траекторию электронов в сверхпроводящей змейке. Конструкция змейки позволяет получить изображение одного источника излучения в плоскости размещения образца без дополнительной коллимации.

В табл. 3.6 приведены параметры сверхпроводящей змейки.

Таблица 3.6  
Основные параметры сверхпроводящей змейки

Параметр ондуляторности $K$	230
Число полюсов $N$	5
Длина $L$ , см	130
Максимальное поле $H_{\text{max}}$ кГс	80
Межполюсной зазор $g$ , см	3

В табл. 3.7 даются некоторые характеристики излучения из сверхпроводящей змейки.

Обозначения как в табл. 3.5. Мощность  $P$  усреднена по горизонтальному углу  $\pm 30$  мрад (угол, в котором выводится излучение).

Таблица 3.7  
Характеристики излучения из сверхпроводящей змейки

$E$ , ГэВ	$\lambda$ , А	$e_s$ , кэВ	$F(\lambda=\lambda_c)$ , $10^{12}$ ф/с/мрад/0.1% BW	$B(\lambda=\lambda_c)$ , $10^{14}$ ф/с/мм <sup>2</sup> /мрад <sup>2</sup> /0.1% BW	$P$ , Вт/мрад
1.2	1.6	7.7	5.8	1.6	18
1.6	0.9	13.6	7.7	7.6	43
2.0	0.6	21.3	9.6	4.6	83

Рис. 7 и рис. 9 показывают зависимость потока фотонов и яркости излучения из сверхпроводящей змейки от длины волны. На рис. 15 приводится график плотности мощности излучения из змейки, падающего на площадку, расположенную перпендикулярно потоку на расстоянии 10 м от точки излучения.

### 4. КАНАЛЫ ВЫВОДА СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Принципиально различается два типа каналов вывода СИ: для мягкого излучения (магниты, ондуляторы, литографические змей-

ки) и для жесткого (сверхпроводящие змейки) [4]. Эти каналы схематично приведены на рис. 16 и 17. Количество каналов разного типа дано в табл. 4.1.

Таблица 4.1  
Каналы вывода синхротронного излучения

Источник	Кол-во	Обозн.	Номер канала	Точка излуч.	Длина, м	$\Delta\theta$ , мрад
Основное поле магнита	20	5°20'	K12	3	11.86	1.7
			K22	3	11.86	1.7
		17°	K32	3	11.86	1.7
			K35	6	11.89	1.7
			K42	3	11.86	1.7
			K52	3	12.86	1.7
			K55	6	12.89	1.7
			K62	3	12.86	1.7
			K65	6	12.89	1.7
			K13	4	14.69	1.4
			K16	7	13.32	1.3
			K23	4	14.69	1.4
			K26	7	13.32	1.3
			K33	4	14.69	1.4
			K36	7	13.32	1.3
			K43	4	15.19	1.4
K46	7	13.82	1.3			
K56	7	13.82	1.3			
K63	4	15.19	1.4			
K66	7	13.82	1.3			
Слабое поле магнита	2	0°	K11	2	10.78	3.9
			K54	2	12.80	2.9
Ондулятор	2	0°	K41	1	13.09	2.1
			K61	1	14.09	2.1
Многополюсная змейка	5	0°	K21	1	13.09	2.1
			K31	1	13.09	2.1
			K34	5	14.14	1.8
			K51	1	14.09	2.1
			K64	5	15.14	1.8
Сверхпроводящая змейка	10	0°	K14(A,B,C,D,E)	5	10—15	1.8
			K44(A,B,C,D,E)	5		

Каналы K11, K12 и K13 в случае постановки локальной биоащиты закрываются.

В третьей графе приводится обозначение каналов, используе-



мое на рис. 2. Длина дается от точки излучения до конца канала.  $\Delta\theta$  — половина горизонтального угла выводимого излучения.

Для многополюсных змеек: для каналов К21, К31, К51 число полюсов 9, а для К34, К64 — 13.

### Приложение 1

#### Основные параметры накопителя ТНК

Энергия, $E$	1.6 ГэВ
Энергия максимальная $E_{\max}$	1.9 ГэВ
Периметр, $C=2\pi R$	115.7 м
Средний радиус, $R$	18.4 м
Горизонтальное бетатронное число, $\nu_x$	7.73
Вертикальное бетатронное число, $\nu_z$	7.74
Горизонтальный хроматизм, $\xi_x$	-19
Вертикальный хроматизм, $\xi_z$	-20
Коэффициент уплотнения орбит, $\alpha$	$9.9 \times 10^{-3}$
Энергия перехода, $\gamma_l$	10
Горизонтальный эмиттанс (1% связь), $\epsilon_x$	$3.5 \times 10^{-6}$ см·рад
Вертикальный эмиттанс (1% связь), $\epsilon_z$	$3.5 \times 10^{-8}$ см·рад
Разброс энергий в пучке, $\sigma_e/E$	$6.1 \times 10^{-4}$
Длина сгустка ( $U_{RF}=520$ кВ), $2.35 \sigma_s$	4.4 см
Время пролета сгустка, $t_s$	63 псек
Потери на излучение (магниты), $U_0$	114.2 кэВ
Частота обращения, $f_0$	2.59 МГц
Период обращения, $T_0$	386 нсек
Частота ВЧ, $f_{RF}$	181.3 МГц
Кратность ВЧ, $h$	70
Амплитуда ВЧ, $U_{RF}$	520 кВ
Энергетическая апертура, $(\Delta E/E)_{\max}$	$\pm 1.4\%$
Частота синхротронных колебаний, $f_s$	15.3 кГц
Число синхротронных колебаний, $\nu_s$	$5.9 \cdot 10^{-3}$
Время затухания, $\tau_x, \tau_z, \tau_s$	10.8, 10.8, 5.4 мсек
Ток: односгустковый режим, $I_{sb}$	100 мА
многосгустковый режим, $I_{mb}$	300 мА
Время жизни (Тушек, 10% связь, $I_{mb}=300$ мА),	5 час
Средние структурные функции, $\bar{\beta}_x, \bar{\beta}_z, \bar{\eta}$	
Max, min структурные функции	6.6, 7.1, 0.24 м
$\beta_x \max \beta_x \min$	20.7, 0.58 м
$\beta_z \max \beta_z \min$	17.1, 0.21 м
$\eta \max \eta \min$	0.83, 0 м

### Приложение 2

#### Размеры электронного пучка в точках вывода излучения

Таблица 2-1

Энергия электронов, $E$	1.2 ГэВ
Горизонтальный эмиттанс, $\epsilon_x$	$5.5 \cdot 10^{-6}$ см·рад
Среднеквадратичный разброс энергий в пучке, $\sigma_e/E$	$5.4 \cdot 10^{-4}$
Ток электронов, $I$	0.1 А

Точка	$\beta_x$ , см	$\beta_z$ , см	$\eta$ , см	$\sigma_x$ , мм	$\sigma_x'$ , мрад	$\sigma_z$ , мм	$\sigma_z'$ , мрад
1	1600	792	80	1.03	0.06	0.07	0.01
2	270	950	31	0.42	0.23	0.07	0.04
3	150	390	24	0.31	0.21	0.05	0.04
4	60	220	10	0.19	0.33	0.03	0.03
5	610	60	0	0.58	0.09	0.02	0.03
6	95	360	5	0.23	0.32	0.04	0.03
7	120	200	25	0.29	0.22	0.03	0.04

Таблица 2-2

Энергия электронов, $E$	1.6 ГэВ
Горизонтальный эмиттанс, $\epsilon_x$	$3.5 \cdot 10^{-6}$ см·рад
Среднеквадратичный разброс энергий в пучке, $\sigma_e/E$	$6.1 \cdot 10^{-4}$

Точка	$\beta_x$ , см	$\beta_z$ , см	$\eta$ , см	$\sigma_x$ , мм	$\sigma_x'$ , мрад	$\sigma_z$ , мм	$\sigma_z'$ , мрад
1	1600	792	80	0.86	0.04	0.05	0.006
2	270	950	31	0.34	0.19	0.05	0.03
3	150	390	24	0.26	0.16	0.03	0.03
4	60	220	10	0.15	0.26	0.03	0.02
5	610	60	0	0.43	0.07	0.01	0.02
6	95	360	5	0.17	0.25	0.03	0.03
7	120	200	25	0.25	0.17	0.02	0.03



Таблица 2-3

Энергия электронов,  $E$  2.0 ГэВ  
 Горизонтальный эмиттанс,  $\epsilon_x$   $4.8 \cdot 10^{-6}$  см·рад  
 Среднеквадратичный разброс энергий в пучке,  $\sigma_e/E$   $7.7 \cdot 10^{-4}$

Точка	$\beta_x$ , см	$\beta_z$ , см	$\eta$ , см	$\sigma_x$ , мм	$\sigma_x'$ , мрад	$\sigma_z$ , мм	$\sigma_z'$ , мрад
1	1600	792	80	1.07	0.05	0.06	0.008
2	270	950	31	0.43	0.23	0.07	0.03
3	150	390	24	0.33	0.20	0.04	0.03
4	60	220	10	0.19	0.33	0.03	0.03
5	610	60	0	0.54	0.09	0.02	0.03
6	95	60	5	0.22	0.31	0.04	0.03
7	120	200	25	0.31	0.21	0.03	0.03

ЛИТЕРАТУРА

1. V.N. Korchuganov et al. Optimization of the Parameters of the Dedicated Synchrotron Radiation Source for Technology. NIM208 (1983), p.11—18.
2. G.I. Erg, V.N. Korchuganov et al. Multipole wiggler and undulator for SR source TNK. The Proceedings of the Nine USSR National Conference on Synchrotron Radiation Utilization (SR'90), Moscow, USSR, 1990. NIM to be Published.
3. A.G. Valentinov et al. Five-pole superconducting wiggler for TNK. The Proceedings of the Nine USSR National Conference on Synchrotron Radiation Utilization (SR'90), Moscow, USSR, 1990. NIM to be published.
4. V.V. Anashin et al. Beam lines at the SR source TNK. The Proceedings of the Nine USSR National Conference on Synchrotron Radiation Utilization (SR'90), Moscow, USSR, 1990. NIM to be Published.

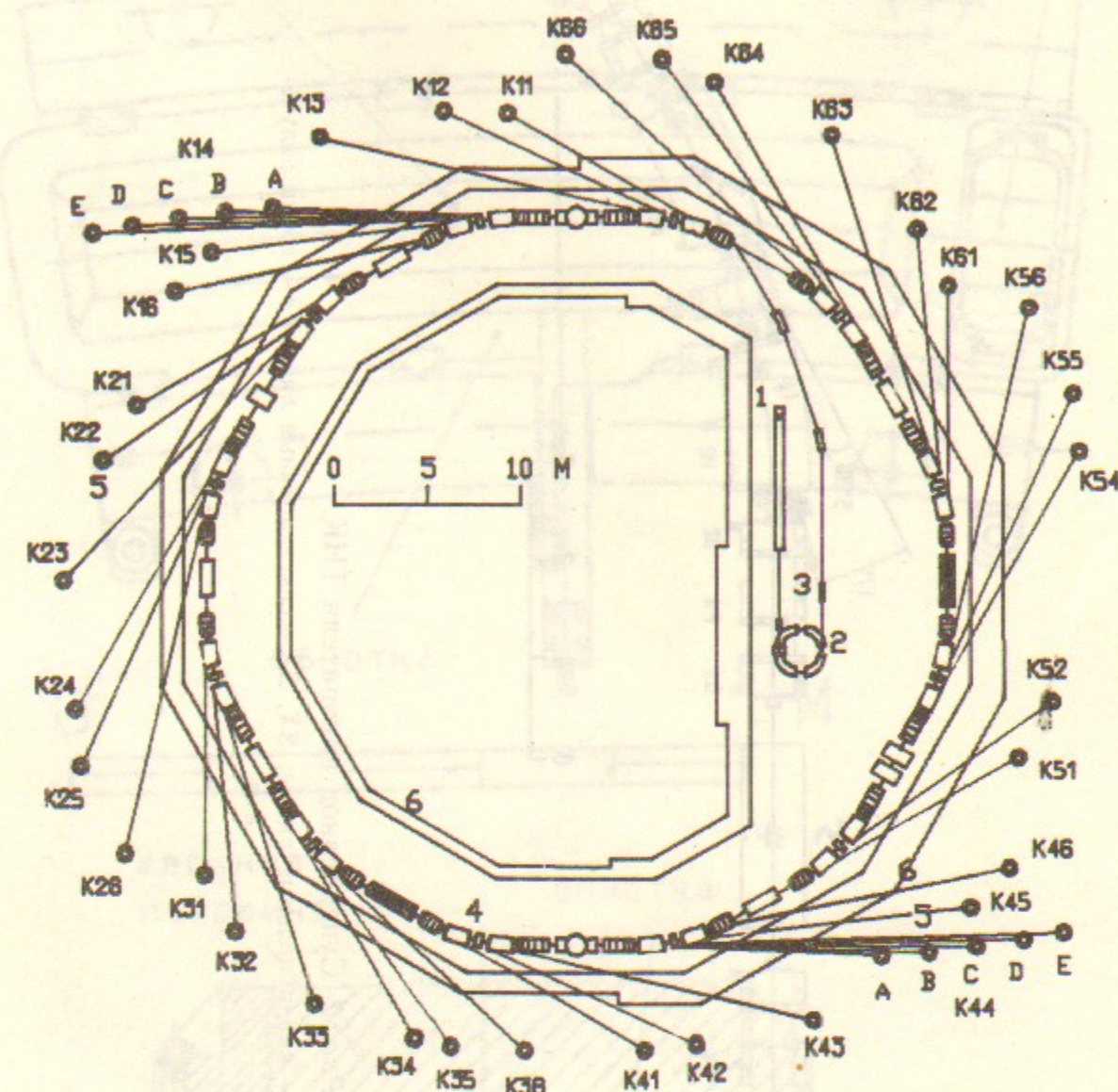


Рис. 1. Схема комплекса:

1—линейный ускоритель; 2—малый накопитель; 3—каналы транспортировки пучка; 4—накопитель TNK; 5—каналы вывода СИ; 6—биозащита; ■—ондулятор; ○—сверхпроводящая змейка; □—литографическая (многополюсная) змейка.



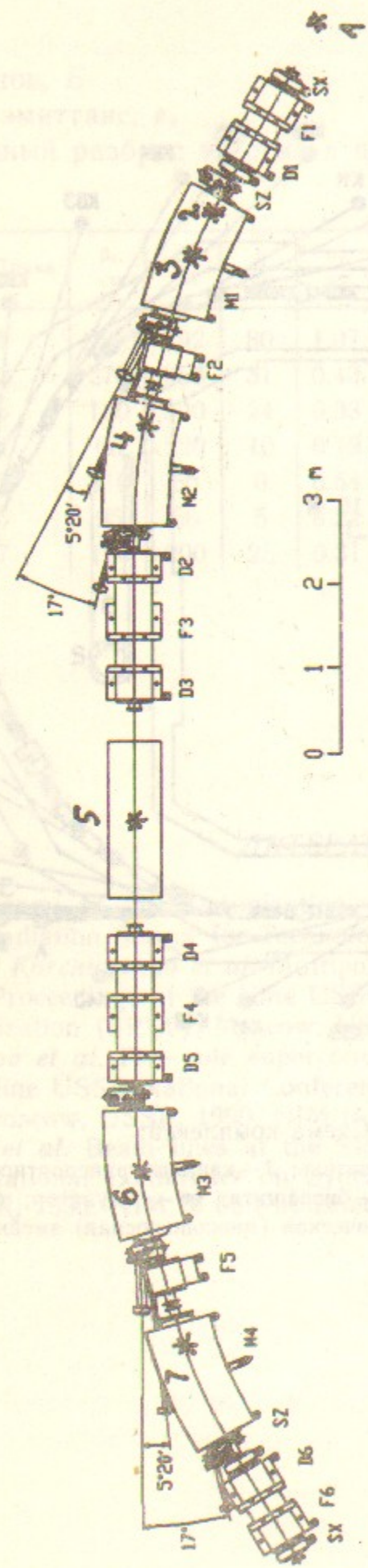


Рис. 2. Суперпериод накопителя ТНК.  
 M — поворотные магниты; D, F — квадрупольные линзы; SX, SZ — секстипольные линзы; \* — точки излучения.

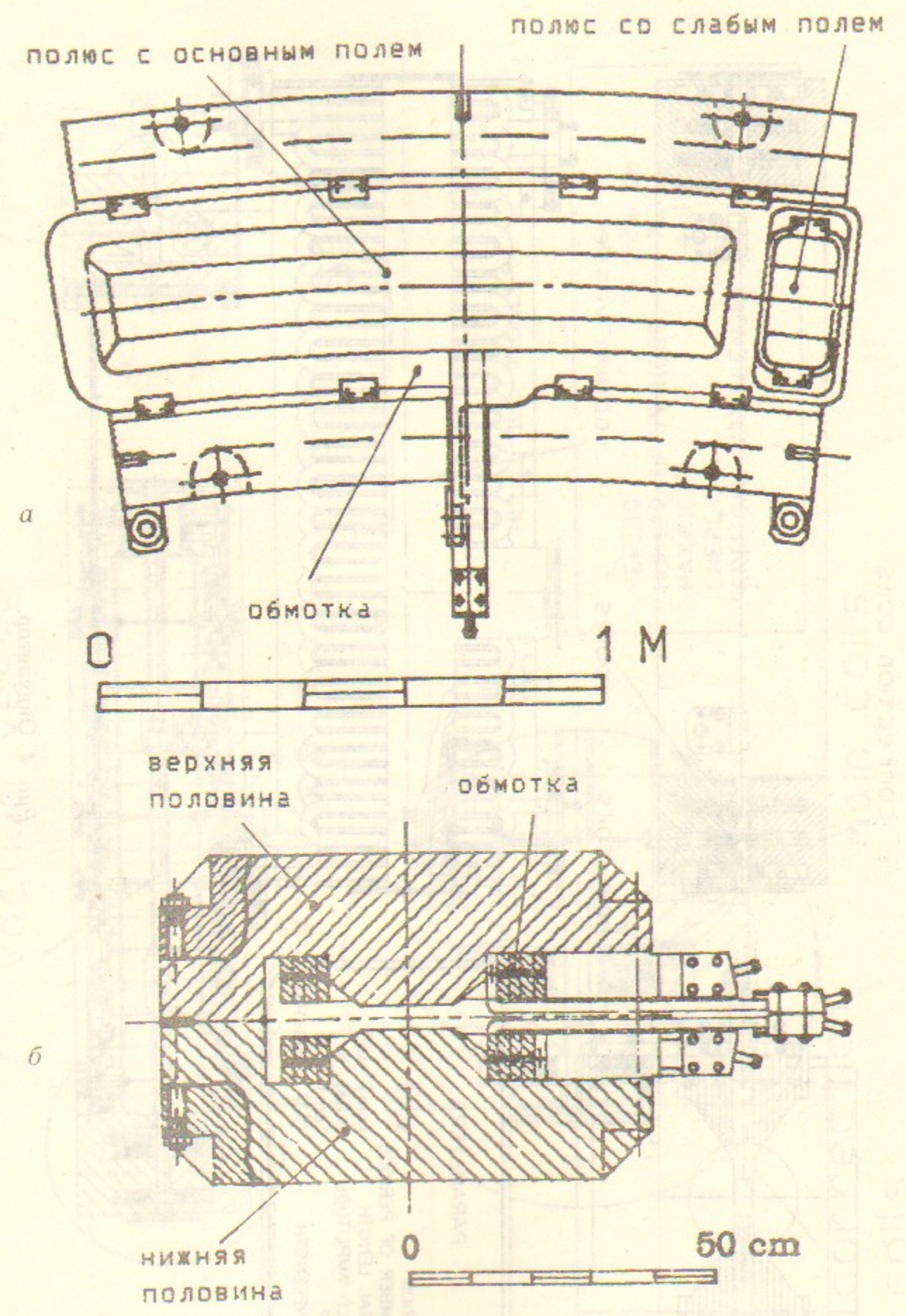


Рис. 3. Поворотный магнит:  
 а — вид сверху на нижнюю половину магнита; б — поперечное сечение.



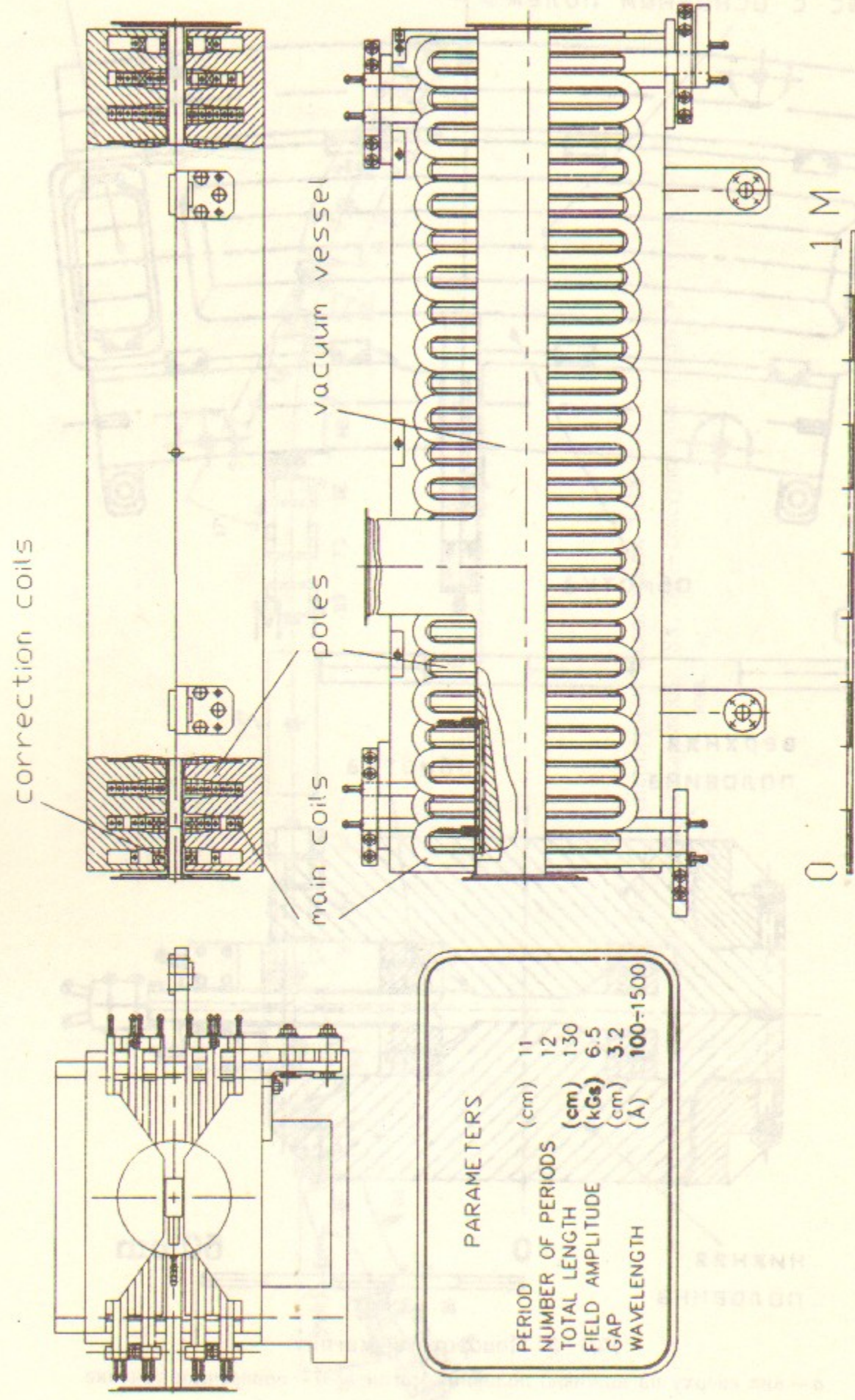


Рис. 4. Ондюлятор.

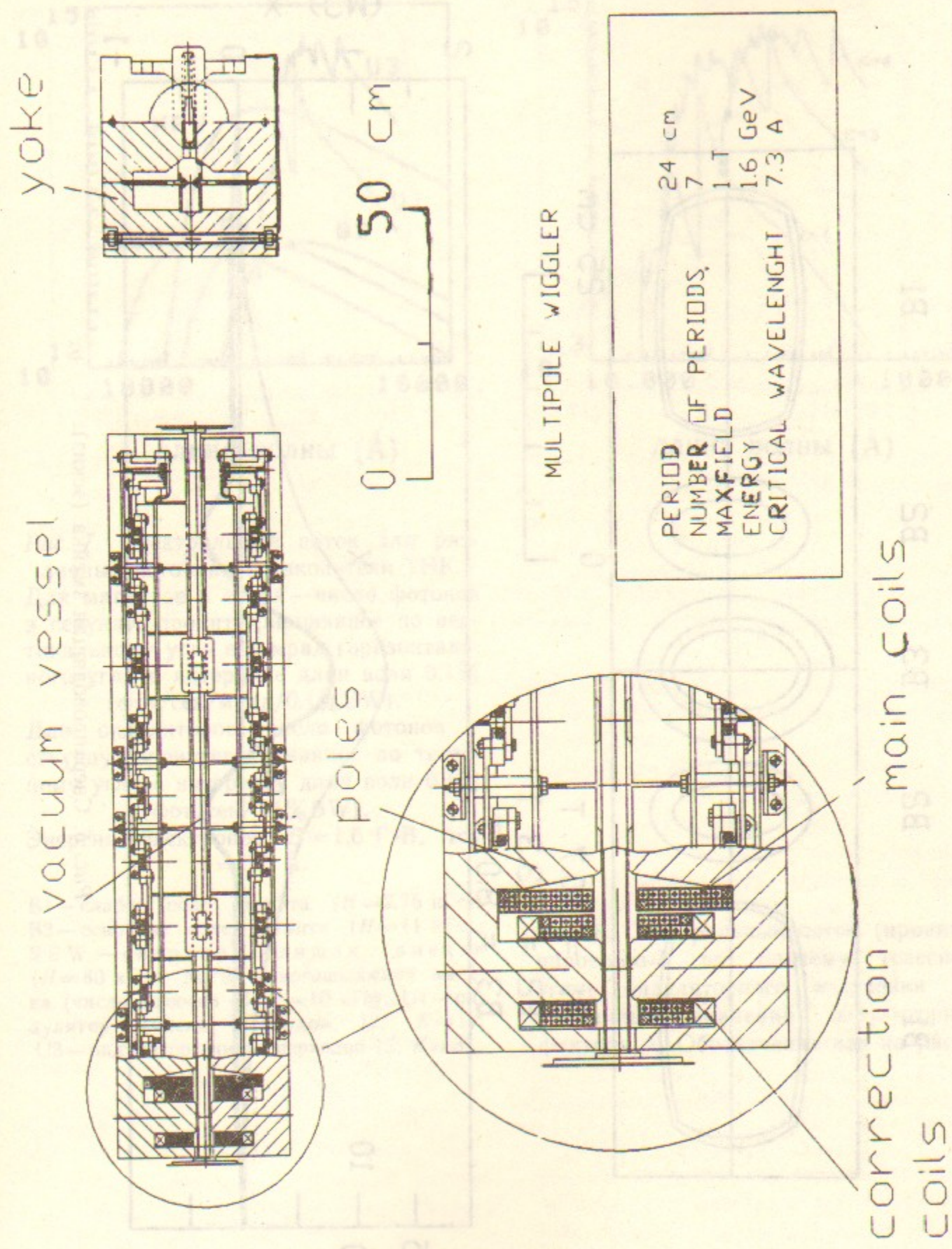


Рис. 5. Многополюсная змейка.



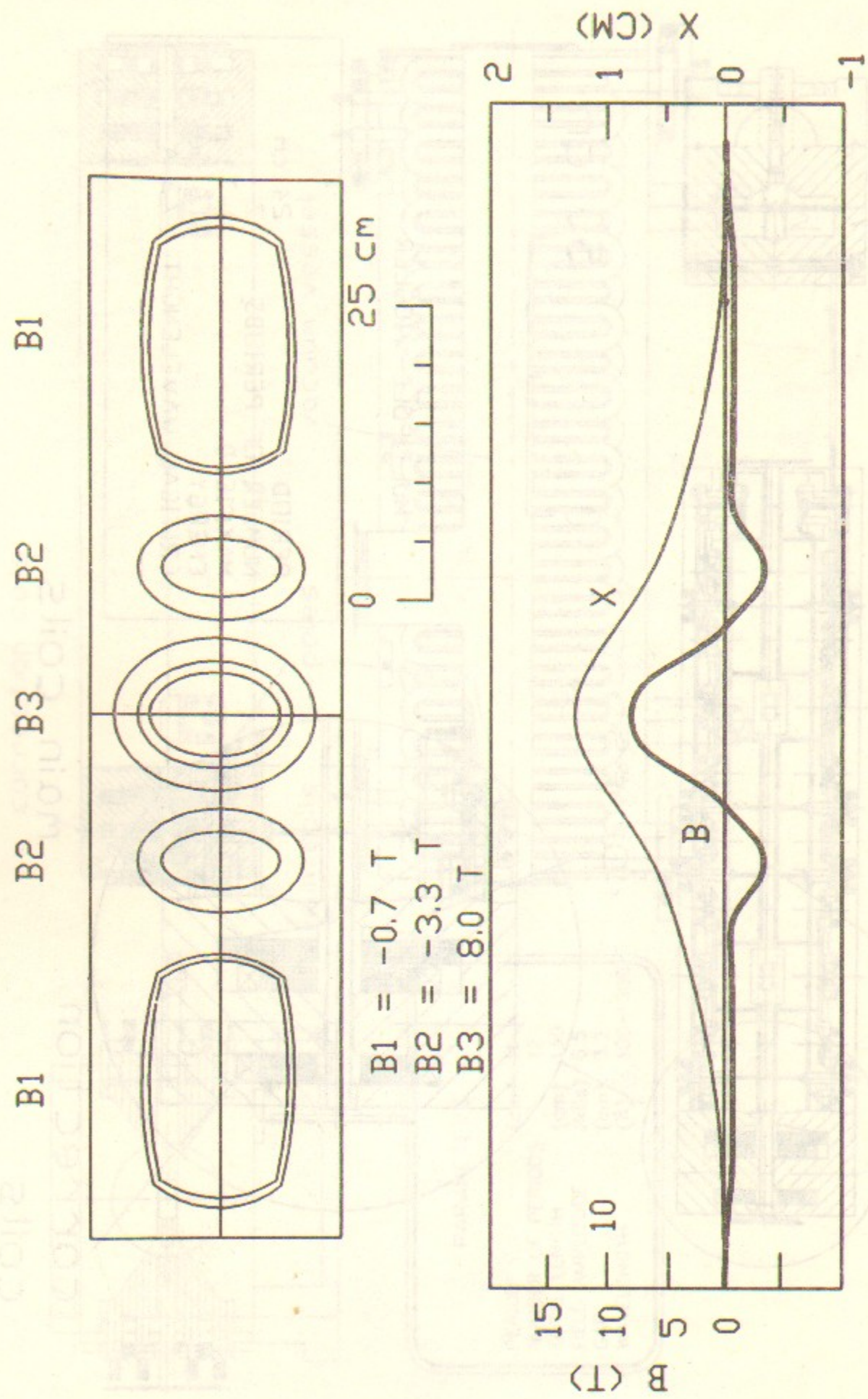


Рис. 6. Сверхпроводящая змейка (эскиз).

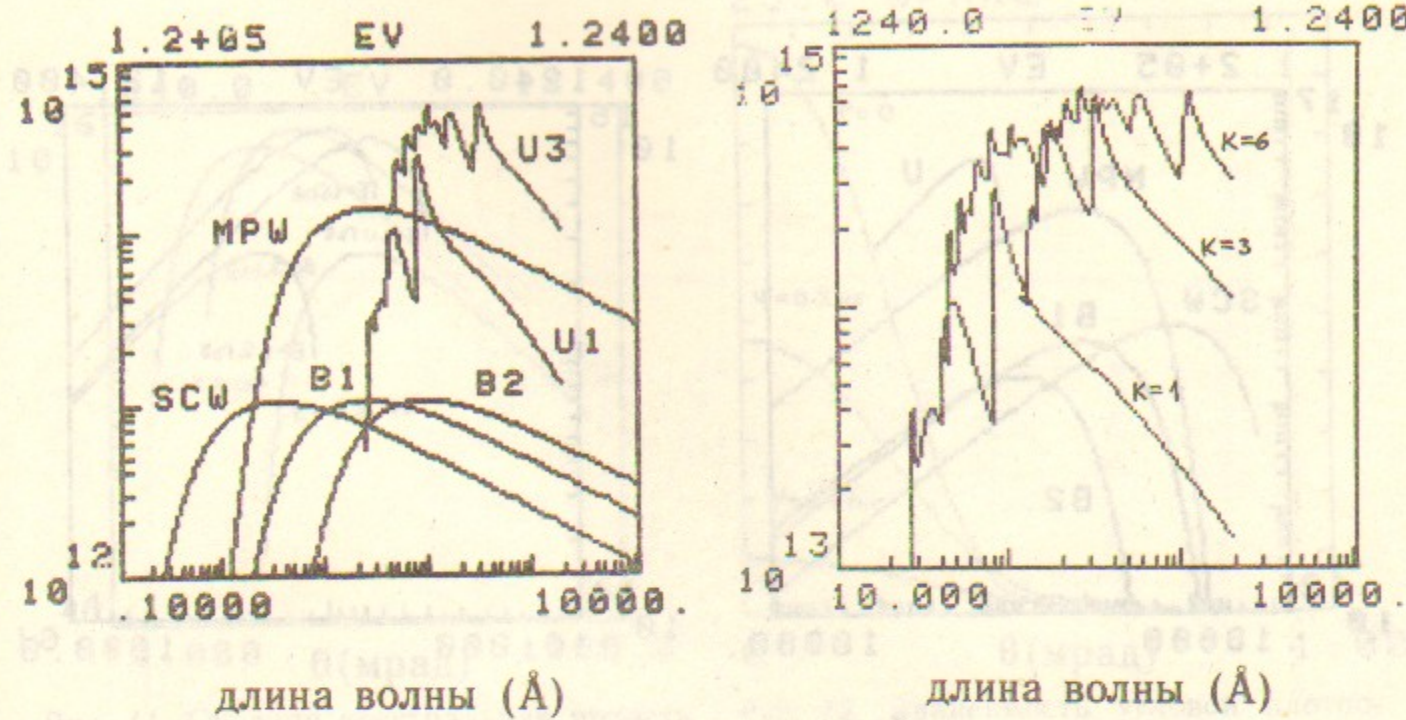


Рис. 7. Спектральный поток для различных источников накопителя ТНК. Для магнитов и змеек — число фотонов в секунду, проинтегрированное по вертикальному углу в 1 мрад горизонтального угла в интервале длин волн 0.1% (фот/сек/мрад/0.1%BW). Для ондуляторов — число фотонов в секунду, проинтегрированное по телесному углу в интервале длин волн 0.1% (фот/сек/0.1%BW). Энергия электронов  $E=1.6 \text{ ГэВ}$ , ток  $I=0.3 \text{ А}$ .

B1 — слабое поле магнита ( $H=2.75 \text{ кГс}$ );  
 B2 — основное поле магнита ( $H=11 \text{ кГс}$ );  
 SCW — сверхпроводящая змейка ( $H=80 \text{ кГс}$ ); MPW — многополюсная змейка (число полюсов 13,  $H=10 \text{ кГс}$ ); U1 — ондулятор (число периодов 12,  $K=1$ ); U3 — ондулятор (число периодов 12,  $K=3$ ).

Рис. 8. Спектральный поток (проинтегрированный по полному телесному углу) ондуляторного излучения для различных значений ондуляторного фактора  $K$ . Обозначения как на рис. 7.



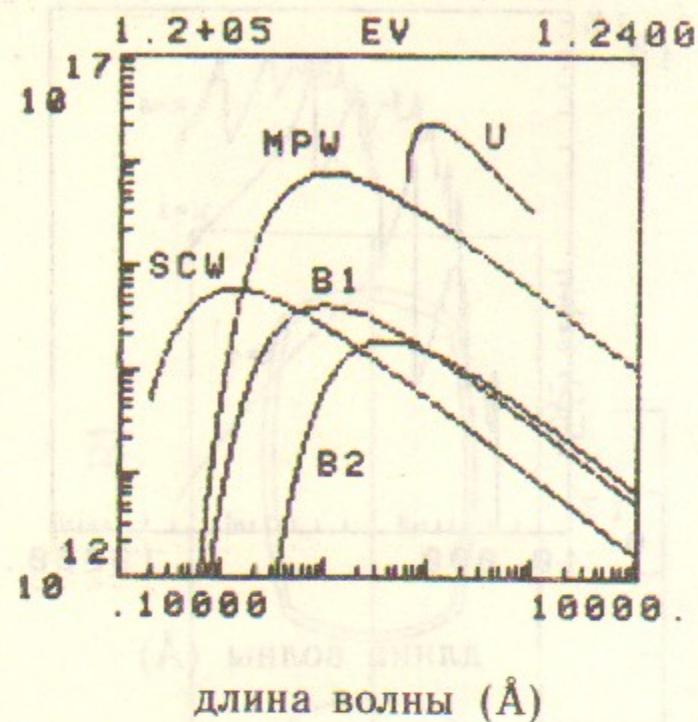


Рис. 9. Средняя спектральная яркость для различных источников накопителя ТНК.

Средняя спектральная яркость — полный поток фотонов, усредненный по фазовому объему источника (фот/сек/мм<sup>2</sup>/мрад<sup>2</sup>/0.1% BW).

Для ондулятора берется поток на оси на первой гармонике.

Энергия электронов  $E=1.6$  ГэВ, ток  $I=0.3$  А, коэффициент связи бетатронных колебаний  $\epsilon_z/\epsilon_x=1\%$ .

B2 — слабое поле магнита ( $H=2.75$  кГс), точка излучения 2; B1 — основное поле магнита ( $H=11$  кГс), точка излучения 3; SCW — сверхпроводящая змейка ( $H=80$  кГс), точка излучения 4; MPW — многополюсная змейка ( $N_{\text{пол}}=13$ ,  $\lambda_{\text{п}}=24$  см,  $H_{\text{max}}=10$  кГс), точка излучения 5; U — ондулятор ( $N_{\text{пер}}=12$ ,  $\lambda_u=11$  см,  $K=1/6$ , первая гармоника), точка излучения 1.

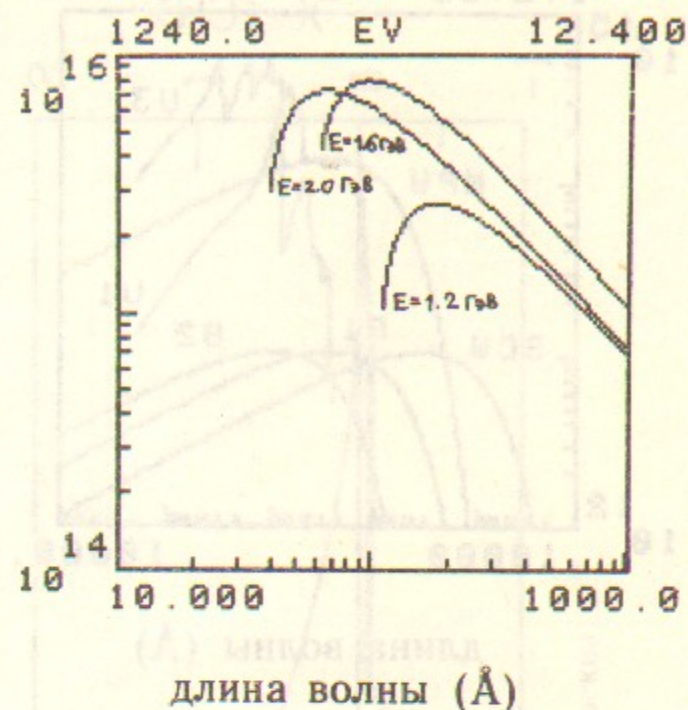


Рис. 10. Средняя спектральная яркость излучения из ондулятора на первой гармонике для различных энергий электронов в накопителе.

Ток  $I=0.3$  А, коэффициент связи бетатронных колебаний  $\epsilon_z/\epsilon_x=1\%$ , точка излучения 1.

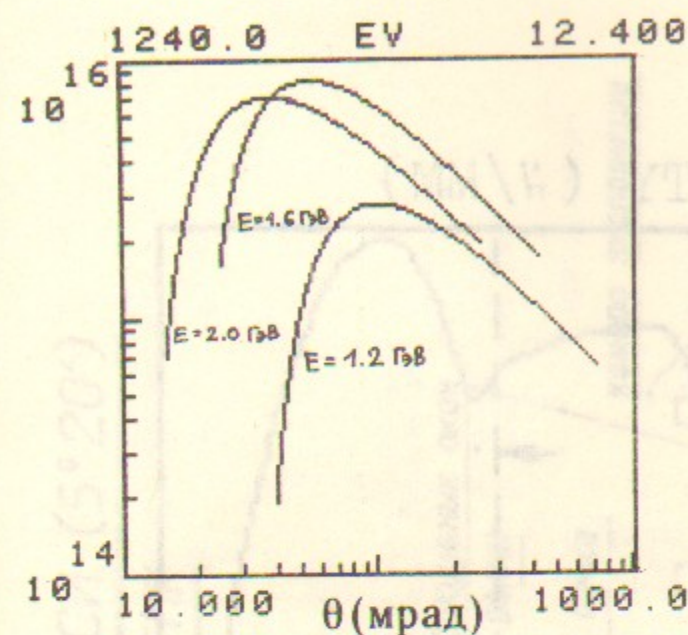


Рис. 11. Средняя спектральная яркость излучения из ондулятора на третьей гармонике для различных энергий электронов в накопителе.

Ток  $I=0.3$  А, коэффициент связи бетатронных колебаний  $\epsilon_z/\epsilon_x=1\%$ , точка излучения 1.

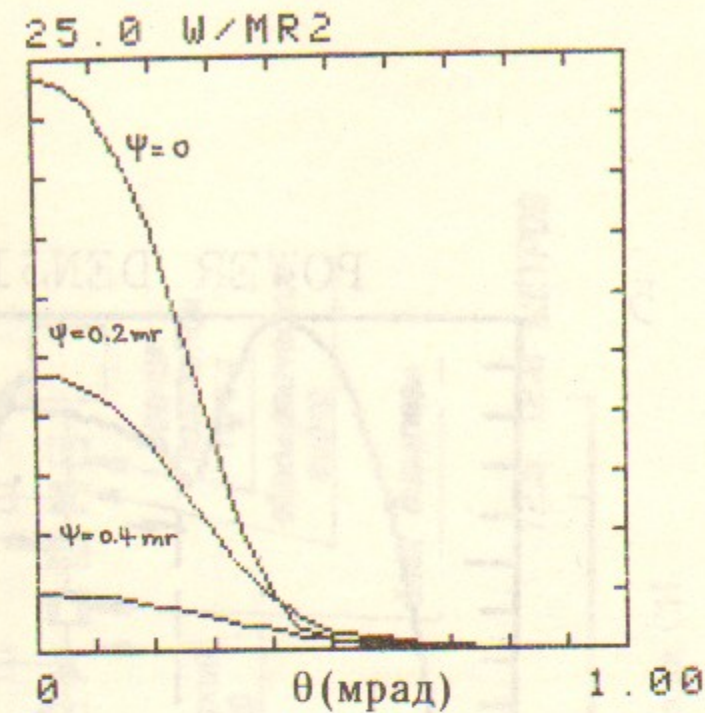


Рис. 12. Зависимость угловой плотности мощности излучения из ондулятора ( $E=1.6$  ГэВ,  $I=0.3$  А,  $N_{\text{пер}}=12$ ,  $\lambda_u=11$  см,  $B_{\text{max}}=1$  кГс,  $K=1$ ) от горизонтального  $\theta$  (мрад) и вертикального  $\psi$  (мрад) углов. Масштаб по оси ординат  $2.5$  Вт/мрад<sup>2</sup> на деление.

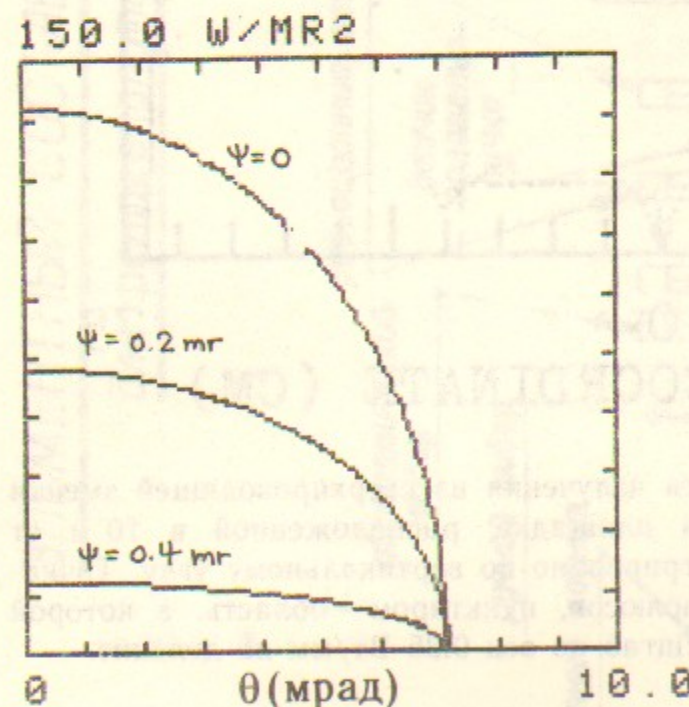


Рис. 13. Зависимость угловой плотности мощности излучения из ондулятора ( $E=1.6$  ГэВ,  $I=0.3$  А,  $N_{\text{пер}}=12$ ,  $\lambda_u=11$  см,  $B_{\text{max}}=6.5$  кГс,  $K=6.5$ ) от горизонтального  $\theta$  (мрад) и вертикального  $\psi$  (мрад) углов. Масштаб по оси ординат  $15$  Вт/мрад<sup>2</sup> на деление.

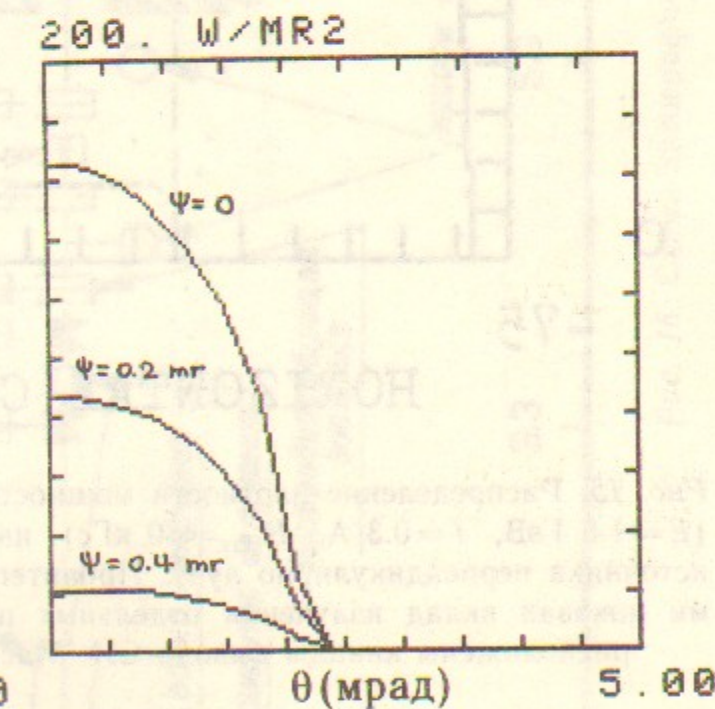


Рис. 14. Зависимость угловой плотности мощности излучения из многополосной змейки ( $E=1.6$  ГэВ,  $I=0.3$  А,  $N_{\text{пол}}=13$ ,  $\lambda_u=24$  см,  $B_{\text{max}}=10$  кГс) от горизонтального  $\theta$  (мрад) и вертикального  $\psi$  (мрад) углов. Масштаб по оси ординат  $20$  Вт/мрад<sup>2</sup> на деление.



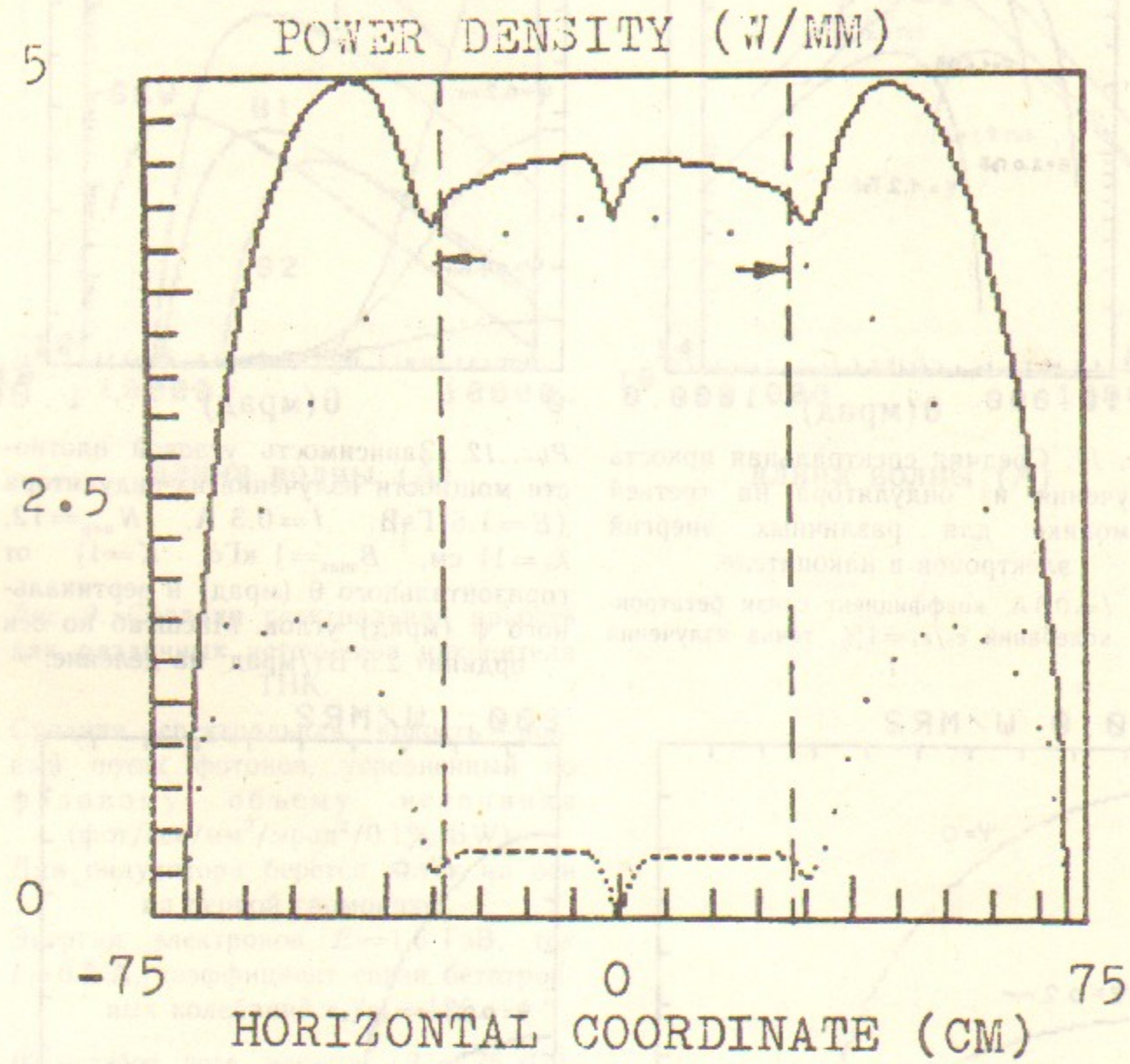


Рис. 15. Распределение плотности мощности излучения из сверхпроводящей змейки ( $E=1.6$  ГэВ,  $I=0.3$  А,  $B_{\max}=80$  кГс) на площадке, расположенной в 10 м от источника перпендикулярно лучу. Проинтегрировано по вертикальному углу. Точками показан вклад излучения отдельных полюсов, пунктиром — область, в которой расположены каналы вывода СИ. Масштаб по оси 0.25 Вт/мм на деление.

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КАНАЛА СИ (5° 20')**  
для рентгенолитографии на ТНК

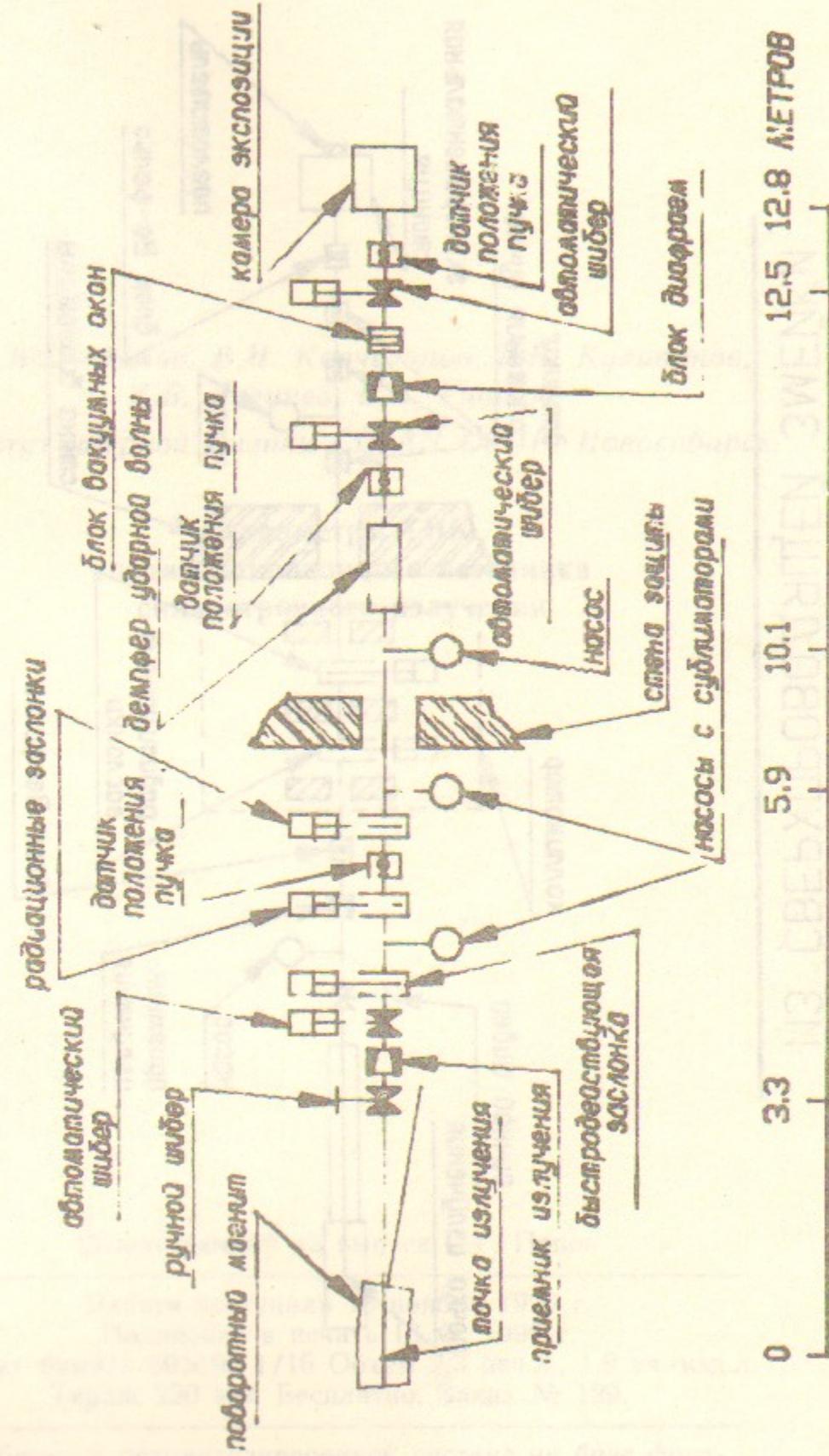


Рис. 16. Схема литографического канр. а вывода СИ.



# КАНАЛ ВЫВОДА СИ ИЗ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ЗМЕЙКИ

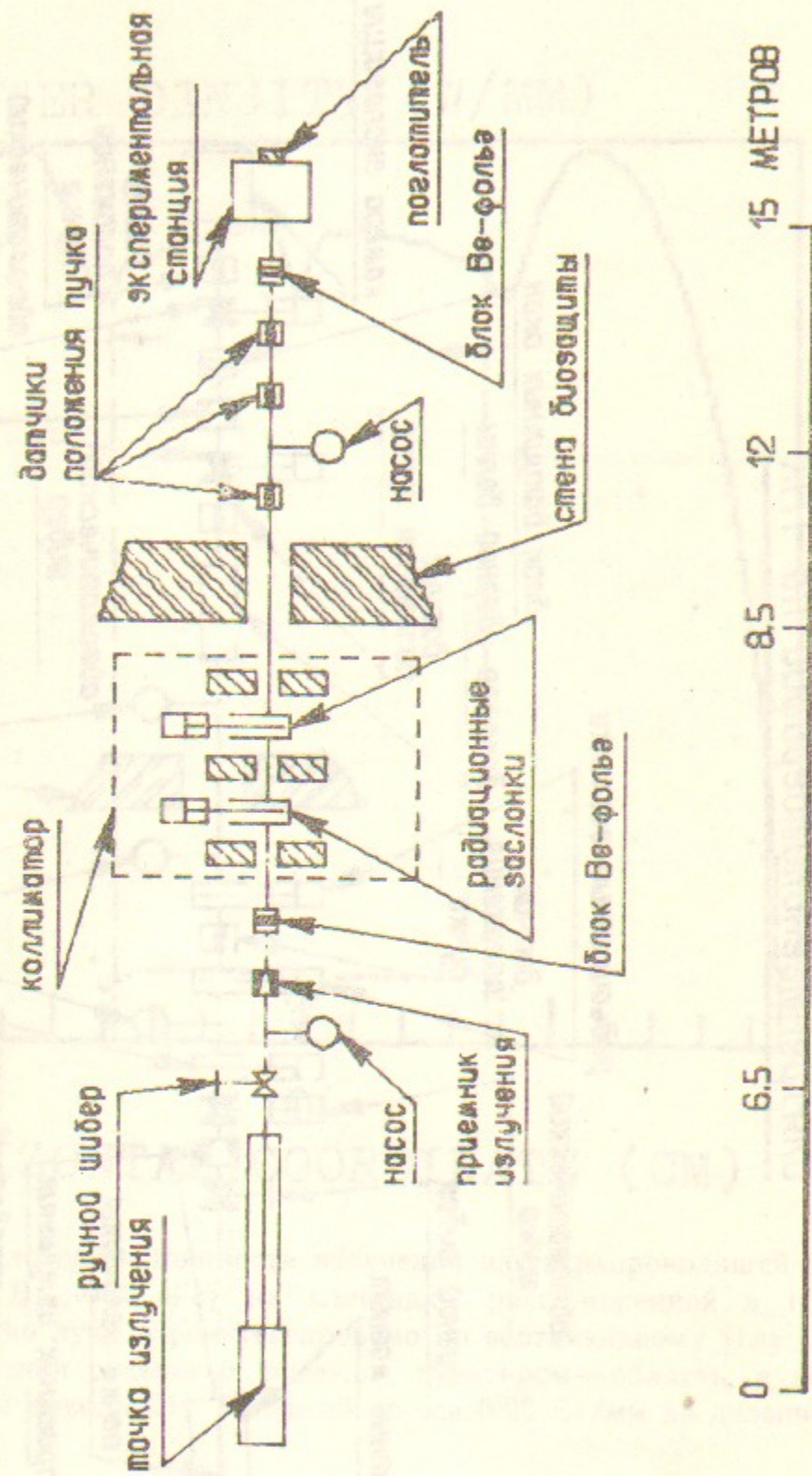


Рис. 17. Схема канала вывода СИ из сверхпроводящей змейки.

А.Г. Валентинов, В.Н. Корчуганов, Г.Н. Кулипанов,  
Е.Б. Левичев, В.А. Ушаков  
Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

## Параметры ТНК специализированного источника синхротронного излучения

Ответственный за выпуск С.Г. Попов

Работа поступила 13 ноября 1990 г.  
Подписано в печать 13.XI. 1990 г.  
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 2,3 печ.л., 1,9 уч.-изд.л.  
Тираж 220 экз. Бесплатно. Заказ № 129.

Набрано в автоматизированной системе на базе фото-  
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и  
отпечатано на ротапинтере Института ядерной физики  
СО АН СССР,  
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.