

345e3

ВАСИЛИШИН Б.В. и др.

+

B-19

Б2-9-4729.



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б 2-9-4729

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1969

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Лаборатория высоких энергий

Б. В. Василишин, И. Б. Иссинский, Е. М. Кулакова

Б2-9-4729

РАСЧЁТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХМАГНИТНОГО
ВАРИАНТА МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА С РАСПОЛОЖЕНИЕМ
ВОЗМУЩЕНИЯ МЕЖДУ R и R_0 +10 см.

Рукопись поступила
в издательский отдел
3 октября 1969 г.

М

г. Дубна, 1969 г.

1969

с. ф. 2605

Исследование резонанса радиационных бетатронных колебаний в синхрофазотроне применительно к схеме медленного вывода с одним септум-магнитом дали положительные результаты [1]. Однако использование второго магнита для осуществления поэтапного отклонения пучка за пределы камеры ускорителя даёт основание считать, что полученная в этом случае эффективность может быть значительно повышена [2].

В настоящей работе рассмотрен вариант медленного вывода с двумя внутренними выводными магнитами (рис. 1), один из которых (т.н. "формагнит") расположен на азимуте ускорителя $\pi/2$, второй - на азимуте π (основной магнит). Отсчёт азимута ведётся от начала возмущения, совпадающего с азимутом расположения инжектора [3]. Для сравнения приведен одномагнитный вариант с выводом пучка через два квадранта.

I. Двухмагнитный вариант при расположении возмущения на R и $R_0 + 10$ см

На основании расчёта движения протонов при медленном резонансном выводе были получены отклонения и углы траекторий протонов на азимуте $\pi/2$ и π . При этом отклонения на азимуте π составляют $2820 \text{ см} (R_0 + 2\theta \text{ см})$ и больше, отклонения и углы траекторий протонов на азимуте $\pi/2$ находятся в пределах $2816,2 + 2828,2 \text{ см}$ и $0,00118 + 0,00253$ рад, соответственно. Резонансные условия в ускорителе были следующие: проводники, создающие возмущение в n расположены на R_0 и $R_0 + 10$ см; обе пары проводников замкнуты наружу от R_0 (т.н. поле № 2).

В соответствии с отклонениями протонов на азимуте $\mathcal{T}/2$ септум формагнита выбран на радиусе $(R_0 + 16)$ см. Длина формагнита 4 м, в нём предусматривается радиальная фокусировка ($n < 0$). Поскольку основной магнит предполагается сделать неподвижным, септум его не может быть расположен на радиусе меньше, чем радиус инфлекторных пластин, т.е. 2870 см. Таким образом, формагнит должен отклонить протоны на такой угол, чтобы они попали на азимуте \mathcal{T} на $R > 2870$ см. Расчёт движения через формагнит и II квадрант ускорителя с резонансной добавкой $\Delta n = 0,3$ производился по программе "Form".

На рис. 2 приведена зависимость положения центра пучка на $\varphi = \mathcal{T}$ от угла β в формагните, на рис. 3 - зависимость ширины пучка на том же азимуте от $n\varphi$ в формагните. Оптимальный угол поворота в формагните получен $\beta = 0,01$ при $n\varphi = -850$. Ширина пучка на $\varphi = \mathcal{T}$ при этом составляет 9 см. Величина $n\varphi = -850$ в формагните выбрана так, чтобы получить примерно параллельный пучок на входе в основной магнит.

Дальнейшее движение протонов после отклонения в формагните рассчитывалось по программе 978 [4]. Для расчётов были выбраны три характерные траектории на выходе II квадранта ускорителя:

- 1) $\rho_0 = 73,87$ см ; $\alpha_0 = 0,012826$ рад
- 2) $\rho_1 = 77,195$ см ; $\alpha_1 = 0,01427$ рад
- 3) $\rho_2 = 83,2548$ см ; $\alpha_2 = 0,01538$ рад.

Длина основного магнита выбрана равной 3 м. Он также как и формагнит, должен фокусировать пучок в радиальном направлении.

В данном варианте рассмотрен вывод протонов в старый измерительный павильон и в этом случае возникает необходимость делать канал для пучка в вертикальных стойках ярма магнита

ускорителя. На основании геодезических измерений было получено направление, при котором для вывода пучка потребуется делать канал только в двух стойках III квадранта. Это направление составляет с продольной осью коробки вывода $4^{\circ}48'41''$ (0.083975 рад) и пересекается с осью 26 окна на расстоянии 219,2 см от центрального радиуса ускорителя, а с осью 27 окна на расстоянии 363,8 см (рис. 4). Как видно из таблицы I, направление пучка, наиболее близкое к указанному даёт угол отклонения $0,107$ рад: расстояние от R_0 на оси 26 окна 226,88 см, на оси 27 окна 364,2 см, угол с осью коробки вывода $3^{\circ}37'20''$. В таблице II приведено отклонение ΔR_1 и ΔR_2 полученных направлений от геодезического для разных углов поворота в основном магните β_0 . Чтобы получить на выходе из основного магнита пучок, близкий к параллельному для угла отклонения $\beta_0 = 0,107$ рад, необходимое значение градиента в магните должно соответствовать $n_0 = -28$. На выходе из ярма магнита ускорителя, т.е. на азимуте $\varphi = \pi + 0,33$ (третий квадрант ускорителя) выведенный пучок протонов характеризуется следующими величинами: ширина пучка $\Delta R \approx 7,5$ см, максимальный горизонтальный угловой раcтвор $\Delta \alpha \approx 6$ мрад, высота пучка $\Delta \xi \approx 1,7$ см, вертикальный угловой раcтвор $\Delta \alpha_1 \approx 4,5$ мрад.

2. Одномагнитный вариант с выходом пучка через два квадранта после выводного магнита

Ниже для сравнения рассмотрен вариант с использованием одного выводного магнита, расположенного на $\varphi = \frac{\pi}{2}$ и с выходом пучка из ускорителя на $\varphi = \frac{3}{2}\pi$. По сравнению с расположением одного магнита на $\varphi = \pi$ (т.е. вывод через один квадрант) в

данном случае требуется меньший угол отклонения протонов. Магнит, расположенный на $\varphi = \pi/2$, имеет длину 4м, $n < 0$, край его септума находится на $R = 2816$ см. Резонансные условия в ускорителе те же, что и в I. Набор условий по ξ и α_1 предполагался таким же, как и в циркулирующем пучке. Расчёт производился последовательно по программам "Form" и 978.

На рис.5 приведена зависимость радиального положения пучка на $\varphi = 3\pi/2$ от угла отклонения в магните, расположенного на $\varphi = \pi/2$. Чтобы пучок вышел на направление быстрого вывода ($R = 2954$ см на азимуте $\varphi = 3\pi/2$) требуется угол отклонения $\beta = 5,35$ мрад. Оптимальное значение n в магните составляет при этом - 3460, а ширина пучка на $\varphi = 3/2\pi$ равна приблизительно 8 см (рис.6). При изменении n на 100 ширина пучка изменяется на 17 см. При изменении угла отклонения пучка на $5,5 \cdot 10^{-6}$ радиан ($\sim 0,1\%$) центр его смещается на 1 см. При быстром выводе (магнит на $\varphi = \pi$, выход пучка на $\varphi = 3/2\pi$) смещению центра пучка на 1 см соответствует изменение угла отклонения $2,7 \cdot 10^{-5}$ рад ($20''$) или $\simeq 0,17\%$.

В таблицах III-VI содержатся данные, в соответствии с которыми построены графики рис. 2, 3, 5 и 6.

3. Система транспортировки.

В соответствии с требованиями эксперимента для дальнейшей транспортировки протонного пучка в старый измерительный павильон предполагается использовать дублет квадрупольных линз 20K200 и магнит СП-12. Характеристики выведенного пучка в данном случае, как обычно, описывались с помощью мнимых источников.

При этом расстояние до мнимого источника в горизонтальной плоскости $L_r = \infty$ (пучок параллельной), $L_s = 175$ см от входа в первую линзу дублета, которая расположена на минимальном расстоянии от магнита ускорителя (50 см). Для расстояния между элементами дублета $\ell = 100$ см были получены кривые зависимости $k_1 \ell$ и $k_2 \ell$ от расстояния до стигматического изображения. На рис.7 приведены указанные зависимости для последовательности линз в горизонтальной плоскости $\Phi \mathcal{D}$, на рис.8 для последовательности $\mathcal{D} \Phi$. В таблицах УП приведены размеры пучка для последовательности $\Phi \mathcal{D}$ и $\mathcal{D} \Phi$ при расстояниях до стигматического изображения 314 см и 278 см соответственно. В этом варианте системы транспортировки при изменении индукции в магните СП-12 можно менять направление первичного пучка на мишень \mathcal{F}_1 . Это позволит, перемещая только мишень \mathcal{F}_1 , получать разные углы вторичных частиц, идущих в установку. Характеристики пучка, приведенные в таблице УП, нужно рассматривать как предварительные. Уточнение их будет произведено после выбора оптимального расстояния септума форм-магнита относительно R_0 ускорителя. При этом будет также учтена дисперсия пучка за счёт $\Delta P/P$ в поле ускорителя и магнита СП-12 и краевые эффекты последнего.

Месин
Букун
Внешин

Таблица I

26 окно, $\varphi = 0, 19561811$ рад

27 окно, $\varphi = 0, 327249235$ рад

β (град)	26 окно, $\varphi = 0, 19561811$ рад			27 окно, $\varphi = 0, 327249235$ рад		
	R (см)	α (рад)	α (град)	R (см)	α (рад)	α (град)
I	2	3	4	5	6	8
0,087	I				3133,00645	2°12 33
	2	3010,29231	0,040306561	2°18 34		
	3	3013,18041	0,039252637	2°14 56	3138,94036	2°15 07
0,089	I	3008,81478	0,039976715	2°17 26	3134,72362	2°17 38
	2	3011,22685	0,041658230	2°23 13	3138,00210	2°23 25
	3	3013,92272	0,040304348	2°18 33	3140,18820	2°18 42
0,090	I	3009,81471	0,041428525	2°22 25	3136,42670	2°22 38
	2	3012,15513	0,042992414	2°27 48	3139,57381	2°27 59
	3	3014,66527	0,041352160	2°22 09	3141,43488	2°22 17
0,092	I	3011,79714	0,044297541	2°32 17	3139,79504	2°32 29
	2	3013,99309	0,045619653	2°36 50	3142,67997	2°36 58
	3	3016,11396	0,043383008	2°29 08	3143,86297	2°29 13
0,100	I	3019,39018	0,055028558	3°09 11	3152,60453	3°09 11
	2	3020,99812	0,055372175	3°10 21	3154,44153	3°10 21
	3	3021,52395	0,050789023	2°54 36	3152,88249	2°54 36

I	2	3	4	5	6	7	8
0, I03	I 2 3	I022, I7795 3023, 55850 3023, 46570	0, 058820099 0, 058815832 0, 053374644	3 ⁰ 22 I3 3 ⁰ 22 II 3 ⁰ 03 29	3I57, 26507 3I58, 70538 3I56, 09780	0, 058820274 0, 058816031 0, 053374702	3 ⁰ 22 I3 3 ⁰ 22 I2 3 ⁰ 03 29
0, I05	I 2 3	3024, 00689 3025, 23454 3024, 72433	0, 06I276I4I 0, 06I043578 0, 055033I40	3 ⁰ 30 39 3 ⁰ 29 5I 3 ⁰ 9 II	3I60, 3I283 3I6I, 4880I 3I58, I76II	0, 06I276363 0, 06I042959 0, 055033287	3 ⁰ 30 39 3 ⁰ 39 5I 3 ⁰ 09 II
0, I07	I 2 3	3025, 8I2I0 3026, 88569 3025, 95475	0, 063674937 0, 0632I9247 0, 056644778	3 ⁰ 38 54 3 ⁰ 37 20 3 ⁰ I4 44	3I63, 3I274 3I64, 22325 3I60, 2049I	0, 063675I23 0, 0632I858I 0, 056644978	3 ⁰ 38 54 3 ⁰ 37 20 3 ⁰ I4 44
0, I09	I 2 3	3027, 59394 3028, 5II7I 3027, I5I2	0, 0660I9I43 0, 0653403I7 0, 058206859	3 ⁰ 46 57 3 ⁰ 44 37 3 ⁰ 20 06	3I66, 26622 3I66, 90982 3I62, I8302	0, 0660I92I4 0, 065340377 0, 058207076	3 ⁰ 46 57 3 ⁰ 44 37 3 ⁰ 20 06

Таблица II

β (рад)	ΔR_1 (см) на оси 26 окна	ΔR_2 (см) на оси 27 окна	угол с осью промежутка вывода
0,09	-7	-24,2	2°27 59
0,103	4,4	- 5,1	3°22 12
0,105	6	- 2,3	3°29 51
0,107	7,7	0,4	3°37 20
0,109	9,3	3,1	3°44 37

Таблица III

(к рис.2)

β (рад)	R (см)
0,007	2860,4
0,008	2865,3
0,009	2870,4
0,011	2881,3
0,012	2887,25

Таблица IV

(к рис.3)

n	- 650	- 950	- 1050
R_1	71,67	73,42	74,00
R_2	79,34	76,59	75,69
R_3	74,38	76,13	76,71
R_4	84,96	80,81	79,50

Таблица У
(к рис.5)

β (рад)	ΔR (см)
0,0051	2919,8
0,0052	2931,3
0,0053	2945,9
0,0054	2963,8
0,0055	2985,3
0,0056	3010,4

Таблица УІ
(к рис.6)

$-n$	ΔR (см)
2000	371
2100	338
2200	306
2300	276
2400	247
2500	218
2600	190
2700	166
2800	138
2900	113
3000	90
3100	68
3200	46
3300	26
3400	7
3500	11
3600	28
3700	45
3800	60
3900	75

Таблица УП

Т _{г,в}	ФД (гор.плоскость)				Т _{г,в}	ДФ (гор.плоскость)			
	ΔR	$\Delta \alpha$	$\Delta \gamma$	$\Delta \alpha_1$		ΔR	$\Delta \alpha$	$\Delta \gamma$	$\Delta \alpha_1$
314см	± 1 см	± 6 мрад	$\pm 0,25$ см	± 6 мрад	278см	$\pm 0,15$ см	± 36 мрад	$\pm 1,5$ см	$\pm 1,8$ мрад

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б.В.Василишин, И.Б.Иссинский, Е.М.Кулакова, К.П.Мызников и др. Исследование полупевого резонанса для медленного вывода протонного пучка. Доклад на Всесоюзном совещании по ускорителям. Москва, 1968.
2. *M. Q. Barton. IEEE Trans. on Nucl. Sci. June 1967, 660.*
3. Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, В.И.Котов, Е.М.Кулакова, К.П.Мызников, Н.И.Павлов. Публикация ОИЯИ Р-2387, 1965.
4. К.П.Мызников, Е.М.Кулакова, И.А.Смирнова, Б.В.Феоктистов. Публикация ОИЯИ Р-2880, 1966.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис. 1. Расположение оборудования при медленном выводе.
- Рис. 2. Зависимость положения оси пучка на азимуте \mathcal{L} от угла поворота в фомагните.
- Рис. 3. Зависимость ширины пучка на азимуте \mathcal{L} от n_ϕ в фомагните.
- Рис. 4. Начальная часть трассы протонного пучка.
- Рис. 5. Зависимость радиального положения оси пучка на $\varphi = \frac{3}{2} \mathcal{L}$
- Рис. 6. Зависимость ширины пучка от n на $\varphi = \frac{3}{2} \mathcal{L}$
- Рис. 7. Зависимость $k_1 \ell$ и $k_2 \ell$ в квадрупольных линзах системы транспортировки от расстояния до стигматического изображения \mathcal{T} , при последовательности линз в горизонтальной плоскости $\Phi \mathcal{D}$.
- Рис. 8. Та же зависимость при последовательности линз $\mathcal{D} \Phi$.

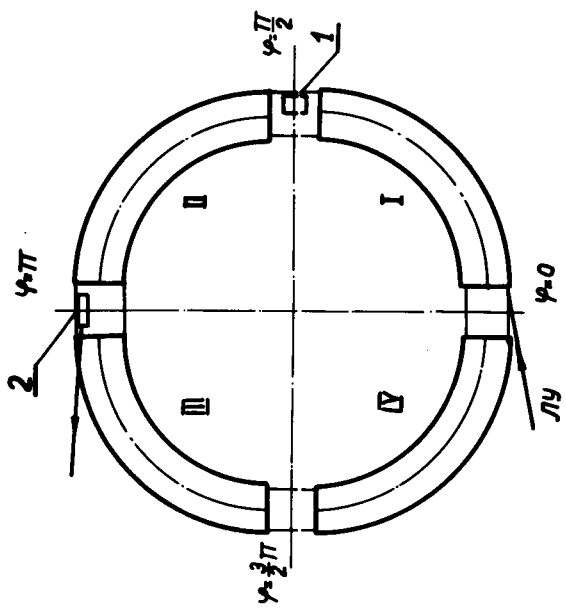


Рис. 1

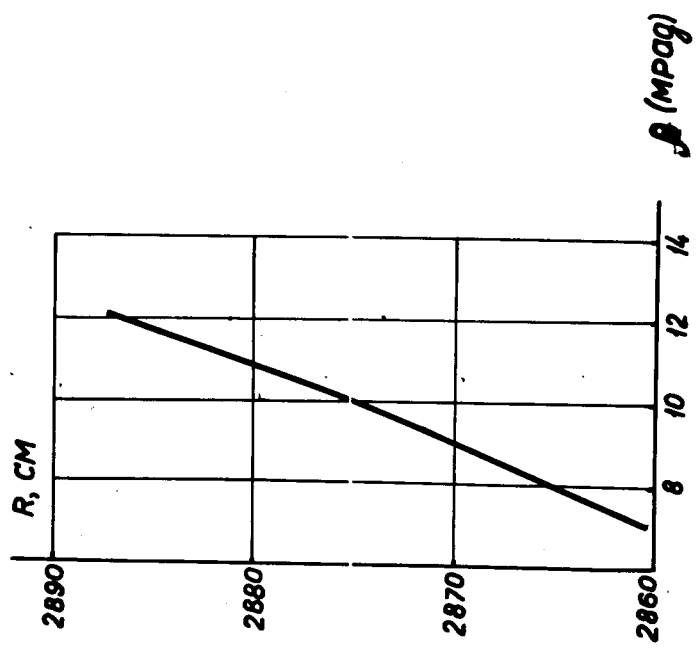


Рис. 2

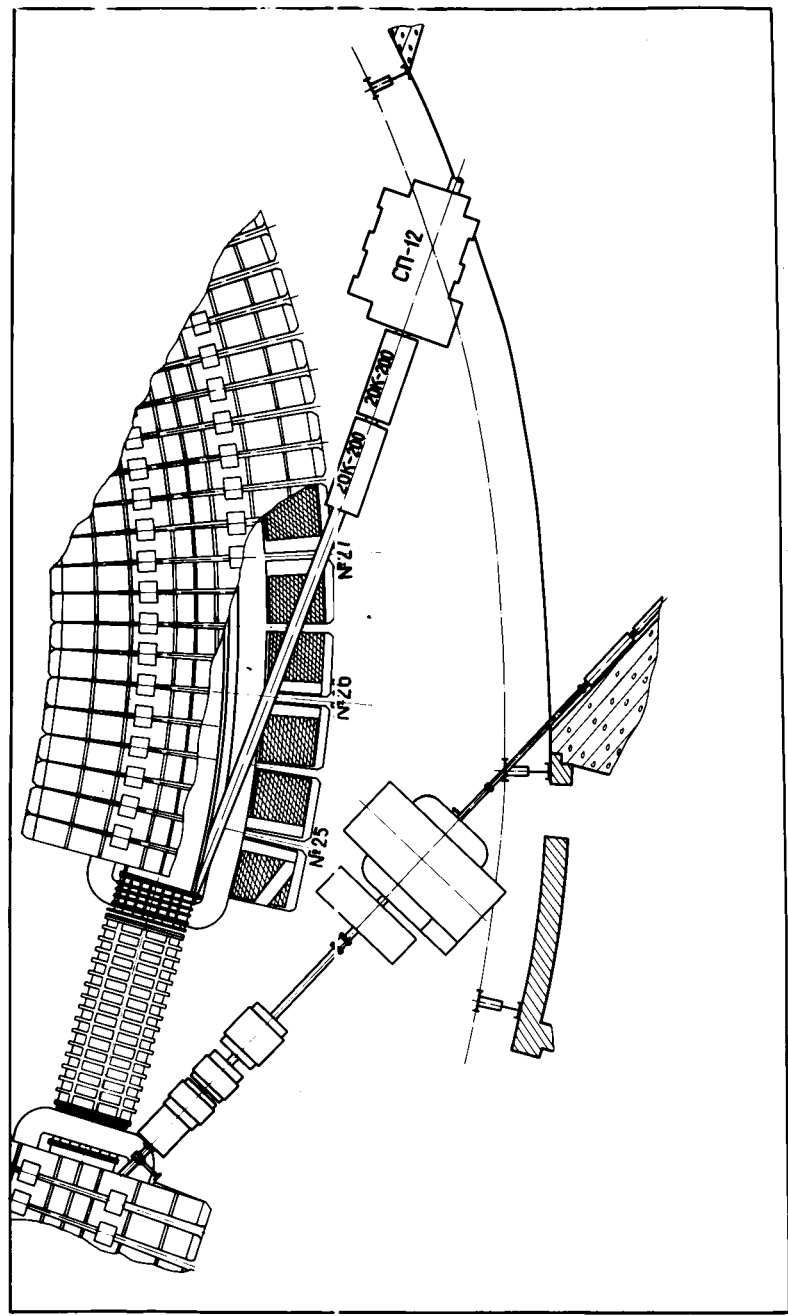


Рис. 4

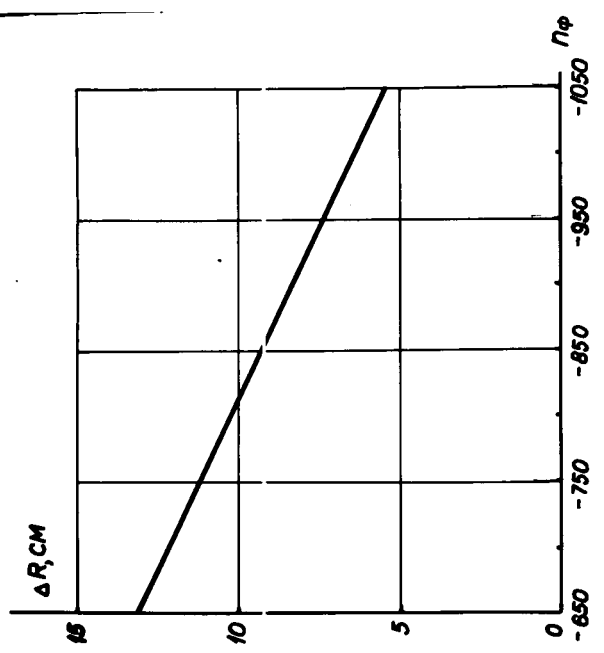


Рис. 3

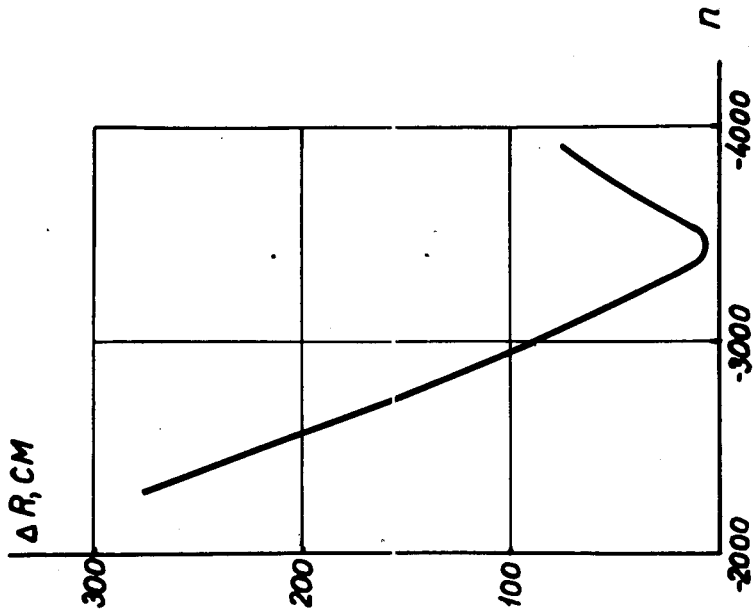


Рис. 6

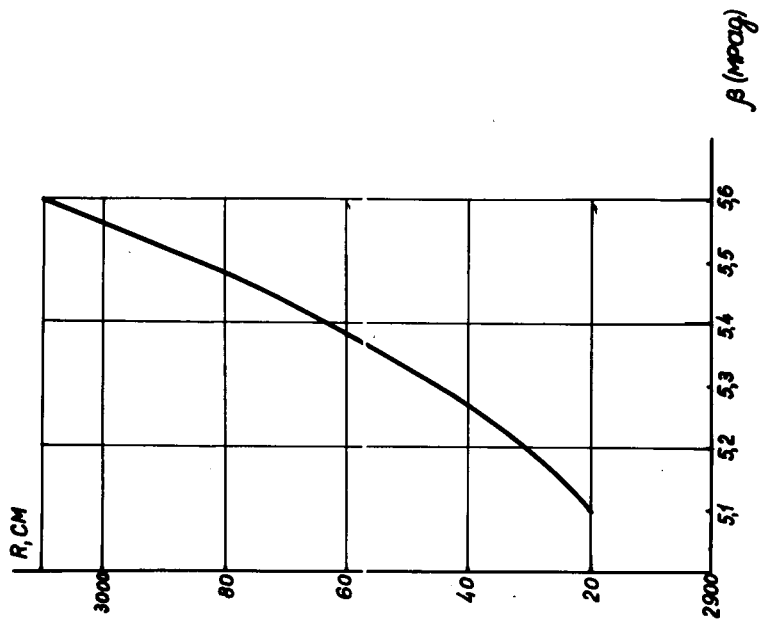


Рис. 5

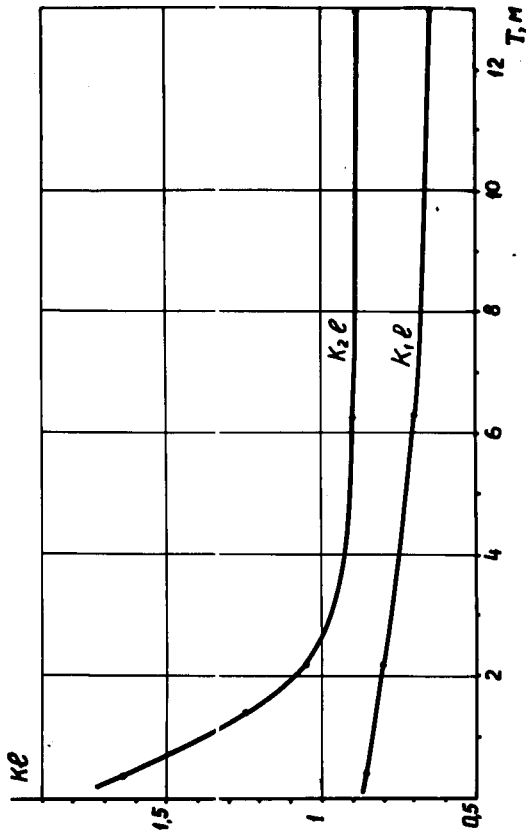


Рис. 7

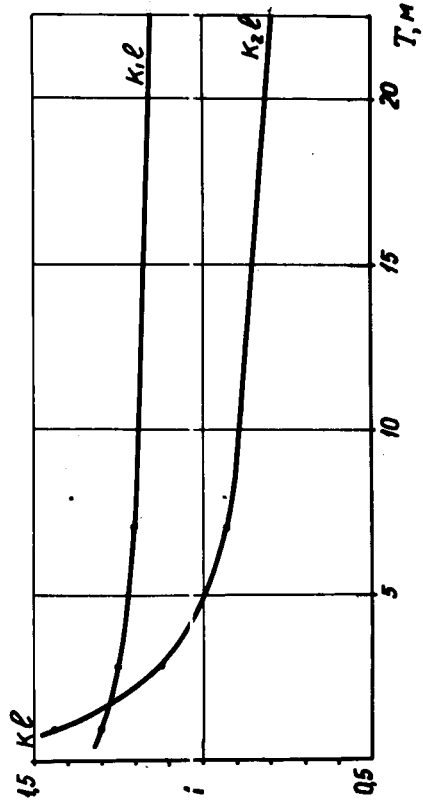


Рис. 8