

С 345e 1

B-496

16/II - 70

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9 - 4852



В.И. Винокуров, А.Н. Сафонов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ  
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ СИНХРОЦИКЛОТРОНА

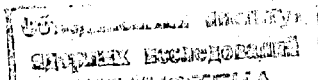
1969.

P9 - 4852

В.И. Винокуров, А.Н. Сафонов

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ  
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ СИНХРОЦИКЛОТРОНА

8202/2 up



## S u m m a r y

The effect of the feeler position screening the semi-circular cut in the dee near the ion source and of the distance to the plates producing additional vertical focusing as well as the influence of their shape for a dee aperture of 8, 12, 18 and 24 cm on the vertical electrostatic forces has been studied.

The vertical forces due to the negative bias over the dee and due to the negative potential applied to the focusing electrodes have been measured by using the electrolytic tank with a 1:2 scale model. The plasma of the open ion source and the hood of the closed one are supposed to be at the ground potential. The dependence of the maximum possible particle energy gain per turn upon the orbit radius has been calculated by means of the potential line pattern.

It has been cleared out that the electrostatic forces due to the dee bias become defocusing, while the energy gain per turn is somewhat increased if a semi-circular cut in the dee is screened with a feeler. It has been established that near the source ( $r = 2-4$  cm) the focusing due to the bias has an optimum when the dee aperture is 15-18 cm, while the additional electrostatic focusing is largest when the focusing electrodes have a cut of  $R_{f.e.} = 10$  cm.

The accelerating field has a defocusing effect of the same order of magnitude, as that of dee bias. The obtained results can be used for the determination of optimal conditions for acceleration in the cyclotron central region.

Эксперименты по расширению апертуры дуанта, проведенные в 1966 и 1968 г.г., показали реальную возможность увеличения тока пучка оптимизацией геометрии дуанта, ионного источника и фокусирующих электродов/1/. В 1966 г. в опытном режиме было достигнуто увеличение интенсивности на 30%. В 1968 году в результате работ по оптимизации ускорения в центральной области несколько увеличилась интенсивность внутреннего пучка и в 1,5 раза возросла интенсивность выведенного. Хотя в настоящее время ток пучка равен  $2,1 \div 2,3$  мка и является наибольшим из всех достигнутых для синхроциклотронов на энергию в сотни Мэв, нет достаточных оснований считать существующие условия ускорения в центральной области синхроциклотрона ОИЯИ оптимальными. Поэтому большое значение имеет знание зависимости вертикальных фокусирующих сил, как магнитных/2/, так и в особенности электрических (фокусировка от смещения, дополнительная электростатическая фокусировка, фокусировка в ч. полем) от геометрии центральной области ускорителя.

Вертикальные силы от смещения на дуанте, дополнительной фокусировки и ускоряющего поля изучались при помощи электролитической ванны/3/ в диапазоне радиусов  $r = 2 \div 14$  см и двух (или трех) расстояний от медианной плоскости внутри апертуры дуанта для значений апертуры дуанта  $D = 8; 12; 18$  и  $24$  см при двух расстояниях фокусирующих электродов от центра и при разном положении филеров, закрывающих полукруглый вырез в дуанте радиусом  $R_d = 8$  см. Кроме того, исследовались вертикальные силы при фокусирующих электродах с полукруглым вырезом радиусом  $R_{фэ} = 10$  см на передней кромке. Для измерений использовался

макет центральной области синхроциклотрона (в масштабе 1:2), который совмещался с электролитом по медианной плоскости (рис. 1).

В таблицы данных измерений внесены величины относительных напряженностей  $E_z^{от} [\frac{1}{M}]$ . Для получения значений вертикальных сил в ньютонах воспользуемся следующим соотношением:

$$F_z = e E_z^{от} \cdot U,$$

где  $E_z^{от} = \frac{1}{U} \frac{\Delta U}{\Delta z} [\frac{1}{M}]$  - вертикальная составляющая напряженности поля от соответствующего напряжения ( $U_{см} [в]$  - напряжение смещения,  $U_{дф} [в]$  - напряжение на фокусирующих электродах,  $U_{вч} [в]$  - ускоряющее напряжение),  $\Delta U [в]$  - перепад напряжения на высоте  $\Delta z [м]$ , а  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  кул - заряд протона.

Значения  $E_{z см}^{от}$ ,  $E_{z дф}^{от}$  и  $E_{z вч}^{от}$  приведены в табл. 1-3 (для апертур дуанта  $D = 8, 12$  и  $18$  см). Каждая из таблиц, в свою очередь, разделяется на подтаблицы с индексами "а", "б", "в", причём индекс "а" соответствует расстоянию фокусирующих электродов от центра  $L = 9$  см; "б" - расстоянию  $L = 17$  см, а "в" - фокусирующим электродам с полукруглым вырезом радиусом  $R_{фэ} = 10$  см. Внутри каждой подтаблицы приводится зависимость  $E_z^{от}$  от радиуса ( $r = 2 + 14$  см) и расстояния от медианной плоскости для двух положений филеров, закрывающих полукруглый вырез в дуанте ( $R_d = 8$  см), - вырез открыт и вырез закрыт.

В результате измерений установлено, что для всех рассмотренных значений апертуры дуанта ( $D = 8; 12; 18$  и  $24$  см) закрытие полукруглого выреза в дуанте ( $R_d = 8$  см) филером (рис. 2) приводит к изменению фокусирующих сил на дефокусирующие.

В таблицах приводятся также зависимости от радиуса максимально возможного набора энергии за оборот в относительных единицах (в долях удвоенного напряжения на дуанте). Расчёт максимально возможного набора энергии производился при помощи картины эквипотенциальных линий в медианной плоскости/4/.

Набор энергии частицами за оборот увеличивается, если вырез в дуанте закрыть, причем этот эффект более заметен при меньших апертурах. С увеличением апертуры дуанта от 8 до 24 см набор энергии уменьшается в 1,5-2 раза.

Рассмотрение зависимости вертикальных сил, обусловленных смещением на дуанте, от апертуры позволяет установить, что эти силы имеют оптимум при апертурах дуанта  $D = 15 + 18$  см. Очевидно, что наибольшее значение фокусировка смещением имеет на малых радиусах, где магнитные фокусирующие силы очень малы.

Изучение влияния на вертикальные силы расстояния до фокусирующих электродов ( $L = 9$  и  $17$  см) и изменения их формы (рис. 2) показало, что фокусирующие электроды с полукруглым вырезом радиусом  $R_{\phi\epsilon} = 10$  см создают на малых радиусах  $r = 2 + 4$  см существенно большие фокусирующие силы, чем электроды с плоской кромкой. На рис. 3 приведены зависимости  $\bar{E}_{z \text{ см}}$  и  $\bar{E}_{z \text{ дф}}$  от радиуса орбиты на расстоянии  $z = 2,5$  см от медианной плоскости при апертуре дуанта  $D = 18$  см для вышеуказанных 3 случаев ( $L = 9$  см,  $L = 17$  см и  $R_{\phi\epsilon} = 10$  см). Видно более чем двукратное увеличение фокусирующих сил при фокусирующих электродах с полукруглым вырезом радиусом  $R_{\phi\epsilon} = 10$  см. При этом наблюдается также некоторое увеличение и вертикальных сил от смещения, а из таблиц видно, что и для других значений апертуры дуанта фокусирующие силы больше при электродах с вырезом радиусом  $R_{\phi\epsilon} = 10$  см. Следует иметь в виду, что при увеличении апертуры дуанта уменьшится напряженность ускоряющего в.ч. поля, способствующая стабильному горению дуги ионного источника, и может потребоваться увеличение расхода газа или создание импульсного источника с подогреваемым катодом.

В таблицах приведены вертикальные силы от ускоряющего поля для сравнения различных конфигураций центральной области. Однако, так как направление  $E_{z \text{ вч}}$  меняется с частотой обращения, вертикальные силы от в.ч. поля, действующие на вращающийся пучок, существенно зависят от распределения  $E_{z \text{ вч}}$  по азимуту. Проведем расчёт  $E_{z \text{ вч}}$  для двух значений апертуры дуанта,  $D = 12$  и  $18$  см, ускоряющего напряжения 18 кв и производной частотной программы в начале ускорения

$$\left( \frac{df}{dt} \right)_{\text{нач.}} = 4 \cdot 10^9 \frac{\text{МГц}}{\text{сек}}$$

Для оценки вертикальной фокусировки ускоряющим в.ч. полем определим  $E_{z\text{вч}}$  составляющие в середине и на границах пучка в динамическом режиме (за оборот) и усредним их по пучку. Форму пучка для этого возьмем из расчётов на ЭВМ<sup>/5/</sup> радиально-фазового движения частиц в синхротроне Объединенного института ядерных исследований. Рассмотрены радиусы, где магнитная фокусировка практически отсутствует ( $\gamma = 2; 4$  и  $6$  см). Установлено, что вертикальные силы в.ч. поля - дефокусирующие и по величине близки к силам от смещения на дуанте, а филеры увеличивают их в несколько раз.

Для сравнения на рис. 4 приведены вертикальные силы от спада магнитного поля, смещения, дополнительной фокусировки и ускоряющего напряжения для  $D = 18$  см при  $R_{\phi\theta} = 10$  см и для  $D = 12$  см при  $L = 9$  см. Видно, что на малых радиусах вертикальные силы в первом случае существенно больше.

## Л и т е р а т у р а

1. В.И.Данилов, И.Б.Енчевич, Б.Н.Марченко, Э.А.Полферов, А.Н.Сафонов, А.В.Шестов. Увеличение тока внутреннего пучка синхроциклотрона ОИЯИ введением дополнительной электростатической фокусировки. Препринт ОИЯИ, Р-1853, Дубна, 1964.
2. В.И.Данилов, В.Б.Мухина, А.Н.Сафонов. Формирование магнитного поля в центральной области синхроциклотрона с целью увеличения вертикальной фокусировки. Препринт ОИЯИ, Р9-3181, Дубна, 1967.
3. А.Н.Сафонов, А.В.Шестов. Исследование электрического поля в центральной области синхроциклотрона при помощи электролитической ванны. Депонированное сообщение ОИЯИ, Б1-1543, Дубна, 1963.
4. И.Б.Енчевич, Г.Й.Пенчев, А.Н.Сафонов. Расчёт ускоряющего электрического поля синхроциклотрона. Препринт ОИЯИ, 1854, Дубна, 1964.
5. В.И.Данилов, И.В.Пузынин, А.Н.Сафонов, Б.В.Феоктистов. Ограничение тока пучка пространственным зарядом в синхроциклотроне ОИЯИ. Препринт ОИЯИ, Р-2912, Дубна, 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел

17 декабря 1969 года.



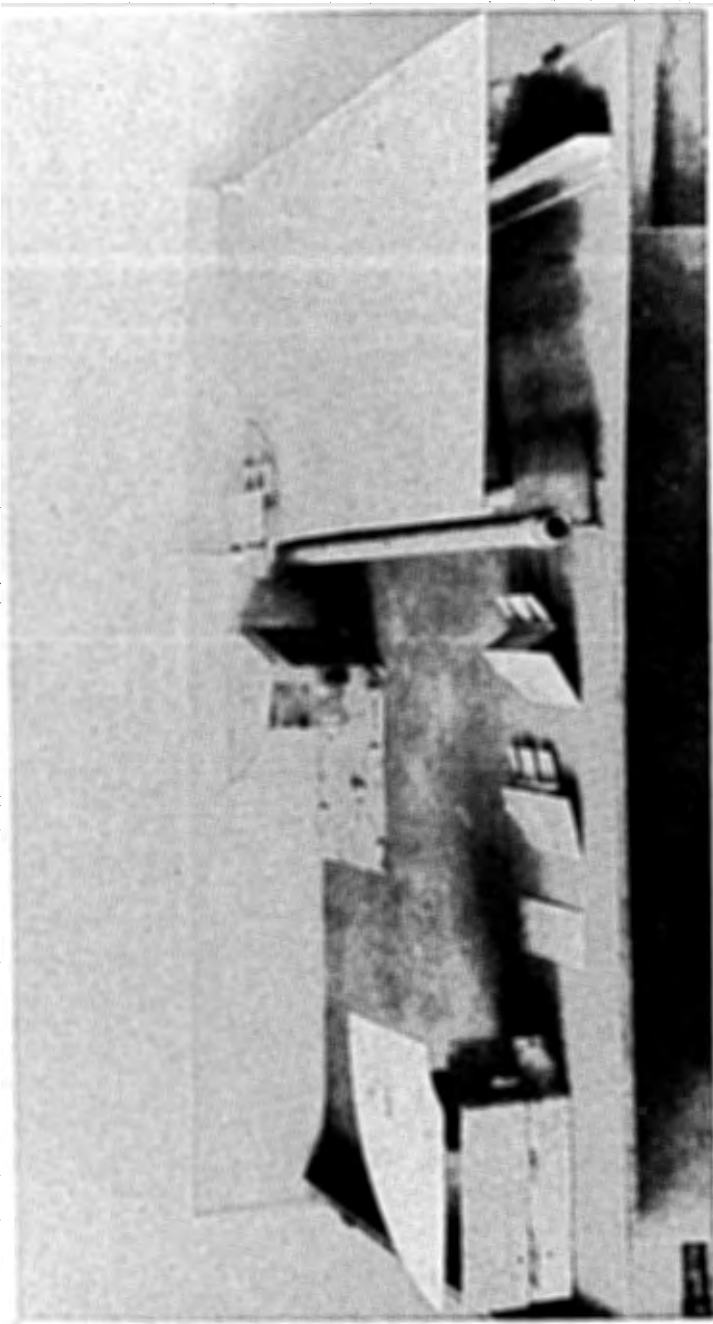


Рис. 1. Макет центральной части ускорительной камеры синхроциклотрона ОИЯИ.

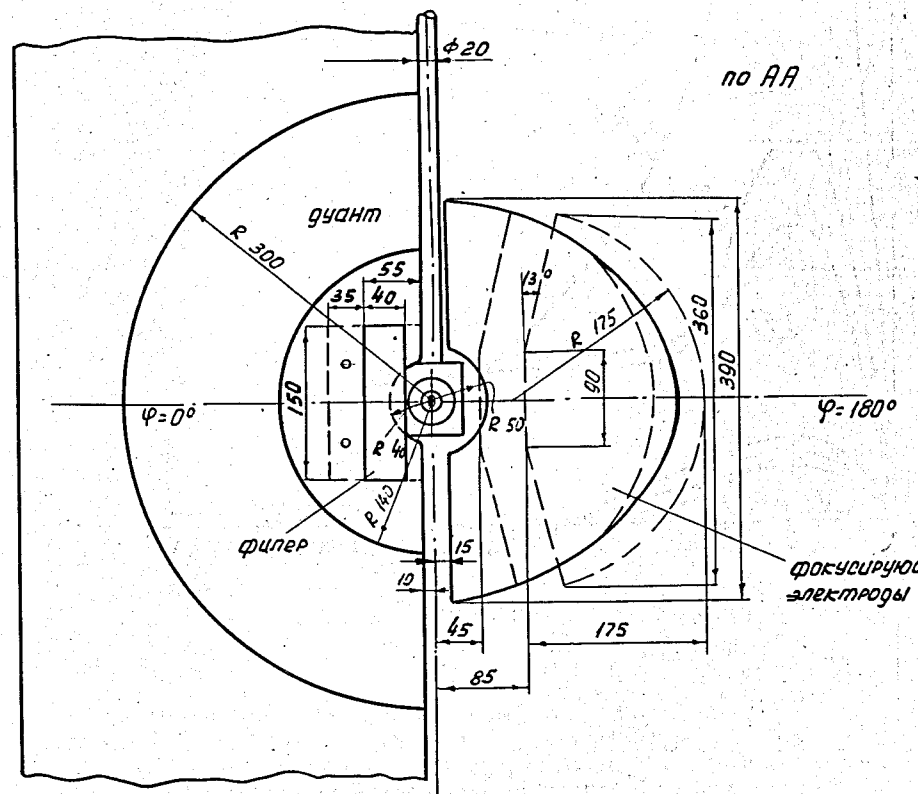
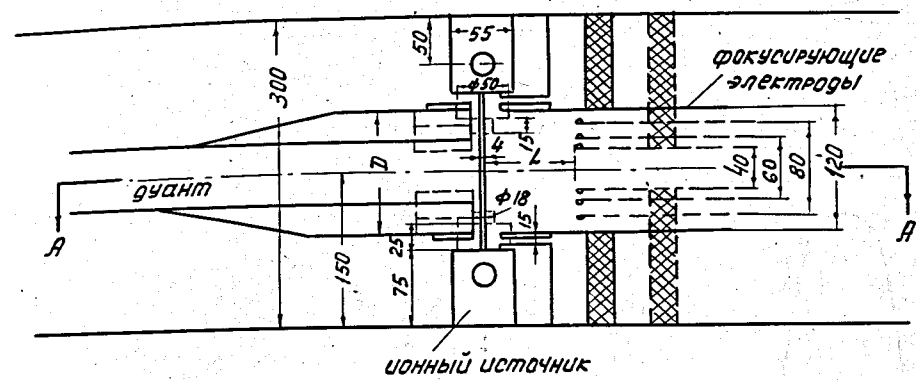


Рис. 2. Центральная часть ускорительной камеры в масштабе 1:2.

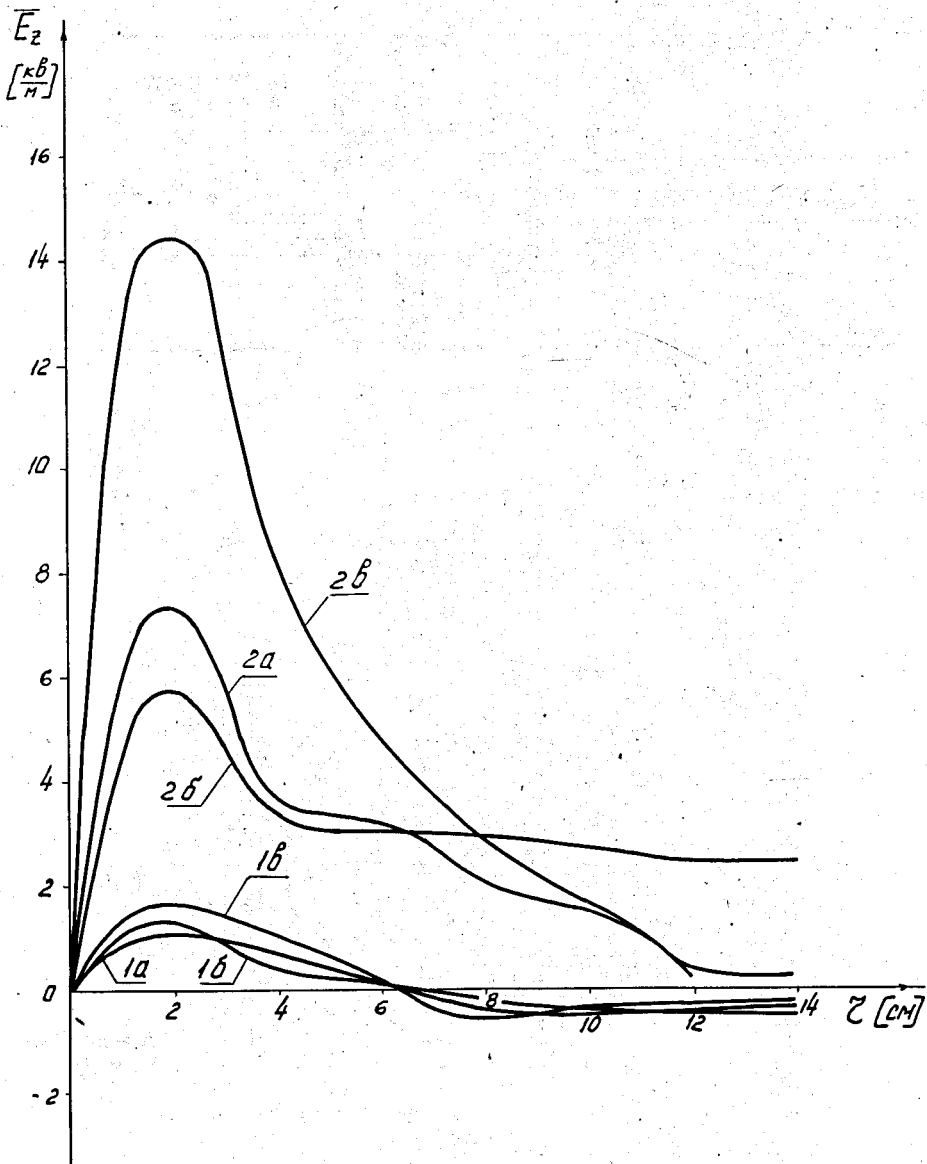


Рис. 3. Зависимость  $\bar{E}_{z \text{ см}}$  (1) и  $\bar{E}_{z \text{ дф}}$  (2) от радиуса орбиты на расстоянии  $z = 2,5$  см от медианной плоскости; апертура дуанта  $D = 18$  см; без филеров; а) расстояние до фокусирующих электродов с плоской кромкой  $L = 9$  см; б)  $L = 17$  см; в) фокусирующие электроды с полукруглым вырезом радиусом  $R_{\text{фз}} = 10$  см.

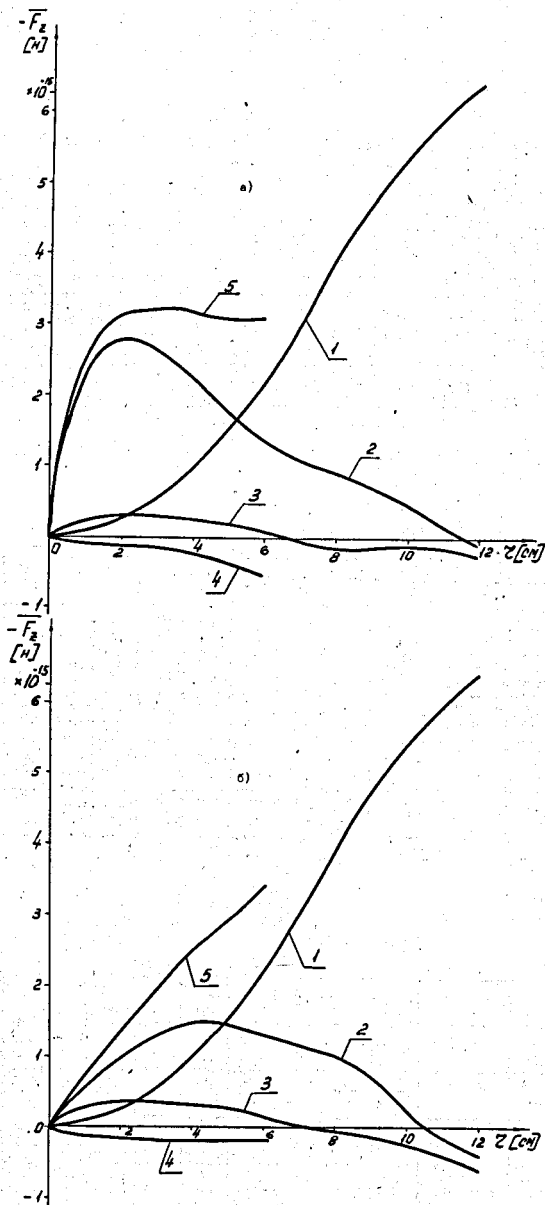


Рис. 4. Зависимость вертикальных сил от радиуса орбиты:  $z = 3,5$  см;  $U_{вч} = 18$  кв;  $U_{дф} = -8$  кв;  $U_{СМ} = -1,8$  кв; а)  $D = 18$  см,  $R_{ФЭ} = 10$  см; б)  $D = 12$  см,  $L = 9$  см; 1)  $F_{zМ}$  - магнитные силы; 2)  $F_{zдф}$  - дополнительная электростатическая фокусировка; 3)  $F_{zСМ}$  - фокусировка от смещения на дуанте; 4)  $F_{zвч}$  - от в.ч. поля, 5)  $F_{zΣ}$  - суммарные вертикальные силы.







Таблица 2а

D = 12 см., L = 9 см.

$E_{зм} [A]$  выров в дулите открыт

$E_{зм} [A]$	0	13	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	$E_{гн}$
2	0,41		0,63		0,77		0,81		0,77		0,79		0,77	0,78
3,5	1,28		1,19		1,07		1,06		1,10		1,24		1,30	1,16
4,5	2,36		2,37		2,13		2,07		1,98		2,07		2,07	2,13

$E_{зм} [A]$  выров в дулите закрыт фланцем

$E_{зм} [A]$	0	13	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	$E_{гн}$
2	-0,70		-0,70		-0,25		-0,05		0,45		0,96		1,08	-0,97
3,5	-1,60		-0,90		-0,26		0,40		0,81		1,15		1,29	0,17
4,5	-0,78		-0,04		1,06		1,60		1,79		1,85		1,94	1,13

$E_{гн} [A]$  выров в дулите открыт

$E_{гн} [A]$	0,50	0,50	0,52	0,57	0,71	0,79	0,76	0,62
2	0,92	1,01	1,11	1,37	1,58	1,78	1,87	0,69
3,5	1,26	1,26	1,25	1,39	1,52	1,73	1,86	0,73

Выбор энергии на оборот

$\tau [cm]$	2	4	6	10	16	22	30
$\frac{eV_{гн}}{2eU_0}$	0,086	0,196	0,309	0,494	0,675	0,762	0,854
$\frac{eV_{зм}}{2eU_0}$	0,121	0,259	0,368	0,529	0,691	0,774	0,849

$E_{гн} [A]$  выров в дулите открыт

$E_{гн} [A]$	0,40	0,69	0,76	0,87	0,79	0,71	0,59	0,72
2	0,74	0,59	0,60	0,61	0,84	1,08	1,17	0,78
3,5	2,03	2,14	2,00	2,02	0,84	2,09	2,32	0,68

$E_{гн} [A]$  выров в дулите закрыт фланцем

$E_{гн} [A]$	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
2	-1,92	-1,47	-0,73	0,09	0,84	1,24	1,41
3,5	-1,30	-1,07	-0,50	0,31	0,84	1,24	1,41
4,5	0,85	-0,28	1,29	2,22	2,39	2,50	2,66







Таблица За

D = 18 см, L = 9 см.  
E<sub>нн</sub> [д], взрыв в дулите открыт

Table with columns for distance (Z) and velocity (v) and rows for different time intervals (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14) and parameters (3, 5, 6.5).

E<sub>нн</sub> [д], взрыв в дулите закрыт флагом

Table with columns for distance (Z) and velocity (v) and rows for different time intervals (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14) and parameters (3, 5, 6.5).

E<sub>нн</sub> [д], взрыв в дулите открыт

Table with columns for distance (Z) and velocity (v) and rows for different time intervals (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14) and parameters (3, 5, 6.5).

E<sub>нн</sub> [д], взрыв в дулите открыт

Table with columns for distance (Z) and velocity (v) and rows for different time intervals (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14) and parameters (3, 5, 6.5).

E<sub>нн</sub> [д], взрыв в дулите закрыт флагом

Table with columns for distance (Z) and velocity (v) and rows for different time intervals (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14) and parameters (3, 5, 6.5).

Набор энергии за оборот

Table with columns for Z (m) and rows for different parameters (eV<sub>нн</sub>, 2eU<sub>нн</sub>) and explosion types.

Таблица 36

$D = 18 \text{ см.}$ ,  $L = 17 \text{ см.}$   
 $\epsilon_{\text{отн}}^{\text{от}} (\text{д.})$ , вырез в дугах открыт

z (см)	0		15		30		45		60		75		90		105		120		135		150		165		180		$\epsilon_{\text{отн}}^{\text{от}} (\text{д.})$	
	$3,5$	$6,5$	$0,98$	$1,23$	$0,89$	$1,36$	$0,61$	$1,36$	$0,51$	$1,64$	$0,91$	$1,64$	$1,02$	$1,77$	$1,26$	$1,78$	$1,43$	$1,73$	$0,98$	$1,60$								
2																												
4																												
6																												
8																												
10																												
12																												
14																												

$\epsilon_{\text{отн}}^{\text{от}} (\text{д.})$ , вырез в дугах закрыт фланцем

z (см)	0		15		30		45		60		75		90		105		120		135		150		165		180		$\epsilon_{\text{отн}}^{\text{от}} (\text{д.})$	
	$3,5$	$6,5$	$-0,23$	$-0,09$	$-0,09$	$-0,36$	$0,36$	$0,08$	$1,07$	$1,27$	$0,10$	$0,37$	$0,37$	$0,60$	$1,07$	$1,51$	$1,27$	$1,60$	$0,40$	$0,68$								
2																												
4																												
6																												
8																												
10																												
12																												
14																												

$\epsilon_{\text{отн}}^{\text{от}} (\text{д.})$ , вырез в дугах открыт

z (см)	0		15		30		45		60		75		90		105		120		135		150		165		180		$\epsilon_{\text{отн}}^{\text{от}} (\text{д.})$	
	$3,5$	$6,5$	$1,14$	$1,16$	$1,23$	$0,50$	$0,57$	$0,56$	$0,75$	$0,65$	$0,63$	$0,59$	$0,63$	$0,73$	$0,78$	$0,78$	$0,78$	$0,78$	$0,78$	$0,78$	$0,78$	$0,78$	$0,78$	$0,78$	$0,78$	$0,78$		$0,78$
2																												
4																												
6																												
8																												
10																												
12																												
14																												

Продолжение таблицы 36

$\epsilon_{\text{отн}}^{\text{от}} (\text{д.})$ , вырез в дугах открыт

z (см)	0		15		30		45		60		75		90		105		120		135		150		165		180		$\epsilon_{\text{отн}}^{\text{от}} (\text{д.})$	
	$3,5$	$6,5$	$1,99$	$2,13$	$1,13$	$1,67$	$1,39$	$1,74$	$2,97$	$1,64$	$2,64$	$1,93$	$2,50$	$1,87$	$2,25$													
2																												
4																												
6																												
8																												
10																												
12																												

$\epsilon_{\text{отн}}^{\text{от}} (\text{д.})$ , вырез в дугах закрыт фланцем

z (см)	0		15		30		45		60		75		90		105		120		135		150		165		180		$\epsilon_{\text{отн}}^{\text{от}} (\text{д.})$		
	$3,5$	$6,5$	$-1,32$	$-0,44$	$-1,04$	$-0,72$	$-0,62$	$-0,32$	$0,17$	$0,33$	$0,17$	$0,61$	$0,19$	$0,06$	$-0,78$	$0,16$	$0,16$	$0,16$	$0,16$	$0,16$	$0,16$	$0,16$	$0,16$	$0,16$	$0,16$	$0,16$		$0,16$	
2																													
4																													
6																													
8																													
10																													
12																													

Набор энергии на оборот

$z(\text{см})$	2	4	6	10	16	22	30	
$\frac{\epsilon V_{\text{отн}}}{2eU_{\text{отн}}}$	0,136	0,243	0,336	0,509	0,669	0,752	0,827	вырез в дугах открыт
$\frac{\epsilon V_{\text{отн}}}{2eU_{\text{отн}}}$	0,120	0,232	0,322	0,522	0,684	0,762	0,840	вырез в дугах закрыт фланцем

