

С 345

М-134

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

На правах рукописи

А. В. МАЖУЛИН

ИССЛЕДОВАНИЕ УСКОРЯЮЩИХ ТРУБОК С НАКЛОННЫМИ ПОЛЯМИ

260. Приборы экспериментальной физики

*Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук*

г. Дубна, 1969

Работа выполнена в физико-энергетическом институте.

Научный руководитель:

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник А. Н. СЕР-
БИНОВ.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Б. М. ГОХБЕРГ (ИАЭ).
Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
Г. М. ОСЕТИНСКИЙ (ОИЯИ).

Ведущее предприятие:

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д. В. ЕФРЕМОВА, г. Ленинград.

Автореферат разослан 30 мая 1969 г.

Защита диссертации состоится 1969 г.
на заседании Объединенного Ученого Совета ЛНФ и ЛЯР
ОИЯИ. г. Дубна, Московской области, конференцзал ЛЯР.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Ю. Т. ЧУБУРКОВ.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

На правах рукописи

А.В. Мажулин

ИССЛЕДОВАНИЕ УСКОРЯЮЩИХ ТРУБОК С НАКЛОННЫМИ
ПОЛЯМИ

260: Приборы экспериментальной физики

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Дубна, 1969

6145 89.

В В Е Д Е Н И Е

В ускоряющих трубках, как было показано в ряде работ [1,2,3], причиной снижения рабочих градиентов является загрузка трубки вторичными заряженными частицами, среди которых, как правило преобладают электроны [2]. Ускоряющие трубки с наклонными полями, которые были предложены Ван де Граффом, Роузом и Витковером [4], позволяют значительно снизить количество частиц, образовавшихся в ускоряющем канале трубки.

В Советском Союзе работы, связанные с разработкой трубок с наклонными полями, проводились в ФЭИ и НИИЭФА. К началу настоящей работы были известны основные свойства трубок с наклонными полями, методика расчета движения заряженных частиц, возможные схемы различных конструкций трубок [5,6].

Дальнейшее развитие работ по трубкам требовало следующего:

1. Необходимо было оценить эффективность улавливания вторичных заряженных частиц и методы ее повышения.
2. Улучшить методику расчета различных конструкций трубок.
3. Оценить допуски на величины сопротивлений делителя напряжения трубки по ее элементам.
4. Улучшить технологию изготовления трубок.
5. Определить преимущества различных компоновок ускоряющих трубок (с элементами равной длины, секционные).

Следует отметить, что все вопросы, связанные с конструированием и компоновкой всей трубки ни в коей мере не поднимают вопросов повышения электрической прочности отдельного зазора [7]. Ускоряющие трубки с наклонными полями только ликвидируют эффект полного напряжения, но, естественно, предел их напряжения будет определяться предельным напряжением отдельного зазора.

I. Эффективность улавливания вторичных заряженных частиц в трубке с наклонными полями

Под элементом трубки подразумевается участок трубки, на длине которого вектор напряженности и поля остается постоянным по величине и направлению. Рассматривая движение вторичной перерелятивистской частицы в щелевом канале ускоряющей трубки, которая состоит из элементов равной длины, можно оценить количество и энергию вторичных частиц пролетающих из области эмиссии предыдущего элемента в соседние [8].

В трубках, предназначенных для ускорения заряженных частиц на границах элементов имеются области, из которых вторичные частицы могут пролетать в соседние элементы. Длина такой области $l'_{min} = d \cos \theta / \operatorname{tg} \theta$, где d - ширина щели в электроде, а θ - угол наклона электродов. Если измерить длину элемента с наклонным полем в единицах l'_{min} то $L = K l'_{min}$. Траектории вторичных частиц в ускоряющем канале трубки для $K=1$ и $K=1,5$ изображены на рис. 1.

В приведенных случаях около половины частиц задерживаются в элементе L_2 , а порядка 20% может пролетать за L_3 . Были определены длины элементов которые обеспечивают улавливание всех частиц или во втором элементе или в третьем. Для первого случая длина элемента должна быть $L = 5,328 l'_{min}$, а для второго - $L = 4 l'_{min}$.

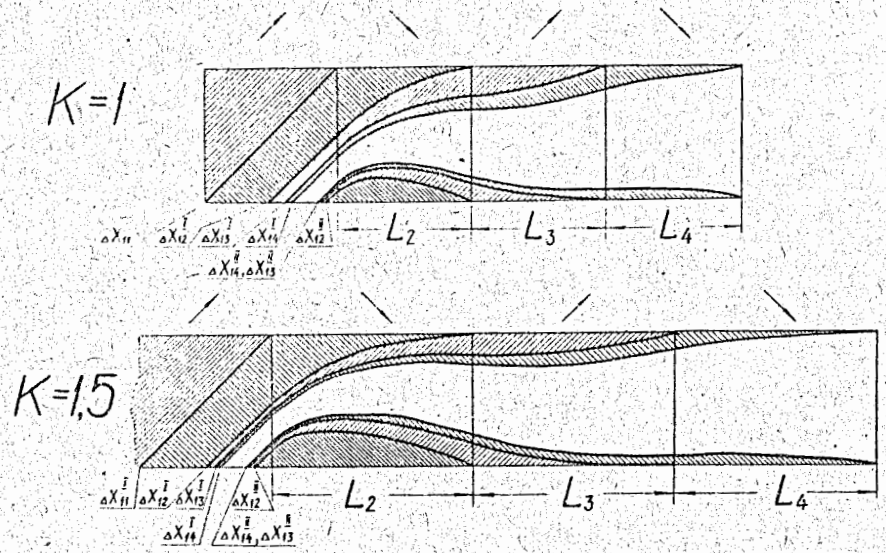


Рис. 1.

Расчеты, проведенные с учетом призматических полей, картины практически не изменили. На рис. 2 схематически показаны устройства для повышения эффективности улавливания вторичных частиц.

Один способ (2а) заключается в установке барьеров, которые перекрывают канал на 1/3 его высоты, что согласуется с результатами работы [9].

Другим способом (2б) может быть создание эквипотенциальных зон длиной не меньше l_{min} . Компромиссным является решение изображенное на 5 г, где перед эквипотенциальной областью создано поле с повышенным градиентом. Трубка с такими ловушками была изготовлена и прошла испытания на ускорителе ЭГ-2,5.

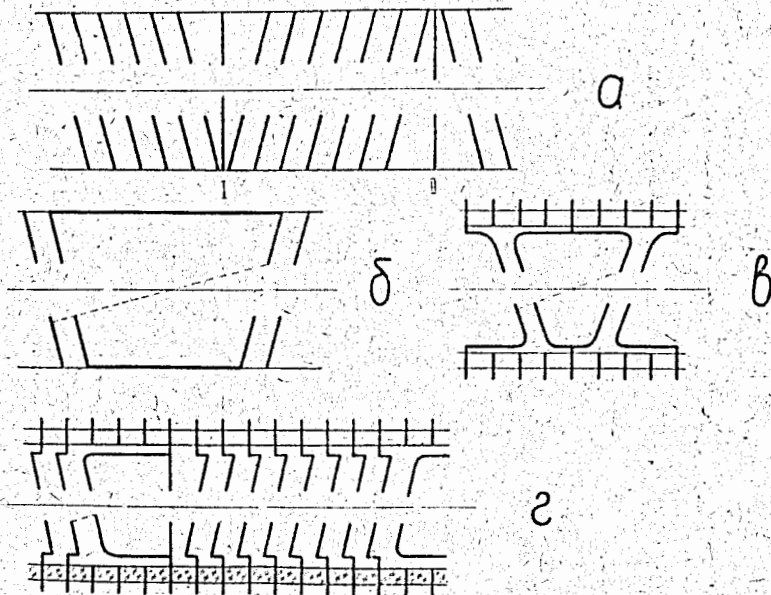


Рис. 2.

Эффективность улавливания вторичных частиц определяет минимальную длину элемента с наклонным полем. Для трубок без

ловушек вторичных частиц она должна быть не меньше $d/\sin\theta$. В случае применения ловушек, длина будет определяться их типом.

2. Программирование расчета ускоряющих трубок с наклонными полями

В основу расчетов ускоряющих трубок была положена методика, изложенная в [5]. Поле трубки представлялось сочетанием призматических и наклонных полей.

Расчет трубки с элементами равной длины заключался в следующем. Выбиралась длина элемента с наклонным полем и определялось их количество M . Из конструктивных соображений задавалась длина элемента предварительного ускорения L_0 . Затем определялось время пролета всех M элементов t_1 и отклонение U_n траектории за последним элементом. После этого вычислялось время t_K , необходимое для создания импульса, который за время пролета всех элементов трубки (t_1) компенсирует отклонение траектории на выходе из трубки. После этого вычислялась длина компенсирующего элемента L_K с наклонным полем, который создает компенсирующий импульс. После окончания расчета L_K снова рассчитывается траектория во всей трубке. Если оказывается, что поперечная составляющая скорости за последним элементом больше заданной величины, то, в зависимости от направления вектора скорости, изменяется длина участка с наклонным полем последнего элемента трубки.

Расчет секционных трубок [10], под которыми подразумеваются двухсекционные (с разными суммами длин наклонных элементов в секциях - СТ, многосекционные (с одинаковыми суммами длин наклонных элементов в секциях) - МСТ и многосекционные трубки с ловушками МСТЛ, проводился следующим образом.

При выборе длин элементов трехэлементной секции обязательны условия: на границах второго элемента с наклонным полем составляющие скоростей, нормальные оси трубки, должны быть равны по абсолютной величине, ординаты частицы - также равны: после третьего элемента с наклонным полем нормальная составляющая скорости и ордината частицы должны быть равны нулю. Для составления программы расчета были использованы только два условия: равенство по абсолютной величине составляющих скоростей частицы, нормальных оси трубки, на границах второго элемента, для чего изменялась длина участка с наклонным полем этого элемента; отсутствие нормальной составляющей скорости частицы после прохождения третьего элемента, что также достигалось изменением участка наклонного поля третьего элемента.

Многосекционная трубка может быть представлена набором трехэлементных секций, для каждой из которых вся предыдущая часть трубки будет являться участком предварительного ускорения.

Схемы трубок и траектории частиц для трубок ТЭРД (ЭГ-1), ТЭРД и СТ (ЭГ-2,5) и МСТ (ЭГ-5-1) приведены на рис. 3.

Оценка допусков на величину сопротивлений делителя напряжения в элементах с наклонным полем трубок МСТ (ЭГ-2,5 и ЭГ-5-1) была сделана следующим образом. Изменялась расчетная длина одного из элементов при постоянной длине всех остальных и вычислялось отклонение траектории на выходе из трубки. Как и следовало ожидать наиболее чувствительными оказались первый и второй элементы с наклонными полями, что указывает на необходимость тщательного подбора сопротивлений на этих элементах.

3. Технология изготовления ускоряющих трубок

В диссертации описана технология изготовления ускоряющих трубок с применением клеющей поливинилбутиральной пленки [11].

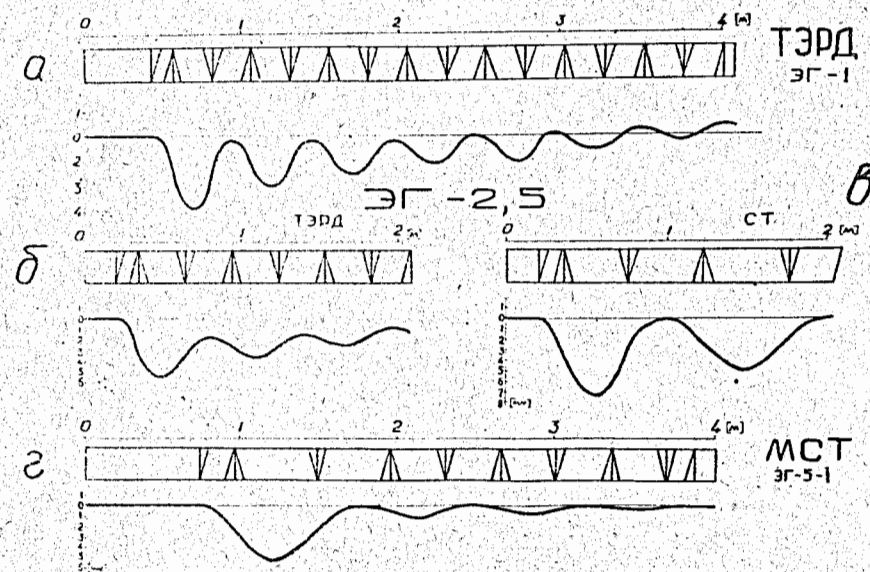


Рис. 3

Поливинилбутиральная пленка ("бутэфоль") должна соответствовать ГОСТ 9438-60 [12]. Предел прочности пленки на расстоянии 250 кг/см^2 при относительном удлинении 160%. Адгезия к силикатному стеклу - не менее 80 кг/см^2 . В работе использовалась пленка марки "Б" толщиной 0,35 мм. Подготовка пленки к склеиванию заключалась в следующем. Пересыпанная на заводе моющим составом пленка промывалась в проточной воде при температуре $40-50^\circ\text{C}$ в течение 5-7 минут и ополаскивалась в дистилляте. Затем в чистом беспыльном помещении сушилась двое суток при комнатной температуре. После этого на специальном штампе вырубались кольца диаметром $220 \times 196 \text{ мм}$. Готовые кольца при хранении, во избежание склеивания, перекладывались листами гладкой бумаги или кальки.

В качестве изоляторов применялись кольца из ситалла марки ИУ-23. Изоляторы подвергались отбраковке на непараллельность, которая допускалась не более 0,05 мм. Для обеспечения более точного размера технологических секций изоляторы измерялись по высоте и разделялись по группам. Размер в каждой группе отличался от соседних не 0,1 мм. Отобранно для работы изоляторы подвергались мойке в ультразвуковой ванне.

Электроды изготовлялись из стали Х18Н9Т. Они были трех видов: наклонные, прямые с тремя щелями и прямые с отверстиями: диаметром 36 мм. В наклонных электродах угол наклона центрального диска с тремя щелями к плоскости наружного кольца электрода составлял $12^\circ \pm 30$. Центральная щель в диске служила для провода пучка. После изготовления электроды посту-

пали в электрополировку, а затем, на специальном приспособлении, на кольцо электрода с двух сторон наносились оселком риски для склеивания и треугольные канавки глубиной 0,3 мм для фиксации свинцового уплотнения. Мойка электродов проводилась так же, как это делалось с изоляторами.

Для исключения возможности попадания паров клеящей пленки внутрь вакуумного объема трубки был применен свинцовый уплотнитель, который представлял собой свинцовую проволоку диаметром 0,6 мм.

Подготовленные изоляторы и электроды собирались в технологическую секцию на пружинном прессе. Пресс являлся одновременно приспособлением для центровки изоляторов и электродов. Центровка их осуществлялась по наружному диаметру. Параллельность торцев склеиваемых секций обеспечивалась плунжером, положение которого фиксировалось штангами прессы. Собранный секция помещалась в автоклав, где она нагревалась воздухом, циркуляция которого через калорифер осуществлялась вентилятором.

В течение 7 часов температура равномерно поднималась до 150°C , 6 часов поддерживалась на этом уровне и 3 часа снижалась до 100°C , а затем 10-12 часов секция остывала при отключенном автоклаве.

Склеенные секции испытывались на вакуумном стенде на отсутствие течей с помощью течеискателя ПТИ-7.

4. Экспериментальные исследования

На ускорителе ЭГ-2,5 были испытаны ускоряющие трубки: с элементами равной длины (ТЭРД), три вида секционных (СТ, МСТ, МСТЛ) и с прямыми титановыми электродами (ТТЭ). На ускорителе ЭГ-5-1 испытывалась многосекционная трубка. В трубках МСТ и МСТЛ был применен свинцовый уплотнитель. Можно считать, что время первичной откачки трубки после ее изготовления характеризует качество технологии с точки зрения органических загрязнений в трубке. Время первичной откачки трубок изготовленных без свинцового уплотнителя шва, до давления $4-3 \cdot 10^{-6}$ тор составило в среднем 20 часов, а в трубках со свинцовым уплотнителем - такой же вакуум был получен через 1-2 часа. Скорость откачки трубки ускорителя ЭГ-5-1 по водороду, как показали измерения составила ~ 110 л/сек на погонный метр.

При проведении тренировки трубок на ускорителе ЭГ-2,5 из-за недостаточной электрической прочности колонны генератора максимальный предел по напряжению после первых испытаний, при которых было получено напряжение 2,75 Мв, был ограничен 2, Мв. Результаты тренировок сведены в таблицу I. Тренировка проводилась как посекционно, так и всей трубкой.

Таблица I

Тип трубки	Верхняя секция [$\frac{\text{Мв}}{\text{час}}$]	Нижняя секция [$\frac{\text{Мв}}{\text{час}}$]	Вся трубка без пучка [$\frac{\text{Мв}}{\text{час}}$]	Вся трубка с пучком [$\frac{\text{Мв}}{\text{мкс/час}}$]
ТЭРД	$\frac{1,5}{13}$	$\frac{1,5}{26}$	$\frac{2}{30}$	$\frac{2,75}{30/28}$
СТ	$\frac{1,5}{24}$	$\frac{1,5}{26}$	-	$\frac{2,5}{31/11}$
ТТЭ	$\frac{1,5}{17}$	$\frac{1,5}{16}$	-	$\frac{2,5}{50/54}$
МСТЛ	-	-	$\frac{2,65}{0,5}$	$\frac{2}{30+100/2,5}$
МСТ	-	-	$\frac{2}{0,5}$	$\frac{2}{54/13}$

Таким образом тренировка трубок, как и вакуумные испытания, показали существенную зависимость времени тренировки от органических загрязнений трубки, связанных с процессом изготовления трубок. При равных условиях изготовления трубки СТ, ТЭРД и ТТЭ имеют различное время тренировки с пучком, что указывает на более эффективное улавливание вторичных частиц в трубках с наклонными полями и, особенно, в секционной. Установка ловушек значительно сокращает время тренировки трубки с пучком.

Измерение рентгеновского излучения ускоряющих трубок по-

звоняет, во-первых, более правильно выбрать защиту высоковольтного зала, и во-вторых, в какой-то мере характеризовать улавливание вторичных частиц в ускоряющей трубке. Мощность дозы излучения от ускорителя ЭГ-2,5 с трубками ТТЭ, МСТ, МСТЛ и трубки заводского изготовления измерялась при напряжении на кондукторе 2 Мв. Результаты измерений сведены в таблицу 2.

Таблица 2

	Заводская с диаметром канал 120 мм	ТТЭ	МСТ	МСТЛ
Без пучка [мкр/сек]	20	0,08	0,08	0
С пучком [мкр/сек / мкА]	$\frac{90}{50}$	$\frac{300}{20}$	$\frac{8,4}{20}$	$\frac{2,64}{80}$

Приведенные результаты убеждают, что трубки с наклонными полями являются менее интенсивными источниками рентгеновского излучения.

Спектры рентгеновского излучения измерялись сцинтилляционным γ -спектрометром. Детектором служил кристалл $NaJ(Tl)$. Измеряемый поток излучения коллимировался отверстием диаметром 8 мм и длиной 80 мм. Детектор с коллиматором устанавливался у смотрового окна снаружи бака против верхнего конца трубки.

На рис. 4 изображены спектры излучения заводской трубки с прямыми коническими электродами с диаметром отверстия 120 мм

и трубки ТТЭ при напряжениях на кондукторе от 0,5 до 2,5 Мв.

Заметное снижение жесткости и интенсивности на трубке ТТЭ при 2 Мв, по-видимому, можно объяснить уменьшением сечения ускоряющего канала, что затрудняло прохождение вторичных частиц. Верхний предел энергии фотонов не достигает максимально возможного, что указывает на малую вероятность пролета вторичными частицами всей трубки даже в случае прямых электродов. На рис. 5 изображены спектры излучений от трубок МСТ и МСТЛ при напряжении на кондукторе 2 Мв.

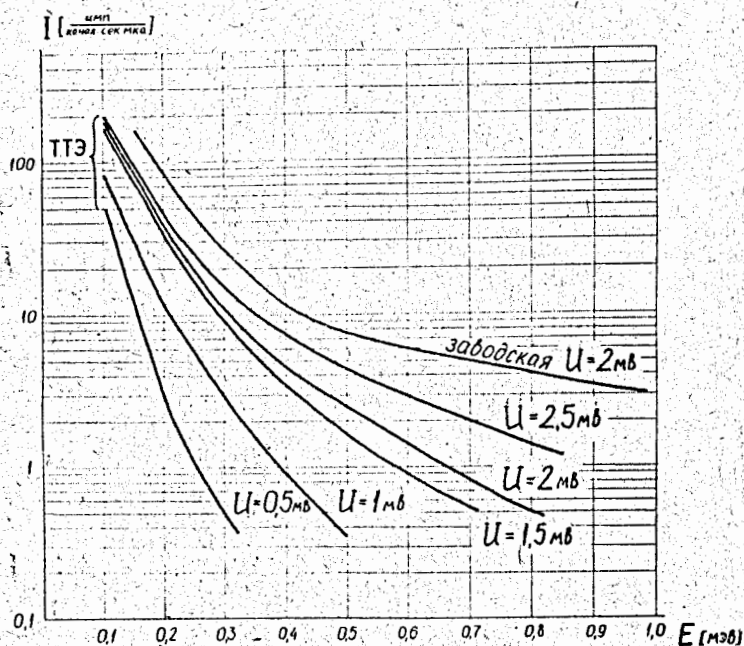


Рис. 4.

Отношение интенсивностей счета ТТЭ, МСТ и МСТЛ при напряжении на кондукторе ускорителя 2 Мв составляет соответственно 1100:320:1.

Полученные результаты указывают на преимущества трубок с наклонными полями перед обычными. Из исследованных трубок предпочтение следует отдать секционным. Ловушки существенно увеличивают эффективность улавливания вторичных частиц в трубках с наклонными полями.

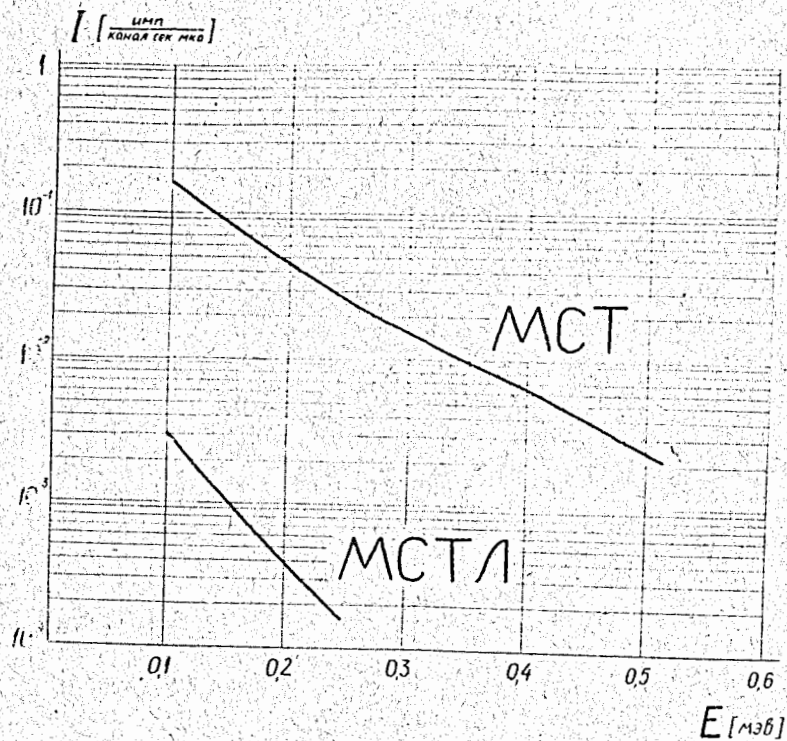


Рис. 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка эффективности улавливания вторичных заряженных частиц в трубках с наклонными полями показала, что значительное количество частиц может пролетать в соседние элементы и приобретать относительно большую энергию. Для повышения эффективности улавливания предложено несколько способов. Предпочтительной с точки зрения улавливания вторичных частиц, является конструкция с наименьшим количеством элементов, а из рассмотренных конструкций предпочтение следует отдать секционным трубкам.

Составлены программы с выбором оптимального варианта для расчета трубок с элементами равной длины и секционных, а также с учетом ловушек вторичных заряженных частиц. Сделана оценка допусков при выборе величины сопротивлений элементов трубок МСТ (ЭГ-2,5 и ЭГ-5-1) на основе расчетов выбраны конструкции пяти трубок с наклонными полями ТЭРД, СТ, МСТ и МСТЛ для ускорителя ЭГ-2,5 и МСТ для ЭГ-5-1.

Изложена технология изготовления ускоряющих трубок. Особенности новой технологии является применение центровки электродов по их наружному диаметру, поливинилбутиральной клеющей пленки, свинцового уплотнителя шва и плунжера, обеспечивающего параллельность фланцев склеиваемых секций.

Экспериментальные исследования показали, что применение свинцового уплотнителя снижает органические загрязнения трубки при изготовлении, что проявляется в сокращении времени пер-

вичной откочки и тренировки трубок. Сравнение результатов испытаний дает предпочтение секционным трубкам. Перспективным является применение ловушек вторичных заряженных частиц.

Спектр рентгеновского излучения не может дать непосредственной информации об энергии вторичных электронов, но характеризует качества трубки. Во всех сопоставлениях обычных трубок с трубками с наклонными полями последние обладали явным преимуществом.

Появившаяся недавно работы [13] еще раз убеждает в преимуществах ускоряющих трубок с наклонными полями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цигикало А.А. Сб. "Электростатические ускорители заряженных частиц" под ред. Вальтера А.К. гл. II Атомиздат 1963 г.
2. Пивовар Л.И. Статья в сб. "Электростатические генераторы" Атомиздат, Москва, 1959 г.
3. Пивовар Л.И., Туболев В.М., Гордиенко В.И. ЖТФ, XXII, 5, 997, 1957 г.
4. Van de Graaf R.J., Rose P.H., Wittkower A.V. Nature, 192, 1292, 1962.
5. Романов В.А., Сербинов А.Н., ПТЭ, 6, 38, 1965 г.
6. Сербинов А.Н. ПТЭ, 2, 30, 1967 г.
7. Иващенко В.А., Харченко Ю.А., Цигикало А.А. Доклад на Всесоюзном совещании по ускорителям заряженных частиц 9-16 октября Москва 1968 г.
8. Сербинов А.Н., Мажулин А.В., ПТЭ, 5, 221, 1968 г.
9. Gyarmati V., Koltay E. preprint, Hungary, 1968.
10. Сербинов А.Н., Мажулин А.В., ПТЭ, 4, 19, 1967 г.
11. Мажулин А.В., Беломытцев И.С., Сербинов А.Н., ПТЭ, 6, 206 1968 г.
12. Архангельский Б.А. Пластические массы. Судпромгиз. 1961 г.
13. Алмазов А.В., Миронов Б.В., Мынцов Ф.Ф., Рашаль Г.Я., Серов Ю.А. ПТЭ, 6, 23, 1968 г.

Подписано к печати 28/III-69 г. ТБ00291. Заказ № 110.
Тираж 150. Объем 1 уч.п.л. Бумага 60X90 1/16. Бесплатно.

Отпечатано на роталпринте Физико-энергетического института.