

ФЭИ-1419

ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

*В. А. РОМАНОВ, В. В. ИВАНОВ, В. И. МУХАМЕТШИН,
Е. П. ДМИТРИЕВ, А. И. КИДАЛОВ*

**Некоторые вопросы методики
высоковольтных испытаний промежутков
ускоряющих трубок ЭСУ**

Обнинск — 1983

УДК 621.384.65

В. А. Романов, В. В. Иванов, В. И. Мухаметшин, Е. П. Дмитриев,
А. И. Кидалов.

Некоторые вопросы методики высоковольтных испытаний промежутков
ускоряющих трубок ЭСУ.

ФЭИ-1419, Обнинск: ФЭИ, 1983. — 16 с.

Дано описание методики высоковольтных испытаний ускоряющих
трубок ЭСУ, приведены результаты испытаний образца ускоряющей
трубки, предложен метод тренировки ускоряющих трубок с помощью
управляющего комплекса.

Электрическая прочность длинных ускоряющих трубок (УТ) электростатических ускорителей определяется как ионно-обменными процессами, возникающими в канале УТ, так и электрической прочностью составляющих ее ускоряющих промежутков (УП).

При проведении высоковольтных испытаний промежутков УТ проявляется одна из особенностей вакуумной изоляции, которая состоит в большом разбросе экспериментальных значений электрической прочности. Это обстоятельство определяется рядом факторов, из которых основным является: 1) способ соединения изолятора с электродом; 2) материал и форма изоляторов и электродов; 3) состояние поверхностей изоляторов и электродов непосредственно перед высоковольтными испытаниями и рядом других факторов. Заметный разброс в данные по электрической прочности ускоряющих промежутков вносит также и методика высоковольтных испытаний. К настоящему времени нет общепринятой методики высоковольтных испытаний и единых критериев определения электрической прочности. В большинстве работ [1 - 4] речь идет о предельной электрической прочности, полученной после многократных пробоев. Использование при разработке длинных УТ полученных таким образом данных об электрической прочности ускоряющих промежутков может привести к ошибочным выводам по прочности УТ в целом и к появлению неконтролируемых токов утечки с высоковольтного электрода по изоляторам УТ. В самом деле, обычно УТ на электростатических ускорителях состоят из многих десятков промежутков и проведение высоковольтной тренировки пробоями каждого ускоряющего промежутка затруднено из-за того, что пробой в первую очередь будет происходить в промежутке с наиболее низкой электрической прочностью. При этом способе тренировки имеется большая вероятность выхода из строя одного из промежутков прежде чем все промежутки будут оттренированы. Кроме того, необходимо учитывать следующее обстоятельство. Одной из

основных особенностей электростатических ускорителей является возможность обеспечивать высокую однородность по энергии ускоряемого ионного пучка. В связи с этим необходимо предъявлять повышенные требования к УТ, обеспечивая не только высокую электрическую прочность, но и низкий уровень токов утечки по УТ.

Испытания ускоряющих промежутков и секций УТ проводились на стенде (рис. 1). Высоковольтные испытания ускоряющих промежутков проводились в металлическом баке, в котором может быть помещено 13 промежутков с шагом 25 мм. В качестве упрочняющего газа использовался фреон-12. Перед заполнением фреоном бак откачивался на вакуум до 10^{-2} Торр.

Вакуум в системе во время испытаний обеспечивался насосом НОРД-250. Для предварительной откачки и для отыскания течей в вакуумной системе использовался также диффузионный ртутный насос. Предварительный вакуум обеспечивался форвакуумным газобластным насосом ВН-2 с использованием азотной и сорбционной ловушек. Для отыскания течей применялся течеискатель типа ПТИ-10.

Перед высоковольтными проводились вакуумные испытания. Поскольку предистория испытываемых образцов чаще всего бывает различной, во избежание больших разбросов величины предельного напряжения желательно вакуумную тренировку образцов проводить достаточно продолжительно. Наша принята время предварительной тренировки 48 ч.

После вакуумной тренировки при разрежении в объеме на уровне $8 \cdot 10^{-7}$ Торр поднималось напряжение в течение 15 мин на первом исследуемом промежутке до 30 кВ, после чего напряжение поднималось ступенями по 5 кВ с длительностью подъема 5 мин и с выдержкой на каждой ступени до 60 мин. Подъем напряжения на всех ступенях осуществляется с одной и той же скоростью с помощью электромеханического привода.

В процессе тренировки регистрировались следующие величины: а) тепловой ток I_T - прибором И-95 с вунтом Р-4 с записью диаграмм самописцуной вольтметром И-39; б) вакуум у входного патрубка исследуемой секции ионизационным вакуумметром ВИТ-2 также с записью диаграмм; в) мощность рентгеновского излучения дозиметром ДРГЗ-02.

Поскольку критерии на определение электрической прочности УТ могут меняться в зависимости от рабочего градиента вдоль УТ, допустимых токов утечки, параметров ускоряемого ионного

пучка, конструкции УТ и т. д., считаем целесообразным принимать за величину электрической прочности УП в длинных УТ (связь I м) и рассчитанных на работу при градиенте около 1,5 МВ/м и выше длительно выдерживаемое напряжение [5], полученное по вышеописанной методике тренировки, величина которого должна примерно вдвое превосходить номинальное напряжение промежутка при плотности темновых токов в промежутке $(1-5) \cdot 10^{-11}$ А/см² и ниже. Уровень темновых токов будет зависеть не только от величины напряжения и от рабочей площади электродов УП, но также и от величины площади изолятора, обращенной в вакуум, степени экранировки его и состояния поверхности электродов и изоляторов.

При испытании УП, изготовленных по принятой у нас технологии, с общей рабочей площадью электродов ~ 360 см² и площадью изолятора, обращенной в вакуум, ~ 150 см² получено максимальное длительно выдерживаемое напряжение 70 кВ с темновым током менее $1 \cdot 10^{-8}$ А. На рис. 2 представлена типичная диаграмма высоковольтной тренировки одного из УП, где можно выделить следующие характерные точки: $U_{п.м.р.}$ - напряжение возникновения первого микрозаряда; $U_{д.в.н.}$ - максимальное длительно выдерживаемое напряжение, при котором после часовой выдержки темновой ток не превышает $1 \cdot 10^{-8}$ А. На рис. 3 представлен фрагмент записи темнового тока в вакууме во время испытаний УП.

Для дальнейшего совершенствования метода, расширения его возможностей, исключения субъективного фактора, осуществлено подключение стенда к АСУ электростатическими ускорителями [6]. Структурная схема АСУ "СТЕНД" представлена на рис. 4. Контроль высокого напряжения ведется по величине тока делителя высоковольтного выпрямителя. Изменение высокого напряжения осуществляется после анализа и обработки сигнала от вакуумметра, величины темнового тока, величины тока делителя. С вакуумметра сигнал поступает на усилитель сигналов низкого уровня и подается через аналого-цифровой преобразователь в ЭВМ. Темновой ток I_T поступает на преобразователь ток-частота, затем подается на частотомер, и с выхода частотомера поступает на коммутатор ввода информации на ЭВМ. Ток делителя с измерительного сопротивления по отведенному ему каналу через многоканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦШМ) поступает в ЭВМ. После обработки информации ЭВМ выдает команды на соответствующее изменение высокого напряжения. В табл. 1 представлены сигналы, поступающие в ЭВМ; в табл. 2 - управляющий сигнал из ЭВМ.

ТАБЛИЦА 1

ПАРАМЕТР	Диапазон изменения параметра	Число датчиков на параметр	Диапазон изменения сигнала, В	Вид сигнала
Темновой ток	0...2 мкА	1	0...3	дискретн.
Ток делителя	0...40 мкА	1	0...5	аналогич.
Уставка высокого напряжения	0...3 В	1	0...3	аналогич.
Вакуум	0...2·10 ⁻⁶ мм рт. ст.	1	0...2	аналогич.

ТАБЛИЦА 2

Управляемый параметр	Диапазон изменения параметра	Тип органа управления	Исполнительное устройство	Закон управления	Параметр и вид управляемого воздействия	Диапазон изменения управляемого воздействия
Высокое напряжение	0...30 кВ	Электро-механический привод	Мотор постоянного тока	Непрерывно-дискретный	Напряжение	0...5 В

Управление процессом отбраковки образцов производится при помощи ЭВМ. Алгоритм управления (рис.5) заключается в следующем.

1. За начало эксперимента принято начало откачки рабочего объема стэнда для испытаний ускоренных трубок.
2. Каждые 10 мин первых двух часов откачки печатаются информация о вакууме в рабочем объеме. В последующее время та же информация выводится с интервалом в 3 ч.
3. Через 48 ч откачки при вакууме не хуже чем $6 \cdot 10^{-7}$ Торр начинается подъем высокого напряжения на образце.
4. Через каждые 10 мин подъема высокого напряжения производится вывод на печатающее устройство значений давления в рабочем объеме стэнда, темнового тока и напряжения на УП.

5. Эксперимент по исследовании одного промежутка считается законченным при достижении предельного значения длительно выдерживаемого напряжения на образце. После этого подъем напряжения прекращается.
6. Результатом эксперимента являются зависимости:
 $P = P(t)$; $P = P(U)$; $P = P(I_T)$; $I_T = I_T(U)$;
 $I_T = I_T(P)$; $I_T = I_T(t)$ для каждого образца.
Сравнивая полученные зависимости, можно вести отбраковку образцов.

Данный алгоритм (см. рис.5) реализован на языке Ассемблер ЭВМ "Э100-И".

ЛИТЕРАТУРА

1. Gleichauf R.H. *Electrical Breakdown over Insulators in High Vacuum*, *J. Appl. Phys.*, т.22, 1951, с.533.
2. Цигикало А.А. Электростатические генераторы, М.: Атомиздат, 1959.
3. Алмазов А.В., Мицков Ф.Ф. Электрическая прочность ускорительных трубок. ПТЭ, 1971, №6, с.32.
4. Михайлов В.Д., Низовская И.А., Смакова А.В. Применение клея на основе поливинилацетата (ПВА) для изготовления ускорительных трубок. Препринт НИИЭФА Д-0135, 1971.
5. Сивков И.Н. Электроизоляция и разряд в вакууме. М.: Атомиздат, 1972.
6. Мухаметшин В.И., Романов В.А., Чалин В.Р., Якушев В.П. ЭВМ "Электроника-100И" на языке с электростатическим ускорителем ЭГ-2,5. Дубна, ОИЯИ. Труды Седьмого Всесоюзного Совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 14-16 октября 1980, т.П, с.309.
7. Ли Т.Г., Адамс Г.Э., Геймо У.М. Управление процессами с помощью ЭВМ. Моделирование и оптимизация. М.: Советское радио, 1972.
8. Акуцкий И.Я., Троицкий В.М. Программирование на "Электронике-100И" для задач АСУ ТП. М.: Советское радио, 1978.

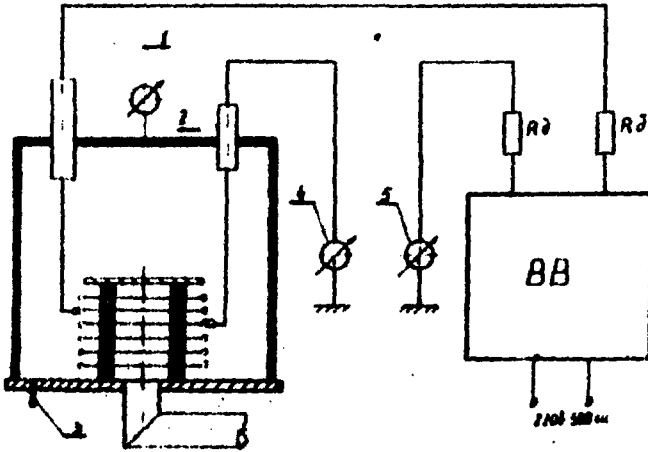


Рис. 1 Структурная схема стенда для высоковольтных испытаний промежутков ускоряющих трубок:
1 - высоковольтные выводы;
2 - мановакуумметр;
3 - полуоткрытый клапан;
4 - прибор для измерения токов утечки;
5 - прибор для измерения тока делителя.

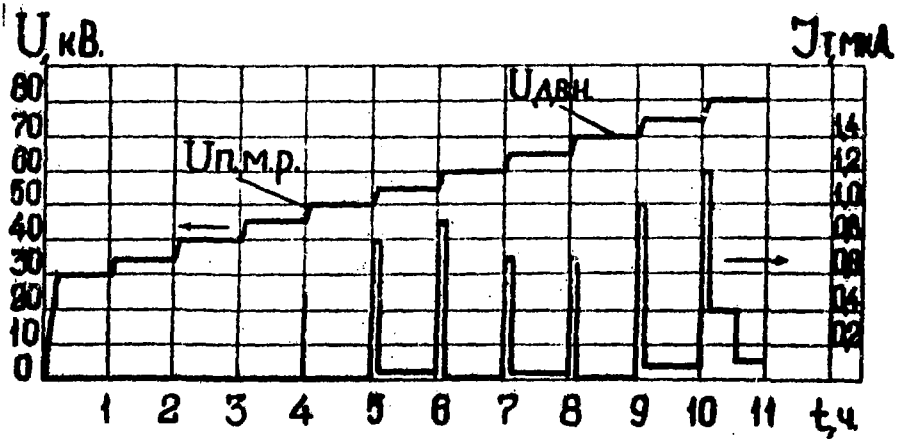
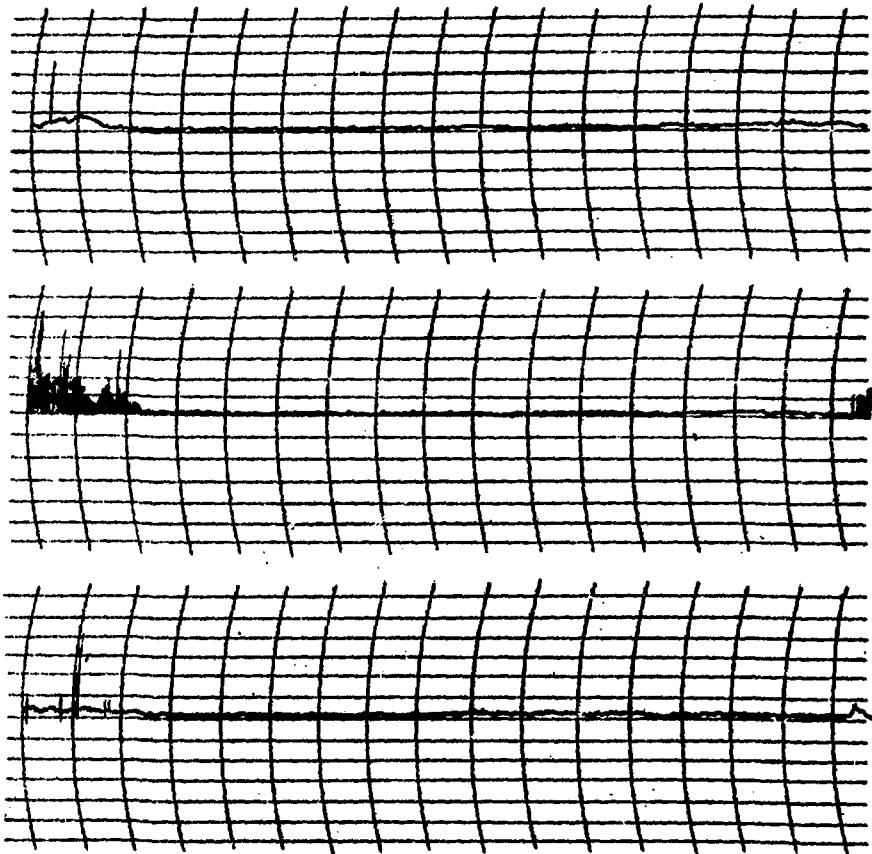


Рис. 2. Типичная диаграмма высоковольтной тренировки ускоряющего промежутка.
Вверху - диаграмма темнового тока;
внизу - ход подъема напряжения.



**Рис. 3. Диаграмма темнового тока и вакуума при испытании
ускоряющего промежутка УТ**

- а - диаграмма темнового тока для промежутка при напряжении
50 кВ и последующей часовой выдержке при этом напряжении**
- б - диаграмма темнового тока для этого же промежутка при
напряжении 70 кВ и последующей часовой выдержке**
- в - диаграмма вакуума для того же промежутка при подъеме
напряжения до 70 кВ и последующей часовой выдержке.**

УПРАВЛЯЮЩИЙ КОМПЛЕКС

ПУЛЬТОВАЯ ЭГ-1

СТЕНД УГ

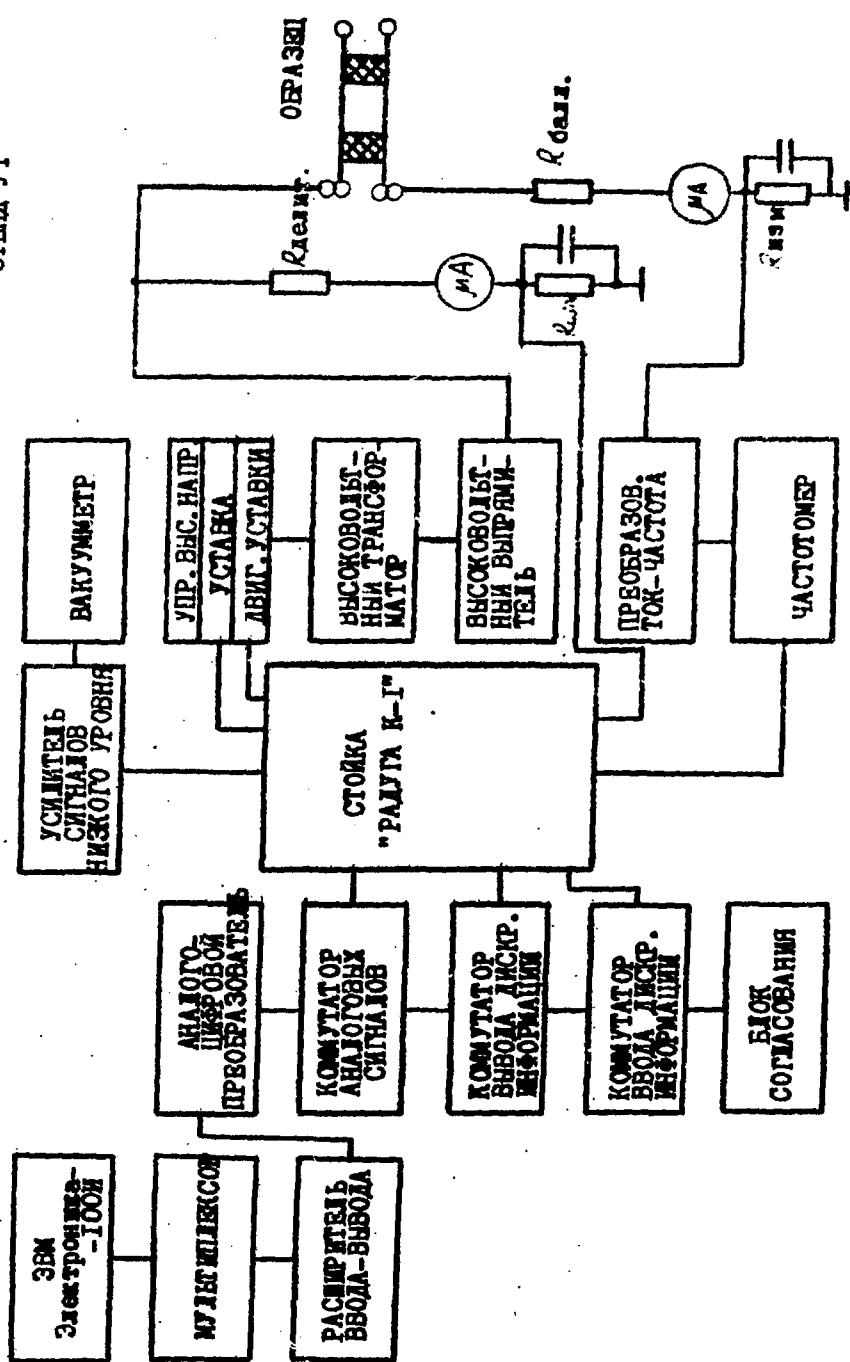


Рис. 4. Структурная схема управления стендом ускоряющих трубок

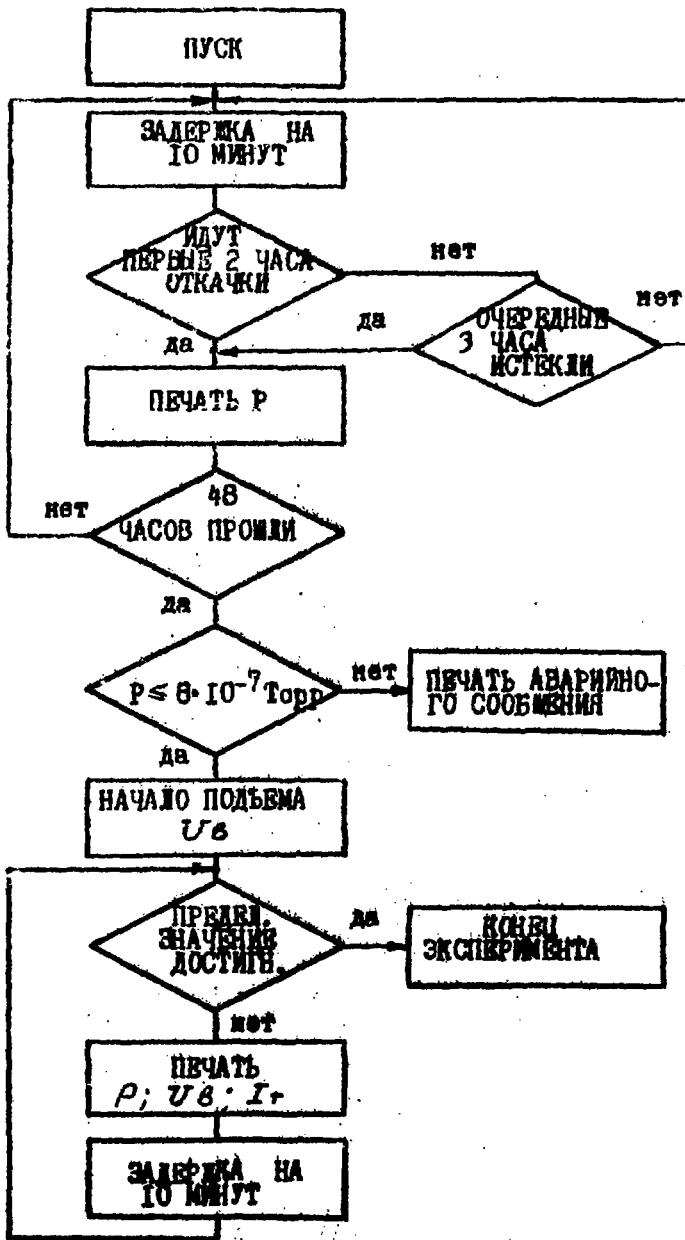


Рис. 5. Алгоритм высоковольтных испытаний УП

```

*1400
1400 7200 SET,   CLA
1401 1331 TAD R1MIN
1402 6136 6136
1403 6133 6133
1404 5203 JMP. -1
1405 2332 ISZ C10MIN
1406 5200 JMP SET
1407 7200 CLA
1410 1340 TAD KEEP1
1411 7640 SZA CLA
1412 5251 JMP SET+5 1
1413 1341 TAD KEEP2
1414 7640 SZA CLA
1415 5226 JMP SET+26
1416 4767 JMS I DISPL
1417 436 3 JMS CLEAR
1420 2334 ISZ C2CH
1421 5200 JMP SET
1422 2341 ISZ KEEP2
1423 5200 JMP SET
1424 2336 ISZ C3CH
1425 5200 JMP SET
1426 4767 JMS I DISPL
1427 4363 JMS CLEAR
1430 2337 ISZ C48CH
1431 5233 JMP. +2
1432 5241 JMP SET+41
1433 7200 CLA
1434 1335 TAD R3CH
1435 3336 DCA C3CH
1436 5200 JMP SET
1437 2340 ISZ KEEP1
1440 7200 CLA
1441 1345 TAD CHKVI
1442 6523 6523
1443 1343 TAD UPHV
1444 6524 6524
1445 7200 CLA
1446 5200 JMP SET
1447 4767 JMS I DISPL
1450 4407 JMS I 7
1451 5360 FGET KIT
1452 6352 FPUT K
1453 0000 FEXT
1454 7200 CLA
1455 1374 TAD ADKIT
1456 4772 JMS I TYPSTG
1457 7200 CLA
1460 1346 TAD CHKVI
1461 6512 6512
1462 4770 JMS I PRINT
1463 4407 JMS I 7

```

1464	6355	FGET MID
1465	1552	FFIUT K
1466	0000	FEXT
1467	7200	CLA
1470	137 3	TAD ADMID
1471	477 2	JMS I TYPSTG
1472	7200	CLA
1473	1347	TAD NCHID
1474	6544	6544
1475	7200	CLA
1476	4771	JMS I ADC
1477	3342	DCA KEEPID
1500	1342	TAD KE EPID
1501	4770	JMS I PRINT
1502	7200	CLA
1503	1342	TAD KE EPID
1504	1350	TAD UNIDMAX
1505	7510	SPA
1506	5200	JMP SET
1507	7200	CLA
1510	1343	TAD UPHY
1511	6525	6525
1512	7200	CLA
1513	1344	TAD DOWNHY
1514	6524	6524
1515	7200	CLA
1516	1347	TAD NCHID
1517	6544	6544
1520	7200	CLA
1521	4771	JMS I ADC
1522	1351	TAD UNIDO
1523	7500	SMA
1524	5315	JMP.-7
1525	7200	CLA
1526	1344	TAD DOWNHY
1527	6525	6525
1530	7402	HLT
1531	5670	K1MIN, 5670
1532	7766	C10MIN, 7766
1533	7766	K10MIN, 7766
1534	7764	C2CH, 7764
1535	7756	K3CH, 7756
1536	7756	C3CH, 7756
1537	7760	C46CH, 7760
1540	0000	KEEP1, 0000
1541	0000	KEEP2, 0000
1542	0000	KEEPID, 0000
1543	4000	UPHY, 4000
1544	2000	DOWNHY, 2000
1545	0002	CHKYI, 0002
1546	0003	CHKYVI, 0003
1547	0036	NCHID, 0036
1550	5716	UNIDMAX, 5716
1551	7770	UNIDO, 7770

1552	0000	K,	0000
1553	0000		0000
1554	0000		0000
1555	0002	KID,	0002
1556	3000		3000
1557	0000		0000
1560	0000	KIT,	0000
1561	0000		0000
1562	0000		0000
1563	0000	CLEAR,	0000
1564	7200		CLA
1565	6544		6544
1566	5763		JMP I CLEAR
1567	5200	DISPL,	5200
1570	3270	PRINT,	3270
1571	3104	ADC,	3104
1572	7600	TYPSTG,	7600
1573	5234	ADKID,	5234
1574	5241	ADKIT,	5241

ADC	1571
ADKID	1573
ADKIT	1574
CHKYI	1545
CHKYVI	1546
CLEAR	1563
C10MIN	1532
C2CH	1534
C3CH	1536
C48CH	1537
DISPL	1567
DOWNHY	1544

K	1552
KEEPID	1542
KEEP1	1540
KEEP2	1541
KID	1555
KIT	1560
K1MIN	1531
K10MIN	1533
K3CH	1535
NCHID	1547
PRINT	1570
SET	1400
TYPSTG	1572
UNIDMA	1550
UNIDO	1551
UPHY	1543

5200	0000	DISPL,	*5200
5201	4407		0000
5202	5220		JMS I 7
5203	6623		FGRT KP
5204	0000		FEUT I R
5205	7200		FEXT
5206	1246		CLA
5207	4626		TAD ADKP
5210	7200		JMS I TYPSTG
5211	1224		CLA
5212	6544		TAD NCHANP
5213	7200		6544
5214	4627		CLA
5215	7041		JMS I ADC
5216	4625		CIA
5217	5600		JMS I PRINT
5220	0002	KP,	JMP I DISPL
5221	1000		0002
5222	0000		1000
5223	1562	R,	0000
5224	0037	NCHANP,	1562
5225	3270	FRINT,	0037
5226	7600	TYPSTG,	3270
5227	3104	ADC,	7600
5230	4040		3104
5231	2040		4040
5232	7540		2040
5233	0001		7540
5234	4040		0001
5235	1104		4040
5236	4075		1104
5237	4000		4075
5240	0100		4000
5241	4040		0100
5242	1124		4040
5243	4075		1124
5244	4000		4075
5245	0100		4000
5246	5230	ADKP,	0100
			5230

ADC	5227
ADKP	5246
DISPL	5200
R	5223
KP	5220
NCHANP	5224
PRINT	5225
TYPSTG	5226

3270	0000	P RINT,	*3270 0000
3271	3046		DCA 0046
3272	3045		DCA 0045
3273	3044		DCA 0044
3274	4407		JMS I 7
3275	7000		FNOR
3276	0000		FEXT
3277	1044		TAD 0044
3300	1315		TAD K27
3301	3044		DCA 0044
3302	4407		JMS I 7
3303	3720		FMPV I K
3304	0000		FEXT
3305	7200		CLA
3306	1316		TAD KOLOB
3307	3062		DCA 0062
3310	1317		TAD KOLDR
3311	6032		KCC
3312	6046		TLS
3313	4406		JMS I 6
3314	5670		JMP I PRINT
3315	0027	K27,	0027
3316	0004	KOLOB,	0004
3317	0002	KOLDR,	0002
3320	1562	K,	1562

K	3320
KOLDR	3317
KOLOB	3316
K27	3315
PRINT	3270

Технический редактор Н.П.Герасимова.

Подготовлено к печати 29/II-1983 г. Т-08237 Формат 60x90 1/16
Средства печати Усл. п. л. I Уч.-изд. л. 0,7 Тираж 98 экз.
Цена II коп. 108-1419 Индекс 3624

Отпечатано на ротапринте ФВН, г. Омск.

3. 273 1/2

11 коп.

Индекс 3624

Некоторые вопросы методики высоковольтных испытаний
промежутков ускоряющих трубок ЭСУ.
ФЭИ-1419, 1983, 1-16.