## ВВЕДЕНИЕ

Алюминиевые дрейфовые трубки (ДТ), работающие при повышенном давлении, являются базовым детектором мюонной системы установки АТЛАС, предназначенной для проведения исследований на LHC /1/. Условия в которых будут работать детекторы мюонной системы характеризуются довольно высоким загрузками (до $3 \cdot 10^3 \ \frac{\text{отсчет.}}{\text{см}^2 \ \text{сек}}$), вызванными не только частицами, летящими из области пересечения пучков, но также постоянным фоном нейтронов и сопутствующих гамма-квантов /2/. Поэтому помимо высокого пространственного разрешения одним из основных требований к детекторам мюонной системы является радиационная стойкость.

В основном эффекты старения изучались при работе в пропорциональном режиме /3,4/. Ухудшение характеристик детекторов является следствием формирования полимерных соединений в электронной лавине и их осаждения на внутренних поверхностях детектора. Оно может проявляться в различных эффектах, таких как уменьшение коэффициента газового усиления, сужение и исчезновение плато счетной характеристики, возрастание токов утечки. Основной же вывод исследований можно сформулировать следующим образом: усиливается связь коэффициента газового усиления с интенсивностью внешнего облучения, которая выражается в потере способности детектора переносить загрузки /5/.

Для случая же старения при работе в стримерном режиме нам известны только результаты исследования влияния облучения на работу пластиковых трубок с газовой смесью $30\%Ar + 70\%C_4H_{10}$ /6/, алюминиевых ДТ наполненных диметилэфиром /7/ и смесью $Ar{+}75\%C_4H_{10}$ /8/. Старение пластиковых трубок, имеющих резистивный катод с удельным сопротивлением $10^3$Ом на квадрат, выразилось в полном исчезновении плато в счетной характеристике уже при аккумулированном заряде 0,5 Кл/см. Исследования же алюминиевых ДТ наполненных диметилэфиром показали, что хотя в месте облучения на сигнальной проволочке были обнаружены отложения толщиной 5 мкм, каких-либо изменений в рабочих параметрах детектора не наблюдалось вплоть до величины собранного заряда 12 Кл/см. Также не было замечено значительных изменений в рабочих характеристиках трубок с газовой смесью $Ar + 75\%C_4H_{10}$ при аккумулированном заряде 17 Кл.

В этой работе мы не ставили цель исследовать зависимость изменения характеристик дрейфовых трубок при облучении от различных факторов, таких как применяющиеся конструкционные материалы, материалы газовых соединений, скорость продува, наличие примесей в газовой смеси, а также исследовать действие различных добавок к газовой смеси снижающих или даже устраняющих эффекты вызванные длительным облучением /9/. Основной задачей было изучить изменение рабочих характеристик алюминиевых ДТ в пропорциональном и стримерном режимах работы при длительном облучении при наполнении их газовой смесью $Ar + 15\%CO_2 + 2,5\%iC_4H_{10}$ при 3 атм, являвшейся первым прототипом рабочей смеси мюонного детектора установки АТЛАС.

## ПРОЦЕДУРА ИЗМЕРЕНИЙ

Исследование процесса старения производилось одновременно на двух ДТ, газовые объемы которых были последовательно соединены между собой (рис.1). Алюминиевые трубки толщиной 0,5 мм имели размеры $\phi$ 30 $\times$ 300мм$^2$. Концевые заглушки трубок были сделаны из капролона. Сигнальные проволочки из бериллиевой бронзы имели диаметр 100 мкм. Все газовые коммуникации были выполнены трубками из рилсана-полиамида-11 (TEHUG) общая длина которых не превосходила 2 м. Газовая смесь приготавливалась заранее путем смешивания компонентов, количество примесей в которых не превосходило 0,1% (в основном определялось примесями, содержащимися в $CO_2$). Газ из трубок выводился в атмосферу через затвор из очищенного парафинового масла.

В процессе облучения ДТ анодный ток превышал приблизительно на два порядка ток, ожидаемый по условиям радиационной загрузки в АТЛАС. Известно, что скорость старения связана не только с величиной выделившегося заряда, но также и со скоростью накопления его /3,4/. Поэтому одновременно исследовалось старение двух трубок, интенсивности облучения которых различались примерно в 3 раза. Облучение производилось двумя бета-источниками: $Sr^{90}$ (активность $5 \cdot 10^8$ Bk) и $Tl^{204}$ ($2 \cdot 10^8$ Bk). Длина облучаемых зон ДТ вдоль проволочки составляла 12 мм.

В процессе облучения контролировались несколько рабочих параметров. Во-первых, непрерывно измерялся протекающий через трубку ток. Во-вторых, систематически измерялся коэффициент газового усиления детекторов в пропорциональном режиме при атмосферном давлении. Для этого на небольшие промежутки времени в трубках сбрасывалось давление и измерялся амплитудный спектр сигналов от источника $Fe^{55}$. Для измерения амплитудного спектра сигналов с ДТ использовался зарядо-чувствительный усилитель и зарядо-цифровой преобразователь (Lecroy 2249W). Калибровка канала регистрации производилась систематически с помощью прямоугольных импульсов различной величины от генератора. Чтобы исключить влияние изменений давления, температуры, параметров усилителя и т.д., амплитудный спектры от источника $Fe^{55}$ измерялись как в облученной, так и в "контрольной" точке, не подвергавшейся облучению. Изменение коэффициента газового усиления контро-

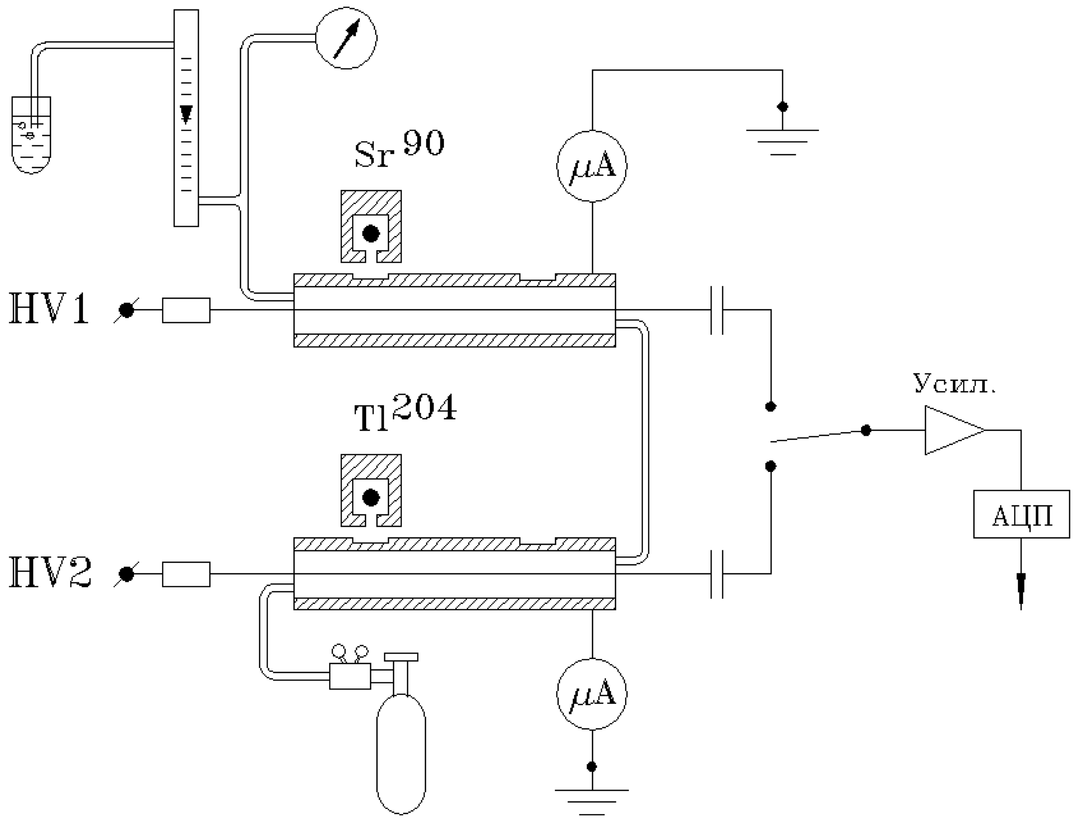
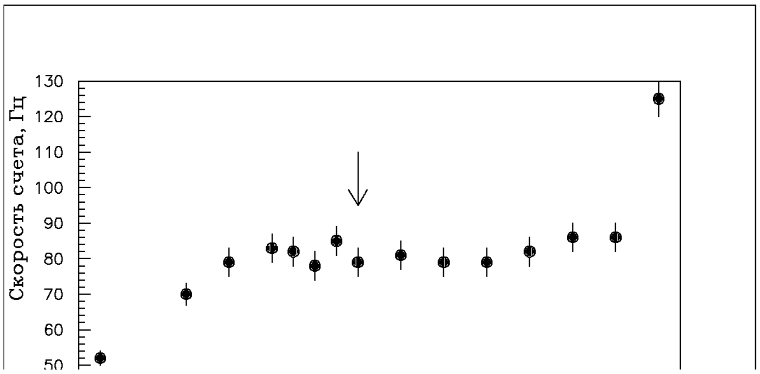



**Рис. 1.** Схема аппаратуры для облучения и измерения параметров дрейфовых трубок.

лировалось по отношению положений пиков в амплитудных спектрах в облучаемой и контрольной точках.

Аналогичным образом контролировался коэффициент газового усиления в стримерном режиме работы при рабочем давлении и загрузках порядка 200 Гц. Кроме того, регулярно измерялась счетная характеристика ДТ при пороге регистрации около 9 мкА. На рис.2 показан типичный вид счетной характеристики ДТ до начала облучения, измеренной при облучении электронами от $Sr^{90}$. Рабочее напряжение было равно 4,8 кВ. При этом ток с трубки, облучаемой $Sr^{90}$ составлял около 2,3 мкА, а с трубки, облучавшейся от $Tl^{204}$ - 0,8 мкА. На рис.3 показан амплитудный спектр сигналов во время облучения детектора. Хотя количество стримерных сигналов составляло всего 1/3 от общего числа сигналов, их вклад в суммарный ток был приблизительно 85%.




указано


**Рис. 3.** Амплитудный спектр сигналов с дрейфовой трубки, измеренный во время облучения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Первоначально предполагалось проводить измерения без постоянного продува, обновляя газовую смесь один раз в сутки. Однако уже после 18 часов облучения, что соответствует выделившемуся заряду 0,12 Кл на трубке, облучавшейся более интенсивно, рабочие параметры обеих трубок резко ухудшились. Ток уменьшился на 25% от первоначального значения, а форма амплитудных спектров сигналов от $Fe^{55}$ существенно изменилась как в рабочих точках так и в контрольных. На рис.4 показаны спектры, измеренные сразу же по окончании облучения и после того, как газовая смесь

спектре, измеренном в р

сохранилось и после об

контрольной точке, рас

форму. Такой эффект

счетчиков Гейгера-

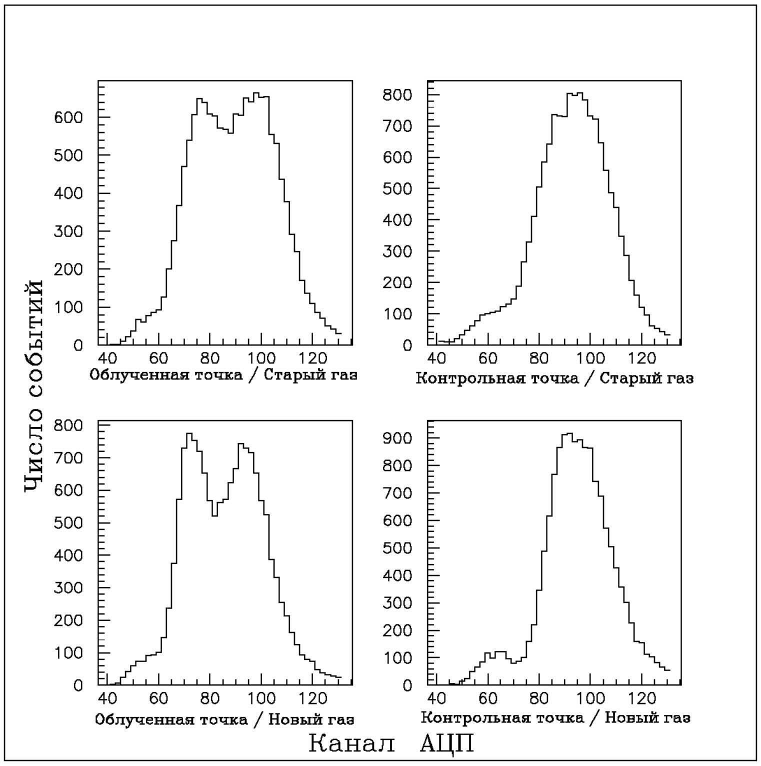



**Рис. 4.** Амплитудные спектры сигналов с дрейфовой трубки, измеренные до и после замены рабочей смеси при облучении ее от $Fe^{55}$

Мюллера и связан с изменением химического состав газовой смеси в процессе облучения /3/. В дальнейшем детекторы были заменены, а измерения проводились при постоянном продуве со скоростью 20 см$^3$/мин.

### 1. Изменение коэффициента газового усиления в пропорциональном режиме.

На рис.5 показаны амплитудные спектры сигналов от источника $Fe^{55}$, полученные на разных этапах облучения. Звездочками показаны спектры, измеренные в контрольной,
а кр … ованный заряд
сос … два пика стали
явн … тельно больше
их … и объясняется
тем … неравномерно,
в о …

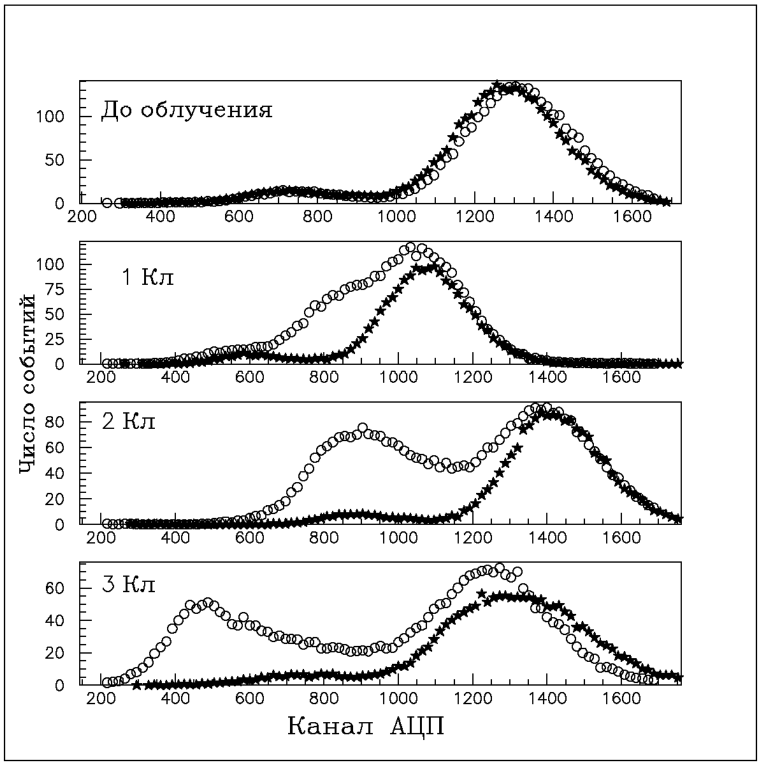



**Рис. 5.** Амплитудные спектры сигналов с дрейфовой трубки, измеренные при облучении ее от $Fe^{55}$ на разных стадиях облучения

ны радиоактивного источника. Два пика в амплитудном спектре соответствуют регистрации рентгеновских квантов, поглощенных в газе соответственно "перед" и "за" проволочкой.

Количественной характеристикой скорости старения детектора принято считать процентное изменение газового усиления, отнесенное к единице собранного заряда на с … шения газовых уси … анного заряда. Ско … зила для обеих тру

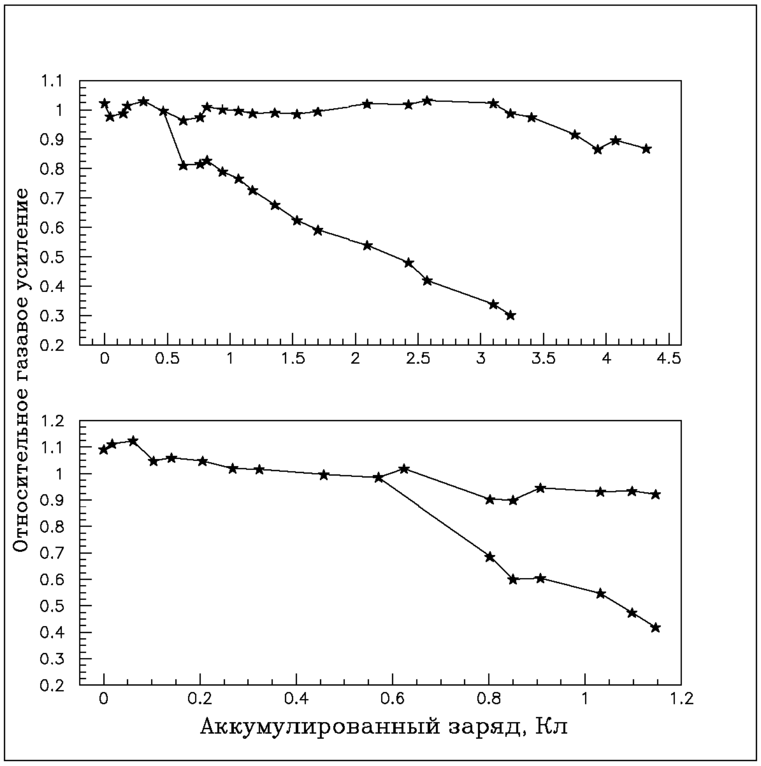



**Рис. 6.** Зависимость относительного газового усиления от аккумулированного заряда: вверху - трубка, облучавшаяся от $Sr^{90}$, внизу - от $Tl^{204}$

**2. Изменение характеристик в стримерном режиме.**

На рис.7 показана зависимость тока с трубки, облучаемой источником $Sr^{90}$, от полного выделившегося заряда. Видно, что измеряемый ток медленно возрастал с увеличением собранного заряда и его величина изменилась на 20% при суммарном собранном заряде 14 Кл. Некоторые колебания в величине тока связаны с перерывами в облучении, вызванными приготовлением газовой смеси в замен израсходованной. Наблюдавшееся возрастание тока не связано с увеличением заряда в стримере. Так на рис.8 показаны спектры, измеренные в облученной и контрольной точках при загрузке детектора 200 Гц, когда суммарный аккумулированный заряд был 10 Кл/см. Спектры практически не отличаются по форме, а амплитуды сигналов, измеренных в облученной точке, уменьшились примерно на 10%. Мы также проверили эффект послеимпульсов, измеряя скорость счета при длительности импульсов формирователя 100 и 1000 нс, и не обнаружили разницу в измерениях в контрольной и облучаемой точках. Возрастание тока, на наш взгляд, связано с увеличением шумовых импульсов не коррелирующих с импульсами, вызванными частицами от радиоактивного источника. Происхождение их может быть связано с Малтер-эффектом /11/ из-за загрязнения поверхности катода.

Когда величина собранного заряда была 3 Кл, мы начали регулярно измерять ширину плато счетной характеристики трубки при пороге регистрации 9 мкА, облучая ее электронами от $Tl^{204}$ при загрузке $\sim$100 Гц. Ширина плато определялась в диапазоне изменения счета с детектора от 95 до 105% около среднего значения. Зависимость ширины плато от собранного заряда показана на рис.9. До начала облучения ширина плато составляла около 450 В, а к моменту начала систематических измерений она была 250 В, и в дальнейшем почти не изменилась.

**3. Влияние загрузки на характеристики детекторов.**

Как было установлено при анализе результатов старения газовых детекторов, работающих в пропорциональном режиме, старение проявляется в потере ими способности сохранять коэффициент газового усиления при увеличении загрузки. На рис.10 показаны зависимости относительного счета трубки от величины загрузки внешнего облучения при пороге регистрации 36 мкА, когда полный аккумулированный заряд составлял 12 Кл/см. Скорость счета детектора варьировалась путем ослабления пучка электронов от источника $Sr^{90}$ несколькими слоями алюминиевых фольг. Ослабление потока электронов фольгами измерялось в отдельном опыте при малых (от 50 до 500 Гц) скоростях счета трубки в предположении, что эффективность ДТ близка к 100%.

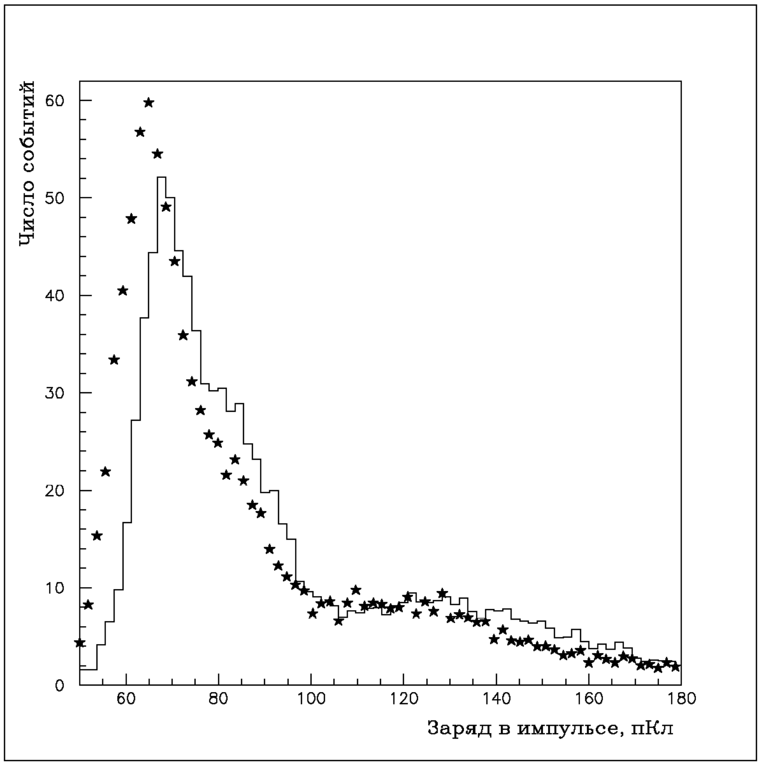



**Рис. 8.** Амплитудные спектры стримерных сигналов с дрейфовой трубки: звездочки - облученная точка, сплошная линия - контрольная точка.

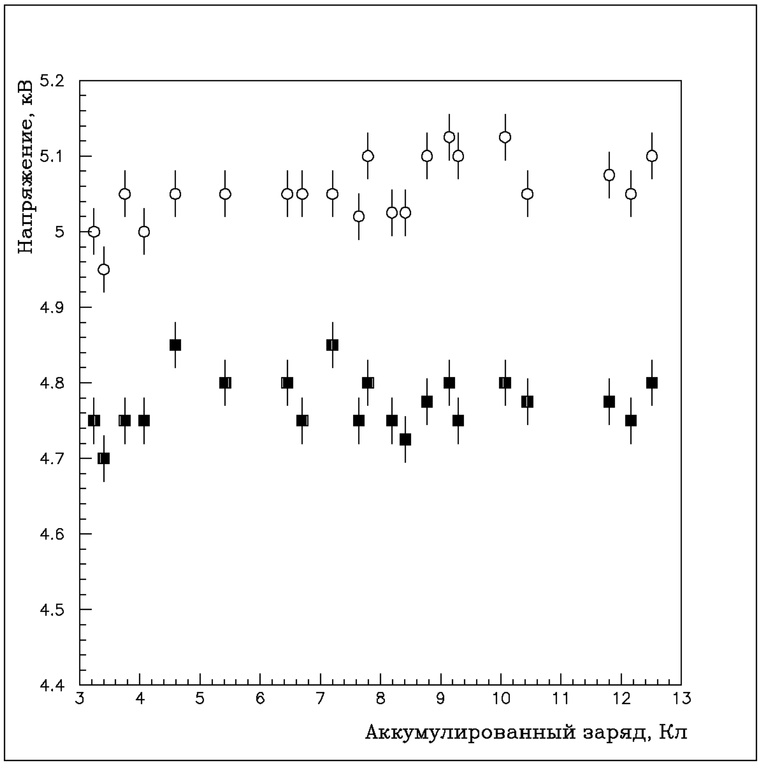
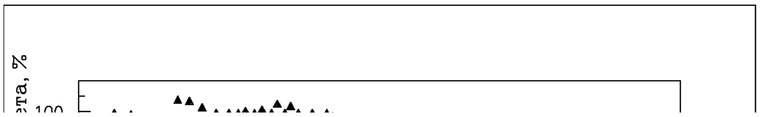



**Рис. 9.** Границы плато счетной характеристики.

При данном пороге регистрации значительное число пропорциональных импульсов уже не регистрируется и уменьшение счета в облученной точке происходит значительно раньше, чем в контрольной. Эффективность начинает снижаться с загрузки 700 Гц/12 мм, и уменьшается вдвое при величине загрузки 5000 Гц/12 мм.

Снижение эффективности вызвано существенным изменением соотношения пропорциональных и стримерных сигналов с ДТ. Так на рис.11 показаны амплитудные спектры, измеренные при четырех различных интенсивностях облучения, причем полное число сигналов в каждом спектре одинаково. Видно, что с возрастанием загрузки существенно возрастает доля пропорциональных импульсов, при этом амплитуда стримерных сигналов уменьшается незначительно. При относительно небольших загрузках путем повышения напряжения на трубке удается довести долю стримерных импульсов до 100%. В то же время при загрузках более 1 кГц/см доля пропорциональных импульсов остается значительной при всех напряжениях и она тем больше, чем выше загрузка.



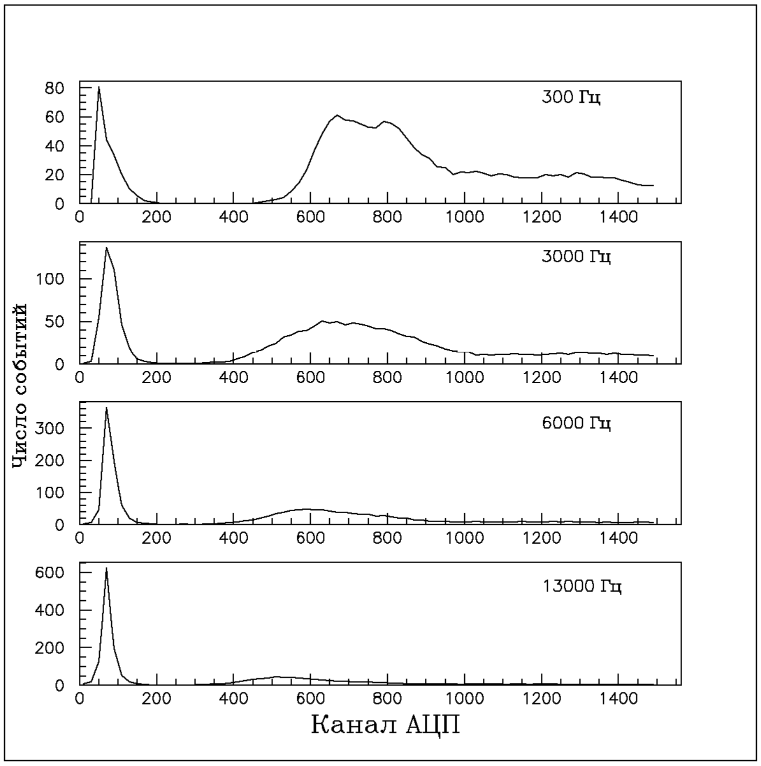



**Рис. 11.** Амплитудные спектры сигналов с дрейфовой трубки при различных загрузках.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования изменений характеристик двух алюминиевых дрейфовых трубок, наполненных газовой смесью $Ar{+}15\%CO_2{+}2,5\%C_4H_{10}$ при 3 атм, облучаемых источниками $Sr^{90}$ и $Tl^{204}$ показали:

1. скорость старения при работе в пропорциональном режиме, оказалась $\frac{25\%}{\text{Кл/см}}$. Не было замечено различия в скорости старение при двух интенсивностях облучения, вызывающих суммарные токи с трубок 0,7 и 2,3 мкА.

2. При увеличении собранного заряда происходит изменение соотношения между количеством стримерных и пропорциональных сигналов. При этом не происходит значительного изменения в величине коэффициента газового усиления для стримерных сигналов. Их амплитуда уменьшилась всего на 10 % при выделившемся заряде 12 Кл/см.

3. Хотя с увеличением собранного заряда на проволочке изменяется соотношение между стримерными и пропорциональными сигналами, не было замечено уменьшение тока с детектора. Напротив, величина тока выросла на 20% к концу облучения, когда величина аккумулированного заряда была 12 Кл/см. Возрастание тока, повидимому, связано с увеличением шумовых импульсов, вызванных Малтер-эффектом на катоде.

4. Ширина плато счетной характеристики детектора, измеренная при пороге регистрации 9 мкА, уменьшилась с 450 В до 250 В при собранном заряде 3 Кл/см. Дальнейшее облучение не привело практически к уменьшению ширины плато.

5. Старение в стримерном режиме проявилось в ухудшении способности детектора переносить загрузки, которое выражается в изменении соотношения между стримерными и пропорциональными сигналами при увеличением аккумулированного заряда.

## ЛИТЕРАТУРА


1. ATLAS, Technical Proposal for a General-Purpose pp Experiment at the Large Hadron Collider at CERN, CERN/LHCC/94-43, LHCC/P2, 15 December 1994.
2. Progress Report on ATLAS Milestones. The ATLAS Collaboration. CERN/LHCC/94-22, 1994.
3. J.A.Kadyk, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A300, N3, 1991, p.436.
4. J.Vavra, Nucl. Instr. and Meth., A252, N3, 1986, p.547
5. A.Algeri et al., CERN-PRE/93-76, 22 Apr 1993 .
6. G.Alekseev et.al.,Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A292, N3, 1990, p.551.
7. Y.-X. Wang, G.Godfrey, Nucl. Instr. and Meth., A320(1992), p.238.
8. A.Korytov et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A338(1994), p.375
9. R.Openshaw et.al., Proc. Workshop on Radiation damage to Wire Chamber, LBL-21170, 1986, p.231.
10. A. den Boggende, A.Brikman and W. de Graaf, Journal of Sci. Instr's. (Journal of Physics E) 1969 Series 2, Vol.2, p.701
11. Malter L. - Phys.Rev., 1936, v.50, p.48.