

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Б-272

11/411-78

13 - 11651

5399/2-78

С.Г.Басиладзе, Л.Лохоняи

О ВОЗМОЖНОСТЯХ УНИФИКАЦИИ  
АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ  
ГОДОСКОПИЧЕСКИХ  
РЕГИСТРИРУЮЩИХ СИСТЕМ

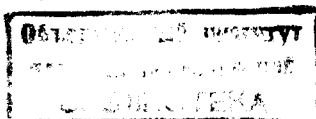
**1978**

13 - 11651

С.Г.Басиладзе, Л.Лохоняи

О ВОЗМОЖНОСТЯХ УНИФИКАЦИИ  
АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ  
ГОДОСКОПИЧЕСКИХ  
РЕГИСТРИРУЮЩИХ СИСТЕМ

*Направлено в ПТЭ и на II Всесоюзный симпозиум  
по модульным информационно-вычислительным  
системам, Дубна, 1978.*



Басклядзе С.Г., Лохонян Л.

13 - 11651

О возможностях унификации аналого-цифровых преобразователей годоскопических регистрирующих систем

Рассматриваются возможности схемной унификации преобразователей заряда, амплитуды и временных интервалов в цифровой код, построенных на основе промежуточного преобразования аналог - временной интервал. Теоретически оценены величины искажения в структурах, где небольшое количество кодировщиков обслуживает значительное число датчиков сигналов. На основе анализа выбраны наиболее рациональные варианты преобразователей для различных загрузок годоскопической системы. Показано, что данные структуры обеспечивают считывание только значащей информации, чем достигается значительное снижение времени накопления данных.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

В настоящее время получили широкое распространение годоскопические системы регистрации ядерных частиц, состоящие /рис. 1а/ из сравнительно большого количества детекторов. В системах т.н. первого типа<sup>1/</sup> каждый детектор, имея определенные геометрические размеры вдоль одной координаты или в плоскости, является непосредственным датчиком информации /количеством 1 бит/ о координате прохождения частицы через поверхность, образуемую детекторами годоскопа. В данной работе мы рассмотрим электронику годоскопических систем второго типа. В этих системах детекторы являются датчиками аналоговой информации /количество которой  $8 \div 10$  бит/ о каком-либо параметре зарегистрированной частицы. Этим параметром может быть:

- 1/ время поступления частицы,
- 2/ заряд /площадь/импульса с детектора,
- 3/ амплитуда импульса.

Первый случай характерен для время-координатных детекторов, используемых при измерении координаты, но с разрешением, существенно превышающим пространственное разрешение, определяемое геометрическими размерами детектора. К этим детекторам относятся:

- а/ сцинтилляционные детекторы по времени пролета /требуемое временное разрешение электроники -  $\Delta t = 0,1 \div 0,2$  нс/,
- б/ годоскопические ФЭУ<sup>2/</sup> / $\Delta t = 2 \div 4$  нс/,
- в/ дрейфовые камеры / $\Delta t = 1 \div 2$  нс/.

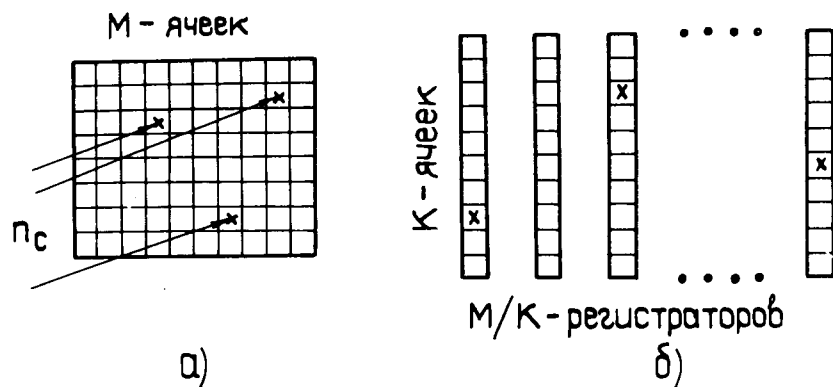


Рис. 1. Обобщенная схема годоскопического набора детекторов - а/ и разбиения каналов регистрации на группы - б/.

Измерение заряда производится в:

а/ сцинтилляционных годоскопах  $dE/dx$  /длительность импульсов -  $t_{и} = 5 \div 10$  нс/,

б/ многоканальных черенковских спектрометрах / $t_{и} = 50 \div 150$  нс/.

Основное их назначение - измерение энергетических потерь, однако используется также фиксация координаты попадания частицы<sup>/3/</sup>. Наконец, измерение амплитуд производится с выходов зарядочувствительных преусилителей годоскопических систем полупроводниковых детекторов / $t_{и} = 1 \div 2$  мкс/. Близки по структуре к годоскопическим также электронные системы измерения амплитуд импульсов с большого числа датчиков электрофизических установок /ускорителей, каналов частиц, магнитов/.

Мы начнем рассмотрение, исходя из следующих предположений. На годоскопическую систему детекторов /рис. 1а/, состоящую из М-ячеек /датчиков аналоговой информации/, в избранный системой запуска установки момент времени случайным образом падает некоторое число частиц, количество которых распределено по закону Пуассона со средней величиной  $n_c$ .

Величина сигналов с выходов детекторов имеет равновероятное распределение в некоторых пределах -  $\Delta A$  /в системах заряд-амплитуда/. Поскольку число датчиков велико, практически невозможно реализовать электронику годоскопа в одном блоке, поэтому производится разбиение датчиков на группы, содержащие в каждой по К детекторов /рис. 1б/. Объединение в группы можно производить согласно порядковым номерам; более целесообразно /в случае неравномерной загрузки годоскопа по площади/ объединять детекторы таким образом, чтобы среднее количество частиц, регистрируемое в каждой группе, было одинаковым и равным  $n_0 = n_c \cdot K/M$ . В силу того, что импульсы с детекторов имеют конечную длительность и электроника регистрации неидеальна, часть сигналов будет зарегистрирована с искажениями. Мерой вносимых искажений является эффективность регистрации, которую можно определить тремя различными способами:

- 1/ эффективность есть относительное число частиц, зарегистрированных без искажений,
- 2/ эффективность есть относительное число частиц, зарегистрированных только в тех запусках установки, в которых не было ни одного искажения,
- 3/ эффективность есть относительное число событий /запусков установки/, в которых регистрация происходила без искажений<sup>/4/</sup>.

В данной работе, так же как и в работе<sup>/5/</sup>, мы будем пользоваться первым определением эффективности ( $\epsilon'$ ). В этом случае, как показано в Приложении 1, эффективность годоскопа, регистрирующего  $n_c$  частиц, и эффективность его участка из К детекторов со средней загрузкой  $n_0 = n_c \cdot K/M$  частиц в запуске - равны между собой. Необходимые формулы для расчетов по второму определению приведены в Приложении 2.

Наличие операции аналого-цифрового преобразования как во временных, так и в зарядовых и в амплитудных измерителях естественным образом наводит на мысль<sup>/6/</sup> об унификации узлов преобразования в цифровой код. Очевидно, что наибольшая степень унификации достигается, если исходить из структур индивидуальных измерительных каналов, основанных на промежуточном преоб-

разовании аналог-время /рис. 2а,б/. Узлы такого промежуточного преобразования легко строятся для всех перечисленных выше годоскопических систем второго типа, причем обеспечивается высокая линейность /в том числе дифференциальная/; а при необходимости и нелинейная /с заданным законом/ шкала преобразования, в целях увеличения динамического диапазона измерителя.

Общим свойством годоскопических систем является то, что количество датчиков значительно превосходит число частиц, регистрируемых при каждом запуске, т.е.  $n_c \ll M$ . Следовательно, целесообразно найти такие структурные схемы регистрирующей электроники, в которых небольшое количество измерительных каналов в блоке (N) обслуживало бы значительное число датчиков /т.е. сделать  $N \ll K$ /. Отметим, что подобное обобщение измерителей требует фиксации номера сработавшего датчика.

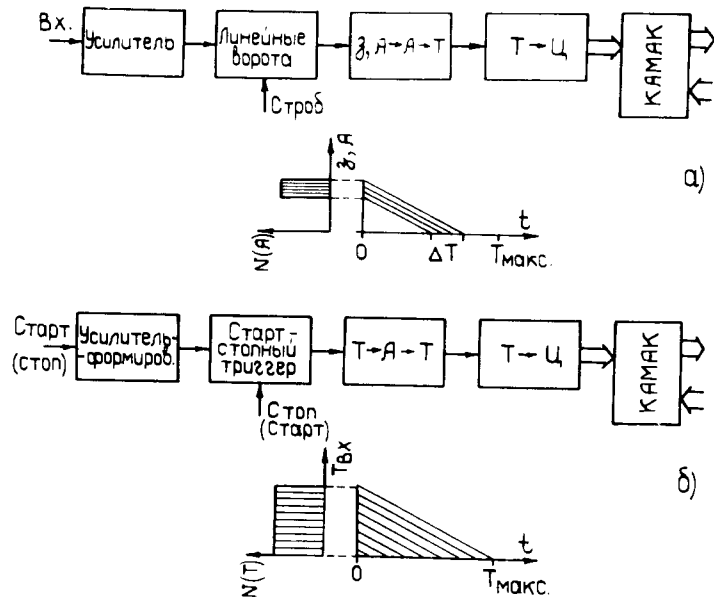


Рис. 2. Структурные схемы: а/ - канала для измерения зарядов и амплитуд импульсов; б/ - канала для измерения временных интервалов.

Наконец, третьей проблемой рационального проектирования электроники регистрации для годоскопических систем является создание таких схем считывания данных в накопитель /в ЭВМ/, которые позволяли бы читать уже закодированную в двоичный код аналоговую информацию и номера только  $n_c$  сработавших датчиков, а нулевые слова с оставшихся ( $M-n_c$ ) датчиков отфильтровывать до чтения.

Рассмотрим сначала проблему обобщения измерительных каналов в годоскопических системах с регистрацией заряда и амплитуды. Просмотрим ряд вариантов, начиная с тех, которые обеспечивают наибольший аппаратный выигрыш. Первым является вариант обобщения электроники сразу после индивидуальных усилителей датчиков. Его очевидным недостатком является понижение допустимых нагрузок годоскопа во столько раз, во сколько сокращается количество измерительной аппаратуры /за счет наложения сигналов в линейном сумматоре/. Введение индивидуальных линейных ворот /рис. 3а/ перед схемой линейного суммирования /организация аналогового коммутатора/, - широко применяемое при последовательных измерениях /последовательно идущих индивидуальных строб-сигналах/, не сообщает никаких положительных качеств, по сравнению с предыдущей структурой, в случае общего строб-сигнала, характерного для годоскопических систем.

В Приложении 2 выведена формула /П2.2/ для нахождения относительного количества частиц, поступающих в момент запуска со средней интенсивностью  $n_0$  и не превышающих в сумме заданного числа N. Эта формула справедлива при  $N=1$  для нахождения эффективности рассмотренных выше структур, поскольку появление двух частиц вызывает из-за наложения импульсов искажение информации об их величинах. Для  $N=1$  формула /П2.2/ преобразуется к виду:

$$\epsilon_D'' = e^{-n_0}, \quad /1/$$

откуда следует, что для обеспечения эффективности ~99÷98% необходимо, чтобы  $n_0 = 0,01 \div 0,02$ .

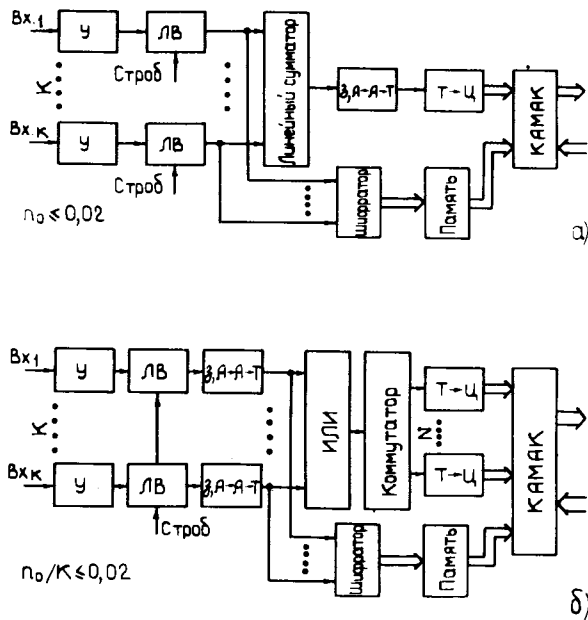


Рис. 3. Структурные схемы 3.А - регистраторов при различных нагрузках годоскопической системы.

Ситуация значительно улучшается, если объединение производить за узлами 3, А→А→Т /рис. 3б/. Количество частиц, проходящих на индивидуальные каналы, в К-раз меньше  $n_0$ , соответственно во столько же раз меньше вероятность наложений и, следовательно, согласно /1/, допустимая величина  $n_0 \approx 0,02 K \approx 0,3^*$ .

Наложение сигналов на выходах датчиков есть источник искажений, не зависящий от структуры электроники. Обобщение измерителей приводит к появлению дополнительных источников искажений за счет:

а/ наложения импульсов /длительностью  $t_{и}$ /, соответствующих окончанию временных интервалов преобразования в узлах 3, А→А→Т в схеме ИЛИ и в шифраторе

\*Предполагаем, что современная элементная база позволяет расположить до 16 ячеек 3, А→Т на одной плате КАМАК /7-9/.

номера сработавшего канала в двоичный код /рис. 3б/, б/ ограниченного быстродействия коммутатора /мертвое время -  $t_K$  /, переключающего импульсы со схемы ИЛИ поочередно на преобразователи Т→Ц, в/ ограниченного числа (N) преобразователей Т→Ц, г/ ограниченного разрешающего времени схемы памяти -  $\tau_{п}$ . В реальных схемах выполняется соотношение  $t_K \approx 2t_{и} \approx 4\tau_{п} \approx 10$  нс, поэтому звеном, определяющим потери, является коммутатор. Считая коммутатор счетной системой с продлевающимся мертвым временем /10/, в силу того, что длительность сигналов сравнима с  $t_K$ , получим ( $t_M = t_K$ ):

$$\epsilon'_K = e^{-n_0 \frac{t_M}{\Delta T}}, \quad /2/$$

где  $\Delta T$  - разброс моментов появления импульсов с выхода схемы ИЛИ, вызванный разбросом величин входных сигналов -  $\Delta A$ . Поскольку обычно  $\Delta A/A = \Delta T/T = 10 \div 20\%$  и считая, что  $A \geq 0,3 A_{\max}$ , имеем  $\Delta T \geq 0,03 \div 0,06 / T_{\max}$ . В реальных схемах наибольшее время преобразования  $T_{\max} \approx 10$  мкс, а  $t_K \approx 10$  нс, откуда  $\Delta T/t_K \geq 30$ . Если задаться эффективностью коммутатора  $\sim 99\%$ , то из графика рис. 4 можно видеть, что допустимая величина  $n_0 \leq 0,3$ . В работе /5/ выведена формула для нахождения просчетов /рис. 5/, вызванных ограниченностью числа преобразователей Т→Ц:

$$\epsilon'_N = \left(1 - \frac{N}{n_0}\right) \sum_{j=0}^{N-1} \frac{n_0^j}{j!} e^{-n_0} + \frac{N}{n_0} - \frac{n_0^{N-1}}{(N-1)!} e^{-n_0}. \quad /3/$$

Как видно из рис. 5, при  $n_0 \approx 0,3$  для обеспечения  $\epsilon'_N \sim 99\%$  необходимо выбирать  $N \approx 2$ .

Итак, для нагрузок  $n_0 \leq 0,3$  блок, имеющий 16 каналов преобразования 3, А→А→Т и 2 схемы Т→Ц, обеспечит эффективность  $\epsilon' = \epsilon'_D \cdot \epsilon'_K \cdot \epsilon'_N \geq 96\%$ , причем половину случаев искажений даст наложение импульсов на входах каналов.

Перейдем теперь к годоскопическим системам с измерителями времени. Их главное отличие состоит в том, что импульсы на входы поступают не одновременно, а в течение некоторого интервала времени /дрейфа, про-

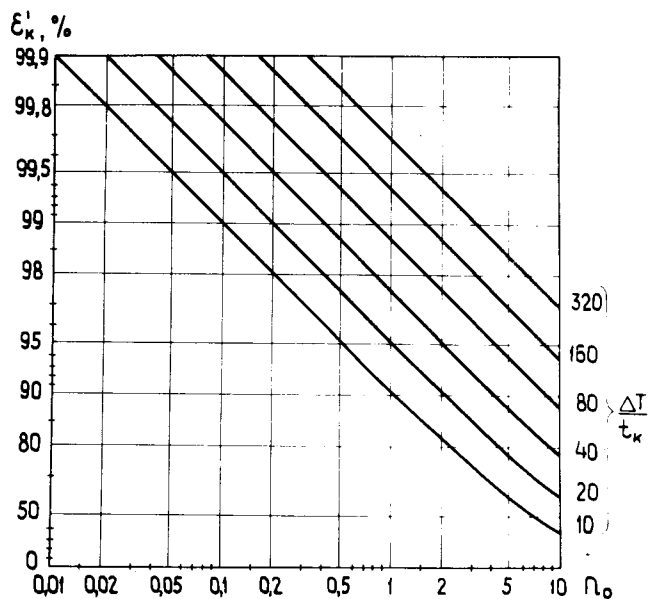


Рис. 4. Зависимость эффективности коммутатора сигналов /рис. 3б/ от загрузки годоскопической системы при различных величинах  $\Delta T/t_k$ .

лета/, значительно большего, чем длительность входных импульсов, что сильно снижает вероятность наложения импульсов на входах. Правда, в сцинтилляционных детекторах по времени пролета этот фактор еще не проявляется, т.к. интервал поступления импульсов  $\Delta T = 6 \div 10$  нс, а  $t_{и} \approx 5$  нс. Однако в годоскопических ФЭУ  $\Delta T/t_{и} = 8 \div 12$ , а в дрейфовых камерах это отношение еще выше -  $\Delta T/t_{и} = 10 \div 20$ . Поэтому, согласно /2/, считая  $t_{м} = t_{и}$  и задавшись  $\epsilon'_D = 99\%$ , получим допустимую величину  $n_0/K$  для детекторов по времени пролета  $\sim 0,02$ , для годоскопических ФЭУ  $\sim 0,1$ , и для дрейфовых камер  $\sim 0,1 \div 0,2$ .

Рассмотрим сначала случаи малых загрузок:  $n_0/K \leq 0,02$  /независимо от типа детектора/, т.е. когда вероятность поступления второй частицы в отдельный детек-

\* Использована формула /2/, а не /1/, поскольку даже в случае наложения первый из импульсов регистрируется.

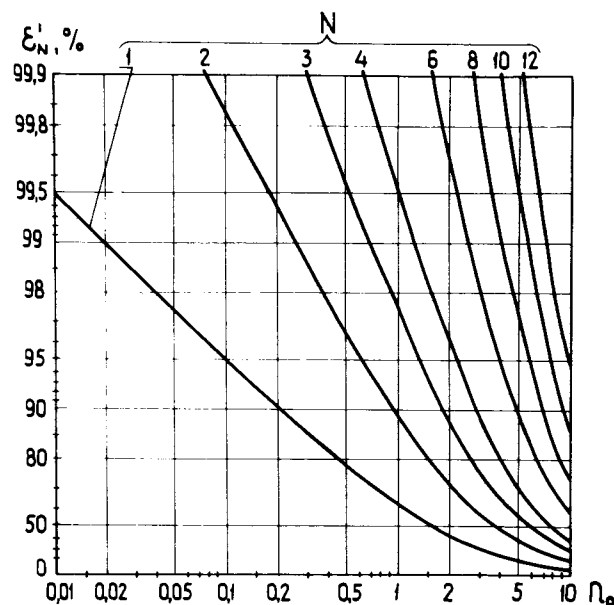


Рис. 5. Падение эффективности регистрации с увеличением загрузки годоскопической системы, связанное с ограниченным числом (N) измерителей в группе. Данные, так же как и на рис.4, для первого определения эффективности.

тор пренебрежимо мала. Ясно, по аналогии с рис. 3б, что в этом случае наиболее рационально структуру измерителя выбрать такой, как показано на рис. 6а. Меняя коэффициент трансформации временных экспандеров, легко обеспечить работу измерителя как с детекторами по времени пролета, так и с годоскопическими ФЭУ и дрейфовыми камерами. Более того, часть блока за экспандерами полностью совпадает с 3, А измерителем на рис. 3б, т.е. обеспечивается унификация. Отметим, что коммутатор в схеме рис. 6а вносит существенно меньше просчетов, чем в схеме на рис. 3б, т.к. импульсы с выхода схемы ИЛИ равномерно распределены во всем интервале  $0 \div T_{\text{макс}}$ , а не в  $10 \div 20\%$  его части /см. рис. 2/. Поэтому эффективность регистратора  $\epsilon' = \epsilon'_D \cdot \epsilon'_N \geq 98\%$ .

И, наконец, для случая  $n_0 \approx 0,1K \approx 1,5$  экспандеры необходимо ставить не на входах, а за коммутатором -

/рис. 66/. Поскольку  $\Delta T/t_K \approx 60$  /в дрейфовых камерах/, согласно /2/ эффективность коммутатора составит 98%. Из рис. 5 следует, что для  $n_0 \approx 1,5$  достаточно взять  $N=4$ , тогда  $\epsilon' = \epsilon'_K \cdot \epsilon'_N \geq 96\%$ .

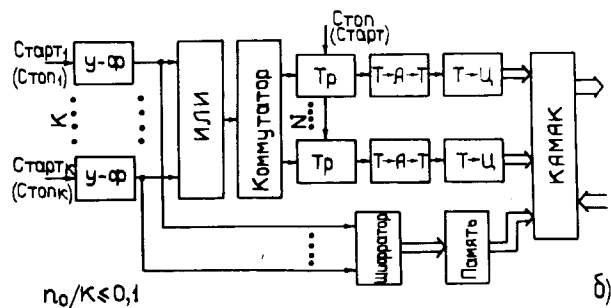
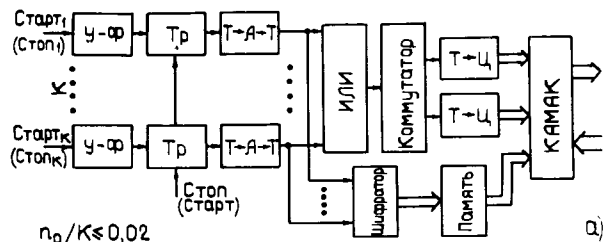


Рис. 6. Структурные схемы Т-регистраторов при различных загрузках годоскопической системы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показано, что:

1. Годоскопические системы детекторов обеспечивают эффективную регистрацию при загрузках до 1 частицы на 50 детектирующих ячеек. При этом возможна унификация электроники. Регистрирующий блок может состоять из сменных узлов, включающих в себя 16 пре-

образователей заряда, амплитуды или времени во временной интервал и одного унифицированного узла, содержащего 2 преобразователя время-цифра и схему запоминания номеров сработавших каналов.

2. Для дрейфовых камер электроника регистрации обеспечивает высокую эффективность при загрузках до 5 частиц на 50 проволочек. Структура блока регистрации в этом случае: 16 входов и 4 преобразователя в цифровой код с экспандерами - отвечает традиционно принятой. Повышение загрузок /~вдвое/ возможно при соответствующем снижении мертвого времени коммутатора /специальными схемными решениями/ и выбором структурной схемы: 16 входов и 8 преобразователей.

3. Двоичные числа в описанных регистраторах располагаются в регистрах узлов Т → Ц и в памяти в упорядоченном виде, поэтому легко организовывается чтение только значащей информации /до первого нулевого слова/.

## ПРИЛОЖЕНИЕ I

Пусть  $M$  датчиков годоскопической системы разбиты на группы, содержащие в каждой по  $K$  детекторов /всего  $M/K$  групп/. Введем следующие обозначения:  $p_i(j)$  - распределение количества регистрируемых в  $i$ -той группе частиц /  $i = 1, 2, \dots, M/K$  /;  $n_i$  - среднее количество частиц в  $i$ -той группе;  $n_i = \sum_{j=0}^{\infty} j \cdot p_i(j)$ ;  $f_i(j)$  - доля

зарегистрированных без искажения частиц в  $i$ -той группе как функция от общего количества  $j$ , попадающих в эту группу;  $g_i(j)$  - вероятность регистрации без искажения всех  $j$  частиц, попадающих в  $i$ -тую группу.

Для пояснения различия между  $f_i(j)$  и  $g_i(j)$  допустим, что  $i$ -тая группа подключается к системе, способной регистрировать  $N$  частиц. Для такого случая

$$f_i(j) = \begin{cases} 1 & \text{при } j \leq N, \\ N/j & \text{при } j > N, \end{cases} \quad g_i(j) = \begin{cases} 1 & \text{при } j \leq N, \\ 0 & \text{при } j > N. \end{cases} \quad /П.1./$$



Среднее число зарегистрированных без искажения частиц в  $i$ -той группе вычисляется суммированием всех  $j \cdot f_i(j)$  с весовыми коэффициентами  $p_i(j)$ , задающими вероятность появления ровно  $j$  частиц. Отношение этой суммы к среднему числу поступивших частиц и дает эффективность регистрации в  $i$ -той группе по первому определению:

$$\epsilon'_i = \frac{\sum_{j=0}^{\infty} j \cdot f_i(j) \cdot p_i(j)}{n_i} \quad /П1.1,а/$$

Подобным образом можно получить эффективность всей системы

$$\epsilon'_c = \frac{\sum_{i=1}^{M/K} \sum_{j=0}^{\infty} j \cdot f_i(j) p_i(j)}{\sum_{i=1}^{M/K} n_i} = \frac{\sum_{i=1}^{M/K} \epsilon'_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^{M/K} n_i} \quad /П1.1,б/$$

Если среднее число регистрируемых сигналов во всех группах одинаково, т.е.  $n_1 = n_2 = \dots = n_i = \dots = n_0$ , то эффективность системы:

$$\epsilon'_c = \frac{\sum_{i=1}^{M/K} \epsilon'_i \cdot n_0}{\sum_{i=1}^{M/K} n_0} = \frac{\sum_{i=1}^{M/K} \epsilon'_i}{M/K} \quad /П1.1,в/$$

представляет собой среднее арифметическое от эффективностей отдельных групп. Очевидно, что при равных условиях, т.е. когда все  $p_i(j) = p(j)$  и все  $f_i(j) = f(j)$ , то эффективности всех групп равны между собой и равны также эффективности всей системы.

Общая формула для вычисления эффективности регистраций в  $i$ -той группе по второму определению записывается в виде

$$\epsilon''_i = \frac{\sum_{j=0}^{\infty} j \cdot g_i(j) p_i(j)}{n_i} \quad /П1.2/$$

Она отличается от формулы для  $\epsilon'_i$  заменой  $f_i(j)$  на  $g_i(j)$ . В связи с этим учитываются только те частицы, которые были зарегистрированы в запусках с полным отсутствием искажений в  $i$ -той группе.

При выводе общей формулы эффективности регистрации всей системы по второму определению нужно иметь в виду, что с точки зрения системы не все частицы  $\epsilon''_i \cdot n_i$  отдельных групп должны быть учтены, а только те, при регистрации которых и во всех остальных группах регистрация происходит без искажения. Вероятность последнего есть произведение вероятностей неискаженной регистрации во всех группах, за исключением рассматриваемой. Итак, вклад  $i$ -той группы выражается формулой:

$$\left[ \sum_{j=0}^{\infty} j \cdot g_i(j) p_i(j) \right] \frac{\prod_{i=1}^{M/K} \sum_{j=0}^{\infty} g_i(j) p_i(j)}{\sum_{j=0}^{\infty} g_i(j) p_i(j)} \quad /П1.3/$$

а отношение суммы вкладов отдельных групп к среднему числу поступивших на систему частиц и дает эффективность регистрации всей системы по второму определению:

$$\epsilon''_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^{M/K} n_i} \cdot \left[ \sum_{i=1}^{M/K} \frac{\sum_{j=0}^{\infty} j \cdot g_i(j) p_i(j)}{\sum_{j=0}^{\infty} g_i(j) p_i(j)} \right] \cdot \left[ \prod_{i=1}^{M/K} \sum_{j=0}^{\infty} g_i(j) p_i(j) \right] \quad /П1.4/$$

Если система разбита на идентичные группы, т.е. все  $p_i(j) = p(j)$  и все  $g_i(j) = g(j)$ , то последняя формула примет вид:

$$\epsilon''_c = \left[ \sum_{j=0}^{\infty} g(j) p(j) \right]^{M/K - 1} \cdot \epsilon''_i \quad /П1.5/$$

Ввиду того, что выражение в квадратных скобках меньше единицы /оно равно единице только при  $g(j) = 1$  для всех  $j$  /, эффективность системы меньше эффективности участка при пользовании вторым определением.

Наконец, приводим формулы эффективности регистрации по третьему определению

$$\epsilon_i''' = \sum_{j=0}^{\infty} g_i(j) p_i(j), \quad /П1.6,а/$$

$$\epsilon_c''' = \prod_{i=1}^{M/K} \sum_{j=0}^{\infty} g_i(j) p_i(j). \quad /П1.6,б/$$

Если все  $p_i(j) = p(j)$  и все  $g_i(j) = g(j)$ , то

$$\epsilon_c''' = [\epsilon_i''']^{M/K}. \quad /П1.6,в/$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

П2.1. Эффективность регистрации  $N$ -канального измерителя /по второму определению/.

На измеритель поступает поток частиц, распределение количества которых подчиняется закону  $p(j) = \frac{n_0^j}{j!} e^{-n_0}$ .

Вероятность регистрации всех поступивших частиц без искажения есть

$$g(j) = \begin{cases} 1 & \text{для } j \leq N, \\ 0 & \text{для } j > N. \end{cases} \quad /П2.1/$$

Эффективность тогда выражается формулой

$$\epsilon_N'' = \frac{\sum_{j=0}^{\infty} j \cdot g(j) p(j)}{n_0} = \frac{\sum_{j=1}^N j \cdot \frac{n_0^j}{j!} e^{-n_0}}{n_0} = \sum_{j=0}^{N-1} \frac{n_0^j}{j!} e^{-n_0}. \quad /П2.2/$$

П2.2. Эффективность регистрации коммутатора /по второму определению/.

На коммутатор, имеющий мертвое время  $t_k$ , поступают импульсы, распределенные равномерно в интервале времени  $\Delta T$ . Количество их меняется согласно распределению Пуассона со средним  $n_0$ .

Если в некотором запуске хоть один сигнал поступает на вход коммутатора в течение мертвого времени, то все сигналы этого запуска следует считать недействительными с точки зрения второго определения эффективности. Вероятность регистрации без искажения всех поступивших за время  $\Delta T$  сигналов:

$$g(j) = \begin{cases} [1 - (j-1) \frac{t_k}{\Delta T}]^j & \text{для } j \leq \frac{\Delta T}{t_k} + 1, \\ 0 & \text{для } j > \frac{\Delta T}{t_k} + 1. \end{cases} \quad /П2.3/$$

Выражение  $(j-1)t_k / \Delta T$  представляет собой относительное мертвое время, создаваемое  $(j-1)$  импульсами; поэтому  $[1 - (j-1)t_k / \Delta T]$  есть вероятность  $j$ -тому импульсу не попасть в мертвое время остальных. Ввиду независимости моментов поступления отдельных импульсов полная вероятность вычисляется путем возведения в степень  $j$ .

Подставляя  $g(j)$  в общее выражение /П1.2/ для эффективности по второму определению, имеем:

$$\epsilon_k'' = \frac{1}{n_0} \sum_{j=0}^{\infty} j \cdot g(j) p(j) = \frac{1}{n_0} \sum_{j=0}^{\frac{\Delta T}{t_k} + 1} j \frac{n_0^j}{j!} e^{-n_0} \times \\ \times [1 - (j-1) \frac{t_k}{\Delta T}]^j = \sum_{j=0}^{\frac{\Delta T}{t_k}} \frac{n_0^j}{j!} e^{-n_0} (1 - j \frac{t_k}{\Delta T})^{j-1}. \quad /П2.4/$$

На рис. 7 и 8 представлены графики зависимостей  $\epsilon_k''(n_0, \Delta T/t_k)$  и  $\epsilon_N''(n_0, N)$ , иллюстрирующие количественное различие величин эффективностей по первому и второму определениям /ср. с рис. 4 и 5/.

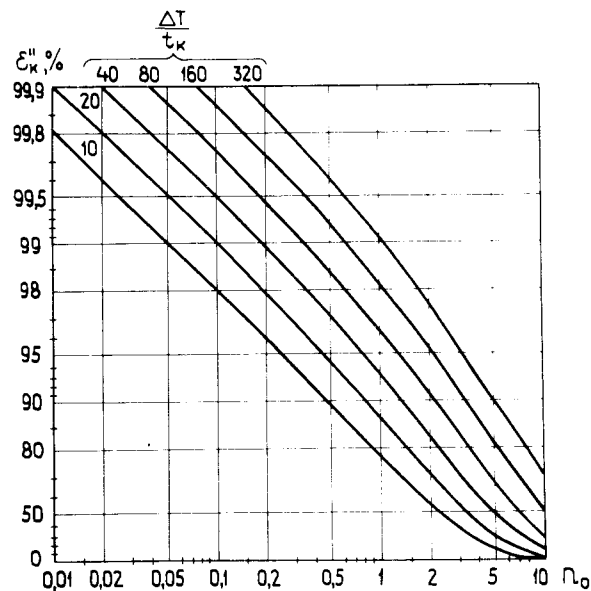


Рис. 7. Зависимость  $\epsilon''_{\kappa}$  от величины  $n_0$ , при различных  $\Delta T/t_{\kappa}$ .

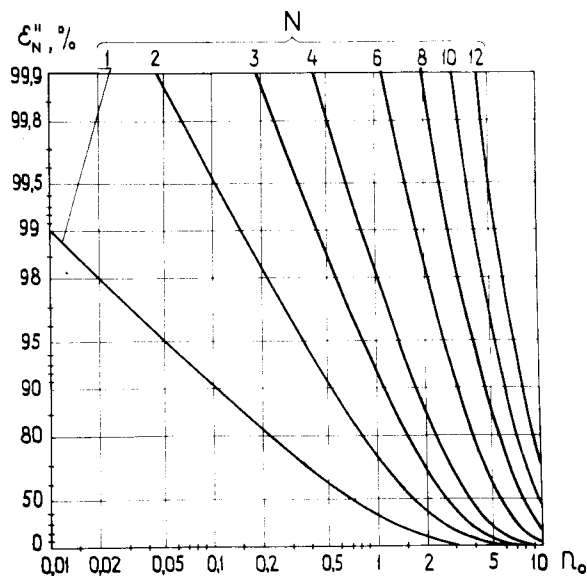


Рис. 8. Зависимость  $\epsilon''_N$  от величины  $n_0$  при различных  $N$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Басиладзе С.Г., Смирнов В.А., Юдин В.К. ПТЭ, 1977, №4, с.97.
2. Васильченко В.Г. и др. Препринт ИФВЭ, ДЭФ 77-57, Серпухов, 1977.
3. Khachaturian M.N., Melkumov G.L. JINR, E1-9463, Dubna, 1976.
4. Sauli F. CERN NP Intern. Report 73-12, August, 1973.
5. Басиладзе С.Г., Тлачала В. ПТЭ, 1977, №4, с.114.
6. Kirsten F. Труды Международного совещания по методике проволочных камер. ОИЯИ, Д13-9164, Дубна, 1975.
7. CERN Courier, 1977, No. 5, p.174.
8. CERN Courier, 1977, No. 9, p.309.
9. CERN Courier, 1977, No. 11, p.401.
10. Гольданский В.И. и др. Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц. Физматгиз, М., 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 июня 1978 года.