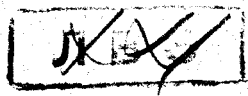


T-49



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

13 - 10540

Веслав ТЛАЧАЛА

СХЕМЫ НАНОСЕКУНДНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ
ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Специальность 05.11.10 - Приборы для измерения
ионизирующих излучений и рентгеновские приборы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Дубна 1977

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

С.Г. Базиладзе .

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Ю.К. Акимов ,

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

В.И. Рыкалин.

Ведущее предприятие -

Физический институт
им.П.Н.Лебедева АН СССР

Защита состоится " " 1977 г

в час. на заседании Специализированного совета Д.047.01.05 при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна)

Автореферат разослан " " 1977 г

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь совета
кандидат физико-математических наук

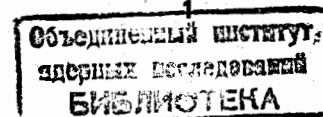
Ю.В. Таран

Для современной экспериментальной ядерной физики характерно решение многих задач на основе временных измерений и пространственно-временной селекции. Постановка эксперимента для решения таких задач во многом зависит от применяемых детекторов ядерного излучения и их реальных характеристик, которые, в свою очередь, обуславливают требования к электронной регистрирующей аппаратуре.

В настоящее время точность измерения интервалов времени находится в субнаносекундном диапазоне, а пространственная точность регистрации частиц составляет около 0,1 мм. Столь высокие характеристики стали возможны благодаря высоким параметрам современных детекторов ионизирующих излучений, в том числе временных сцинтилляционных детекторов и дрейфовых камер.

Развитие интегральной схемотехники коренным образом изменило структуру современного физического эксперимента. С одной стороны, повышение надежности детекторной электронной аппаратуры на интегральных схемах позволяет увеличить сложность выполняемых с её помощью функций. С другой стороны, увеличение количества регистрирующей аппаратуры, при ограниченных возможностях экспериментаторов, предопределило широкое внедрение средств вычислительной техники в экспериментальные установки. ЭВМ в настоящее время не только накапливают информацию, они активно "участвуют" в проведении эксперимента, заменяя экспериментатора в выполнении трудоемких однотипных работ.

Указанные тенденции заставили по-новому решать схемные вопросы электроники наносекундного диапазона. Схемы наносекундного диапазона создаются в настоящее время в виде автономных приборов в модульном исполнении, способных работать отдельно либо с обменом данными с ЭВМ. В каждом модуле можно выделить быстродействующую часть, управляемую цифровым способом, и узел для осуществления связи с системой и далее с ЭВМ.



Данная диссертация посвящена вопросам разработки детекторной электроники наносекундного диапазона и рассмотрению быстродействующих электронных схем, которые реализованы в основном на интегральных схемах. Рассматриваемые модули выполнены в стандарте КАМАК и предназначены для временных измерений и пространственно-временной селекции. Приводится анализ работы схем, сравнение их с существующими приборами, даются основные характеристики и применения модулей. В основу диссертации положены работы, выполненные автором в течение 1971-1975 гг в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

В I-й главе, обзорной, рассмотрены методы временных измерений и пространственно-временной селекции в субнаносекундном и наносекундном диапазонах. Описываются временные характеристики сцинтилляционных детекторов. Анализируются процессы в пластических сцинтилляторах и временных фотоумножителях, от которых зависит их быстродействие и точность временных измерений. Указаны основные направления исследований по улучшению этих характеристик. Приводятся параметры лучших экземпляров сцинтилляторов и ФЭУ. На основе физических свойств сцинтилляционных детекторов дается сравнение запуска счетчиковой электроники от постоянной части амплитуды импульса с запуском по переднему фронту.

Далее коротко рассматривается метод совпадений и его роль в физическом эксперименте. Метод совпадений является основным инструментом исследования пространственно-углового распределения частиц и позволяет проводить временную селекцию с высокой точностью. Указана роль метода задержанных совпадений во временных измерениях, проводимых с помощью дрейфовых камер. Отмечены основные параметры электронных схем в экспериментах по методу совпадений.

Последний раздел первой главы посвящен дрейфовым камерам, которые стали широко применяться в последние 2 + 3 года в качестве координатного детектора благодаря высокому пространственному разрешению. Рассмотрены подробно основные характеристики дрейфовых камер и указаны требования к электронике для них.

Вторая глава посвящена описанию времяпролетной электроники, предназначенной для работы в субнаносекундном диапазоне, а именно формирователя со следящим порогом^{/1,2/}, время-амплитудного конвертора^{/3,4,5/} и преобразователя время-цифра^{/6/}.

Точность временных измерений в субнаносекундном диапазоне зависит от способа привязки к импульсу ФЭУ. Применение в формирователе запуска от постоянной части амплитуды импульса ФЭУ позволило осуществить временную привязку с учетом физических свойств ФЭУ. Для импульса с ФЭУ ХР1020 с длительностью фронта 2,5 нс получено "гуляние" ± 100 пс в диапазоне 60:1. Связи по пути прохождения сигнала выполнены в схеме формирователя по постоянному току, что позволяет работать в широком диапазоне длительностей фронтов входных импульсов от 2 до 100 нс и обеспечивает высокое быстродействие (до 60 МГц) прибора. В формирователе имеется возможность управления от ЭМ в широких пределах длительностью выходного сигнала и его включением-выключением.

В схеме время-амплитудного конвертора принята старт-стопная логика работы. Обеспечение связей по постоянному току по пути прохождения сигнала позволяет работать без сдвигов уровней при повышенных (до 0,8 МГц) нагрузках. Собственное разрешение схемы составляет 10 пс. В схеме конвертора приняты меры по уменьшению времени восстановления схемы преобразования и предусмотрена блокировка стоп-входа со стороны старт-канала. Имеется возможность управления от ЭМ коэффициентом преобразования и включением-выключением. По каналу непосредственного измерения возможно измерение ширины импульсов от 20 нс до 10 мс.

Важным преимуществом формирователя со следящим порогом и время-амплитудного конвертора является то, что они реализованы в стандарте КАМАК (механическое исполнение и уровни напряжений питания). Это обеспечило их унификацию по отношению к цифровой электронике физических установок.

В этой главе также проведен анализ способа кодирования временных интервалов на основе метода прямого счета с нониусным методом в качестве интерполятора. Указаны недостатки, следующие из простого объединения обоих методов. Предложено /7/ сочетание метода прямого счета и нониусного метода, отличающееся удвоенной частотой старт-генератора, что позволило достичь непрерывности временной шкалы измерений при сохранении высокого разрешения.

На основе предложенного метода кодирования временных интервалов разработан преобразователь время-цифра /6/ наносекундного диапазона (рис.1) со связью с ЭМ в системе КАМАК (сигналы, функции, команды). Достоинством прибора является пикосекундное, на уровне ~ 100 пс, временное разрешение и большое число разрядов (2^{16}), а также непрерывная временная шкала преобразования. Диапазон кодирования можно неограниченно увеличивать за счет подключения внешнего счетчика периодов. Прибор реализован на интегральных схемах.

Разработанные схемы используются как стандартная аппаратура в физических установках ЛВЭ ОИЯИ. Формирователь со следящим порогом и время-амплитудный конвертор применялись в спектрометре с время-координатной компенсацией для больших сцинтилляторов.

В настоящее время времяпролетная электроника является частью аппаратуры, предназначенной для исследования закономерностей масштабно-инвариантного взаимодействия релятивистских ядер.

Преобразователь время-цифра входил в состав как стендовой,

так и электронной аппаратуры установки "Альфа", предназначенной для исследования упругого рассеяния адронов и релятивистских ядер. С помощью этого ВШ совместно с другими модулями, работающими на линии с ЭМ, снимались временные спектры сигналов проволочек пропорциональной камеры.

Третья глава посвящена описанию схем программно-управляемой электроники наносекундного диапазона; формирователю импульсов /8,9/ (рис.2) и двоенному, логическому блоку задержки /9,10/ (рис.3).

Важной частью формирователей являются одновибраторы, задающие временные интервалы. Предложена классификация /11/ известных быстрых одновибраторов, которая учитывает их схемные различия по типу времязадающего элемента и способу его включения, различия по виду запуска, а также различия по величине мертвого времени и типу логики работы. Приводятся количественные оценки характеристик сравниваемых одновибраторов с учетом параметров интегральных схем серии К138. Классификация позволила проанализировать варианты и выбрать оптимальную схему, с точки зрения применимости её в формирователе импульсов наносекундного диапазона.

На основе выбранного одновибратора разработан узел задания длительностей выходного сигнала формирователя. Он отличается широкими возможностями изменения логики работы. Его достоинствами являются также широкий динамический диапазон, наличие электронной регулировки и плавного изменения выходной длительности.

Описанный узел задания длительности сигналов был применен в схеме универсального формирователя наносекундного диапазона, разработанного на интегральных схемах. Формирователь обладает высокой чувствительностью, 20 мВ, что позволяет использовать ФЭУ в одноэлектронном режиме. Особенностью формирователя является то, что он представляет собой полный временной канал с управляемыми

от ЭВМ (63 градации) порогом, задержкой и длительностью выходного сигнала. Регулировка порога, задержки и длительности выходного сигнала позволяет подобрать оптимальные условия работы временного канала ФЭУ, шаг регулировки составляет ~ 40 мВ и 1 нс соответственно. Линейное управление от ЭВМ длительностью выходного сигнала обеспечено благодаря применению цифро-аналогового преобразователя с гиперболической передаточной характеристикой. Управление от ЭВМ реализовано в системе КАМАК. У формирователя имеются широкие возможности изменения режима его работы. Путем внутренних переключений формирователь можно настроить на следующие режимы работы:

- а) с блокировкой входа на время длительности выходного сигнала;
- б) с продлением выходного сигнала по приходе вторичного входного импульса - для использования в каналах антисовпадений;
- в) с продлением выходного сигнала после прерывания его на 5 нс, по приходе вторичного входного импульса - для снижения просчетов в каналах совпадений при больших нагрузках;
- г) с заданием длительности выходного сигнала, равной большей из длительности входного импульса между уровнями порогов срабатывания и отпускания входного триггера Шмитта и длительности импульса, заданной регистром.

Существенными преимуществами разработанного сдвоенного наносекундного блока задержки с программным управлением являются уменьшенные в несколько раз габариты и повышенная надежность. Это особенно важно, если учесть, что удельный вес блоков задержки составляет 30% от общего объема аппаратуры во временных каналах. В разработанном блоке задержки получены столь высокие показатели благодаря реализации схемы задержки только на интегральных схемах, без применения коаксиальных кабелей и механических реле. Для этого была разработана специальная ячейка задержки на 8 нс. Такое решение,

при всех указанных преимуществах, позволило сохранить высокое быстродействие блока (80 МГц) и управление задержкой в диапазоне $0 + 63$ нс с шагом 1 нс. Управление от ЭВМ реализовано в блоке в системе КАМАК.

Описанные разработки обеспечили аппаратную основу автоматизации управления временными каналами экспериментальных установок ЛВЭ ОИЯИ. В установке "Альфа" они позволили провести комплексное исследование пропорциональных камер. В установке магнитного искрового спектрометра БИС управляемый формирователь заменяет в каждом временном канале несколько ранее используемых приборов. Введение цифровой обратной связи от ЭВМ к электронной аппаратуре позволило качественно изменить постановку экспериментов. С помощью программно управляемых модулей были автоматизированы трудоемкие работы, связанные с подбором оптимальных условий работы временных трактов, а также осуществлен контроль за правильностью их работы во время эксперимента.

Для эффективного использования рассмотренных модулей в ЛВЭ ОИЯИ созданы соответствующие программы для их применения на линии с ЭВМ БЭСМ.

В модулях формирователя и управляемого блока задержки для удобства работы предусмотрено также ручное управление с передней панели и индикация состояний управляющих регистров на передней панели.

Четвертая глава посвящена описанию электроники для дрейфовых камер: шестиканальному преобразователю время-цифра /12/ и 32-входному преобразователю время-цифра /13/ (рис.4 и 5).

Так как в дрейфовую камеру может попадать одновременно несколько частиц, для каждой из которых необходимо измерить время дрейфа, то необходимы специальные многоканальные преобразователи время-цифра, работающие в мультистопном режиме.

В шестиканальном преобразователе время-цифра используются схемы кодирования интервалов времени на основе временного экспандера в каждом канале. Прибор имеет один общий старт-вход, шесть индивидуальных стоп-входов и быстрый вход внешнего сброса. Схема отличается повышенной стабильностью коэффициента преобразования в результате принятых мер по стабилизации токов заряда и разряда трансформирующей емкости, а также высокой интегральной линейностью преобразования порядка 0,17% и дифференциальной на уровне 3%. Уменьшенная до 1 нс ширина канала преобразователя, выделяет его среди аналогичных приборов для дрейфовых камер и позволяет работать с камерами с пространственным разрешением порядка 50 мкм. Возможность уменьшения ширины канала преобразователя до 100 пс позволяет использовать его во времяпролетной технике. Модуль может быть использован и для измерений с шириной канала свыше 1 нс.

Для годоскопических систем обычно число сработавших измерительных каналов составляет несколько процентов от общего их числа. Эти системы, и в частности дрейфовые камеры, целесообразно снабжать кодировщиками, которые обслуживают целую группу измерительных каналов. Для таких задач на основе шестиканального кодировщика разработан 32-входовой преобразователь время-цифра. Особенностью этого прибора является коммутатор любого из 32 входных сигналов последовательно на 6 каналов схемы кодирования время-цифрового преобразователя в порядке очередности их поступления. Распределение входных сигналов сопровождается шифровкой номера, сработавшего в памяти прибора.

Применение коммутатора входных импульсов и шифратора номера канала регистрации на входе системы из нескольких кодировщиков оказывает влияние на уровень просчетов в данной системе. Для определения полного коэффициента просчетов в системе "дрейфовая каме-

ра-измерительная аппаратура" необходимо учесть следующих четыре фактора: а) просчеты за счет конечной длительности сигналов с проволок; б) просчеты за счет наложения друг на друга укороченных сигналов, поступающих одновременно с различных проволок на вход элемента ИЛИ; в) просчеты, возникающие из-за мертвого времени коммутатора; г) просчеты, возникающие из-за ограниченного числа измерительных каналов. Неэффективность регистрации событий определяется мертвым временем кодировщиков время-цифра и временем передачи данных в накопительное устройство.

Описанные разработки использовались для регистрации информации с дрейфовых камер, применяемых в установке "Альфа". Их связь с ЭММ реализована в системе КАМАК.

На рис.6 представлен общий вид разработанных модулей.

Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом:

1. Разработан набор модулей для времяпролетных измерений субнаносекундного диапазона, которые превосходят по быстродействию и динамическому диапазону известные из литературы приборы. Модули реализованы в стандарте КАМАК.
2. Предложен широкодиапазонный метод преобразования временных интервалов в цифровой код. Достоинством его является обеспечение непрерывной шкалы при сочетании преимуществ метода прямого счета и нониусного метода.
3. Разработан преобразователь время-цифра на основе предложенного метода кодирования временных интервалов. Достоинством прибора является пикосекундное временное разрешение и большое число разрядов, а также возможность неограниченного увеличения диапазона измерения за счет подключения внешнего счетчика. Прибор реализован на интегральных схемах, связь с ЭММ - в системе КАМАК.
4. Предложена классификация одновибраторов на интегральных схе-

мах с эмиттерной связью. На её основе проведен анализ вариантов существующих схем быстрых одновибраторов, выбрана наиболее пригодная схема для универсального наносекундного формирователя импульсов.

5. Разработан универсальный формирователь наносекундного диапазона на интегральных схемах. Достоинством формирователя является то, что он представляет собой полный временной канал с управляемыми от ЭВМ порогом, задержкой и длительностью выходного сигнала, с широкими возможностями изменения режима работы. Управление от ЭВМ реализовано в системе КАМАК. К моменту разработки данного формирователя подобные схемы отсутствовали и появляющиеся сейчас разработки не перекрывают по своим возможностям разработанной схемы.

6. Разработан двоянный логический блок задержки наносекундного диапазона на интегральных схемах. Существенным отличием блока являются уменьшенные в несколько раз габариты и повышенная надежность в результате реализации схемы задержки только на интегральных схемах, без применения коаксиальных кабелей и механических реле. Блок имеет малый шаг приращения задержки — 1 нс и высокое быстродействие — 80 МГц.

7. Проведен анализ просчетов в многовходовой системе, содержащей несколько каналов копирования временных интервалов. Выведена формула для расчета просчетов за счет ограниченного числа измерительных каналов в системе, и на её основе представлены графики зависимостей данного коэффициента просчетов в функции числа измерительных каналов. Приведены количественные оценки остальных видов просчетов. Выведены соотношения для расчета неэффективности регистрации событий.

8. Разработаны многоканальные кодировщики временных интервалов для прецизионных камер: шестиканальный преобразователь время-цифра, и 32-входовой преобразователь время-цифра. Достоинством кодировщи-

ков является возможность работы с прецизионными камерами, обладающими повышенным пространственным разрешением на уровне 50 мкм. Преобразователи могут работать с шириной канала 100 пс и использоваться в технике по времени пролета. Приборы реализованы на интегральных схемах со связью с ЭВМ в системе КАМАК.

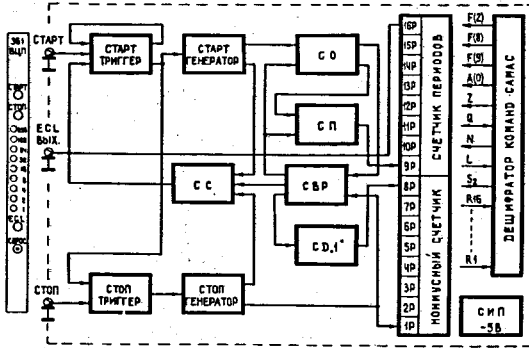
9. Результатом перевода аппаратуры на интегральные схемы и применения новых технических решений является не только увеличение надежности и обеспечение управления от ЭВМ; достигнуто также значительное увеличение плотности размещения измерительных каналов. Для наносекундной логики она составляет 20 каналов/крейт, для каналов временных измерений порядка 120 каналов/крейт. Таким образом, снижение габаритов аппаратуры по сравнению с традиционными решениями составило $6 + 10$ раз.

10. На описанных модулях построена электроника запуска, узлы автоматического управления временными каналами и временные спектрометры физических установок ЛВЭ ОИИИ, в частности установки: по изучению закономерностей масштабно-инвариантного взаимодействия релятивистских ядер, для исследования упругого и квазиупругого рассеяния адронов и релятивистских ядер, магнитного искрового спектрометра, спектрометра с время-координатной компенсацией для больших сцинтилляторов. Разработанные модули переданы в мелкосерийное производство и нашли применение в других Лабораториях ОИИИ, а также научно-исследовательских институтах СССР и ШПР.

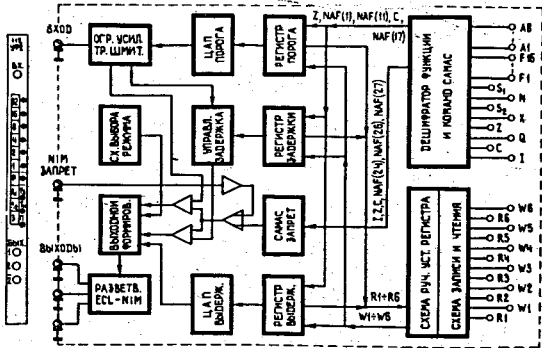
11. Описанные разработки могут быть использованы и в неядерных научных исследованиях. В настоящее время, например, схемы формирователей со сдвигающим порогом готовятся к использованию в исследованиях по программе "Интеркосмос".

Основные работы, изложенные в диссертации, докладывались на международных симпозиумах по ядерной электронике в Будапеште (1973 г) и Дубне (1975 г); на международном совещании по методике

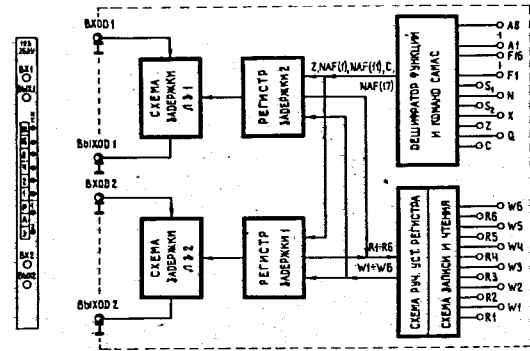
проволочных камер в Дубне (1975 г), опубликованы в ведущих советских и зарубежных журналах и препринтах ОИЯИ /I+I3/



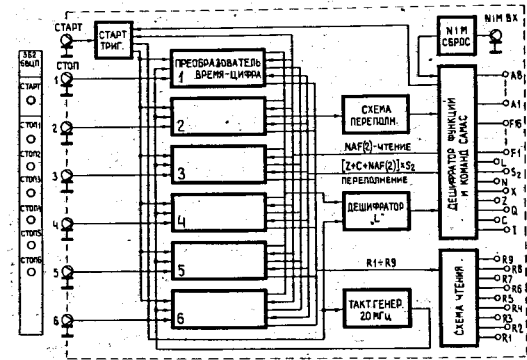
1. Блок-схема широкодиапазонного преобразователя с пикосекундным разрешением - ВЦП-361; СО - схема отбора четных и нечетных импульсов стар-генератора, СП - схема пропускания, СС - схема совпадений, СВР - схема выбора режима, СД"1" - схема добавки "1" в 8 разряд, СИП - стабилизированный источник - "5В".



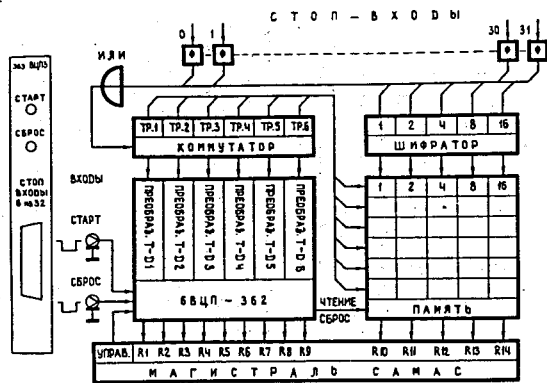
2. Блок-схема управляемого формирователя импульсов наносекундного диапазона - УФ2-112.



3. Блок-схема двоянного управляемого логического блока задержки наносекундного диапазона - 2БЗУ-123.



4. Блок-схема шестиканального преобразователя время-цифра - 6ВЦП-362.



5. Блок-схема 32-входового преобразователя время-цифра для преиловых камер; Ф - входной формирователь.



6. Общий вид разработанных модулей для пространственно-временных измерений в стандарте КАМАК.

Л и т е р а т у р а

- I. В.Тлачала, С.Г.Басиладзе. Nukleonika, Т.ХУП, №11, 607, 1972.
2. С.Г.Басиладзе, В.Тлачала. ПТЭ, №5, 128-131, 1973; ОИИИ, 13-6852, Дубна, 1972.
3. С.Г.Басиладзе, В.Я.Гвоздев, П.К.Маньяков, В.Тлачала. ОИИИ, 13-6382, Дубна, 1972.
4. S.G.Basiladze, V.I.Gvozdev, I.F.Kolpakov, F.K.manjakov and V.Tlachala. Nucl.Instr. and Meth., 106, 157 + 160, 1973; ПТЭ, № 3, 88-92, 1973.
5. С.Г.Басиладзе, В.Я.Гвоздев, И.Ф.Колпаков, П.К.Маньяков, В.Тлачала. ОИИИ, 13-6383, Дубна, 1972.
6. С.Г.Басиладзе, В.Тлачала, В.А.Смирнов. Nukleonika, № 9, 777, 1974; ПТЭ, №6, 86, 1974; ОИИИ, 13-7608, Дубна, 1973.
7. С.Г.Басиладзе, В.Тлачала. Nukleonika, Т.ХХ, №6, 551, 1974.
8. В.Тлачала, С.Г.Басиладзе. Nukleonika, Vol.20, No 5, 457, 1975; ПТЭ, №4, 96, 1975; ОИИИ, 13-8336, Дубна, 1974.
9. S.G.Basiladze, Li Van Sun, A.N.Parfionov, W.Tlachala. Nucl.Instr. and Meth., 130, 301, 1975.
10. В.Тлачала, С.Г.Басиладзе. Nukleonika, Vol.19, No 9, 785, 1974; ПТЭ, №6, 83, 1974; ОИИИ, 13-7601, Дубна, 1974.
11. С.Г.Басиладзе, В.Тлачала. ОИИИ, 13-7166, Дубна, 1973.
12. С.Г.Басиладзе, В.Тлачала. Nukleonika, Vol.20, No 10, 937, 1975; ПТЭ, №5, 78, 1975; ОИИИ, 13-8609, Дубна, 1975.
13. С.Г.Басиладзе, В.Тлачала. Электроника преиловых камер. В кн. Международное совещание по методике проволочных камер. Дубна, ДПЗ-9164, 256, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел

30 марта 1977 года