

# СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ПРИ ДОСТИЖЕНИИ МАКСИМАЛЬНЫХ РАБОЧИХ НАПРЯЖЕНИЙ. ЧАСТЬ 2.

Гусев С. С.  
(ПАО Ростелеком, Москва)

*Аннотация. Целью данной работы является разработка программных и технических средств, их дальнейшее внедрение в систему, как отдельно составляющего узла всей системы, и в конечном итоге - проведение физических экспериментов на ускорителе на каскадном генераторе КГ-2,5 с регистрацией основных параметров в режиме реального времени. Разработка программных средств на языке Turbo Pascal 7.1 и внедрение в систему IBM PC дает возможность перевода системы на частичный автоматический режим работы ускорителя, а затем дальнейшее усовершенствование системы позволит полностью перевести ее на полный автоматический режим.*

Ключевые слова: линейный ускоритель, каскадный генератор, эксперименты, алгоритм, система регистрация параметров.

## 1. Введение

В данном докладе рассматривается система управления, предназначенная для регистрации показаний основных параметров ускорителя на каскадном генераторе (КГ-2,5) в автоматическом режиме с датчиков для дальнейшего контроля и управления системой.

Так как система управления предназначена для проведения физических экспериментов в области ядерной физики, для этого необходимо обеспечивать высокую точность и надежность при проведении эксперимента [1].

Наличие таких систем дает возможность не только регистрировать параметры, но и создавать условия, обеспечивающие безопасность персонала, безаварийную работу, прогнозирование возможных неисправностей оборудования. Все это также сводит к минимуму вероятность аварии и их последствий, и тем самым обеспечить нормальные условия эксплуатации. Все эти требования сводятся к замене существующей системы управления на автоматическую систему управления, то есть к возложе-

нию основных задач на ЭВМ. Кроме того, большинство физиков в физических экспериментах применяют ЭВМ, где крайне важно знать физические параметры в реальном времени.

Использование ЭВМ позволяет с высоким качеством реализовать повышенные требования к точности условий эксперимента; позволяет легко корректировать или изменять алгоритмы управления, поскольку изменения не требуют новых технических средств, а сводятся к замене программы; позволяет существенно уменьшить время и ошибки при сборе и обработке информации, уменьшить габаритные размеры системы КИПиА.

Этот доклад посвящен разработке, установке и отладке системы регистрации основных параметров на ускорителе КГ-2,5. Первоначальный этап показал, что система сбора, накопления и обработки информации является достаточно эффективной, что непосредственно дает возможность усовершенствовать эту систему в дальнейшем и перевести эту систему на полный автоматический режим управления ускорителем.

Затраты на включение ЭВМ в систему управления меньше затрат, связанных с дальнейшим усложнением независимых аппаратных систем контроля и управления ускорителем.

Эта работа посвящена разработке, установке и отладке системы регистрации основных параметров на ускорителе КГ-2,5, расположенном в Государственном Научном центре Российской Федерации Физико-Энергетическом Институте имени академика А.И. Лейпунского. Первоначальный этап показал, что система сбора, накопления и обработки информации является достаточно эффективной, что непосредственно дает возможность усовершенствовать эту систему в дальнейшем и перевести эту систему на полный автоматический режим управления ускорителем.

## **2. Постановка задачи**

Ускорители на основе каскадных генераторов, собранных на различных схемах умножения, в последние годы получили достаточно широкое распространение в ядерно-физических исследованиях. Пущенный в эксплуатацию в марте 1970 года в

ФЭИ ускоритель КГ-2,5 используется для измерения ядерно-физических констант, как достаточно мощный источник моно-энергетических быстрых нейтронов. Область энергий нейтронов, представляющая интерес для реакторостроения, охватывает диапазон от 0 до 5 МэВ и, особенно, от 0 до  $1 \div 2$  МэВ. В этом случае очень важна точность измерения констант, так как ею определяются экономия средств при проектировании и строительстве. Малые эффективности детекторов в ряде случаев препятствуют получению достаточно надежных данных, и это тоже вызывает потребность в увеличении потоков нейтронов [2].

Требования, предъявляемые к ускорителю, предназначенному для определенного круга ядерно-физических исследований, следующие:

- 1) получение нейтронов в необходимом диапазоне энергий
- 2) высокая интенсивность потока нейтронов
- 3) стабильность выхода нейтронов
- 4) продолжительность непрерывной работы
- 5) малый фон от стен и пола помещения

Ускоритель КГ-2,5 имеет источник высокого напряжения в виде 12-ти каскадной, симметричной схемы умножения напряжения (рис. 1). Две зарядных и одна фильтровая колонны собраны из конденсаторов емкостью 9000 пФ, рассчитанных на напряжение 250 кВ. Для ограничения токов короткого замыкания конденсаторы снабжены защитными металлическими сопротивлениями, равными 460 Ом в зарядных и 3220 Ом в фильтровой колоннах. Конденсаторы размещены в герметизированных корпусах из эпоксидной смолы, залиты конденсаторным маслом и снабжены сильфонными компенсаторами теплового расширения масла.

Маслонаполненные и сухие селеновые выпрямители рассчитаны на номинальное напряжение 250 кВ и средний выпрямленный ток 7,5 мА. декадный генератор снабжен двенадцатью компенсирующими индуктивностями, размещенными между зарядными колоннами и предназначенными для компенсации емкостных токов. Все вышеперечисленные элементы компону-

ются в виде колонны с градиентными кольцами, омическим делителем и высоковольтным электродом [3].

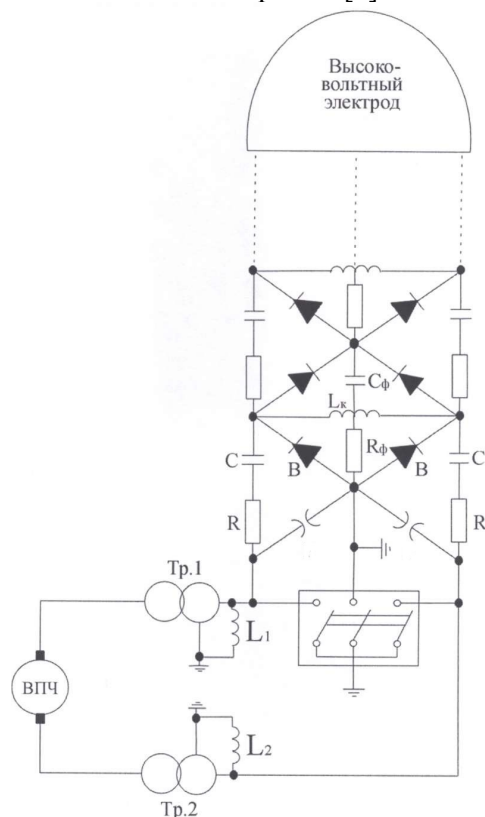


Рис. 1. Принципиальная схема умножения напряжения на ускорителе КГ-2,5 с питающими высоковольтными трансформаторами ОМ-50/90, где ВПЧ – вертикальный преобразователь частоты,  $C$  – паразитная емкость одного каскада заряда на землю,  $C_{\phi}$  – паразитная емкость между каскадами и фильтровой колонны,  $L_{\kappa}$  – компенсирующая индуктивность,  $R$  – защитные металлические сопротивления,  $R_{\phi}$  – защитные металлические сопротивления фильтровых колонн, Тр.1, Тр.2 – повышающие трансформаторы типа ОМ-50/90,  $L_1, L_2$  – индуктивности повышающих трансформаторов,  $B$  – диоды в виде 12-ти каскадной симметричной схемы умножения

Под высоковольтным электродом на ускорительной трубке размещены высокочастотный ионный источник и система его питания и управления. Высоковольтная структура размещена в стальном баке диаметром 3 м, заполненным газовой смесью, состоящей из 75% азота и 25% углекислого газа, до давления 10...12 атм.

Ускоритель эксплуатируется круглосуточно и обеспечивает работу в течение недели (100...110 часов).

Для оптимальной компенсации паразитных емкостей установки КГ-2,5 потребовалось 12 катушек индуктивностью 24 гн каждая. Расчеты показали, что при включении этих компенсирующих катушек распределение напряжения по каскадам генератора должно быть практически равномерным, что обеспечивает наилучший коэффициент использования элементов генератора по напряжению.

Измерение распределения напряжения по каскадам генератора КГ-2,5 подтвердило правильность выбора числа и величины компенсирующих индуктивностей (рис. 2).

В ходе наладочных работ выяснилось, что контроль равномерности распределения напряжения по каскадам генератора является эффективным средством обнаружения неполадок в установке. В частности, неправильное включение или выход из строя одного из вентилях, замыкание секций в компенсирующих катушках сказываются на характере распределения напряжения, и место аварии может быть легко обнаружено.

В итоге наладочных работ выходное напряжение на каскадном генераторе было доведено до 2,35 МэВ. Максимальный ток достигал 2,3 мА.

При наладке каскадного генератора были экспериментально определены паразитные емкости конструкции установки и отдельных ее узлов.

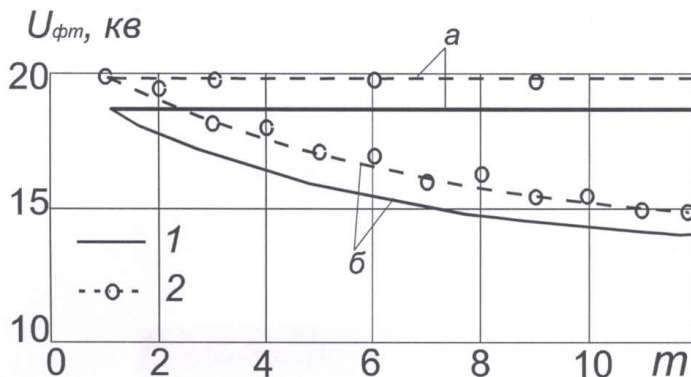


Рис. 2. Распределение напряжения по каскадам фильтровой колонны КГ-2,5 (а – полная компенсация; б – без компенсации; 1 – расчет; 2 – измерения).

Известно, что наличие паразитных емкостей конструкции каскадных генераторов существенно влияет на величину холостого хода установки. Одной из мер борьбы с этим эффектом является включение компенсирующих индуктивностей между зарядными колоннами генератора.

Целью данной работы является проведение физических экспериментов на ускорителе на каскадном генераторе КГ-2,5 с регистрацией основных параметров в режиме реального времени.

### **3. Интенсивный направленный источник нейтронов на базе ускорителя КГ-2,5 для нейтронозахватной терапии**

Ускоритель КГ-2,5 на энергию 2 МэВ с пучком протонов в несколько мА и имеющий высокую стабильность по энергии позволяет создать при использовании реакции

$\text{Li}(p,n)\text{Be}$  вблизи порога интенсивный направленный источник эпитепловых нейтронов для нейтронозахватной терапии (НЗТ). Ниже представлены выход и спектр нейтронов такого источника.

Разработка источника нейтронов, имеющего требуемую интенсивность, энергетический спектр и удобный для применения в условиях клиники является главным условием применения нейтронозахватной терапии. Источники нейтронов для НЗТ, основанные на использовании ускорителей, имеют ряд преимуществ перед ядерными реакторами. Главным из них является отсутствие потенциальной ядерной опасности и возможность создания недорогой компактной установки для использования в условиях клиники. Современный уровень ускорительной технологии позволяет создать такой источник [4]. О высокой активности в этой области медицинской физики свидетельствует проходившее в сентябре 1994 г. в Джексоне (США) Международное совещание по нейтронным источникам на базе ускорителей для борнейтронозахватной терапии.

Практически все рассматриваемые в настоящее время предложения по созданию источника нейтронов для НЗТ основаны на получении с помощью ускорителя интенсивного источника быстрых нейтронов с энергией  $> 0,5$  МэВ и последующего смягчения спектра нейтронов в замедлителе. Очевидным недостатком такой схемы является необходимость использования биологической защиты и замедлителя для формирования требуемых пространственно-энергетических характеристик источника нейтронов. Следствием этого является требование значительного увеличения интенсивности источника нейтронов и, соответственно, мощности ионного пучка ускорителя и энерговыделения в мишени (до нескольких десятков и даже сотен киловатт). Создание ускорителя и мишени с такими параметрами представляет достаточно сложную задачу. Поэтому является актуальным рассмотрение альтернативных подходов и поиск новых типов источников нейтронов для НЗТ.

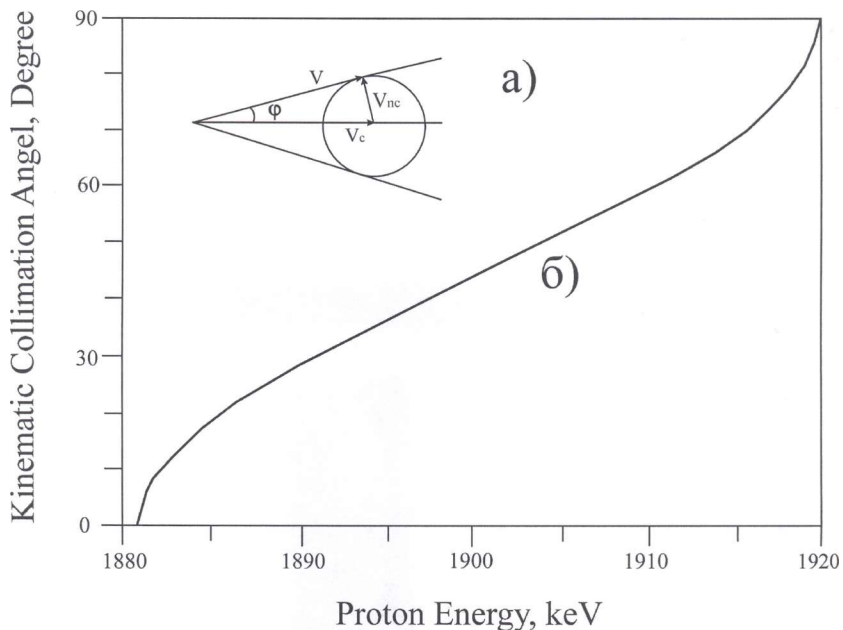


Рис. 3. а - векторная диаграмма ( $V_c$  - скорость системы С.М.,  $V_{nc}$  - скорость нейтрона в системе С.М.,  $\varphi$  - предельный угол вылета нейтрона в лабораторной системе координат); б - кинематический угол коллимации в лабораторной системе в зависимости от превышения протоном пороговой энергии.

Одним из таких подходов является предложение использовать в качестве источника нейтронов для НЗТ реакцию  $Li(p,n)He$  вблизи порога. Уникальность этой реакции как источника нейтронов состоит в том, что ее сечение, благодаря наличию широкого резонанса, достигает большой величины при энергии протонов сразу выше порога. Это позволяет использовать особенности кинематики частиц, узконаправленного пучка нейтронов со средней энергией 30 кэВ.

Действительно, как видно из рис. 3а, вблизи порога реакции, когда скорость нейтрона в системе центра масс не превышает скорости центра масс, имеет место «кинематическая коллимация», при которой в лабораторной системе координат нейтроны вылетают в узком конусе, угол раскрытия которого



определяется превышением энергии протонов над порогом реакции. Зависимость угла раскрытия от превышения энергии протонов над порогом реакции  $Li(p,n)Be$  показана на рис. 3. При толщине мишени, большей превышения энергии протонов над порогом реакции, спектр нейтронов является сплошным и имеет четкую верхнюю и нижнюю границы. Некоторые результаты расчетов представлены на рис. 4. Они находятся в хорошем согласии с измерениями формы спектра и выхода нейтронов, выполненными методом времени пролета.

Полный выход нейтронов из металлической литиевой мишени при энергии протонов 1,885 МэВ и токе 1 мА составляет  $2,2 \cdot 10^9$  нейтрон/сек. В этих условиях все нейтроны покидают мишень в конусе с половинным углом раскрытия  $19^\circ$ , а энергетический спектр ограничен снизу и сверху энергиями 13 и 52 кэВ. Энерговыделение в мишени ускорителя при этом составляет  $\sim 2$  кВт. Эффект кинематической коллимации позволяет использовать открытую мишень и дает возможность приблизить облучаемый объект к источнику нейтронов на расстояние 1÷3 см. Величина плотности потока нейтронов в плоскости облучения при токе протонного пучка 1 мА составляет 10 нейтрон/см сек.

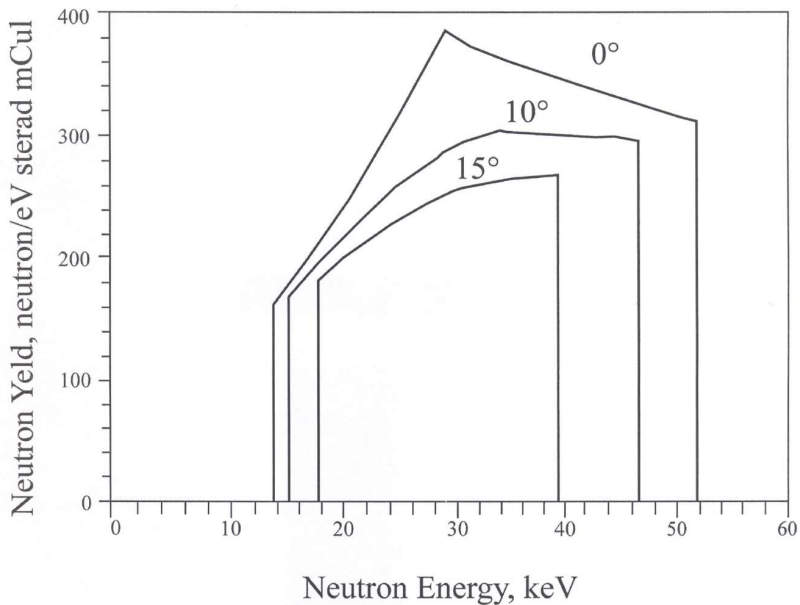


Рис. 4. Дифференциальный выход нейтронов из  $Li$  мишени при энергии протонов 1,885 МэВ для различных углов в лабораторной системе координат.

Таким образом, реакция  ${}^7Li(p,n){}^7Be$  вблизи порога позволяет создать источник нейтронов, имеющий следующие важные с точки зрения НЗТ особенности:

источник нейтронов обладает выраженной пространственной направленностью;

спектр нейтронов достаточно мягкий и имеет фиксированную верхнюю границу вблизи 50 кэВ;

источник позволяет создать в зоне облучения сравнимые с другими установками плотности потока нейтронов при умеренной величине мощности пучка ионов без использования биологической защиты и замедлителя для формирования спектра нейтронов;

- источник имеет умеренную интенсивность сопутствующего гамма-излучения из протонных реакций на литии и конструкционных материалах мишени.

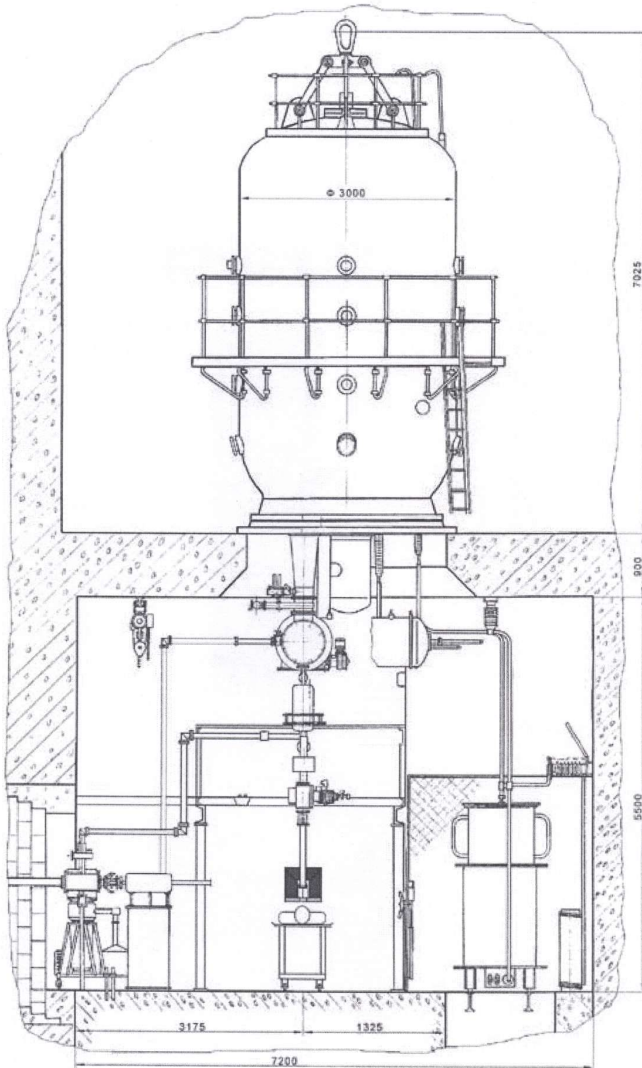


Рис. 5а. Структура тракта ускорителя при работе с бериллиевой мишенью на «прямом пучке».

Для того чтобы реализовать такой источник нейтронов для нейтронозахватной терапии, параметры ускорителя должны удовлетворять ряду дополнительных требований. Наиболее важными из них являются: величина энергетического разброса,

стабильность энергии пучка ускорителя, которая не должна превышать  $1 \div 2$  кэВ, высокая надежность ускорителя и стабильность заданных параметров в процессе облучения пациента.

Для терапии будут реализованы два режима работы ускорителя КГ-2,5. В первом режиме бериллиевая или литиевая мишень будут располагаться на прямом несепарированном ионном пучке (рис. 5а). В этом режиме интенсивность пучка составит около 5 мА. Для работы на прямом пучке электромагнитный масс-сепаратор будет откатываться по рельсам, освобождая место для размещения мишенного устройства и кабины для пациента. Во втором режиме (рис. 5б) литиевая мишень располагается на горизонтальном луче ионопровода. При этом энергия пучка с интенсивностью около 5 мА должна жестко фиксироваться вблизи порога реакции  $Li(p,n)$ .

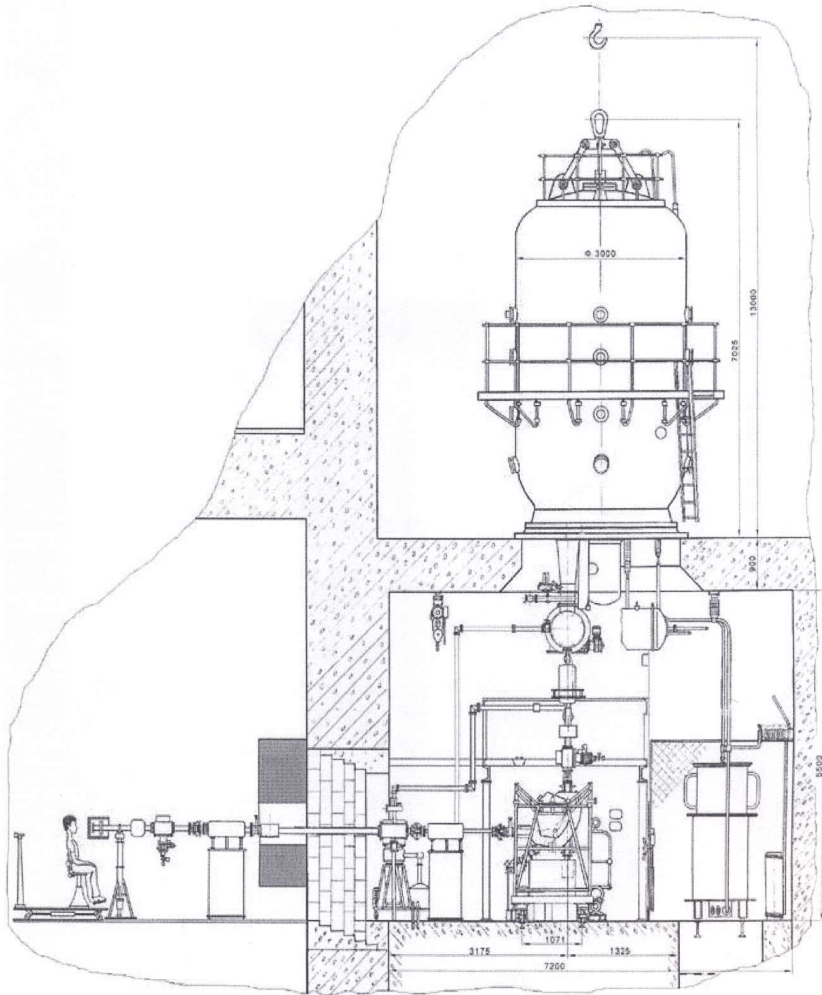


Рис. 5б. Структура ионного тракта при работе ускорителя с литиевой мишенью на горизонтальном ионопроводе и сепарированном пучке.

#### **4. Вакуумная система**

##### **4.1. НАЗНАЧЕНИЕ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ**

Вакуумная система предназначена для получения разрежения в ускорительной трубке, ионопроводе и камере магнитного анализатора, т.е. на всём пути движения заряженных частиц от ионного источника до физической мишени.

Вакуумная система при работе ионного источника обеспечивает давление в технологическом объёме  $(2...4) \cdot 10^{-6}$  мм.рт.ст. Конструкция вакуумной системы позволяет напуск атмосферы в её отдельные узлы с последующей их откачкой. Откачка вакуумной системы осуществляется механическими насосами, а получение рабочего давления осуществляется высоковакуумными турбомолекулярными и магниторазрядными насосами.

##### **4.2. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ**

На рис. 6 приведена функциональная схема вакуумной системы ускорителя КГ-2,5.

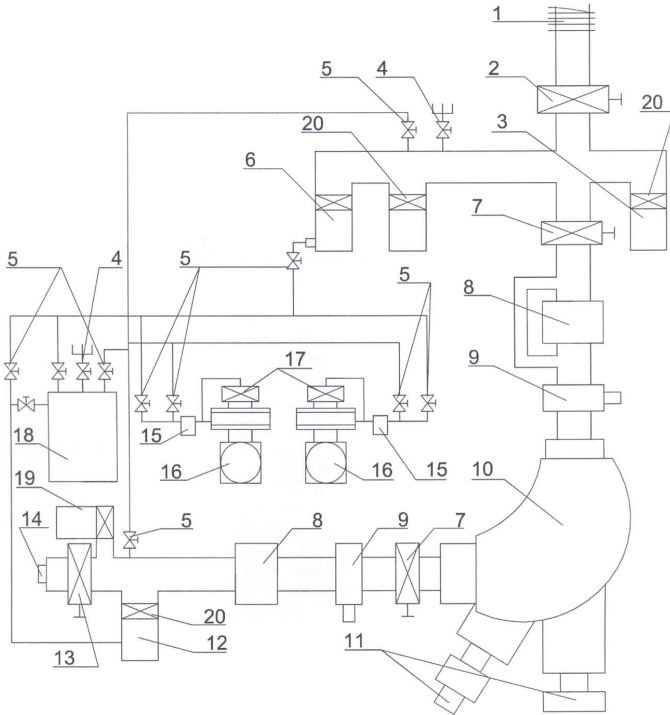


Рис. 6. Функциональная схема вакуумной системы ускорителя КГ-2,5.

Таблица 1. Обозначения элементов вакуумной системы.

Позиция	Наименование	Количество	Позиция	Наименование	Количество
1	Ускорительная трубка	1	11	Токоприемник	2
2	Клапан КШЭ-250	1	12	Насос ТМН-200	1
3	Насос НОРД-250	2	13	Затвор ДУ-100	1
4	Ламповый блок	2	14	Мишенедержатель	1
5	Вентиль ВП-50	11	15	Сорбционные ловушки	2
6	Вакуумный агрегат ВА-2	1	16	Мех. насос ВН-1МГ	2

7	Клапан КШ-100	2	17	Клапан КСД	2
8	Линза ЭМЛ-10А	2	18	Форбак	1
9	Прерыватель пучка	2	19	Насос НОРД-100	1
10	Магнит СП-119	1	20	Шибер ДУ-250	4

#### 4.3. НАЗНАЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ

##### 4.3.1. МЕХАНИЧЕСКИЕ НАСОСЫ

Механические насосы предназначены для получения низкого вакуума при предварительной откачке объёмов и для поддержания необходимого выпускного давления в сечении выходного фланца турбомолекулярных насосов ТМН-500 и ТМН-200. Вакуумная система ускорителя содержит два типа механических насосов: ВН-1МГ и АВЗ-20.

Форвакуумный насос ВН-1МГ достигает скорости откачки 22 л/с и предельного разрежения  $3 \cdot 10^{-13}$  мм.рт.ст.

Заливаемое масло типа ВМ-4 и ВМ-6 в количестве 3,8 л; мощность электродвигателя 2,8 кВт.

Вакуумный агрегат АВЗ-20 имеет скорость откачки 20 л/с и достигает предельного разрежения  $8 \cdot 10^{-13}$  мм.рт.ст. Заливаемое масло ВМ-1 в количестве 3,5 л; мощность электродвигателя 2,2 кВт.

##### 4.3.2. ВЫСОКОВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ

Для получения рабочего давления в ускорительной трубке и в ионопроводе вакуумная система содержит два высоковакуумных насоса типа ТМН (ТМН-500 и ТМН- 200) и три насоса НМД-0,4-1.

Турбомолекулярные насосы ТМН-200 и ТМН-500: быстрота откачки в интервале давлений от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-7}$  мм рт. ст. 200 и 500 л/с соответственно. Предельное давление  $(1 \dots 5) \cdot 10^{-9}$  мм.рт.ст.

Магниторазрядные насосы типа НМД-0,4-1: быстрота откачки в пределах давления  $10^{-5} \dots 10^{-8}$  мм.рт.ст. 400. ..40 л/с. Предельное давление  $5 \cdot 10^{-11}$  мм.рт.ст.



#### Форвакуумный бак

Форвакуумный бак обеспечивает работу высоковакуумных насосов ТМН-500 и ТМН-200 во время переключений в системе, а также при аварийной остановке насосов ВН-1МГ или АВЗ-20.

Номинальное разрежение в баке должно быть не хуже  $10^{-12}$  мм.рт.ст.

Откачку форвакуумного бака можно производить любым из двух механических насосов.

#### Сорбционная ловушка

Сорбционная ловушка не позволяет парам масла из насоса ВН-1МГ проникать в высоковакуумную часть ускорителя.

#### Вентили и клапана

Вентили и клапана предназначены для разделения частей вакуумной системы.

На ускорителе в качестве запорной арматуры используются вентили и клапана ВП- 25, ВП-50, ДУ-100, ДУ-160, ДУ-260, КСД.

#### Термопарные манометрические датчики

Термопарные манометрические датчики типа ПМТ-4М работают в диапазоне  $10^{-1} \dots 10^{-3}$  мм.рт.ст., а контроль осуществляется с пульта управления в различных точках технологического объёма.

#### Ионизационные манометрические датчики

С помощью ионизационных манометрических датчиков типа ПМИ-2 измеряется давление в требуемых точках технологического объёма при помощи переключателя ПИЛ-8 с пульта управления.

#### Вакуумметр магнитный блокировочный

Во время работы ускорителя возможны нарушения вакуума в ионопроводе, что вызывает выход из строя элементов вакуумной системы. Поэтому шибера высоковакуумных насосов и шибер ДУ-100 перед мишенью имеют электрические привода, управляемые автоматически блокировочными вакуумметрами ВМБ-14 при ухудшении вакуума.

Блокировочные вакуумметры с датчиком ПММ-32 находятся в пом. 017 и 103.

Вакуумметр в пом. 017 управляет шибером ДУ-100 перед мишенью, а вакуумметр в пом. 103 - шиберами высоковакуумных насосов. Вакуумметр ВМБ-14 имеет диапазон измеряемых давлений  $7,5 \cdot 10^{-11}$  мм.рт.ст. и обеспечивает выдачу сигнала в цепи разъёма

реле по двум каналам в том же диапазоне. Датчиком вакуумметра является манометрический преобразователь ПММ-32, преобразующий сигнал давления в токовый электрический сигнал.

#### 4.4. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ БЛОК ВАКУУМЕТРА ВМБ-14

Структурная схема измерительного блока (рис. 7) состоит из источника питания, устройства логарифмического, двух каскадов усилительных устройств (УПТ), устройства блокировочного, устройства защиты от ложных срабатываний, устройства сигнализации аварии и устройства индикации.

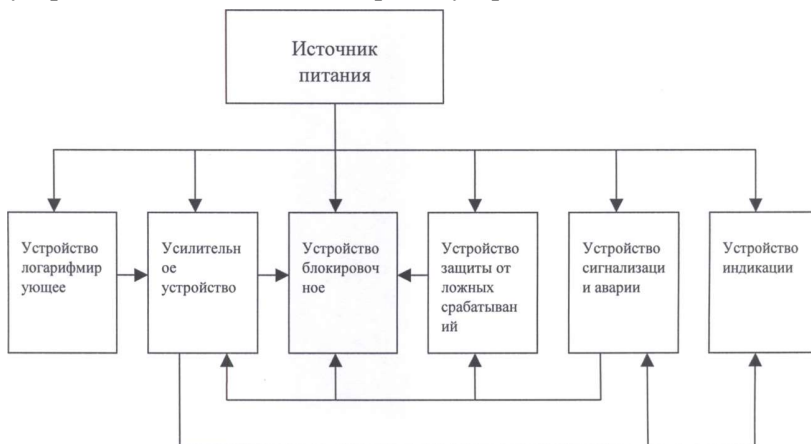


Рис. 7. Структурная схема блока ВМБ-14.

Источник питания.

Источник питания включает в себя трансформатор, на котором выполнены: источник высоковольтного напряжения для питания манометрического преобразователя (датчика); источник питания индикаторных ламп и два стабилизированных низковольтных источника для питания устройства блокировочного, логарифмирующего устройства и устройства индикации.

Устройство логарифмирующее.

Устройство логарифмирующее предназначено для преобразования тока, поступающего на его вход от манометрического преобразователя в напряжение, изменяющееся пропорционально изменения логарифма этого тока. Для целей преобразования использована схема линейно-кусочной аппроксимации.

Устройство усилительное.

С логарифмирующего устройства напряжение сигнала поступает на инвертирующий вход усилителя постоянного тока (УПТ) с регулируемым коэффициентом усиления. Напряжение с выхода инвертора поступает на блокировочные устройства и на выходной разъем для выдачи стандартного аналогового сигнала от 0 до +10 В на внешние устройства обработки информации.

Устройство блокировочное.

Устройство блокировочное предназначено для обеспечения срабатывания и отпуска двух независимых реле 1-ого и 2-ого каналов при достижении определенной величины напряжения на выходе аналогового усилителя.

Для работы в АСУ ТП предусмотрена возможность включения или выключения исполнительных реле независимо от установленного порога.

Устройство защиты от ложных срабатываний.

Для исключения ложных срабатываний реле во время переходных процессов при включении и выключении вакуумметра служит схема от ложных срабатываний.

Устройство сигнализации аварии.

При неисправности в цепи питания датчика (например, обрыв в соединении) или отсутствии разрядного тока в датчике (включение вакуумметра при низком давлении в вакуумной системе) в блоке ВМБ-14 применено устройство сигнализации аварии.

Устройство индикации.

Устройство индикации предназначено для измерения и визуального наблюдения уровня давления в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-7}$  до 1 Па (диапазон измерения токов от  $1 \cdot 10^{-9}$  до  $3,5 \cdot 10^{-13}$  А).

Измерение давления в устройстве индикации происходит путем преобразования выходного сигнала логарифмического ускорителя (0-40 В) в аналого-дискретную форму.

Весь диапазон разбит на 7 поддиапазонов. Каждый поддиапазон соответствует одному порядку давления (цифровая индикация показателя степени).

## **5. Алгоритм решения поставленной задачи**

Алгоритм представляет собой модернизацию системы управления ускорителем. В частности разработка программного обеспечения и разработка принципиальных электрических схем и внедрение их в систему, привело к положительным результатам в регистрации параметров ускорителя в реальном времени, и дало возможность дальнейшего их усовершенствования. Первоначальное внедрение ЭВМ в систему привело к возможности лишь регистрации параметров, в то время как большинство других электронно-вычислительных машин приведены в систему автоматического управления и являются основным узлом управления всей системой. Поэтому технические требования к модернизируемой системе на данном этапе высоки.

Блок-схема существующей системы представляет собой блок-схему самого ускорителя.

Целью данной работы является модернизация системы автоматического управления ускорителя КГ-2,5. Для этого осуществляется разработка новой, более усовершенствованной автоматизированной системы, аналогичной по назначению предыдущей. При этом производится упрощение конструкции, а также повышение надежности функционирования за счет внедрения ЭВМ в систему.

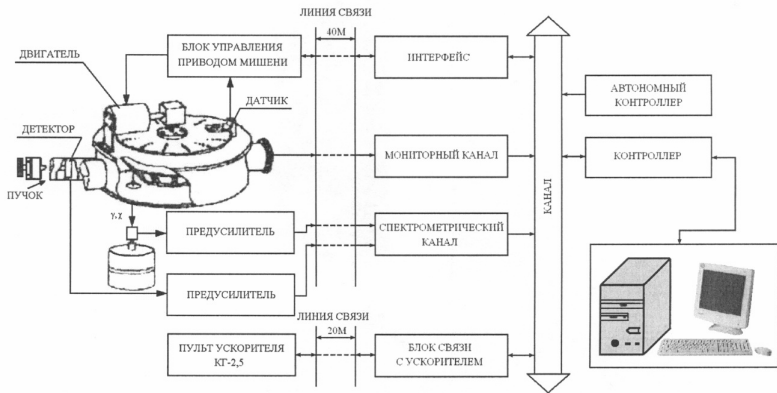


Рис. 8. Блок-схема модернизированной системы  
 5.1. АЛГОРИТМ РАБОТЫ УСКОРИТЕЛЯ

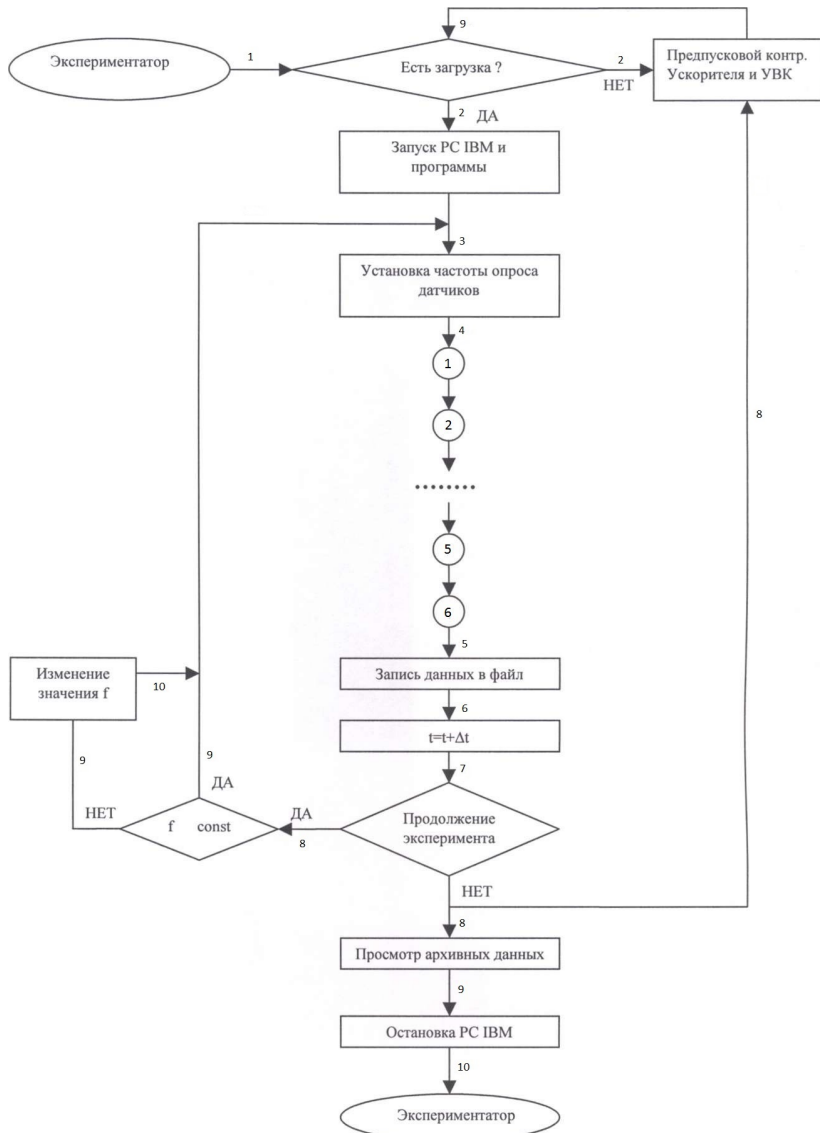


Рис. 9. Алгоритм работы программы

Проведенный анализ алгоритмов управления решает только часть задачи, относящийся к нормальной работе ускорителя. Для определенности алгоритмы рассматриваются на примере

управления ускорителем КГ-2,5 в части регистрации основных параметров. На рисунке, отображающем структурную схему программы–диспетчера для управления рабочими режимами, показан алгоритм работы программы и подпрограмм, реализующих полную автоматизацию системы.

Выше на рис. 9 приведен алгоритм работы программы, разработанной в ГНЦ РФ ФЭИ, для регистрации 6 основных параметров ускорителя [5].

## **6. Разработка программы для регистрации параметров на ускорителе КГ–2,5**

На ускорителе КГ-2,5 была разработана и запущена программа, которая по своему назначению осуществляет сбор и обработку информации, то есть ряда параметров, регистрируемых с датчиков. Разработка программы осуществлялась со следующей целью:

- Упрощения конструкции системы.
- Повышения надежности функционирования системы.
- Уменьшения габаритов установок КИПиА.
- Внедрение ЭВМ в систему управления.
- Частичный перенос задач, выполняемых оператором на ЭВМ.
- Дальнейшего усовершенствования программы, написание подпрограмм.

Начальная разработка программы привела к внедрению ЭВМ в систему, как отдельного составляющего узла всей системы, что на данном этапе развития является необходимым. Предполагается дальнейшее усовершенствование начальной программы и переход все к более автоматизированной системе, то есть исключение из процесса управления ускорителем оператора.

Продолжением работ по автоматизации управления ускорителя КГ-2,5 является написание подпрограмм АСУ ТП по регистрации основных параметров. Все разнообразие команд по управлению ускорителем в рабочих режимах может быть представлено набором двух видов универсальных подпрограмм

«установить» и «поиск». По этому принципу предполагается составить структурные схемы управляющих подпрограмм, применительных для ускорителей КГ-2,5 с возможностью гибкого варьирования как внутренними элементами подпрограммами, так и последовательностью их исполнения в зависимости от конкретных требований эксперимента.

После запуска ускорителя и программы по регистрации параметров число новых подпрограмм для различных систем расширяется. Сюда входят: контроль и управление током мишени, вакуумной системой, диагностика и профилактика неисправностей и т.д. На первоначальном этапе работы при возможных отказах, нарушениях нормальной работы ускорителя КГ-2,5, программа отображает на дисплее скачек параметров и продолжает дальнейший опрос датчиков, а все данные заносит в архив. После проведения физического эксперимента в архивном файле можно просмотреть значения каждого из параметров в любой момент времени. Анализ неисправности, устранение ее, и определение возможности продолжения ложатся на оператора, хотя значительная часть этих операций со временем может быть реализована с помощью ЭВМ. В конечном итоге все сводится к переходу на автоматизированную систему управления.

## **7. Организация работы АСУ ТП ускорителя**

Организация работы АСУ ТП ускорителя осуществляется управляющей программой или программой-диспетчером, обеспечивающей порядок выполнения всех подпрограмм (П/П) таким образом, чтобы не было нежелательных взаимодействий среди них. Особенно это важно при организации мультипрограммной работы, когда в режиме разделения времени изменяются одновременно несколько установок системы регулирования, что дает возможность в минимальное время выйти на требуемые параметры. Оператор переписывает программу-диспетчер (рис. 10) в оперативное запоминающее устройство (ЗУ) при поступлении заказа на установку энергии и тока пучка.



Если параметры заказа отличаются от имеющихся ранее, то по заданной энергии ЭВМ рассчитывает частоту ядерного магнитного резонанса (ЯМР), уставки цепей регулирования магнитного поля и высокого напряжения, положение коронного триода, границы поиска. Полученные константы рассылаются в соответствующие, отведенные для них ячейки, печатаются их величины для оператора. При необходимости полной информации о состоянии ускорителя до начала смены энергии производится опрос всех датчиков с выводом показаний в оперативный журнал. Расчет частоты ЯМР и уставок производится по простым формулам. Возможно использование экспериментальных таблиц для нахождения по энергии требуемых величин, как это делает обычно оператор. Но для хранения таблиц необходимо большое число ячеек памяти. Последовательность прохождения подпрограмм управления при установке энергии на ускорителе может быть жесткой: сначала устанавливается частота ЯМР, затем магнитное поле, высокое напряжение, ток мишени и т.д. Экономическая эффективность такого режима невысока. При гибком режиме следования подпрограмм учитывается ситуация, сложившаяся на ускорителе. Так, например, при наличии пучка на мишени и сигнала ЯМР на площадке стабилизации, всякое изменение энергии заряженных частиц более оперативно осуществляется режимом слежения за частотой ЯМР. ЭВМ плавно меняет одновременно  $N$  - параметров ускорителя (по аналогии с мультипрограммным режимом), регулируя только частоту ЯМР. После установки требуемой частоты проверяется соответствие достигнутых уставок. В случае срыва сигнала ЯМР или пучка во время выполнения подпрограммы, программа-диспетчер переходит на опрос списка.

Опрос осуществляется постоянно с целью определения необходимой П/П для исполнения. Номер ее сохраняется на информационном табло в течение всего времени исполнения. Когда подпрограмма заканчивается и освобождает оперативное ЗУ, то управление переходит на выполнение опроса. Если П/П была уже в оперативной памяти, то дается команда на ее начало, либо на продолжение (если П/П была в исполнении, но

прервана). Программа-диспетчер фиксирует все причины отказа, оповещая при этом оператора. После устранения неисправности возобновляется опрос списка подпрограмм. Предусмотрено выполнение подпрограмм, обращение к которым осуществляется непосредственно оператором.

Выводы:

Принцип построения программы-диспетчера и управляющих подпрограмм регулирования энергии заряженных частиц может быть использован на любом высоковольтном ускорителе.

Организация прохождения подпрограмм на ускорителе может гибко перестраиваться, применительно к конкретным требованиям физического эксперимента или режима облучения пациента.

Экономическая эффективность АСУ ТП может быть увеличена за счет увеличения числа параллельно работающих подпрограмм в реальном масштабе времени.

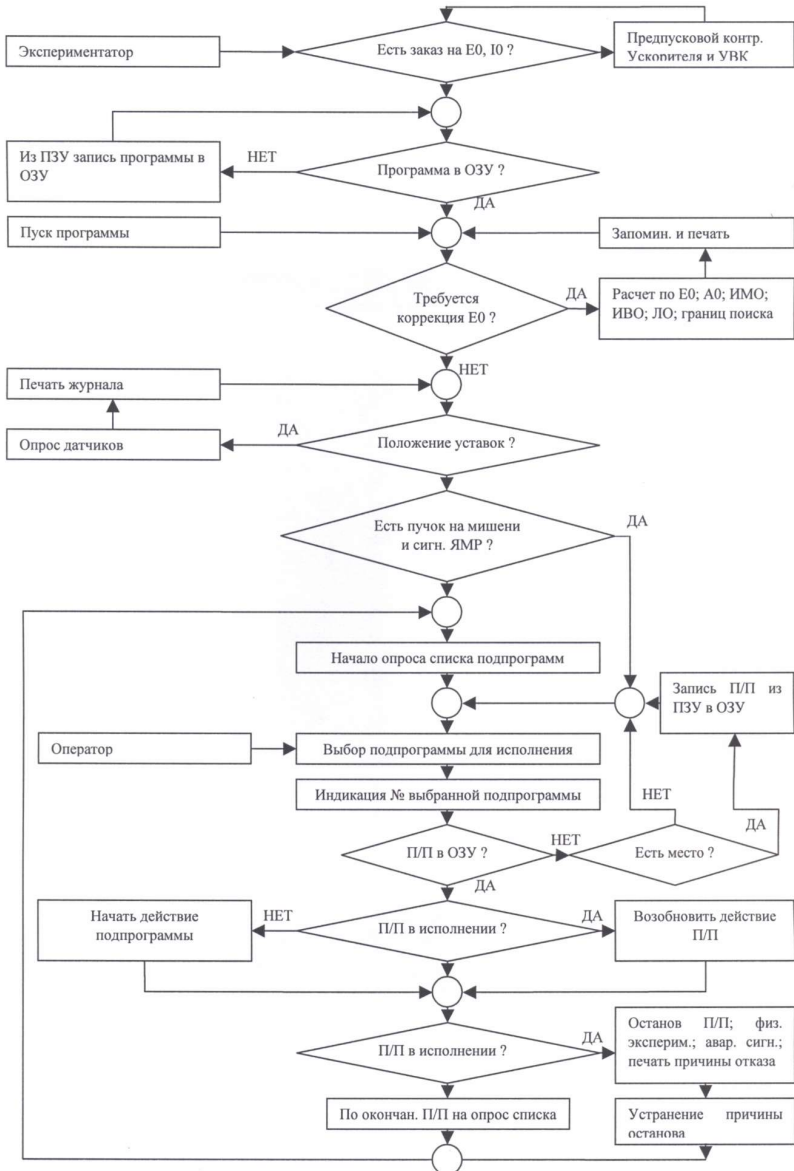


Рис. 10. Программа-диспетчер-регистрация параметров и обработка результатов измерений

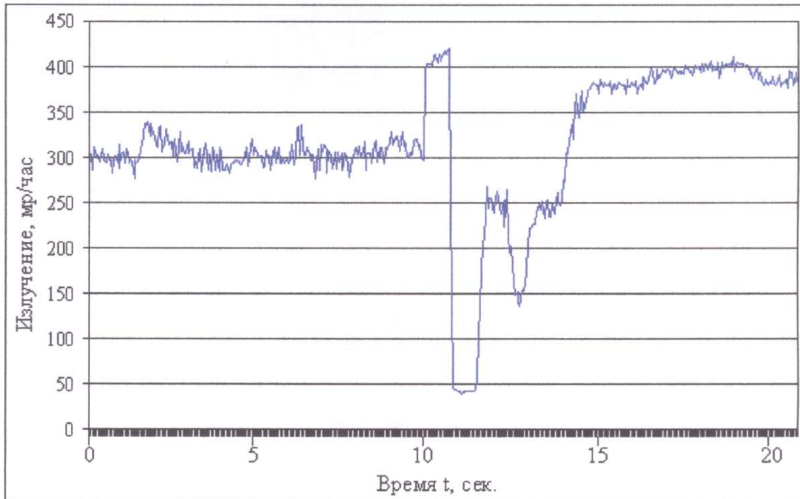
## **8. Регистрация параметров в обработке результатов измерений**

Ускоритель типа КГ-2,5 относится к достаточно дорогим и сложным в обслуживании установкам. Вывод пучка частиц при заданных параметрах требует высокой квалификации операторов, а удержание длительное время этих параметров требует постоянного контроля над ними. Кроме того, большинство физиков, которые используют пучок частиц ускорителя в физических экспериментах, применяют ЭВМ, где крайне важно знать физические параметры пучка в реальном времени.

В данном дипломном проекте рассматривается вопрос по внедрению ЭВМ в систему, как одного из составляющих узлов всей системы с целью возложения на ЭВМ ряда первоначальных задач - а именно задач по регистрации основных параметров ускорителя КГ-2,5. На данном этапе написана программа, которая регистрирует 6 параметров на ускорителе.

На практике были проведены физические эксперименты на ускорителе, тем самым были зафиксированы ряд параметров на ускорителе в течение определенного промежутка времени, а именно:

- Энергия ускоренного ионного пучка
- Гамма-излучение на уровне высоковольтного электрода
- Ток каскадного генератора
- Пульсации напряжения КГ
- Ток ионного пучка на физической мишени
- Вакуум в ускоряющей трубке и ионопроводе



*Рис. 11. График зависимости гамма-излучения на уровне высоковольтного электрода от времени*

Каждый из построенных графиков имеет 450 точек, число последовательно опрашиваемых датчиков 6, а время опроса составляет около 22 секунд. Следовательно, частота опроса каждого из датчиков составляет  $\sim 0,008$  сек. Частота опроса датчиков может меняться оператором во время работы ускорителя без остановки программы, если же конечно появляется в этом необходимость. Изменение частоты опроса необходимо для проведения физических экспериментов на ускорителе.

Выше на графике приведена зависимость одного из шести основных регистрируемых параметров от времени, а именно, график зависимости гамма-излучения на уровне высоковольтного электрода от времени (рис. 11).

Рассмотрим графики при достижении энергии пучка  $\sim 1,96$  МэВ. Максимального значения энергии пучка, которой получилось добиться на практике, составляет около 2 МэВ. По техническим данным из разных источников следует, что для данного типа ускорителя КГ-2,5 максимальная энергия пучка составляет либо 2 МэВ, либо 2,2 МэВ. Следовательно, исходя из

того, что та энергия пучка, которая была достигнута на практике, практически совпадает с техническими требованиями.

Диапазон во время регистрации параметров во втором случае выбран специально таковым, который отображает резкий скачок почти всех из фиксируемых параметров. Скачок произошел во время отладки системы. Отладка и настройка системы для контроля данных параметров производится и на данном этапе, так как на данный момент программа, как говорилось ранее, отображает не все параметры с достаточно высокой точностью. Этот вопрос касается и узлов сопряжения. Вообще, во время работы ускорителя при достижении энергии пучка  $\sim 2$  МэВ, подобных картинок, отображающих работу ускорителя в реальном времени, не наблюдалось.

Из всех параметров, фиксируемых на ЭВМ, резкий всплеск касается только гамма-излучения и тока пучка. Изменение остальных параметров во время работы было практически незначительным.

## **9. Электробезопасность**

Контрольно-измерительная аппаратура смонтирована на блочном щите управления. Данное помещение в отношении опасности поражения людей электрическим током относится к особо опасным помещениям, т.к. возможно одновременное прикосновение к заземленным элементам оборудования и к токоведущим частям. Для питания приборов используется система переменного тока 220В с глухозаземленной нейтралью. К эксплуатации допускается персонал, имеющий группу по электробезопасности не ниже третьей. В соответствии с инструкцией по эксплуатации аппаратуры приняты следующие меры безопасности:

к эксплуатации аппаратуры допускаются лица, имеющие разрешение для работы на электроустановках напряжением до 1000В и изучившие в полном объеме руководство по эксплуатации;

при эксплуатации оборудование заземлено в соответствии с требованиями действующих «Правил устройства электроустановок»;

на клеммах «220В» блока питания контрольно-измерительной аппаратуры установлена защитная крышка;

При выполнении работ в электроустановках до 1000В при работе под напряжением необходимо:

оградить расположенные вблизи рабочего места другие токоведущие части, находящиеся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение;

работать в диэлектрических калошах или стоя на изолирующей подставке, резиновом диэлектрическом коврике;

применять инструменты с изолирующими рукоятками (у отверток, кроме того, должен быть изолирован стержень), при отсутствии такого инструмента работы производить в диэлектрических перчатках;

запрещается работать в одежде с короткими или засученными рукавами, а также использовать ножовки, напильники, металлические метры и т.п.

## **10. Выводы**

В процессе написания доклада были сформулированы и изложены следующие вопросы, затронутые в теме доклада: устройство и основные характеристики высоковольтного ускорителя под давлением КГ-2,5; принцип действия и принципиальные схемы основных контрольно-измерительных приборов применяемых на ускорителе КГ-2,5; структура и назначение измерительного комплекса на базе ЭВМ, используемой в этой установке.

Была проведена работа по следующим направлениям, которые также были отражены в докладе: была разработана структурная схема модернизированной системы; проведены расчеты схем и изготовлено устройство сопряжения измерительных датчиков с ЭВМ.

## **Литература**

1. Акоста В., Кован К., Грэм Б. Основы современной физики, М., Просвещение, 1981, 495 с.
2. Ананьев Л.М. и др. Индукционный ускоритель электронов – бетатрон, Госатомиздат, 1961, 149 с.
3. Вальднер О.А. и др. Линейные ускорители. Атомиздат, 1969, 249 с.
4. Кононов В.Н., Боховенко М.В., Регушевский В.И., Романов В.А. Интенсивный направленный источник нейтронов на базе электростатического ускорителя КГ-2,5 для нейтроно-захватной терапии. Труды XI совещания, ГНЦ РФ Физико-энергетический институт, Обнинск, 1996 г, с 119 – 122.
5. Фраэнфельдер Г., Хенли Э. Субатомная физика, М. Мир, 1979, 735 с.

## **THE SYSTEM OF REGISTRATION OF PARAMETERS OF HIGH-VOLTAGE ACCELERATORS WHEN THE MAXIMUM OPERATING VOLTAGE. PART 2.**

**Sergey Gusev**, PJSC Rostelecom, Moscow, energy engineer (gs-serg@mail.ru).

*Abstract: The purpose of this work is the development of software and hardware, their further implementation into the system as a separate component of the whole system, and ultimately - the conduct of physical experiments on the accelerator on the cascade generator CG-2.5 with the registration of the main parameters in real time. Development of software in the language Turbo Pascal 7.1 and the introduction of IBM PC into the system makes it possible to transfer the system to a partial automatic mode of the accelerator, and then further improvement of the system will completely transfer it to full automatic mode.*

**Keywords:** linear accelerator, cascade generator, experiments, algorithm, parameters registration system.

УДК 519.714.2

ББК 78.34



Статья представлена к публикации  
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...

Поступила в редакцию ...заполняется редактором...

Опубликована ...заполняется редактором...