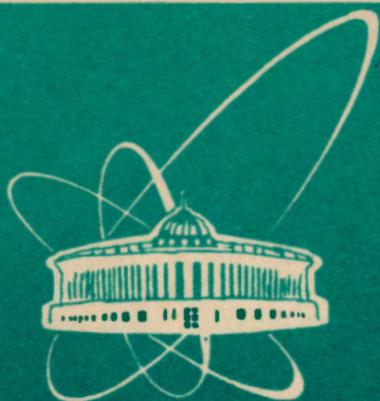


93-219



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

13-93-219

В.П.Овсянников, С.Г.Резников,
Ю.И.Романов, А.П.Царенков

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МОДУЛЬНАЯ
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ
ИОННОГО ИСТОЧНИКА КРИОН-С

1993

В Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, являющейся, как известно, пионером в развитии релятивистской ядерной физики, продолжают работы по ускорению ядер на синхрофазотроне и экспериментальная отработка инжекционного комплекса для ускорителя «Нуклотрон» [1]. В январе 1993 г. проведен сеанс ускорения ядер серы на синхрофазотроне ЛВЭ от электронно-лучевого источника КРИОН-С [2].

Программа «КРИОН-С» была начата в 1985 г. с целью исследования возможности получения многозарядных ионов тяжелых элементов, включая U^{82+} . Для этих целей необходимо получить электронный пучок с энергией ~ 30 кэВ и при плотности тока $\sim 5,3$ А/см² удерживать ионы в течение 1 с. Электронный пучок распространяется внутри трубки дрейфа, поверхность которой имеет температуру жидкого гелия. Аналогичная программа исследований была начата на установке SUPERIBIS [3] в Сэнди, США. В 1988 г. были впервые реализованы электронные пучки с энергией 80 кэВ, током 0,2 А и плотностью $5 \cdot 10^2$ А/см². В ионной ловушке, образованной таким пучком, ионы пребывали не более 500 мс. Фактор ионизации, а именно произведение плотности электронного пучка на время удержания ионов в ловушке, не превысил 10^{21} см⁻². Такой фактор ионизации достаточен для получения ядер Ag^{18+} и соответствующих многозарядных ионов тяжелых элементов, включая U^{56+} .

На рис. 1 показан общий вид, отдельные элементы конструкции, блоки электрического питания, а также системы контроля и управления ионизатором КРИОН-С при работе источника на стенде [4]. Ключевыми компонентами ионизатора являются электронная пушка, сверхпроводящий фокусирующий соленоид (1,2 Тл), система высоковольтных дрейфовых трубок, электронный коллектор и вытягивающий электрод. Высоковольтный потенциал (до 150 кВ) подается на корпус установки. Аксиально-симметричный электронный постоянный пучок с энергией $10 + 80$ кэВ и плотностью $100 + 1000$ А/см² проходит через систему дрейфовых трубок в сверхвысоком вакууме ($\sim 1 \cdot 10^{-10}$ торр) на водоохлаждаемый электронный коллектор. Ионная ловушка образуется объемным зарядом электронного пучка и положительными потенциальными барьерами на оконечных секциях трубки дрейфа, формируемыми электронным коммутатором напряжений (ЭКН) [5].

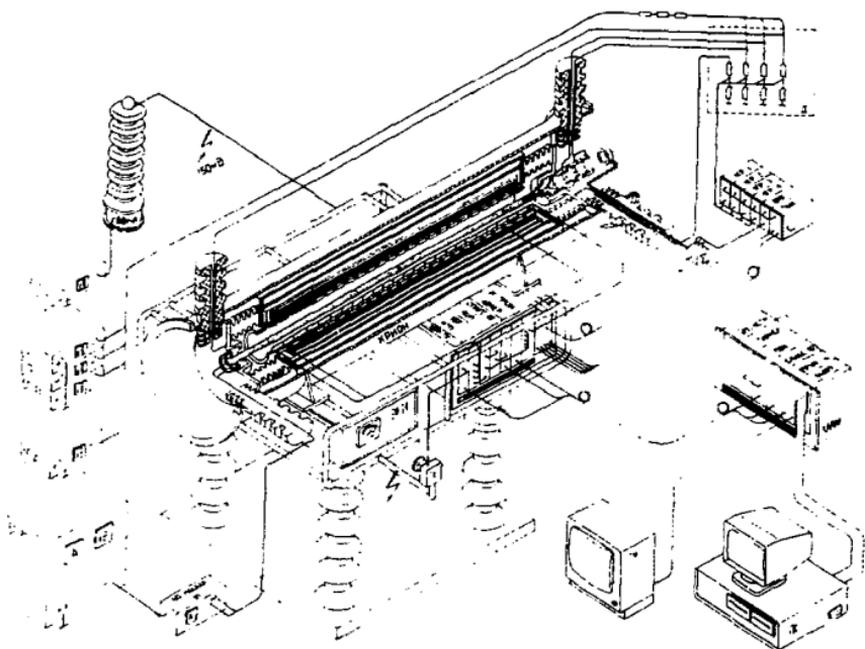


Рис. 1. Общий вид криогенного ионизатора КРИОН-С на стенде: БП — блоки питания электрических систем; Д — резисторные датчики; КД — микрокрейт с устройствами гальванической развязки (УГР); Σ — датчик тока и заряда ионного пучка; КАМАК — крейт КАМАК с электронными блоками управления и контроля; ТК — телевизионная камера; ТМ — телемонитор; ПК — персональный компьютер

Электронная пушка формирует электронный пучок с током 1 А и энергией 10 кэВ. Дальнейшее повышение энергии электронного пучка происходит при повышении потенциала корпуса установки до 150 кВ. Электронный пучок ускоряется до энергии, соответствующей потенциалу корпуса установки в зазоре между анодом электронной пушки и первой секцией трубки дрейфа. Аналогичный зазор перед электронным коллектором замедляет пучок.

По этой причине ионизатор установлен на высоковольтном терминале, на котором размещены также ЭКН, вакуумметр, аппаратура контроля температуры криогенно-магнитной системы. Электронная пушка, электронный коллектор, вытягивающий электрод с ионной оптикой и система контроля количества ионов изолированы от корпуса высоковольтными изоляторами.

Цикл работы источника после получения электронного тока заключается в последовательном создании соответствующих распределений потенциала на структуре дрейфовых трубок (рис.2). Распределение 1 соответствует выводу ионов из электронного пучка. Распределение 2 длительностью $1 + 10$ мс соответствует инжекции ионов в ионную ловушку. Распределение 3 длительностью 1 мс + 1 с и более создает ионную ловушку, после чего восстанавливается распределение 1 и многозарядные ионы выводятся через коллектор, вытягивающий электрод, линзы ионной оптики на систему контроля количества ионов и их спектрометрию. Система управления и контроля предназначена для работы источника КРИОН-С в лабораторном варианте и как инжектора — на линейном ускорителе ЛУ-20М.

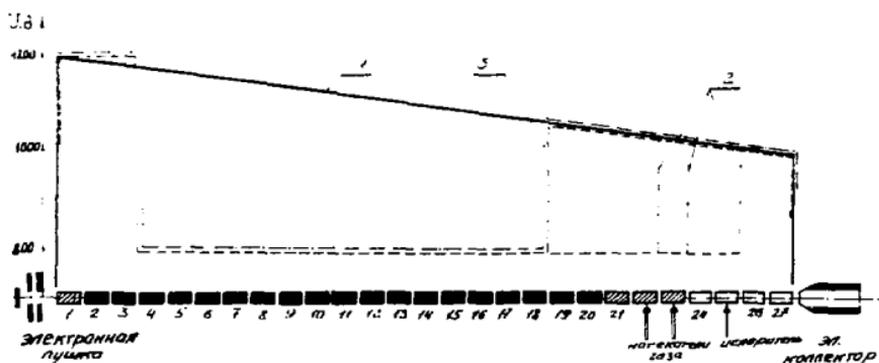


Рис. 2. Распределение потенциалов вдоль трубки дрейфа: 1 — экстракция ионов; 2 — инжекция рабочего вещества; 3 — ионизация

В лабораторном варианте, в модульной системе управления и контроля, размещенной в двух крейтах КАМАК, использованы многолинейные короткометражные волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) со строительной длиной 5 м [6]. Использование ВОЛС связано с необходимостью автоматизации источника, корпус и крейт с электронными блоками которого находятся под высоким потенциалом. Для синхронизации работы ионного источника используются многоканальный таймер 10ЦПЗ-01 [7] и стандартная электроника КАМАК (рис.1), описанная в работах [8,9]. В системе контроля электрических цепей использованы резисторные датчики, в системе контроля магнитных полей — датчики, работающие на эффекте Холла. Для увеличения помехозащищенности и обеспечения связи между блоками аппаратуры с существенной разницей рабочих уровней напряже-

ния использованы линейные устройства гальванической развязки (УГР) [10,11]. УГР размещаются в отдельном микрокрейте (КД).

При создании системы контроля особое внимание уделялось созданию датчика для измерения тока и заряда ионного пучка (на рис. 1 датчик помечен знаком Σ). Аппаратура датчика экранирована от внешних полей и установлена непосредственно в месте вывода коллекторной мишени. Для исключения наводок на мишень использован заземленный сетчатый экран с прозрачностью по пучку $\gamma = 50\%$. Для реализации высокой чувствительности при измерении тока ионного пучка в устройстве использован преобразователь «ток — напряжение». Последний выполнен на микросхеме К544УД2 по схеме инвертирующего усилителя. Коэффициент преобразования тока в напряжение $K_{пр.} = 600$ мВ/мкА с погрешностью не более 1%. Быстродействие канала $f_k \cong 500$ кГц. Синхронизация работы канала осуществляется с пульта управления источником.

Для оценки количества ионов, инжектируемых в линейный ускоритель, необходим канал измерения заряда ионного пучка. В аппаратуре датчика измерения заряда сигнал с выхода преобразователя «ток — напряжение» поступает на интегратор. Работа интегратора строится импульсом синхронизации так же, как и канал измерения тока. Погрешность операции интегрирования за счет быстродействия и конечной постоянной времени для «типичных» форм тока ионного пучка не превышает 1,5%. Выход ин-



Рис. 3. Внешний вид датчика тока и заряда ионного пучка

тегратора соединен со схемой «выборка — хранение», позволяющей длительное время (~ 2 с) удерживать максимальное значение выходного напряжения интегратора. Перевод последнего в режим хранения осуществляется в момент окончания стробирующего импульса. Коэффициент преобразования заряда в напряжение $K_{пр.} = 1,500 \text{ В/}1 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ с погрешностью $\pm 1\%$.

Приведенный к коллекторной мишени уровень помех и собственных шумов с выхода линейного дифференциального приемника не превышает $1,3 \cdot 10^{-12}$ Кл. Внешний вид датчика показан на рис.3.

Сервисная телевизионная система (рис.1), созданная на базе телекамеры, монитора ВК50В60 и аппаратуры ВОЛС [12], служит для передачи по световодному каналу телевизионного изображения шкалы стрелочного прибора вакуумметра с высоковольтного терминала установки на пульт управления ионного источника.

На ускорителе заряженных частиц основным критерием, по которому можно оценить границу применимости системы управления и контроля с использованием ВОЛС, является полное выполнение рабочей программы по управлению ионным источником, сбору, обработке и визуализации данных.

Устройства дистанционного управления [13,14] и контроля [8,15,16], изготовленные с использованием волоконно-оптического кабеля (ВОК), обеспечивают необходимую электромагнитную совместимость электронных средств при высоких уровнях помех, создаваемых действующим оборудованием линейного ускорителя ЛУ-20М. Малая масса и габаритные размеры ВОК позволяют создавать компактные и дешевые каналы связи с использованием простых и надежных оптических соединителей [17]. Сложившаяся практика создания короткометражных ВОЛС рассчитана на экономное использование дорогостоящего ВОК и максимальное упрощение электронного оформления.

Типовой канал межкрейтовой связи ионного источника имеет строительные длины ВОК 3, 5, 10 м. Интеграция световодных каналов связи характеризуется наращиванием числа простых каналов в параллель. Управление световодными каналами производится по электрическим линиям длиной 30—50 м и более. Полная схема межкрейтовой связи выглядит так: «высоковольтный терминал — земля» — ВОЛС; «земля — пульт управления ЛУ-20М» — проводной канал связи. При этом оба крейта с аппаратурой ВОЛС находятся в непосредственной близости от мощных источников рентгеновского, гамма- и нейтронного излучения.

Многолинейная структура короткометражных ВОЛС (до 10 каналов и более) на высоковольтных и энергонасыщенных ускорительных комплексах

сах не всегда приводит к желаемому успеху. Так, решив задачу гальванической развязки, разработчик наталкивается на ряд проблем, требующих принятия единых технических решений. Коснемся двух из них:

а) мер по увеличению радиационной надежности и стойкости компонентов ВОЛС;

б) мер по увеличению эксплуатационной надежности работы световодных каналов при высоких уровнях помех, создаваемых действующим оборудованием.

В части влияния радиации на надежность и стойкость компонентов ВОЛС следует отметить, что уровень наведенного поглощения в ВОК при импульсных воздействиях ионизирующих излучений может на несколько порядков превышать уровень, вызванный достаточно длительным облучением ВОК с малой мощностью дозы, однако она сравнительно быстро релаксирует. Наиболее чувствительными к воздействию ионизирующих излучений оказались световодные волокна [18]. Так, наведенное поглощение в волокнах из поликомпонентного стекла (жгутовые кабели) при импульсных дозах облучения 10^3 рад превышает 1000 дБ. Как показали результаты исследований, жгутовые кабели отечественного и зарубежного производства нежелательны для использования в системах ВОЛС, работающих на высоковольтных ускорительных комплексах в качестве коммуникационной среды. Ионизирующее излучение вызывает:

а) уменьшение выходной мощности оптического излучения у светодиодов;

б) ухудшение чувствительности фотоприемников ВОЛС, в основном за счет роста темновых и появления ионизационных токов у фотодиодов;

в) увеличение коэффициента затухания ВОК за счет наведенного поглощения в световодных волокнах;

г) люминесцентное и черенковское свечение в световодах.

Об эксплуатационной надежности электрического оформления

Как показала длительная эксплуатация короткометражных ВОЛС [6,19,20], свои передачи данных и зависания в параллельных каналах оптической системы связи, как правило, вызываются плохой затяжкой вилочной части разъемов LEMO на электрических кабелях, несоответствием отверстия хвостовой части разъема диаметру кабеля, в результате чего разрушенная центральная жила кабеля имеет контакт в месте излома, зависящий от тряски и температуры.

Одной из причин нестабильной работы ВОЛС может являться увеличение пульсаций источников питания в крайтах, расположенных на высоковольтном терминале и потенциале «земля» из-за «высыхания» в них электrolитических конденсаторов при длительной круглосуточной эксплуатации в экстремальных условиях.

Другая причина кроется в помехозащищенности «промежуточных» электрических линий связи и в способе их подключения к электронным блокам короткометражных ВОЛС. Испытания показали, что при работающем ускорителе наводка на коаксиальный кабель на порядок больше, чем на скрученную пару. Возможно, это связано с тем, что коаксиальный кабель имеет значительный эксцентриситет центральной жилы (пары) относительно экрана. Наилучшими свойствами обладают кабели РК-50-1, РК-50-1,5-11 и кабель ПМПЭВ (скрученная пара в экране). Положительный эффект может дать подключение стойки регистрирующего комплекса (КАМАК, ПЭВМ), расположенного на пульте ЛУ-20М, к специальной «радиоэлектронной земле», имеющей свой отдельный заземлитель.

Основными мероприятиями для решения проблем повышения радиационной и эксплуатационной надежности ВОЛС следует считать:

1) удаление «наземного» крейта с аппаратурой ВОЛС из радиационной зоны линейного ускорителя; отказ от использования «промежуточных» электрических линий связи;

2) использование в диапазоне длин волн 800 + 900 нм оптических моноволокон только типа «кварц — полимер» и «кварц — кварц» как наиболее радиационно стойких [18];

3) проведение предварительной технологической радиационной тренировки моноволокон.

Кардинально изменить сложившуюся ситуацию возможно применением последовательных волоконно-оптических интерфейсов с использованием ВОК необходимой протяженности. Создание «сквозной» ВОЛС «высоковольтный терминал — пульт ЛУ-20» способствует получению высокой достоверности передачи информации (ошибка передачи данных для проводных и кабельных линий лежит в пределах 10^{-4} — 10^{-5} , а для ВОЛС этот параметр не превышает 10^{-9}).

Отметим, что стоимость передачи бита информации у 50-метровой ВОЛС с временным уплотнением каналов обходится значительно дешевле, чем стоимость передачи бита у 10 вместе взятых одноканальных короткометражных (5 м) ВОЛС с параллельной организацией.

Если производительность последовательного интерфейса по аналогии с параллельным определить как произведение скорости передачи данных на длину линии (в волоконной оптике это называется параметром широкополосности), то оказывается, что применение волоконной оптики в последовательных интерфейсах приводит к увеличению их производительности.

Таким образом, количество короткометражных ВОЛС возмещается качеством работы новой системы, не зависящим от «погоды» на линейном ускорителе, так как резко сокращается число «датчиков радиационного контроля» (свето- и фотодиодов) у световодных систем, находящихся в радиационной зоне.

Эти преимущества внутриобъектовых ВОЛС учитывались при проектировании систем управления и контроля ионного источника на стадии их проектирования.

КРАТКИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ И СЕРВИСНЫХ СВЕТОВОДНЫХ СИСТЕМ

1. Для передачи сигналов управления создан 19-канальный волоконно-оптический мультиплексор (ВОМ) [21] с временным уплотнением каналов и синхронной передачей данных в коде «Манчестер». В световодной системе с целью повышения помехозащитности внутриобъектовой ВОЛС реализован метод повторной передачи данных, который компенсирует как возможные сбои в работе электронных блоков устройства, так и помехи, наводимые в ВОК импульсными радиационными полями. Скорость передачи данных в системе — 5 Мбит/с, уровни входных/выходных сигналов — ТТЛ, тип световода — КК125/50, коэффициент затухания ВОК — 10 дБ/км, максимальная строительная длина световодной линии — 630 м.

2. Для передачи сигналов телеметрии создан световодный последовательный асинхронный канал связи (СПАКС) [22]. Он использован для обмена 16-разрядными словами, преобразуемыми из параллельного кода в последовательный и наоборот (в зависимости от направления обмена). Для эксплуатации СПАКС в условиях импульсных радиационных полей использован радиационно стойкий ВОК с полимерной отражающей оболочкой типа «кварц — полимер». Обмен словами в системе СПАКС осуществляется со скоростью 1,25 Мбит/с, структура слова приведена на рис.4. Тип последовательного кода — «Манчестер». При использовании ВОК

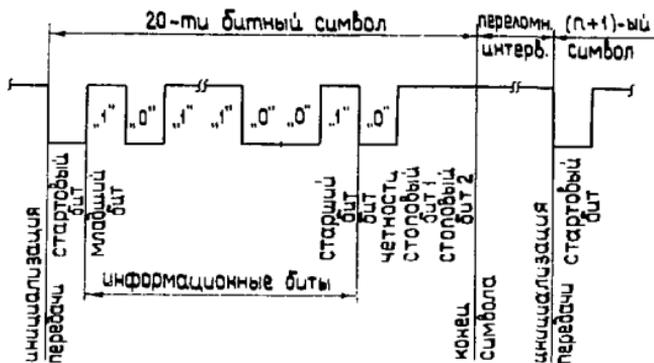


Рис. 4. Структура 20-разрядного слова

КП200 с затуханием 20 дБ/км максимальная строительная длина световодной линии 500 м.

3. Для неконтактных измерений телевизионными методами в составе системы телеметрии ионного источника используется прикладная телевизионная установка «Матрица». Телекамера обеспечивает «жесткий» растр с фиксированной геометрией. Нелинейные искажения в камере отсутствуют, а геометрические определяются только объективом. Видеосигналы от телекамеры передаются на монитор ВК50В60, установленный на пульте управления ЛУ-20М, по 50-метровой ВОЛС [23]. Разрешающая способность системы (по тест-таблице) 120—130 телевизионных линий по горизонтали и вертикали при освещенности ~4 лк.

4. Для организации служебной связи по моноволоконному световодному тракту в период настройки систем ионного источника используется симплексная частотно-модулированная система ВОЛСОФОН [24]. Применение многофункциональных оптических преобразователей «светофотодиод» в структуре цифрового канала связи позволило придать ВОЛС большую гибкость и эффективность. Частота несущей ГУН равна 100 кГц, девиация частоты ± 8 кГц. При использовании ВОК КК125/50 с затуханием 5 дБ/км максимальная строительная длина световодной линии 500 м.

При разработке сервисных систем был учтен опыт создания аналогичной аппаратуры, работавшей на высоковольтном терминале [25, 26].

Автоматизированная система управления и контроля ионного источника (рис.5) реализована на базе ПЭВМ «Правец-16», совместимой с IBM PC/XT и двух — «активного» и «пассивного» — крейтов КАМАК, расположенных соответственно на пульте ЛУ-20М и на высоковольтном терминале (~700 кВ) инжектора ускорителя. Программное обеспечение, реализованное на компьютере, написано на языке ПАСКАЛЬ. Основная особенность функционирования системы контроля ионизатора состоит в том, что опрос датчиков, расположенных под высоковольтным потенциалом, производится без участия ПЭВМ регистрирующей аппаратурой КАМАК, работающей по жестко заданному алгоритму. Ввиду не критичности системы контроля к быстрдействию и в целях упрощения функционирования работа с аппаратурой КАМАК ведется в программном режиме. В качестве коммуникационной среды для образования каналов передачи информации «терминал — пульт ЛУ-20М» использован ВОК со строительной длиной 50 м.

Управление исполнительными устройствами ионного источника осуществляется с помощью пятиканального таймера, расположенного на потенциале «земля», в «активном» крейте КАМАК. Структура таймера предусматривает работу источника в двух режимах: в режиме наладки (с запуском от имитатора) и в режиме синхронизации с циклом ускорителя. Задержанные импульсы передаются на «потенциал» с помощью многоканального волоконно-оптического мультиплексора. Одним из задержанных

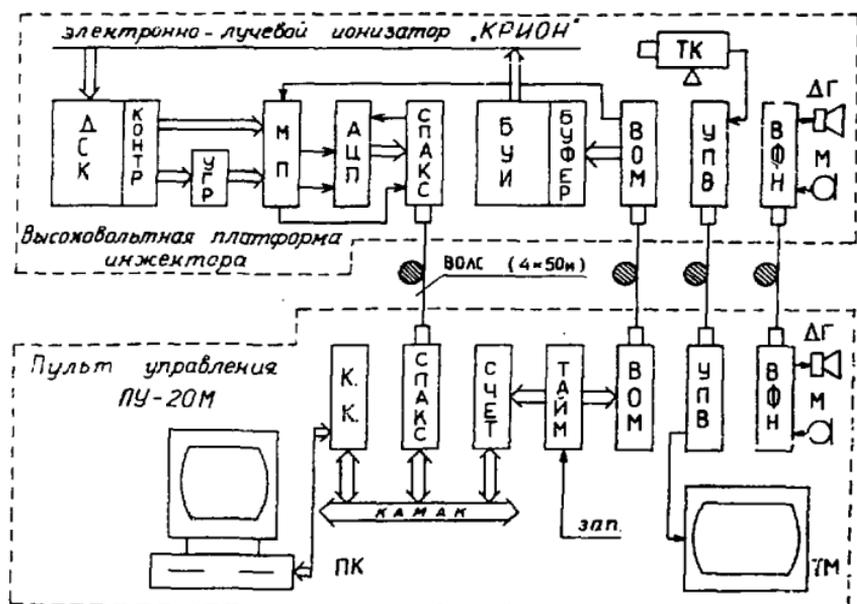


Рис. 5. Автоматизированная модульная система управления и контроля ионного источника. Система управления: БУИ — блоки управления инжектором; БУФЕР — устройство контроля прохождения сигналов; ВОМ — волоконно-оптический мультиплексор; ТАЙМ — многоканальный таймер; СЧЕТ — двоичные счетчики. Система контроля: ДСК — датчики системы контроля; КОНТР — устройство контроля сигналов датчиков; УГР — устройства гальванической развязки; МУП — мультиплексор; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; СПАКС — световодный последовательный асинхронный канал связи; КК — контроллер крейта; ПК — персональный компьютер. Сервисные системы: ТК — телекамера «Матрица»; УПВ — устройство приема/передачи видеосигналов; ТМ — телемонитор; ВФН — система ВОЛСОФОИ; ДГ — динамическая головка; М — микрофон

импульсов инициируется цикл опроса 15 датчиков системы контроля ионизатора. Цикл включает в себя оцифровку каждого из параметров и передачу их по световодному асинхронному каналу связи на пульт управления ЛУ-20М. ПЭВМ считывает 15 слов от датчиков системы контроля, затем 5 слов, содержащих информацию о временах задержек таймеров. Считанная ПЭВМ информация приводится к физическим размерностям и отображается на экране цветного дисплея. Кроме отображения информации осуществляется контроль и предупреждение дежурного персонала о выходе параметров за установленные пределы. Нижние и верхние пределы для всех измеряемых величин устанавливаются оператором в диалоговом режиме при запуске программы либо считываются из файла. Возможен полный или частичный отказ от контроля значений измеряемых величин.

Система контролирует и отображает следующие измеряемые параметры:

- а) магнитное поле соленоида (с точностью 5%);
- б) вакуум (индикаторный режим);
- в) криогенные температуры (с точностью 0,2%);
- г) электронный ток, потенциал катода, распределение потенциалов на секциях дрейфовой структуры источника (с точностью 0,1%).

Ввод в эксплуатацию автоматизированной системы управления и контроля позволил значительно сократить время настройки режимов ионизатора и повысить качество выводимого пучка. Созданная аппаратура ВОЛС и программное обеспечение предоставляют большие возможности для проведения экспериментов по исследованию и оптимизации режимов работы ионизатора КРИОН-С.

Для ускорения ядер серы на синхрофазотроне ЛВЭ была выбрана схема ускорения «beam-foil» как наиболее удачная в ускорительных комплексах многозарядных ионов. Такая схема существенно облегчает режим работы ионного источника, так как менее половины фактора ионизации затрачивается на удаление электронов с К-оболочки.

Параметры источника КРИОН-С:

электронный ток	— ~0,2 А (постоянный режим);
энергия электронов	— ~5 кэВ;
плотность тока	— ~200 А/см ² ;
время ионизации	— ~200 мс;
фактор ионизации	— ~3 · 10 ²⁰ см ⁻² ;
рабочий газ	— сероводород.

Ионный пучок из источника интенсивностью $\sim 5 \cdot 10^9$ 1/З (~ 80% S¹⁴⁺, ~ 15% S¹³⁺, ~ 5% S¹²⁺,) поступает на вход ЛУ-20М, настроенного на соотношение $Z/A = 0,437$. Ускоренный пучок ионов (~ 98% S¹⁴⁺, ~ 2% S¹³⁺) попадает на графитовую фольгу (stripper), после которой трансформирует в ионный пучок, содержащий ~20% S¹⁶⁺, ~45% S¹⁵⁺, ~30% S¹⁴⁺, ~5% S¹³⁺.

Число захваченных в бетатронный режим частиц $\sim 3,7 \cdot 10^7$ 1/З. Количество частиц, выведенных из ускорителя, в среднем $\sim 2,5 \cdot 10^3$ 1/имп. Спектр состоял из ядер O⁸⁺ (~30%) и S¹⁶⁺ (~70%), что говорит о недостаточной чистоте исходного газа. Вакуумные потери составляют фактор ~20, для среднего вакуума в камере синхрофазотрона $\sim 2 \cdot 10^{-7}$ торр. Такой вакуум был обеспечен при помощи криооткачки.

Эксперименты показали совпадение количества ядер S^{16+} в составе спектра зарядностей после «обдирки» при энергии 5 МэВ/нукл. с предсказанными теорией. В процессе эксплуатации оборудования зафиксирована достаточно стабильная работа источника КРИОН-С при высокой эффективности выбранной схемы ускорения.

Авторы приносят искреннюю благодарность А.М.Балдину, А.Д.Коваленко и Л.Г.Макарову за организацию работ по проекту «КРИОН-С».

Литература

1. Балдин А.М. и др. — Труды 4-го Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. М.: Наука, 1974, т.2, с.4.
2. Коваленко А.Д., Овсянников В.П., Романов Ю.И., Царенков А.П. и др. — Краткие сообщения ОИЯИ, 2(59)-93, Дубна, 1993, с.53.
3. A.R.Van. Hook — EBIS, control system sand 87—8212, vc-13, 1987.
4. Овсянников В.П. и др. — ОИЯИ, P7-12905, Дубна, 1979.
5. Овсянников В.П., Шелаев М.И. — ОИЯИ, P13-90-297, Дубна, 1990.
6. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-82-279, Дубна, 1982.
7. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-83-478, Дубна, 1983.
8. Романов Ю.И., Турзо И. — ОИЯИ, 13-86-513, Дубна, 1986.
9. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-86-533, Дубна, 1986.
10. Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-93-105, Дубна, 1993.
11. Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-93-128, Дубна, 1993.
12. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-85-580, Дубна, 1985.
13. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-89-847, Дубна, 1989.
14. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-90-63, Дубна, 1990.
15. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 10-81-295, Дубна, 1981.
16. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-86-533, Дубна, 1986.
17. Гусаков Ю.В., Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-91-148, Дубна, 1991.
18. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-88-723, Дубна, 1988.
19. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-86-566, Дубна, 1986.
20. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-88-827, Дубна, 1988.
21. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-88-636, Дубна, 1988.
22. Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-90-536, Дубна, 1990.
23. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-92-366, Дубна, 1992.
24. Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-90-473, Дубна, 1990.
25. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-85-599, Дубна, 1985.
26. Романов Ю.И. — ОИЯИ, P13-91-317, Дубна, 1991.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 июня 1993 года.