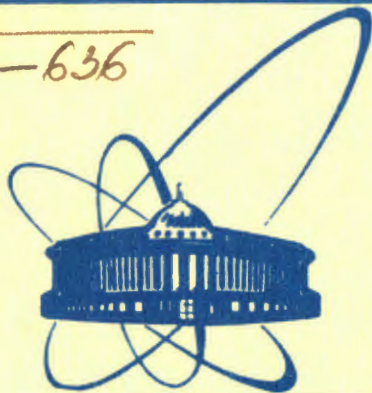


К-636



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

2437 / 2-81

18/5-81

P16-81-108

М.М.Комочков, А.Л.Шишкин

СИСТЕМА ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ  
НА УСТАНОВКЕ Ф

(Обоснование и структура)

1981

Проектирование систем дозиметрического контроля на ядерно-физических установках связано с решением двух основных задач.

Первая задача - определение объема работ, характера и периодичности дозиметрического контроля, а также форм учета, порядка регистрации, поиска и выдачи результатов контроля - должна решаться на основании данных о конкретной радиационной обстановке и требований норм и правил по радиационной безопасности /1,2,3/.

Вторая задача заключается в обоснованном выборе структуры и элементов системы дозиметрического контроля /СДК/, которые должны обеспечить надежность и оперативность ее работы, а также простоту ремонта и обслуживания. При этом следует учитывать тенденцию развития базовых элементов электроники СДК для модернизации ее в будущем.

В настоящей работе делается попытка определить структуру СДК на установке Ф исходя из современных требований и рекомендаций к дозиметрическому контролю.

## 1. ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ /ДК/

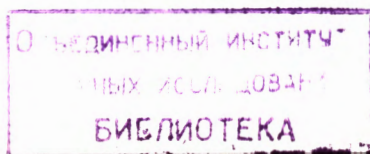
Основные цели дозиметрического контроля изложены в отечественных и зарубежных нормативных документах /1,2,3/.

Главная цель ДК - контролировать изменения радиационной обстановки и дозы облучения всех категорий лиц для того, чтобы избежать необоснованного превышения установленных нормативов.

Кроме того, для повышения эффективности СДК в программу контроля могут быть включены дополнительные требования по выявлению простейших причин аномальных радиационных ситуаций, по проверке моделей расчета и прогноза радиационной обстановки, по оценке эффективности защитных устройств и мероприятий, а также по определению коллективной дозы облучения.

## 2. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА УСТАНОВКЕ Ф /ПРОГНОЗ/

В таблице приведены данные по облучаемости лиц категорий А и Б, полученные усреднением индивидуальных /для категории А/ и групповых /для категории Б/ доз и выраженные в единицах соответствующих дозовых пределов /эквивалентно - в единицах допустимого риска /3-6/ /. Расчеты сделаны по результатам исследо-



Таблица

Относительные уровни облучения лиц категорий А и Б от различных видов излучения синхротрона /с/ц/ и установки Ф /прогноз/

Категория облучаемых лиц	Основные дозовые пределы мЗв/год	Группы облучаемых лиц	Уровни индивидуального годового облучения в единицах основных дозовых пределов (допустимый риск)										
			Все виды излучения		Нейтроны ( $E_n \leq 20$ МэВ) и адроны ( $E_a > 20$ МэВ)		Гамма-квант. (наведенная радиоактивн.)		Газы, аэроз., поверхностн. загрязнен.		Внешнее и внутреннее облуч. при РХ опытах		
			с/ц	Ф	с/ц	Ф	с/ц	Ф	с/ц	Ф	с/ц	Ф	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Персонал - А	ЩД = 50	Службы эксплуатации и обслуживания ускорителя	0,35	0,50	0,05	0,06	0,30	0,45	-	0,01	-	-	-
		Исследовательские группы (физики)	0,060	0,095	0,010	0,020	0,050	0,070	-	0,005	-	-	-
		Исследовательские гр. (радиохимии)	0,075	0,150	0,005	0,010	0,020	0,030	-	0,010	0,050	0,100	-
		Персонал (среднее значение)	0,140	0,210	0,020	0,030	0,117	0,164	-	0,007	0,003	0,009	-
Огранич. часть населения - Б	ЩД = 5,0	Критическая группа лиц категории Б	0,15	0,20	0,15	0,20	-	-	-	-	-	-	-
		Категория Б (среднее значение)	0,025	0,030	0,025	0,030	-	-	-	-	-	-	-

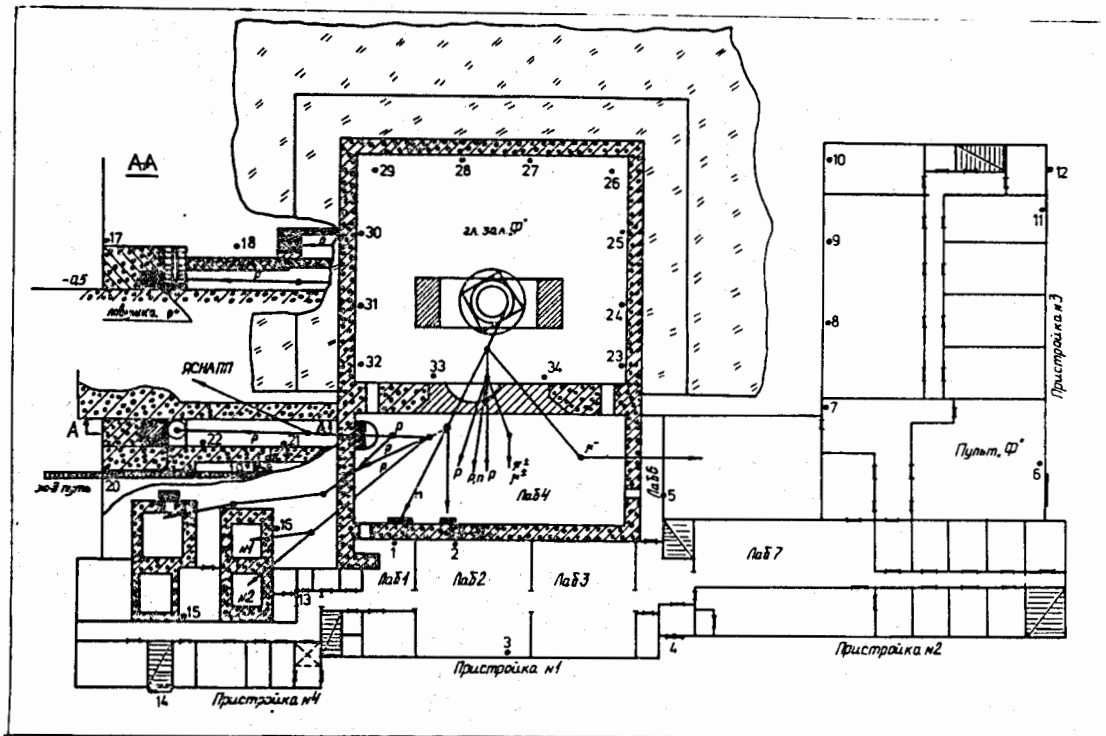


Рис.1. План размещения датчиков /№№ 1÷34/ СДКФ в помещениях 1 корпуса Лаборатории ядерных проблем и его пристройках.

ваний радиационной обстановки за защитой синхроциклотрона<sup>/7/</sup> и по итогам индивидуального и группового контроля. При прогнозировании радиационной нагрузки на людей от установки Ф были учтены следующие факторы:

- защита в главном зале ускорителя /рис. 1/ и потери ускоренных протонов останутся такими же, как и на синхроциклотроне;
- интенсивность выведенного пучка протонов может достигать ~10 мкА;
- параметры протоноводов, их защита спроектированы таким образом, чтобы выход излучения за защиту установки Ф не превышал соответствующего выхода для синхроциклотрона;
- радиационная нагрузка на персонал при проведении ремонтно-наладочных работ в полях наведенной гамма-активности возрастет не более чем в 1,5 раза.

Для всех категорий лиц ожидается увеличение доз по нейтронам /Е ≤ 20 МэВ/ и адронам /Е ≥ 20 МэВ/, обусловленное иным, чем для синхроциклотрона, распределением потерь протонов и, как следствие этого, возможным ухудшением радиационной обстановки.

Из таблицы видно, что персонал лаборатории работает в условиях облучения в среднем ниже ПДД, хотя индивидуальные дозы могут достигать и, в редких случаях, даже превышать ПДД. Коллективная доза может быть вычислена из предположения, что распределение индивидуальных доз описывается логарифмически-нормальной<sup>/5,8/</sup> либо гамма-функцией<sup>/9/</sup>, параметры которых определяются экспериментально.

Лица категории Б, работающие в пределах зоны радиусом 600 м от центра ускорителя, отнесены к критической группе<sup>/1/</sup>. Основным источником облучения этой группы, как и всего населения в радиусе R до ~2,5 км от установки Ф, являются нейтроны /Е ≤ 20 МэВ/ и адроны /Е ≥ 20 МэВ/, выходящие из защиты ускорителя. В остальной части зоны наблюдения /R ≥ 2,5 км/ облучением от установки Ф можно пренебречь по сравнению с естественным фоном.

### 3. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Точность измерений является важным параметром, характеризующим степень достоверности полученных результатов и качество метрологического обеспечения. Наиболее полное, но еще недостаточное определение приемлемой точности дано в рекомендациях МКРЕ<sup>/10/</sup>: +30% для уровней облучения, близких к предельно допустимым дозам /ПДД/, и коэффициент 3 для значений ~0,1 ПДД. При этом не указывается доверительный интервал, точность, необходи-

мая при измерениях промежуточных значений доз облучения, и не расшифровывается способ применения указанного коэффициента. Можно лишь предположить, что данная оценка относится к 90-95%-ному доверительному интервалу, обычно используемому в практике радиационной защиты, безопасности и контроля /см., например, комментарии в работе<sup>/10/</sup> и работы в сборнике<sup>/11/</sup>.

Ниже предлагается формула для оценки точности измерения доз облучения  $H \leq \text{ПДД}$ , следующая из известных соотношений для случайных величин<sup>/12/</sup>:

$$\delta = \delta_0 \sqrt{\text{ПДД}/H}, \quad /1/$$

где  $\delta_0$  - требуемая точность измерения ПДД в  $\epsilon$ -процентном доверительном интервале /в данном случае ПДД = 50 мЗв,  $\delta_0 = 30\%$ ,  $\epsilon = 95\%$ . Если величина H определяется как

$$H = P_t T, \quad /2/$$

где  $P_t$  - средняя мощность дозы за время  $t \leq T$  /здесь  $T=1$  год/, то точность измерения  $P_t$  должна быть равна точности, определенной по формуле /1/ для H.

### 4. ВИДЫ ИНФОРМАЦИИ. ПЕРИОДИЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Всю информацию, поступающую с датчиков системы ДК, можно разбить на четыре основные группы.

а/ Контрольная информация необходима для сравнения радиационной обстановки во время проведения измерений с контрольными уровнями, которые устанавливаются и используются для оценки радиационной обстановки преимущественно на основе среднего значения показателя за смену для категории А и за месяц для категории Б<sup>/11/</sup>. В случае нестационарного режима работы установки контроль должен проводиться чаще с целью ограничения уровней облучения в пределах контрольных значений, а также для определения радиационной обстановки в любом из основных режимов работы ускорителя.

При превышении контрольного уровня срабатывает предупредительная сигнализация<sup>/2,13/</sup>. Контрольные результаты оформляются с помощью печатающего устройства.

б/ Оперативная информация требуется для быстрой оценки текущей радиационной обстановки с целью правильной организации работ в радиационных зонах. Информация представляется в виде печатного текста и данных на экране дисплея.

в/ Аварийная информация поступает с датчиков аварийной сигнализации. Периодичность съема информации с датчиков определяется временем срабатывания сигнализации и блокировок и, как

правило, не превышает нескольких секунд. Обычно аварийный уровень устанавливается в 10-100 раз выше типичного для нормальных рабочих условий; в работе <sup>13/</sup>, например, его рекомендуют устанавливать равным 0,5 мкЗв/с.

г/ Исследовательская информация вместе с данными о режимах и параметрах ускорителя позволит правильно интерпретировать результаты измерений и обоснованно делать прогнозы и заключения по организации работы установки. Поэтому аппаратуре для исследования радиационной обстановки должно быть отведено одно из главных мест в системе ДК, особенно при проведении пуско-наладочных работ на установке Ф.

## 5. ОБЪЕМ РАБОТ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

При определении объема работ дозиметрического контроля авторы исходили из того, что средняя доза облучения лиц рассматриваемой категории не должна превышать 10% от соответствующего дозового предела, т.е. 5,0 мЗв/год для категории А и 0,5 мЗв/год для лиц категории Б <sup>3,4/</sup>. Принятые ограничения подтверждаются последними исследованиями, например, А.Стюарта /Великобритания/ и К.Моргана /США/, которые считают, что коэффициенты риска при малых дозах должны быть увеличены в 6-8 раз по сравнению с принятыми в настоящее время <sup>8/</sup>. Поэтому для персонала, средняя доза облучения которого в 1,5-2,0 раза выше рекомендованного среднего значения /см. таблицу/, будет обязателен индивидуальный дозиметрический контроль по гамма-излучению, и для части сотрудников - контроль по нейтронам.

В ряде рабочих помещений, где ожидается более высокая радиационная нагрузка по нейтронам, будут установлены датчики нейтронов /рис.1, №1-3, 5-11,13, 15-20/. Контроль облучаемости персонала по радиоактивным газам, аэрозолям и поверхностной загрязненности достаточно проводить путем периодического отбора проб после работы ускорителя в наиболее опасных с этой точки зрения режимах.

Для выявления аномальных /аварийных/ ситуаций на установке Ф, которые могут возникнуть в случае непредусмотренных потерь протонов на пути от камеры ускорителя до ловушки, предусмотрены датчики аварийной сигнализации, управляющие устройства внешней сигнализации и блокировок вывода или ускорения протонов /рис.1, №1,2,5,16-22/.

Контроль облучаемости лиц категории Б достаточно проводить путем измерений радиационной обстановки в контрольных точках с периодичностью не реже одного раза в месяц. При этом суммарная ошибка в определении дозы не должна превышать заданной формулами /1/ и /2/ точности. Такой анализ показывает, что для

проведения необходимого группового дозиметрического контроля на территории площадью около 1 км потребуются не менее 50 датчиков нейтронов на основе коронных счетчиков типа СММ-14, помещенных в замедлители из полиэтилена. Применение более простых и надежных "пассивных" датчиков /ТЛД <sup>6</sup>LiF + <sup>7</sup>LiF в замедлителях/ ограничено их слабой интегральной чувствительностью, а более сложных, которые достаточно хорошо воспроизводят полную эквивалентную дозу во всем диапазоне энергий нейтронов за защитой ускорителей <sup>4,14-16/</sup> - непригодностью таких приборов для длительной работы в тяжелых климатических условиях и их большой стоимостью.

## 6. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НА УСТАНОВКЕ Ф

Приведенные данные и соображения показывают, что для нормальной эксплуатации ускорителя требуется разветвленная сеть стационарных "активных" датчиков и система для переработки поступающей с них информации. Уменьшение объема ДК ухудшает достоверность результатов контроля и приводит к необходимости определять режим работы ускорителя по экстремальным значениям мощности дозы. Для установки Ф это может привести к потерям сотен мкА час/год при выводе пучка протонов. В данном случае напрашивается закономерный вывод об автоматизации процесса сбора, обработки и хранения информации. Возможность создания автоматизированной системы подкрепляется наличием в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ хорошей электронной базы, в том числе микрокомпьютера в стандарте КАМАК <sup>17/</sup>, обеспеченного диалоговым редактором текста и ассемблером для подготовки и отладки рабочих программ <sup>18/</sup>.

Включение автоматизированной техники в структуру измерительного канала позволит упростить его структуру и по-новому подойти к решению задач ДК на основе многоканальных автоматизированных систем.

На рис.2 показана структура системы дозиметрического контроля на установке Ф /СДКФ/, состоящая из двух основных частей: СДКФ-АСУ - автоматизированная система управления дозиметрическим контролем на установке Ф;

СДКФ-ИКА - приборы и аппаратура для исследования радиационной обстановки на установке Ф.

Суть разделения системы на две части заключается в том, что дозиметрический контроль проводится по показаниям датчиков-мониторов СДКФ-АСУ согласно установленному соответствию между их откликами и радиационной обстановкой как вблизи ускорителя, так и на значительных расстояниях от него, измеренной с помощью

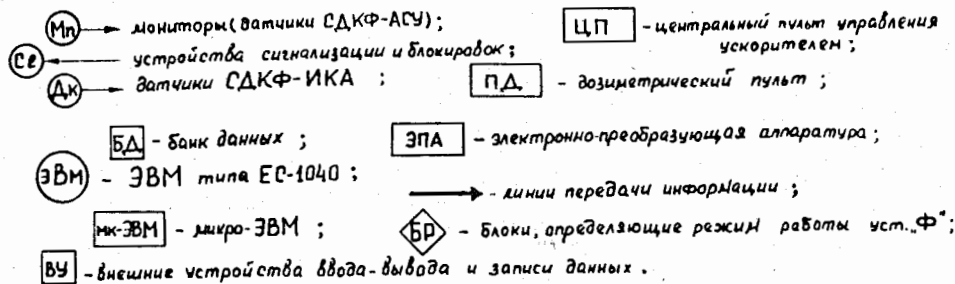
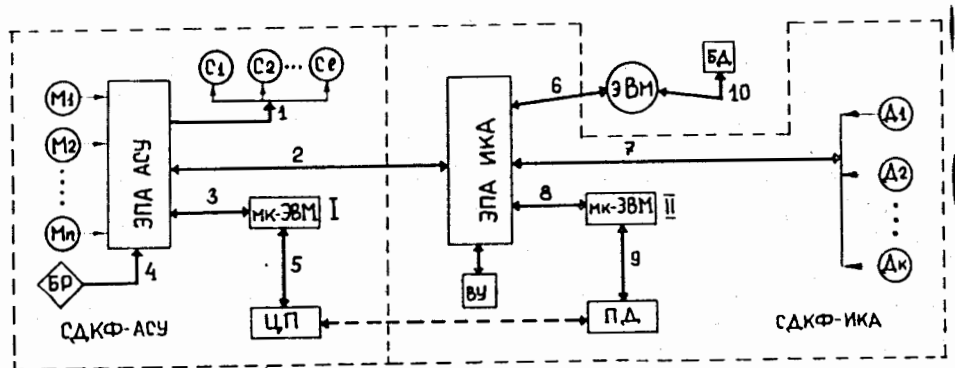


Рис. 2. Структура системы дозиметрического контроля на установке Ф /СДКФ/.

датчиков и приборов СДКФ-ИКА. Именно это и является главным отличием СДКФ от аналогичных систем /см., например, работу /19/, что позволяет расширить круг задач, решаемых системой /см. раздел 7/, и повысить ее эффективность. Кроме того, предложенный способ дает возможность:

- отказаться от использования большого числа "активных" датчиков для контроля облучаемости лиц категории Б и соответственно упростить эксплуатацию и обслуживание СДКФ;
- проводить контроль с помощью простых и надежных датчиков-мониторов, что повышает надежность работы системы дозконтроля;
- получать с требуемой точностью всю необходимую информацию о радиационной обстановке на установке Ф и за ее защитой.

## 7. ПРОГРАММА РАБОТЫ СДКФ

### СДКФ-АСУ

Сигналы с датчиков-мониторов  $M_i$ , преобразованные в стандартные, поступают на входы счетчиков импульсов /на рис. 2. преобразователи, формирователи, счетчики импульсов, регистры и т.п. объединены под общим названием "ЭПА-АСУ"/. Набор статистики происходит в промежутках между тактовыми импульсами, вырабатываемыми генератором импульсов СДКФ-АСУ. Период следования тактовых импульсов определяется необходимой частотой съема информации с датчиков аварийной сигнализации, с одной стороны, и допустимыми потерями информации за счет мертвого времени системы - с другой. Режим работы ускорителя заносится в регистр ЭПА-АСУ в виде двоичного числа, определяемого набором включенных /логическая 1/ и выключенных /логический 0/ электромагнитных устройств, участвующих в ускорении протонов и выводе того или иного пучка, а также в блокировке входов в "Зоны запрета".

Каждый тактовый импульс является началом "Программы чтения информации", выполняющей

- блокировку входов ЭПА-АСУ;
- перенос информации с регистров и счетчиков импульсов в память микро-ЭВМ I;
- обнуление регистров и счетчиков импульсов /сброс ЭПА-АСУ в ноль/;
- деблокировку входов ЭПА-АСУ, начало следующего цикла набора информации;
- передачу управления "Программе аварийного и предупредительного контроля", которая производит следующие операции:
- сравнение вновь поступившей в память микро-ЭВМ I информации с соответствующими пороговыми значениями, сначала с аварийными, затем с контрольными;
- занесение данных о превышении установленных порогов /логическая единица/ в регистр, управляющий включением сигнализации и блокировок;
- передачу управления "Программе предварительной сортировки и накопления данных", которая сортирует и заносит в память микро-ЭВМ I данные о режиме работы ускорителя, календарное время, информацию с регистров и счетчиков, данные о срабатывании сигнализации и блокировок.

После записи информация о превышении установленных порогов в выходные регистры система КАМАК ждет следующего тактового импульса.

Обмен данными с микро-ЭВМ 2 или ЭВМ центрального пульта, ввод тестовых и вспомогательных программ производится по командам с центрального или дозиметрического пульта.

## СДФ-ИКА

В этой части системы должно быть реализовано несколько основных программ.

а/ "Программа исследования радиационной обстановки" проводится с помощью эталонных приборов и датчиков СДФ-ИКА /на первой стадии - спектрометр Боннера, полупроводниковый и сцинтилляционный гамма-спектрометры для проведения активационного анализа, дозиметры гамма-излучения, фотоэмульсионные и фото-плёночные детекторы, ТЛД/. Измерения, в зависимости от типа прибора, проводятся как в автономном, так и в он-лайн-режимах. Цель программы - накопить достаточный объем информации об уровнях излучения во всех радиационных зонах для всех основных режимов работы установки Ф и установить однозначную связь между показаниями мониторов  $M_i$  и радиационной обстановкой на ускорителе  $\{N_k\}$ :

$$N_k = \sum_{\gamma=1}^{\ell} \sum_{i=1}^n M_i A_{ijk}, \quad /3/$$

где  $N_k$  - наиболее вероятное значение полной эквивалентной дозы ото всех видов излучения в контрольной точке "k"; измеренное набором эталонных приборов СДФ-ИКА;  $M_i$  - отклик i-го датчика монитора СДФ-АСУ;  $\{A_{ijk}\}$  - корреляционная матрица, связывающая  $M_i$  с наиболее вероятной эквивалентной дозой j-го вида излучения;  $n < 31$  - количество датчиков-мониторов /рис.1, №№1-3,5-11,13,15-22,23-24/;  $\ell$  - количество контролируемых видов излучения на установке Ф / $\ell = 1$  и относится к нейтронам, см. таблицу/;  $k=1+K/K$  - количество контрольных точек,  $K \geq 50$  / Полную ошибку величины  $N_k$  для 90-95%-ного доверительного интервала  $\Delta N_k$  можно оценить по формуле /4/:

$$\Delta N_k \approx \left( \sum_{\gamma=1}^{\ell} \sum_{i=1}^n M_i^2 d_{ijk} \right)^{0,5}, \quad /4/$$

где  $\{d_{ijk}\}$  - матрица квадратов ошибок  $A_{ijk}$  для 95%-ного доверительного интервала. Следует отметить, что формула справедлива, если относительная ошибка величин  $M_i$  значительно меньше ошибки определения  $A_{ijk}$ .

б/ "Программы ввода-вывода аварийной, контрольной, оперативной и исследовательской информации, реализуемые с помощью внешних устройств".

в/ "Программа обмена данными с внешними запоминающими устройствами и ЭВМ" предназначена для организации длительного хранения, а также для проведения сложной обработки экспериментальной информации.

г/ "Программа для введения коррекции в перепрограммируемую постоянную память контроллера с микро-ЭВМ1 СДФ-АСУ".

д/ Подготовка и отладка программ СДФ.

Градуировка и поверка СДФ должна проводиться регулярно согласно установленному графику с целью поддержания достоверности измерений на заданном уровне.

Контроль параметров датчиков-мониторов достаточно проводить с помощью контрольных источников. Основные требования к мониторам: простота, надежность, стабильность и повторяемость измерений, достаточная чувствительность к нейтронам или к гамма-квантам и заряженным частицам.

Вся эталонная аппаратура и датчики СДФ-ИКА подлежат градуировке и государственной поверке. Контроль параметров приборов и датчиков во время проведения измерений должен проводиться с помощью контрольных источников.

Для подтверждения соответствия выбранной модели расчета /см. формулу /3// реальной радиационной обстановке будет установлено около 20 "пассивных" датчиков на различных расстояниях за защитой ускорителя. Периодичность съема информации с датчиков зависит от ожидаемого уровня облучения и колеблется от месяца до полугода. "Пассивные" датчики также подлежат градуировке и государственной поверке.

## 8. ЭТАПЫ ВВОДА В ДЕЙСТВИЕ СДФ

Первый этап соответствует пуско-наладочному периоду работы ускорителя. Основные задачи первого периода заключаются в выявлении наиболее опасных участков и в предотвращении аварийных ситуаций. На основании результатов измерения радиационной обстановки в ограниченном числе точек за защитой установки Ф и по данным работ /7,20/ строится первая модель  $\{A_{ijk}\}$ . Необходимое количество датчиков-мониторов для проведения вычислений по формуле /4/ не превышает 4 шт.

Второй этап характеризуется накоплением экспериментальных данных об ускорителе как источнике излучения. Реализуется промежуточная модель  $\{A_{ijk}\}$ . Оптимизируется количество контрольных точек и мониторов.

Третий этап. Окончательный выбор  $\{A_{ijk}\}$ , матрицы ошибок и расположения стационарных датчиков СДФ. Завершение основных исследований радиационной обстановки и отладки рабочих программ системы.

В заключение авторы благодарят В.Т.Сидорова за полезные замечания и помощь в подготовке настоящей работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы радиационной безопасности НРБ-76, Атомиздат, М., 1978.
2. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений /ОСП-72/. Атомиздат, М., 1973.
3. Радиационная защита. Публикация МКРЗ №26. Пер.с англ., под ред. А.А.Моисеева и П.В.Рамзаева. Атомиздат, М., 1978.
4. Кеирим-Маркус И.Б. Эквидозиметрия. Атомиздат, М., 1980.
5. Ковалев Е.Е. Радиационный риск на земле и в космосе. Атомиздат, М., 1976.
6. Kelsey С.А. Health Phys., 1978, v.35, pp.428-430.
7. Комочков М.М. и др. ОИЯИ, Р16-12078, Дубна, 1979.
8. Гусев Н.Г. АЭ, 1980, т.48, вып.5, с.345.
9. Иванов В.И., Коренков И.П., Салимов О.Н. АЭ, 1980, т.48, вып.5, с.315.
10. Радиационная безопасность. Величины, единицы, методы и приборы /публикация МКРЕ №19 и 20, США, 1971/. Пер. с англ. под ред. И.Б.Кеирим-Маркуса. Атомиздат, М., 1974.
11. Application of the Dose Limitation System for Radiation Protection: Practical Implications. IAEA, Vienna, 1979.
12. Худсон Д. Статистика для физиков. "Мир", М., 1970.
13. Дозиметрический и радиометрический контроль при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений /методическое руководство/, том 1, под общей ред. В.И.Гришмановского. Атомиздат, М., 1980.
14. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-6790, Дубна, 1972.
15. Головчик В.Т. и др. Препринт ИФВЭ, ОРИ 77-114, Серпухов, 1977.
16. Антипов А.В. и др. Препринт ИФВЭ, ОРИ 78-15, Серпухов, 1978.
17. Сидоров В.Т., Синаев А.Н., Чурин И.Н. ОИЯИ, Р10-12481, Дубна, 1979.
18. Чурин И.Н. ОИЯИ, 10-12679, Дубна, 1979.
19. Бородин В.Е. и др. Препринт ИФВЭ 80-50, ОРИ/ОНФ, Серпухов, 1980.
20. Алейников В.Е., Лебедев В.Н. ОИЯИ, Р9-3393, Дубна, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 февраля 1981 года.