

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э
ОРИ 74-131

В.Е. Бородин, А.С. Гаврилов, Г.И. Крупный,
В.Н. Лебедев, К.З. Тушабрамишвили, М.Н. Чиманков

ОПЕРАТИВНЫЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ
НА ПРОТОННОМ СИНХРОТРОНЕ ИФВЭ

Серпухов 1974

В.Е. Бородин, А.С. Гаврилов, Г.И. Крутинский,
В.Н. Лебедев, К.З. Тушабрамишвили, М.Н. Чиманков

ОПЕРАТИВНЫЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ
НА ПРОТОННОМ СИНХРОТРОНЕ ИФВЭ

Аннотация

Бородин В.Е., Гаврилов А.С., Крупный Г.И., Лебедев В.Н., Тушабрамшвили К.З., Чиманков М.Н.
Оперативный дозиметрический контроль на протонном синхротроне ИФБЭ. Серпухов, 1974.
17 стр. с рис. (ИФБЭ ОРИ 74-131).
Библиогр. 13.

В работе на примере Серпуховского ускорителя обсуждается минимально необходимый объем радиационного контроля на крупных ускорительных установках и дается краткое описание автоматизированной системы непрерывного дозиметрического контроля за уровнями импульсного излучения.

Abstract

Borodin V.E., Gavrilov A.S., Krupny G.I., Lebedev V.N., Tushabramshvily K.Z.,
Chimankov M.N.
Operative Dosimetric Control at the IHEP Proton Synchrotron. Serpukhov, 1974.
p. 17. (IHEP 74-131).
Ref. 13.

The idea of minimum necessary radiation control at large accelerators has been considered. As a reasonable compromise between the routine measurements and their productivity we propose to limit ourselves with measurements of 80-90% total equivalent dose of complicated compound radiation of the accelerators. Reasonable periodicity of measurements is discussed. A brief description of an automatic system for continuous control over the pulse radiation level is presented. The system has been operating at IHEP for some years and turned out to be very reliable.

Радиационные измерения на крупных ускорительных комплексах включают в себя:

а) измерения исследовательского характера для физики защиты и дозиметрии;

б) измерения для обеспечения радиационной безопасности, так называемые рутинные измерения.

Обе части тесно связаны между собой и не имеют резких границ. Однако рутинные измерения носят обязательный характер, и аппаратурой для их проведения должен быть оснащен в полном объеме каждый ускоритель. Вопрос о том, что отнести к обязательной программе, связан с понятием минимально необходимого объема радиационного дозиметрического контроля. На примере Серпуховского ускорителя обсуждается необходимый объем контроля и дается краткое описание автоматизированной системы контроля импульсного излучения, хорошо зарекомендовавшей себя на практике.

1. МИНИМАЛЬНО НЕОБХОДИМЫЙ ОБЪЕМ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Под этим термином мы понимаем

- минимум компонентов измерений, аппаратуры, методов или способов измерений, обеспечивающий в комплексе измерение не менее 80-90% полной эквивалентной дозы;

- периодичность измерений, при которой степень радиационного риска в промежутке между ними может быть оценена по предыдущим результатам измерений с указанной выше (т.е. 80-90%) степенью достоверности.

При сложном компонентном (нейтроны, протоны, π - и K-мезоны, лептоны, гипероны, γ -кванты и др) и спектральном составе вторичного излучения существуют только две возможности строгого определения полной эквивалентной дозы такого излучения. Одна из них связана с детальным спектрально-компонентным анализом вторичного излучения и использованием факторов конверсии поток-доза. Вторая основана на использовании методов ЛПЭ-метрии, позволяющих определить дозу вкуче от всех компонентов, не разделяя и не анализируя их в отдельности. Методы ЛПЭ-метрии очень перспективны для использования на крупных ускорителях, однако из-за своей сложности они пока не вышли из рамок чисто лабораторного использования. Детальный спектрально-компонентный анализ из-за низкой производительности может иметь очень ограниченное применение, тогда как рутинные измерения на современных ускорителях приобретают индустриальный характер. Поскольку сегодня нет других способов определения дозы в сложных полях излучения, решением вопроса может быть только разумный компромисс между требуемой производительностью и желаемой полнотой измерений. Упомянутые выше 80-90% достоверности и являются, на наш взгляд, разумной платой за повышение производительности измерений. Такую долю вносят в полную дозу на всех без исключения действующих ускорителях быстрые нейтроны и адроны высокой энергии ^{/1/}.

На ускорителях следующего поколения ожидается появление новой опасности - релятивистских мюонов, для эффективной защиты от которых потребуются толщины порядка десятков и сотен тысяч г/см², что технически трудно выполнимо. Как упоминалось в ^{/2/}, уже на ускорителе ИФВЭ при энергии первичных частиц 70 Гэв мюоны по вкладу в полную дозу за защитой близки к адронному компоненту. На отдельных, небольших по площади участках экспериментального зала мюоны преобладают над всеми остальными компонентами, вместе взятыми.

На основании анализа, выполненного на стадии нормальной эксплуатации ускорительного комплекса, минимально необходимый объем дозиметрического контроля на Серпуховском ускорителе определен как совокупность следующих измерений:

- адронов с энергией более 20 Мэв;
- потока нейтронов с энергией $1-2 \cdot 10^7$ эв;
- потока лептонов с энергией более 0,5 Мэв и γ -квантов с энергией более 100 Кэв;
- наведенной радиоактивности оборудования, воздуха и аэрозолей.

Важным вопросом при определении объема контроля является выбор периодичности измерений. На ускорительных установках малого масштаба при наличии типовых режимов работы ускорителя можно, как правило, ограничиться периодом измерений порядка полугода или квартала. Специфика работы ускорителя ИФВЭ и аналогичных ему ускорителей состоит в том, что при одновременной работе нескольких внутренних мишеней и каналов частиц (т.е. при наличии нескольких более или менее типовых режимов работы каждой мишени и канала) число сочетаний этих режимов очень велико.

Кроме того, уровни излучения в любой конкретной точке экспериментального зала определяются еще массой других факторов, не объединяемых общим понятием "режим работы установки". Они зависят, к примеру, от количества и пространственного расположения внешних и внутренних мишеней, координат мишени внутри вакуумной камеры, распределения интенсивности ускоренного пучка между мишенями отдельных каналов, распределения случайных и систематических потерь частиц по камере ускорителя и вдоль трактов каналов частиц, режима элементов каналов частиц, от которого зависит положение непроявившегося пучка по отношению к ионопроводу и т.д.

В силу независимости этих факторов друг от друга их сочетание носит случайный характер. Исследовать все варианты поля излучения невозможно.

Эти особенности работы ускорителя на 70 Гэв , в корне отличающие его от ускорителей малого масштаба, обуславливают необходимость наряду с обычным периодическим изучением полей излучения в экспериментальном зале иметь также систему непрерывного дозиметрического контроля на рабочих местах персонала и в наиболее характерных точках вокруг ускорителя.

С учетом сказанного весь необходимый объем дозиметрического контроля импульсного излучения ускорителя включает в себя следующие тесно связанные между собой этапы:

1) непрерывный во времени контроль в фиксированных точках за преобладающими по вкладу в полную дозу компонентами с помощью разветвленной сети стационарных и передвижных радиационных мониторов (система НДК);

2) периодические измерения пространственных распределений на отдельных участках экспериментального зала упомянутых выше основных компонентов излучения при наиболее характерных режимах работы ускорителя и каналов частиц для калибровки радиационных мониторов с последующим составлением картограмм поля излучения для данного участка и режима;

3) детальные дозиметрические исследования эпизодического характера с анализом всех компонентов и временных параметров излучения с целью абсолютной нормировки показаний детекторов, применяемых для рутинных измерений, а также для решения прикладных задач радиационной физики.

2. СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ (НДК)

Система НДК предназначена для измерения уровня импульсного излучения на рабочих местах, на наиболее посещаемых участках каналов частиц и на перекрытии кольцевого зала в течение всего времени работы ускорителя.

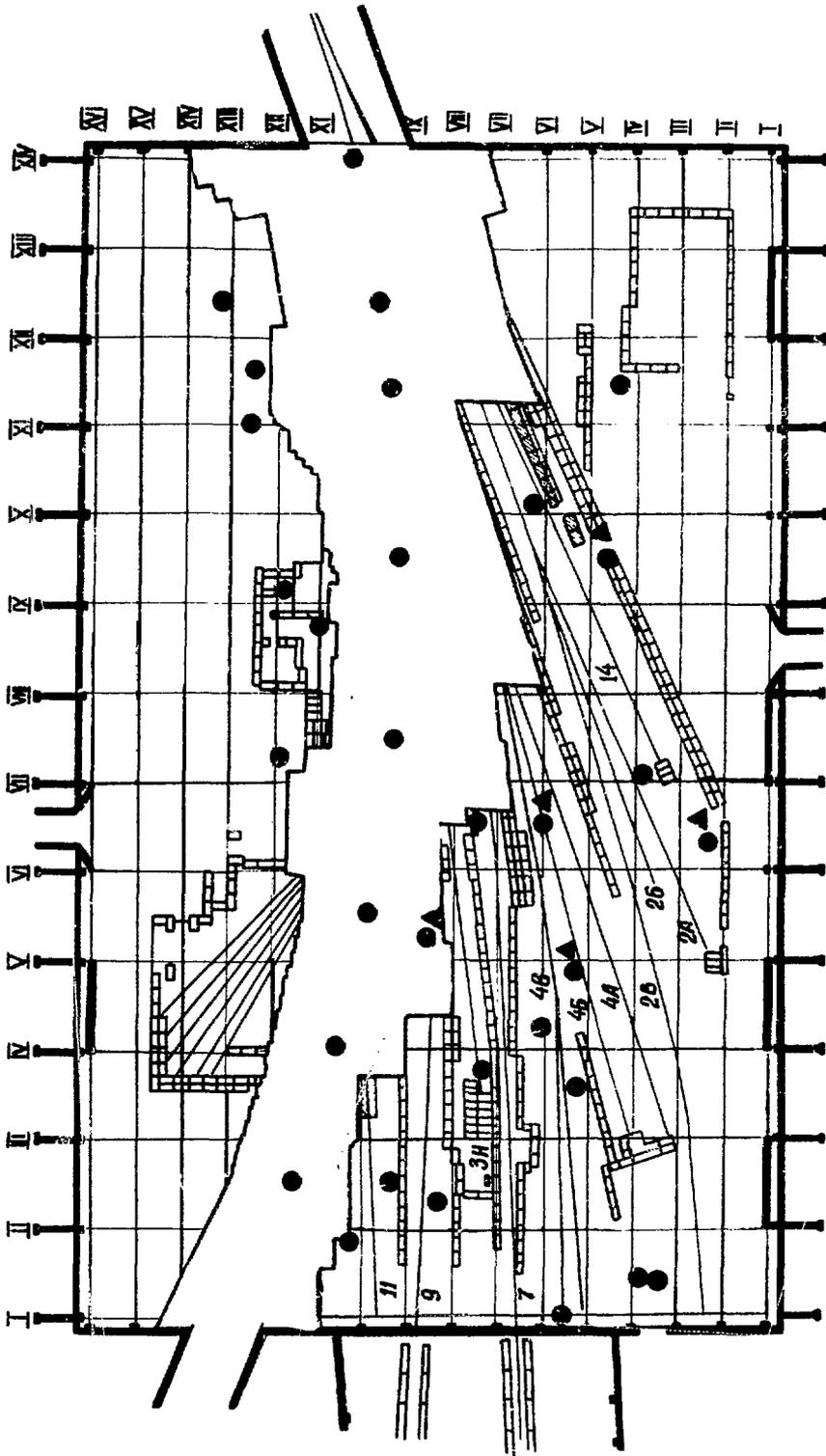


Рис. 1. Схема размещения радиационных мониторов системы непрерывного дозиметрического контроля в экспериментальном зале. Указаны номера каналов частей.

● - нейтронные мониторы; ▲ - гамма-мониторы.

Система НДК включает в себя сеть радиационных мониторов, устройства приема, накопления и анализа информации, кабельные коммуникации. Размещение радиационных мониторов в экспериментальном зале показано на рис. 1. Если на участке, где установлен монитор, превышена заданная мощность дозы, система выдает световой и звуковой сигналы на главный пульт управления ускорителем и на пульт дежурного дозиметриста. Радиационная обстановка по залу с интервалом в 30 мин. фиксируется цифровым печатающим устройством и перфоратором.

Структурная схема системы непрерывного дозиметрического контроля приведена на рис. 2. Она состоит из двух 26-канальных блоков (1-2), контролируемых уровни нейтронного компонента, и 8-канального блока (3) для регистрации заряженных частиц и гамма-излучения.

Детектором для измерения потока нейтронов служит газоразрядный гейгеровский счетчик с родиевым конвертором, помещенный в цилиндрический или шаровой полиэтиленовый замедлитель. Выбор именно такого детектора обусловлен необходимостью перекрыть с помощью одного прибора широкий временной диапазон длительностей импульсов излучения, простирающийся от 20 нсек до 2 сек. Пределы измерений родиевого детектора в диапазоне 0,1-20 Мэв - от 3 до $1,5 \cdot 10^3$ нейтр/см²·сек. Верхний предел может быть расширен изменением размеров конвертора.

Работа системы основана на измерении активности Rh^{104} , наведенной импульсным нейтронным излучением в родиевой фольге, в паузы между циклами работы ускорителя. Напряжение на газоразрядные счетчики подается от импульсного источника питания (ИИП на рис. 2). Превышение установленного уровня излучения по каждому каналу фиксируется блоками сигнализации. Одновременно информация с каждого из каналов через коммутатор (КС) поступает на регистрирующее устройство (РУ), далее - на схему вывода (СВ), электроуправляемую машину ЭУМ-23 и перфоратор. Работа системы НДК синхронизована с работой ускорителя.

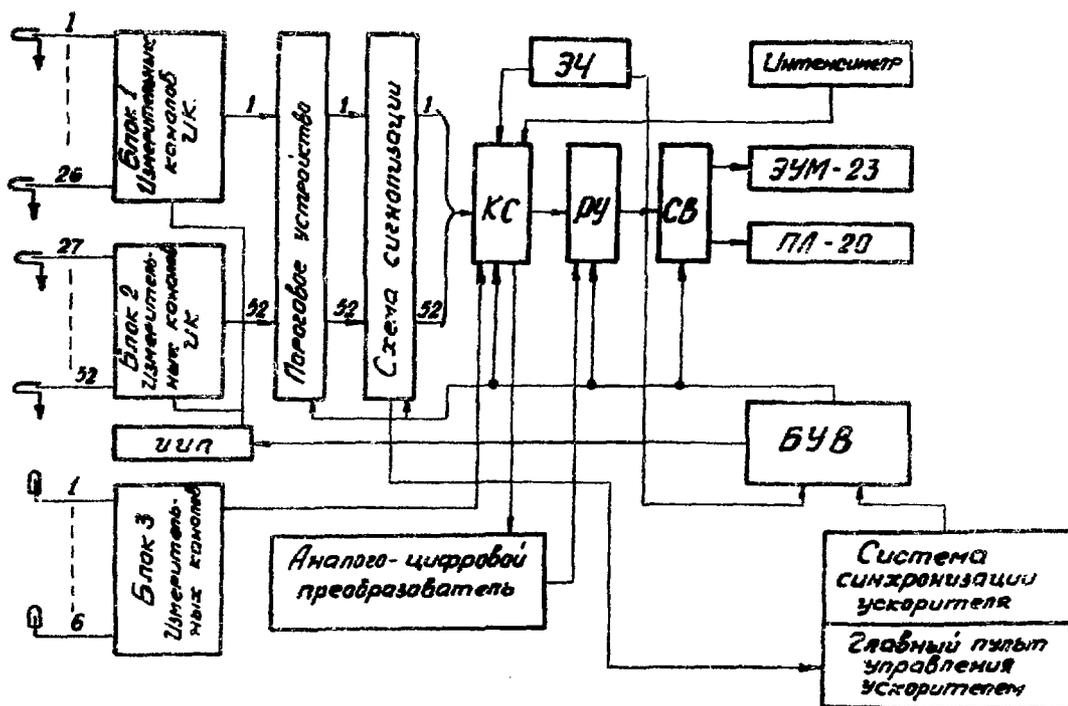


Рис. 2. Структурная схема системы непрерывного дозиметрического контроля.

На ленте ШПУ печатается дата и время измерения с электронных часов (ЭЧ), суммарная интенсивность первичного пучка протонов за прошедшие 30 мин., номер канала измерения, величина уровня излучения, интенсивность первичного пучка в кольцевом ускорителе на момент измерения уровня излучения.

Одновременно с записью на ШПУ информация в такой же последовательности выводится на перфоратор. Дальнейшая обработка информации с перфолент ведется на ЭВМ.

В памяти машины накапливается информация о величине эквивалентной дозы, измеренной в каждой точке (канале), и ЭВМ выдает каждые сутки:

а) величину эквивалентной дозы, полученной в точке измерения за день измерения, с распечаткой в виде графика изменения мощности дозы за этот день с интервалом в 30 мин;

б) величину эквивалентной дозы за весь период работы ускорителя в данном сеансе.

Ввод перфоленты в ЭВМ осуществляется один раз в сутки. Оперативный контроль в пределах этих суток производится по записи, производимой электроуправляемой машиной ЭУМ-23. При необходимости ввод перфоленты может быть осуществлен в любое время суток и информация для анализа получена немедленно.

Для измерения дозы от заряженных частиц и гамма-излучения используются серийные приборы РП-1М с воздухоэквивалентными ионизационными камерами^{/3/}. Информация с них поступает через коммутатор (КС, рис. 2) на аналого-цифровой преобразователь и далее на цифropечать, как описано выше.

Градуировка мониторов системы непрерывного дозиметрического контроля осуществляется по трем основным компонентам импульсного излучения, характерным для ускорительного комплекса. Установка порогов срабатывания каналов выполняется с учетом компонентного состава излучения.

Система непрерывного дозиметрического контроля позволяет быстро определить влияние работы отдельных каналов, мишеней на радиационную обстановку, оценивать критические ситуации и в нужных случаях давать рекомендации по разнесению во времени потенциально опасных режимов работы ускорителя и каналов для улучшения условий труда персонала. В большинстве случаев это удается делать без дополнительных затрат на сооружение дорогостоящей и громоздкой защиты.

Для иллюстрации результатов работы системы непрерывного дозиметрического контроля на рис. 3 приведены графики изменения величины мощности дозы в некоторых точках экспериментального зала в течение одного из сеансов 1973 г.

Обращают на себя внимание большие флуктуации поля излучения во времени, достигающие двух порядков по величине. Эти флуктуации обусловлены изменением режима работы ускорителя и каналов частиц. О факторах,

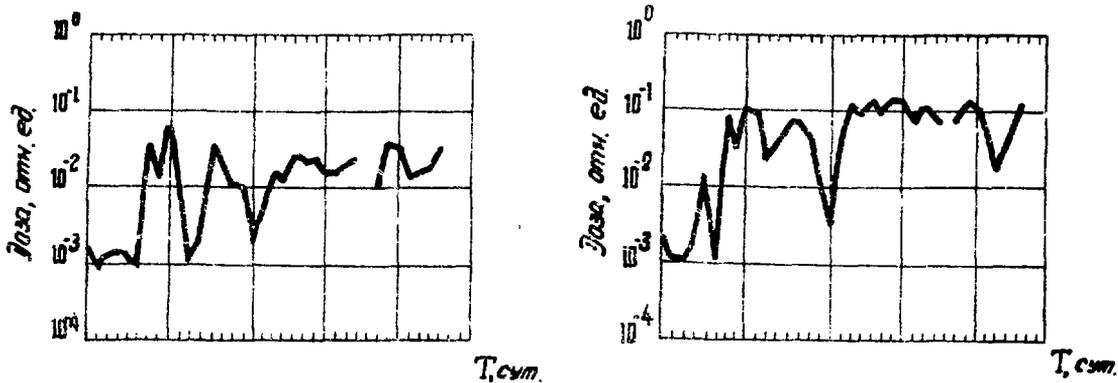


Рис. 3. Вариация мощности дозы в точках 5,8 экспериментального зала в течение сеанса работы ускорителя в 1973 г.

влияющих на уровни поля излучения, уже упоминалось выше. Такие флуктуации являются характерной особенностью работы ускорителей вообще.

Систематический анализ информации, поступающей в виде, показанном на рис. 3, позволяет прогнозировать безопасные режимы работы ускорительного комплекса, выявлять локальные источники излучения, давать рекомендации по созданию защиты каналов транспортировки частиц, накапливать информацию об эффективности защиты при различных режимах и т.д.

Как результат такого анализа представлены (рис. 4) изодозные кривые для одного из режимов работы ускорительного комплекса. Как видно из рисунка, основная "тяжесть" радиационных проблем приходится на район мишеней и головных участков каналов частиц. По району, где находится большая часть экспериментального оборудования, уровень излучения составляет одну десятую от максимального значения.

Рис. 4-5 иллюстрируют радиационную обстановку в экспериментальном зале интегрально за сеанс (приблизительно 1000 часов) работы ускорителя: на рис. 4 - за октябрьский сеанс 1973 г., а на рис. 5 - в ноябре-декабре того же года. На обоих рисунках обращают на себя внимание более высокими уровнями излучения несколько участков, два из кото-

* Примечание: см. вкладку.

рых расположены на верхней защите и закрыты для постоянного пребывания персонала. Один из них (в правой части рисунка) расположен над районом внутренних мишеней каналов 2 и 4. Второй – над внутренней мишенью и внутренней ядерной защитой канала II. Третий – в районе тракта канала 4 (как на рис. 4) или в районе поглотителя непроизводившего протонного пучка канала 7 (как на рис. 5). Канал 16 – канал нового типа^{14/}, для которого характерны более высокие потери частиц по тракту. Вместе с увеличенной почти на порядок по сравнению с другими каналами интенсивностью частиц в пучке это приводит к заметному увеличению фона вдоль тракта канала и порождает локальный источник, видный на рис. 4.

С учетом времени работы ускорителя (порядка 4500 часов в год) уровни излучения на верхнем перекрытии не превышают 10-кратного значения ПДУ для профессионального облучения, что является вполне разумным превышением, если учесть действующие жесткие ограничения на допуск персонала в эти места. В домиках, где размещаются экспериментаторы со своей аппаратурой, уровни излучения не выше предельно допустимых.

Как уже отмечалось, обработка информации, поступающей от радиационных мониторов, осуществляется через промежуточное звено – перфоратор, поэтому анализ данных производится один раз в сутки. Практика работы показала, что пока этого достаточно. Однако прямая связь системы НДК с ЭВМ позволила бы улучшить не только оперативность дозиметрического контроля, но и эффективность работы ускорителя. Пробные работы в этом направлении ведутся, и этот путь развития систем контроля, т.е. связь систем контроля с ЭВМ, осуществляющей технологическое управление ускорительным комплексом, представляется нам наиболее перспективным.

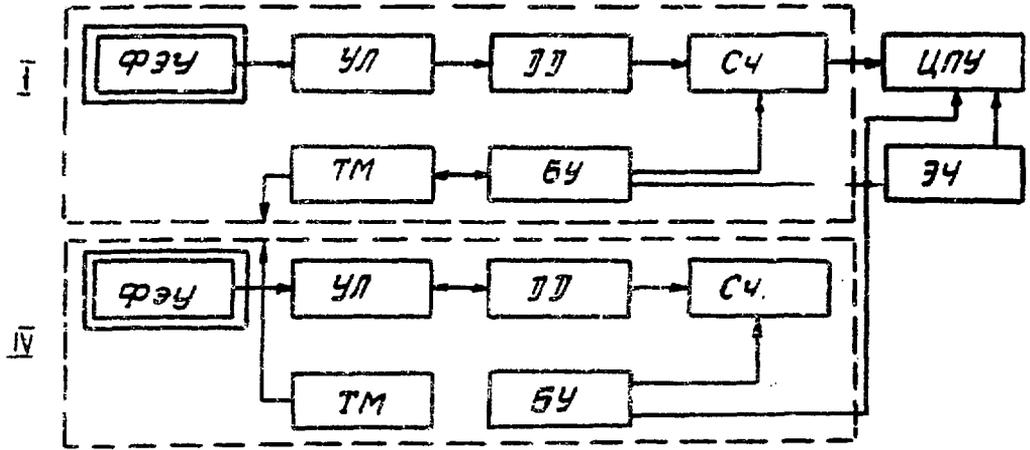
3. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РУТИННЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Для рутинных дозиметрических измерений в ИФВЭ используется набор детекторов, характеристики которых приведены в таблице 1.

Для измерения импульсных потоков нейтронов с энергией от тепловой до 20 Мэв в ИФВЭ разработана 8-канальная автоматизированная счетная установка. Структурная схема ее приведена на рис. 6. Чувствительность установки, энергетический диапазон детектирования и временные параметры зависят от типа применяемых детекторов и могут изменяться в той мере, в которой это может потребоваться в условиях ускорителя. Детекторы излучений с помощью системы метрических боксов могут быть вынесены в любую точку экспериментального зала и подключены к счетным каналам измерительной установки. Работа установки синхронизована с работой ускорителя. В зависимости от команд, поступающих из блока управления, входные устройства счетных каналов в пределах цикла ускорения могут обеспечивать счет как в течение всего цикла, так и в "воротах" длительностью от 5 мсек до 4 сек, перемещающихся от момента запуска в пределах от 0 до 4 сек, или, наоборот, исключать счет в "воротах". Эта возможность позволяет в разных комбинациях определить вклад в эквивалентную дозу только данной или всех других, кроме данной мишени, а также работать с детекторами различных систем.

Один или два канала из восьми используются для мониторинга режима работы ускорителя. Помимо этого непрерывно мониторируется интенсивность ускоренного пучка в каждом цикле и парциальный сброс интенсивности на одну или две мишени. Для этой цели нами использован серийный цифровой вольтметр, в котором дополнительно сделан вывод хронизирующих импульсов, которые через ключ, управляемый с БУ, поступают в накопительный счетчик. Сумма, накопленная в нем, пропорциональна интегралу интенсивности за всю экспозицию. В установке измерение интенсивности может проводиться одновременно в двух временных точках цикла ускорения, что позволяет определить парциальную интенсивность на одной или двух работающих мишенях. Независимый третий канал интенсивметра используется для накопления интенсивности за весь сеанс работы ускорителя. Информация об изменении полной интенсивности от цикла к циклу может выводиться с этого канала на самописец. По окончании измерения

а)



б)

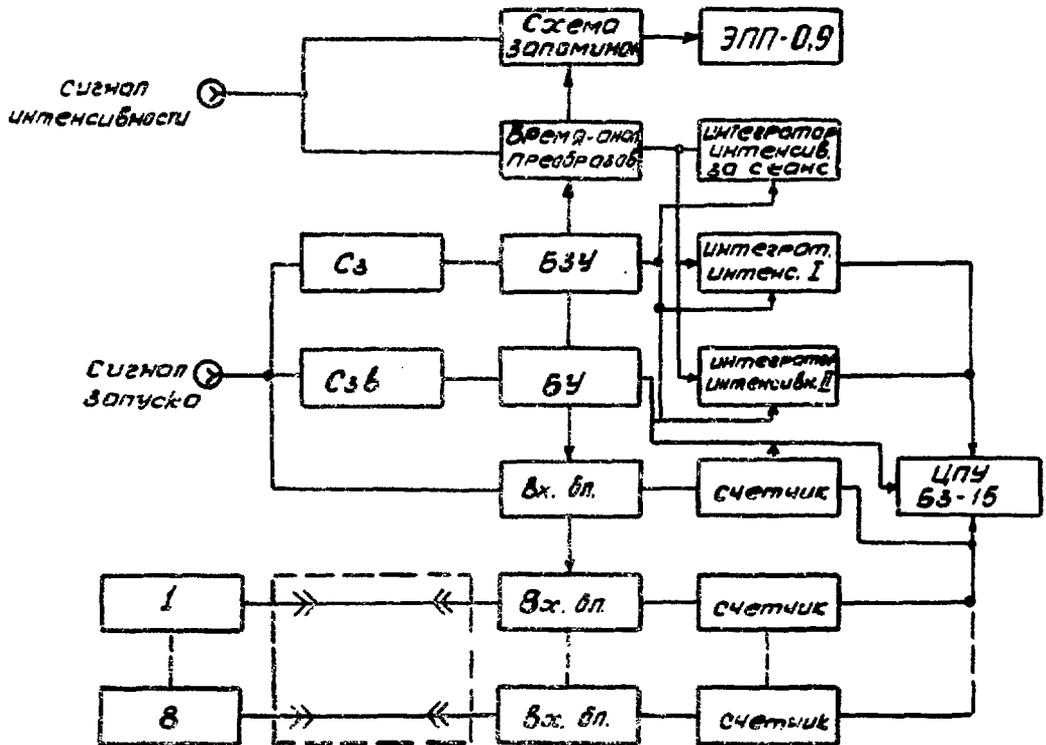


Рис. 6. Структурные схемы установок для измерения импульсных потоков нейтронов с энергией от тепловой до 20 Мэв (б) и адронов высокой энергии (а).

величина интенсивности в течение экспозиции и счет в каждом канале по команде с БУ выводятся на ЦПУ БЗ-15^{13/}.

Адронный компонент с энергией более 20 Мэв измеряется с помощью пластических сцинтилляторов по реакции $C^{12}(x, kn)C^{11}$ (табл. 1). Для определения активности этих детекторов служит отдельная установка, показанная на рис. 6 и располагаемая для уменьшения фона вне экспериментального зала. Она имеет четыре независимых измерительных канала, каждый из которых состоит из фотоумножителя, линейного усилителя (УЛ), дифференциального дискриминатора (ДД), блока управления (БУ) с таймером (Тм) и шестидекадного счетчика (сч.).

Для уменьшения фона фотоэлектронные умножители помещены в защитные "домики", выполненные из свинца и стали. Дискриминатор имеет независимые установки порогов нижнего и верхнего уровней. Результаты измерений выводятся на цифропечать. Одновременно с информацией, получаемой с детекторов, на ЦПУ печатается текущее время окончания экспозиции и ее длительность, для чего в установку введены электронные часы (ЭЧ). Схема управления стойкой позволяет автоматически снимать кривые распада активности образца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные в работе методика и техника проведения дозиметрического контроля используются на Серпуховском ускорителе в течение ряда лет. Приобретенный за это время опыт работы показал, что разработанная аппаратура является эффективным инструментом контроля при всех возможных режимах работы ускорителя. Разветвленная сеть радиационных мониторов и автоматизация вывода информации позволяют свести к минимуму время поиска причин ухудшения радиационной обстановки. Затраты на сооружение систем контроля вполне окупаются существенным повышением эффективности работы ускорителя и каналов частиц при гарантированном обеспечении радиационной безопасности персонала. Возможность осуществления контроля

во всем необходимом объеме, включая контроль за режимом работы ускорителя, малая величина аппаратурной ошибки, высокая надежность и хорошая стабильность аппаратуры в течение всего периода эксплуатации - вот те основные качества, которые позволяют рекомендовать ее для использования на аналогичных ускорителях.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.А.Князев, М.М.Комочков, В.Н.Лебедев и др. АЭ, 27, вып.3 (1969).
2. В.Т.Головачик, Г.И.Крупный, В.Н.Лебедев. Препринт ИФВЭ 69-114, Серпухов, 1969.
3. Дозиметрическая, радиометрическая и электронно-физическая аппаратура и ее элементы. Каталог. М., Атомиздат, 1968.
4. А.М.Зайцев, В.Л.Кубаровский, Л.Г.Ландсберг. Препринт ИФВЭ 71-14, Серпухов, 1971.
5. De Pangher. J. Nucl. Instr. and Meth. 5, N2, 61 (1959).
6. Л.С.Золин. Препринт ОИЯИ-2252, Дубна, 1965.
7. St. Charalambus et al. CERN/D1/HP90, July, 1966.
8. D. Nachtigall. Nucl. Instr. and Meth. 50, 137 (1967).
9. В.Е.Алейников и др. Препринт ОИЯИ Р16-4480, Дубна, 1969.
10. M. Awschalom. PPAD-596E, Princeton (1966).
11. Л.С.Золин, В.Н.Лебедев, М.И.Салацкая. АЭ, 13, 467 (1962).
12. Дозиметрические и радиометрические приборы. Каталог, М., Атомиздат, 1966.
13. В.Ф.Козлов. Фотографическая дозиметрия ионизационных измерений. М., Атомиздат, 1964.

Рукопись поступила в издательскую группу
14 октября 1974 года.

Т а б л и ц а 1

Характеристики детекторов нейтронов, применяемых в ИФВЗ для радиационного контроля и рутинных измерений.

Назначение аппаратуры	Компонент излучения	Детекторы	Измер. величина	Пределы измерения (1)	Энергетич. диапазон	Размеры чувствит. объема, мм	Погреш. измерен. %	Литература	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Радиационные мониторы для непрерывного контроля	Нейтроны	1. Родий в комбинации с газоразрядным счетчиком СТС-8 в цилиндрическом замедлителе.	$\frac{ИЗЛД}{см^2 \cdot сек}$	3-1500	0,1-20 Мэв	120x80x0,1 9150x240 ¹²	±30		
	Дептоны и γ -кванты	2. То же в шаровом замедлителе	мбар/час	0,3-300	0,5-20 Мэв	120x80x0,1 9300	±30		
Аппаратура для рутинных дозиметрических измерений	Тяжелые нейтроны	1. Пропорциональный газоразрядный счетчик, наполненный Вг ₃	$\frac{ИЗЛД}{см^2 \cdot сек}$	0,01-10 ⁵	<0,1 эв	835x280	±20	/3/	
		2. Индия-115	"	2,0-10 ⁷	<0,1 эв	30x30x0,8	±30		
		3. Родий-103 в комбинации с газоразрядным счетчиком СТС-8 без замедлителя.	"	0,8-10 ³	<0,1 эв	120x80x0,1	±30		
	Промежуточные и быстрые нейтроны	1. Пропорциональный счетчик с Вг ₃ в замедлителе а) СНМО-5 б) СНМ-3	мбар/час	2·10 ⁻³ -5·10 ⁴ 4·10 ⁻² -10 ⁸	0,1-15 Мэв "-"	8260x320 ¹² 8250 ¹²	±25	/5/	
		2. Пропорциональный счетчик, наполненный с Вг ₃ (СНМО-5), с набором из трех цилиндрических замедлителей.	$\frac{ИЗЛД}{см^2 \cdot сек}$	10 ⁻² -10 ⁵	0,1 эв-15 Мэв	880x320 ¹² 9120x320 9280x320	±20	/8/	
		3. Индия в шаровом замедлителе.	"	3-10 ⁸	0,1-15 Мэв	30x30x0,8 9150 ¹²	±30	/7/	
		4. Родий в комбинации с газоразрядным счетчиком СТС-8 в шаровом замедлителе.	мбар/час	0,3-2·10 ²	0,1-15 Мэв	120x80x0,1 8250 ¹²	±30		
		5. Родий в комбинации с β -счетчиком СВМ-10 с набором шаровых замедлителей.	мбар/час	1-2·10 ⁴	0,1 эв-15 Мэв	28x10x0,1 889 ¹² 9127 9178 9250 9289	±20%	/8,10/	
		6. Ядерная эмульсия типа "К" (методика ИФКН)	мрад/час н/см ² ·сек бар	0,3-5·10 ³ 8-2·10 ⁶	0,05-5	0,5-20 Мэв	10x18	±30	/11/
	Адроны с энергией > 20 Мэв		1. Активационные детекторы на основе углерода (пластические сквентилляторы):	$\frac{ЗЛД}{см^2 \cdot сек}$	>10	(20-50) Мэв- 70 Гэв	970x70	30%	/6/
Дептоны и γ -кванты		1. Ионизационная камера со стенками из алюминия толщиной 1 мм.	мрад	0,2-2·10 ³	150 Кэв	9180x280 (5л)	±30	/12/	
		2. Стандартные рентгеновские пленки РМ-5-1, РМ-5-3 (методика ИФК)	рад	0,05-2	80 Кэв	30x40	±20	/13/	
		3. Малогабаритные ионизационные камеры типа КИД-2	рад	0,005-1	150 Кэв	917x110	±15%	/12/	

ПРИМЕЧАНИЕ: 1. В качестве нижнего предела измерения указаны флюоресцентные величины.

2. Размеры замедлителя.

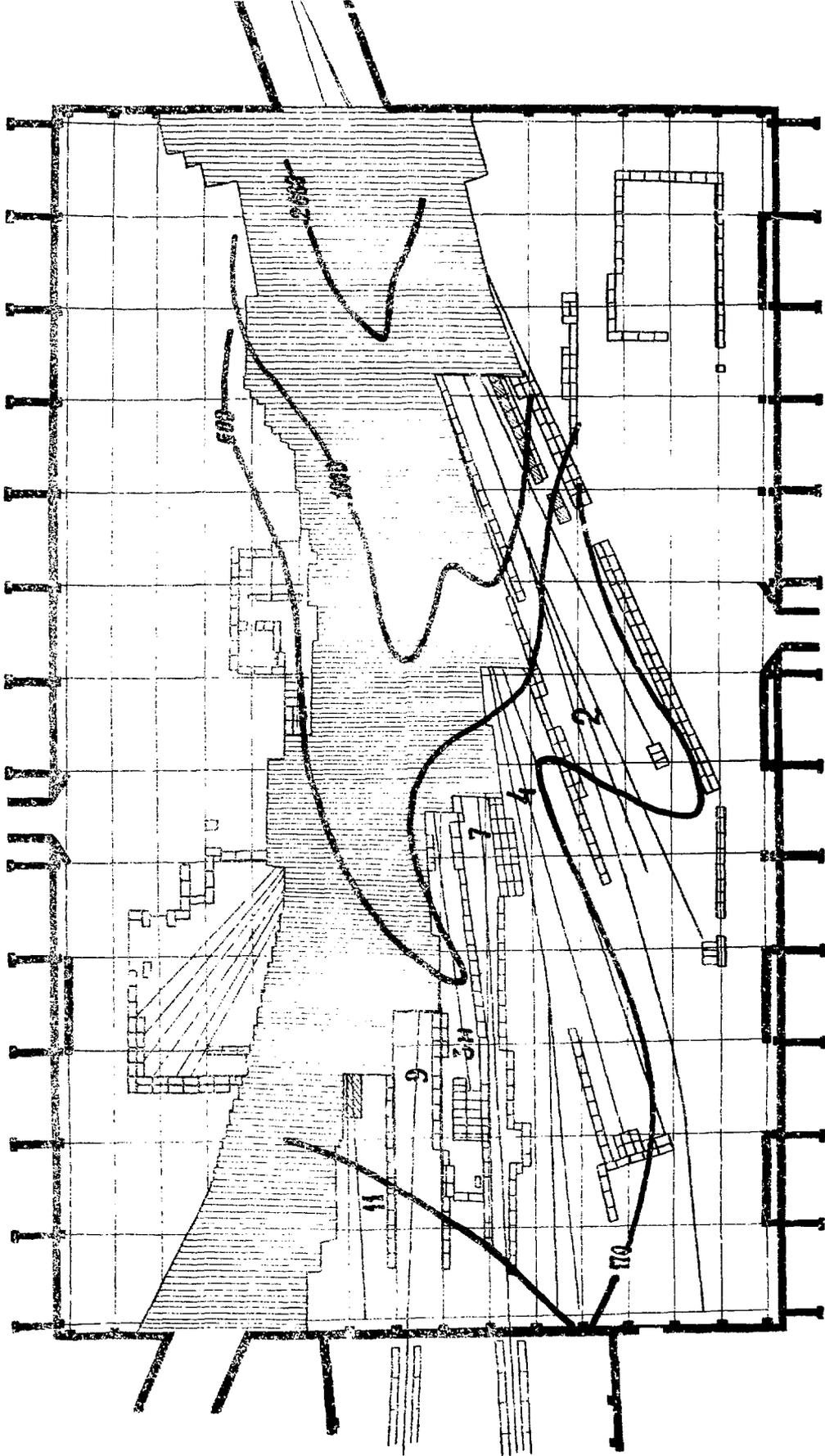


Рис. 4. Распределение уровней ионизации в экспериментальном зале в целом за сеанс работы ускорителя (октябрь 1973); штрих у кривых - доза в мбэр.

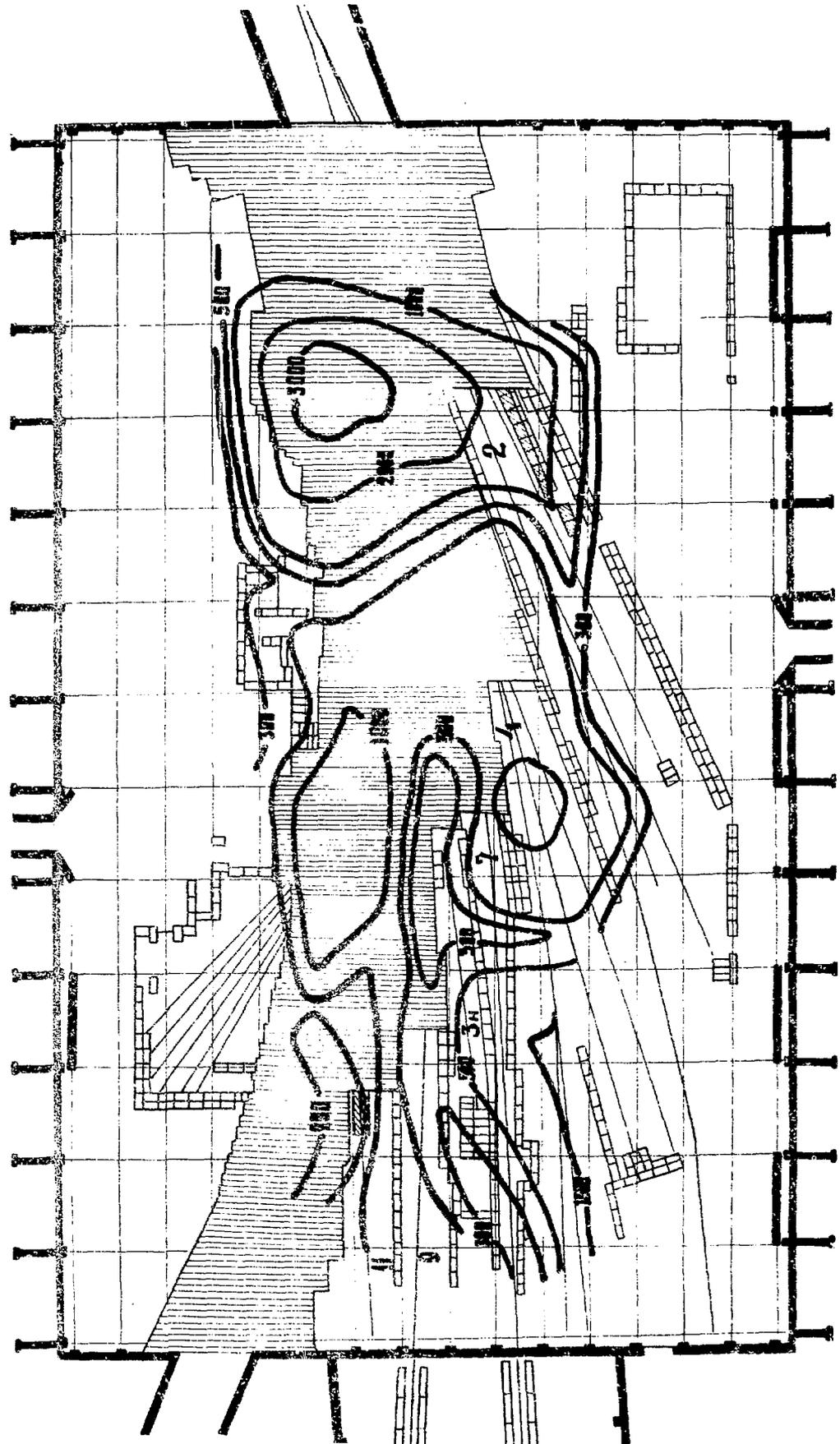


Рис. 6. Распределение уровней излучения в экспериментальном зале в целом за сеанс работы ускорителя (ноябрь-декабрь 1973). Цифры у кривых - позы в мбэр.