

СЗ499

74211-64

Л-33

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1833



В.Н. Лебедев, М.И. Салацкая, Л.С. Золин,
А.К. Гуськова , А.И. Позизовская '
Е.А. Денисова , И.А. Грибова

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ
ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
И НЕКОТОРЫХ КЛИНИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ
ЗА ПЕРСОНАЛОМ, ОБСЛУЖИВАЮЩИМ
СИНХРОФАЗОТРОН ОИЯИ НА 10 ГЭВ

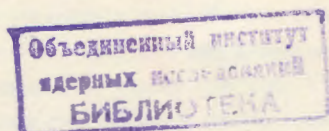
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1964

279/3 чг.

В.Н. Лебедев, М.И. Салацкая, Л.С. Золя,
А.К. Гуськова^{х/}, А.И. Повизовская^{х/},
Е.А. Денисова^{х/}, И.А. Грибова^{х/}

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ
ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
И НЕКОТОРЫХ КЛИНИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ
ЗА ПЕРСОНАЛОМ, ОБСЛУЖИВАЮЩИМ
СИНХРОФАЗОТРОН ОИЯИ НА 10 ГЭВ



^{х/} Институт гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР. Радиологическое отделение.

1. Введение

Основной ускорительной установкой в Лаборатории высоких энергий является синхрофазотрон на 10 Гэв с инжектором- протонным линейным ускорителем на 9 Мэв^{1/1}. С работой этих установок связана деятельность 40-50% всех сотрудников Лаборатории. Весь персонал, работавший в полях ионизирующей радиации, находился под обязательным дозиметрическим и медицинским контролем. Кроме того, за группой сотрудников Лаборатории, находившихся в наиболее опасных условиях, в течение многих лет велось тщательное диспансерное наблюдение группой врачей Института гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР.

В настоящей работе проводится анализ данных дозиметрического контроля и клинических данных для персонала корпуса синхрофазотрона, полученных за период начиная с пуска линейного ускорителя в 1955 году по декабрь 1963 года.

II. Характеристика ускорителей как источников излучений

1) Протонный линейный ускоритель

Линейный ускоритель является источником мощного тормозного гамма-излучения, возникающего за счет автоэлектронной эмиссии с поверхности резонатора и дрейфовых трубок под действием высокого напряжения. Мощность этого излучения определяется только амплитудой ускоряющего высокочастотного напряжения и практически не зависит от величины протонного тока. Длительность импульса гамма-излучения и максимальная частота посылок равны соответственно 600 микросекунд и 1 сек⁻¹. Эффективная энергия гамма-излучения порядка 0,6 Мэв.

Поток нейтронов вблизи линейного ускорителя ничтожно мал в результате того, что большая часть теряемых в процессе ускорения протонов рассеивается на первых дрейфовых трубках, когда энергия протонов ниже порога (p, n) - реакций. При измерении величины протонного тока пучок перекрывался медной заслонкой расположенной на ионопроводе цилиндра Фарадея. Мощность потока быстрых нейтронов на расстоянии 1 м от цилиндра Фарадея около $3 \cdot 10^7$ цикл⁻¹ м⁻² при токе протонов 1 ма. В связи с этим пребывание в зоне вокруг ионопровода запрещено. При нормальной эксплуатации, когда протонный пучок проходит по ионопроводу в камеру синхрофазотрона,

этот участок не представляет серьезной опасности, поскольку рассеяние протонного пучка мало. Спектр нейтронов от цилиндра Фарадея близок по форме к спектру испарения и имеет максимум в области 0,5 - 1 Мэв.

2) Синхрофазотрон

Уровни ионизирующей радиации вблизи синхрофазотрона целиком обусловлены режимом его работы. В период наладки существенное место занимал бетатронный режим, при котором инжектированные в камеру ускорителя протоны с энергией 8 Мэв захватывались на равновесную орбиту и циркулировали на ней без приращения энергии. Такой режим характеризуется минимальной радиационной опасностью на всех участках за исключением района, расположенного в непосредственной близости к месту установки сцинтилляционной бетатронной мишени. На этом наиболее опасном участке у стенки вакуумной камеры поток нейтронов был порядка 10^6 нейтр/м²сек при токе на мишень 1ма. Обслуживающий персонал находился у противоположного конца привода мишени на расстоянии около 2,5 м, где поток нейтронов не превышал $3 \cdot 10^4$ нейтр/м²сек.

После начала ускорения на всех участках вблизи ускорителя возникает непостоянный по величине фон рассеянного излучения, обусловленный потерями протонов при ускорении. Этот фон невелик, поскольку максимум потерь приходится на область малых энергий ускоренного пучка (до 100 Мэв), при которых выход и проникающая способность вторичного излучения еще малы.

Максимальные уровни излучения создаются при таком режиме работы синхрофазотрона, как сброс ускоренных до 10 Гэв протонов на мишень. При этом образуется большое количество вторичных нейтральных и заряженных частиц (нейтронов, протонов, мезонов, гиперонов) и гамма-квантов. Большая часть этих вторичных частиц поглощается в ядре электромагнита и в защите, меньшая часть - рассеивается в зале ускорителя по различным направлениям, взаимодействуя с окружающими материалами и генерируя частицы и гамма-кванты меньших энергий. Наибольший вклад в дозу при работе в рассеянном поле вблизи синхрофазотрона дают нейтроны, протоны и π -мезоны. Электроинно-фотонная компонента мала, и, как показало изучение снимков пропановой камеры, выполненных в зале ускорителя, ее вклад в дозу не превышает, по-видимому, нескольких процентов. Мю-мезоны, К-мезоны и гипероны практически не дают вклада в дозу, т.к. они либо очень слабо взаимодействуют с ядрами (мю-мезоны), либо их число по сравнению с полным потоком излучения пренебрежимо мало (К-мезоны, гипероны). Энергетический диапазон рассеянных вторичных частиц очень широк: от долей мегаэлектронвольта до нескольких миллиардов электронвольт. Спектр рассеянного вторичного излучения синхрофазотрона обсуждается в работе ^{1/2}. Пучки частиц в физических каналах занимают область 8-9 Гэв. С достаточной для медико-биологических

целей точностью их можно считать монохроматическими пучками частиц высокой энергии. Выведенные пучки частиц взаимодействуют с измерительной физической аппаратурой и окружающими материалами, генерируя слабое рассеянное излучение. Кроме того, небольшой поток нейтронов проникает через защитные стены и крышу. В поле такого излучения и находятся персонал, обслуживающий физические установки.

Активация воздуха в зале синхрофазотрона обусловлена в основном образованием короткоживущих изотопов (кислород - 15, азот - 13, углерод - 11, аргон - 41, из которых наиболее существенен при активации нуклонами кислород - 15 с периодом полураспада 2,1 - 3 мин^{13/}. Концентрация этих изотопов в воздухе вблизи выводного участка, по предварительным измерениям, не превышала $6 \cdot 10^{-11}$ кюри/литр (0,06 предельно допустимой концентрации) при интенсивности внутреннего пучка (2-3) 10^{10} прот/цикл. Концентрация радиоактивных аэрозолей, в основном натрия-24^{14/}, пренебрежимо мала и составляет, по нашим измерениям, в среднем $2 \cdot 10^{-13}$ кюри/литр (0,002 предельно допустимой концентрации).

На рис. 1 представлен план корпуса синхрофазотрона. Наиболее радиационноопасными участками являются зоны вблизи прямолинейных промежутков. Поле излучения на других участках вблизи ускорителя невелико в результате экранировки ярмом электромагнита толщиной 180 см. Основной физический павильон (18) защищен от действия проникающих излучений восьмиметровой бетонной стеной (плотность бетона 3,5 т/м³), в которой для ввода пучков частиц сделана узкая амбразура (22). Такая защита обеспечивала достаточное снижение уровней излучения в павильоне: при отсутствии исследуемых пучков частиц уровень фона в нем незначительно превышал естественный. Физический павильон на одном из каналов нейтральных частиц (10) защищен выложенной из бетонных блоков стеной толщиной в разных местах от 2 до 5 метров (плотность 2,3 т/м³). Фон в этом павильоне при работе синхрофазотрона с максимальной интенсивностью ($2 \cdot 10^{10}$ прот/цикл) не превышал $(1-2) \cdot 10^4$ нейтр/м² сек (0,1-0,2) в единицах ПДД^{x/} за 6-часовой рабочий день). Физические эксперименты проводились также непосредственно в зале ускорителя. Для обеспечения нормальных условий работы на этом участке были выложены бетонные домики (8), (11), (12), (14), (16) с толщиной стен 1-1,5 м, потолка - 0,3 - 1 м (плотность бетона 2,5 - 3 т/м³). Такие толщины обеспечивали защиту от рассеянного излучения, имеющего сравнительно низкую энергию. Фон в бетонных домиках при интенсивности $2 \cdot 10^{10}$ прот/цикл не превышал $(2-6) \cdot 10^4$ нейтр/м² сек (0,2-0,6 в единицах ПДД).

Эксплуатационный персонал синхрофазотрона находился в помещениях 3, 17, 21, фон в которых не превышал $5 \cdot 10^3$ нейтр/м² сек, и в комнатах цокольного этажа под помещением 19, где уровень фона при интенсивности $2 \cdot 10^{10}$ прот/цикл был не более $3 \cdot 10^4$ нейтр/м² сек.

^{x/} ПДД - предельно допустимая доза.

III. Характеристика условий труда персонала в различные периоды работы синхрофазотрона

Для более полной характеристики условий труда в зоне радиации синхрофазотрона весь период работы ускорителя целесообразно разбить на несколько условных этапов. Ниже дается характеристика этих этапов с точки зрения условий труда персонала и возможных уровней облучения.

А. Период наладки инжектора - протонного линейного ускорителя (ЛУ) и подготовки запуска синхрофазотрона (1955 - апрель 1957 г.)

В течение всего периода на линейном ускорителе проводились работы исследовательского характера. Большую часть времени персонал, занятый на этих работах, находился в пультовой (помещение 3 на рис. 1), надежно защищенной от гамма-излучения линейного ускорителя, или в слабых гамма-полях на отдаленных от ЛУ участках. Кроме того, по роду работы персонал группы инъекции систематически в течение короткого времени (по 5-10 мин. несколько раз в смену) находился в мощных полях гамма-излучения в непосредственной близости от ЛУ у генераторов высокой частоты. Мощность дозы на наиболее опасных участках доходила до величины:

до установки защиты на ЛУ - 200 - 350 мкр/сек,

после установки свинцовой
защиты толщиной 4-5 мм - 15 - 20 мкр/сек

(защита установлена в мае 1956 г.).

Вклад быстрых нейтронов в полную дозу за весь этот период не превышал 10% от гамма-дозы, поскольку контакт с нейтронами имел место в течение сравнительно короткого времени при проверке положения пучка, его юстировке и т.д. Облучение нейтронами имело локальный характер и приходилось в основном на область головы и грудной клетки.

Наведенная радиоактивность практически отсутствовала.

Б. Период пуско-наладочных работ на синхрофазотроне и подготовки к проведению физических экспериментов (апрель 1957 - конец 1958 г.)

Впервые ускоренный до 9 Гэв пучок протонов был получен в апреле 1957 г. К середине года было получено устойчивое ускорение при интенсивности внутреннего пучка в конце ускорения $(1-2) \cdot 10^7$ прот/цикл. Основной пуско-наладочный период продолжался вплоть до конца 1958 г., когда интенсивность протонного пучка была доведена до $1,5 \cdot 10^8$ 1/цикл. Наладка ускорителя производилась при разных энергиях ускоренного

протонного пучка, который в конце цикла ускорения сворачивался либо на сцинтилляционную мишень, либо на внутреннюю стенку вакуумной камеры. Такой режим работы ускорителя (сброс на стенку) характеризовался существенно меньшей величиной локальных потоков излучения, нежели при сбросе пучка на толстую рабочую мишень. Максимальные уровни облучения непосредственно около вакуумной камеры синхрофазотрона не превышали при постоянной работе в течение 8 часов 7 - 10 мбэр/раб. день при средней интенсивности 10^7 прот/цикл. Для этого периода характерно постоянное пребывание обслуживающего персонала в зале ускорителя. Управление ускорителем производилось с вспомогательного пульта управления, установленного в центре зала синхрофазотрона. Характерные для этого периода уровни излучения на рабочих местах не превышали:

в центре зала (в районе пульта управления) - 0,3 - 0,5 мбэр/раб. день (над уровнем естественного фона).

вблизи окон в ярме магнита (контроль обмотки и вакуумных насосов) - 3 мбэр/раб. день.

К концу 1958 г., когда интенсивность внутреннего пучка была доведена до $1,5 \cdot 10^8$ прот/цикл, уровни излучения на рабочих местах возросли почти пропорционально (так как повышение интенсивности было достигнуто в основном за счет уменьшения потерь при малых энергиях ускоренного пучка) и составляли:

вблизи вакуумной камеры - 70 - 80 мбэр/раб. день,

около окна в ярме магнита - 20 - 30 мбэр/раб. день,

в центре зала ускорителя - менее 3 мбэр/раб. день.

Наведенная радиоактивность деталей и узлов вакуумной камеры синхрофазотрона не превышала уровня естественного фона.

В. Период проведения физических экспериментов и наладки нового инжектора (конец 1958 - конец 1960 г.)

Повышение уровней радиации вблизи синхрофазотрона, обусловленное увеличением интенсивности до $1,5 \cdot 10^8$ и изменением режима работы (сброс пучка на рабочую мишень) потребовало установки дополнительной защиты в ряде мест и запрещения производства работ во время ускорения. К этому же времени относится перевод управления синхрофазотроном на главный пульт управления в энергетический корпус и вывод первых пучков частиц высокой энергии в физический павильон (18, рис. 1). Таким образом, начиная с января 1959 г., все помещения в корпусе синхрофазотрона, за исключением лабораторных помещений (17) в цокольном этаже, находятся в радиационноопасной зоне. К концу 1960 г. все незащищенные рабочие места в зале ускорителя были ликвидированы. Кратковременный осмотр основного оборудования допускался в период ускорения в течение времени, которое заведомо меньше допустимого.

Параллельно с работой на физический эксперимент продолжалось совершенствование узлов ускорителя, что позволило довести максимальную интенсивность внутреннего пучка синхрофазотрона до $(7 - 8)10^8$ прот/цикл в конце 1960 года. Несмотря на значительное повышение интенсивности, уровни излучения в зале ускорителя возросли за этот период не столь существенно: в центре зала ускорителя - 50 - 60 мбэр/р день. Это объясняется тем, что при формировании новых каналов положительных частиц высокой энергии все свободное пространство участка вывода было заполнено бетонными блоками, в которых поглощалась значительная часть вторичного потока излучения.

Потенциальная опасность облучения имела место при переходе обслуживающего персонала по покоевному этажу центрального зала в помещение (3), (19) и при периодических осмотрах основного оборудования (насосов, обмотки и т.д.). С января 1960 г. проводились монтажные и наладочные работы на месте установки нового линейного ускорителя. На этих работах была занята большая часть эксплуатационного персонала. Для обеспечения радиационной безопасности рабочая зона была отделена от основного помещения стенами из бетонных блоков толщиной около двух метров. При этом на рабочих местах уровень фона не превышал 17 - 20 мбэр/р день при максимальной интенсивности.

Рабочие места физиков-экспериментаторов в 1958-1959 гг. находились вблизи физических установок за защитой барьерного типа из бетона или из бетона и стальных блоков толщиной 1,5-2 метра. Фон на рабочих местах не превышал 15 мбэр/р день. По мере увеличения интенсивности ускоренного пучка качество защиты улучшалось, и к концу 1960 г. все физические установки были размещены в бетонных домиках со стенами толщиной 1 - 1,5 м и потолка - 0,3 - 1 м.

Наведенная радиоактивность мишеней и узлов вакуумной камеры сразу после остановки ускорителя создавала поля излучения до 20 мр/час. Через 1-2 суток мощность дозы снижалась до 1-2 мр/час. Вклад этого излучения в полную дозу был незначителен.

Г. Период нормальной эксплуатации синхрофазотрона с новым инжектором (1961 - 1963 гг.)

Для этого периода характерна круглосуточная работа синхрофазотрона на физический эксперимент. Ускоренный пучок протонов сбрасывался на внутренние мишени. Одновременно работало, как правило, не более двух-трех внутренних мишеней, но от каждой мишени действовало по несколько физических каналов одновременно. Всего в этот период было создано 15 каналов нейтральных и заряженных частиц высокой энергии.

Основные из них указаны на рис. 1. Плотность потока частиц в каналах обычно не превышала $3,10^4 \text{ м}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

Дальнейшее повышение интенсивности ($2,10^{10}$ прот/цикл к концу 1961), а также снижение предельно допустимых уровней излучения ^{/5/} потребовало полного запрещения пребывания персонала на незащищенных участках в зале синхрофазотрона. При входе в зал были установлены автоматические двери, исключаящие вход в зал ускорителя после начала ускорения. Для осмотра узлов и оборудования ускорителя введены периодические перерывы. Были также ликвидированы все рабочие места во вспомогательных помещениях (18), имеющих выход в зал ускорителя. Весь эксплуатационный персонал переведен в помещения с более надежной защитой, где фон на рабочих местах не превышал 1–2 мбэр/раб. день при максимальной интенсивности. Научный персонал и сотрудники, обслуживающие физические установки, работали в физических павильонах и бетонных домиках. Уровень фона на рабочих местах этого персонала:

в физических павильонах	- менее 1 мбэр/ раб. день,
в бетонных домиках	- менее 9 мбэр/ раб. день.

Все эти мероприятия позволили резко снизить дозы облучения и привести условия труда персонала в соответствие с новыми требованиями.

Наведенная радиоактивность оставалась на прежнем уровне и не давала существенного вклада в полную дозу.

IV. Методы контроля степени облучения персонала

Дозиметрический контроль степени облучения включал в себя контроль по гамма- и рентгеновскому излучению, по быстрым нейтронам в области энергий порядка 0,5–200 Мэв и по бета-излучению.

Контроль гамма-дозы. Индивидуальный контроль гамма- и рентгеновского излучения производили при помощи обычной методики ИФК с использованием фотопленки "Рентген ХХ", заключенной в компенсирующий экран из 0,5-миллиметровой пластинки алюминия и 0,8-миллиметровой пластинки свинца для уменьшения ^{/6/} хода с жесткостью в области низких энергий. Пленки, помещенные в пластмассовые кассеты, выдавали персоналу сроком на один месяц. Однако даже в тех случаях, когда по какой-либо причине пленка экспонировалась в течение двух месяцев, определенная по почернению пленки доза гамма-излучения близка к истинному значению. Поправку на уменьшение почернения из-за регрессии скрытого изображения не вводили, поскольку эта поправка не превышает ошибок измерений. Точность измерения различных доз гамма-излучения методом ИФК была определена экспериментально по методике, опубликованной в работе ^{/7/}.

Полученные при этом значения погрешности приведены в следующей таблице.

Т а б л и ц а 1

Доза в рентгенах	Среднеквадрат. ошибка в %	Доза в рентгенах	Среднеквадрат. ошибка в %
2,53	+ 4,7	0,42	+ 6,6
1,60	+ 5,1	0,24	+ 9,2
1,05	+ 5,9	0,12	+ 13
0,73	+ 5,9	0,06	+ 30

Персоналу, работающему в полях интенсивного гамма- или рентгеновского излучения, кроме кассеты ИФК, выдавали для самоконтроля прямопоказывающие дозиметры ДК-0,2, при этом официальным документом считали фотопленку "Рентген XX", а официальной дозой облучения - дозу, полученную по методу ИФК.

Измерения, производимые при помощи этой методики, сравнивались с разовыми замерами дозы гамма- и рентгеновского излучения стандартными (типа "Кактус") и изготовленными в ЛВЭ приборами для ионизационных измерений.

Контроль дозы от быстрых нейтронов и релятивистских нуклонов. Вклад в дозу от быстрых нейтронов и релятивистских нуклонов в течение 1956-1960 гг. оценивали косвенными методами:

- а) по времени пребывания персонала в измеренном поле быстрых нейтронов;
- б) по известному соотношению между дозой от быстрых нейтронов и релятивистских частиц и дозой гамма-квантов в поле проникающего излучения ускорителя и измеренному почернению пленок ИФК. Такая оценка позволяла определить лишь максимально возможную величину получаемой персоналом дозы.

Измерения дозных полей по быстрым нейтронам производили с помощью сцинтиляционных датчиков и пропорционального счетчика, наполненного BF_3 с парафиновым замедлителем. Потоки нуклонов с энергией > 20 Мэв оценивали по активации углерода в жидком сцинтиляторе ^{18/}. Были составлены карты предельно допустимого времени работы на различных участках в корпусе синхрофазотрона и в физических павильонах.

Начиная с февраля 1961 года, дозу быстрых нейтронов определяли по методике ИФК-Н ^{19/} путем подсчета числа треков протонов отдачи в ядерной эмульсии, окруженной корректирующим пакетом. Этот метод позволяет измерять поглощенную дозу

быстрых нейтронов в интервале энергий 0,5 - 15 Мэв в пределах точности, указанной в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Измеряемая доза	Суммарная среднеквадратичная ошибка в %
0,45 бэр (1 предельно допустимая месячная доза)	+ 20%
0,05 бэр (0,1 предельно допустимой месячной дозы)	+ 45%

Кроме того, метод ИФК-Н позволяет произвести оценку дозы для нейтронов с энергией до 200 Мэв с погрешностью около $\pm 100\%$. Опыт показывает, что в этом случае, как и в методике ИФК - γ , не нужно вводить поправок на регрессию при определении дозы по пленке, экспонированной в течение двух месяцев.

Дозу облучения релятивистскими частицами в этот период (1961-63 гг) не включали в полную дозу. Трудно сделать строго обоснованное заключение о величине полученных при этом доз. Однако за счет этих частиц полная доза, по произведенным оценкам, во всех случаях увеличивается не более чем на 40%.

Контроль бета-дозы. Дозу бета-облучения определяли косвенно путем строгого контроля времени работы в зоне бета-облучения (при предварительной оценке его вклада в радиационную опасность на данном рабочем месте).

Дозиметрический учет. На каждого сотрудника, работающего в радиационноопасных условиях была заведена дозиметрическая карта, куда записывали данные индивидуального контроля бета-гамма-нейтронного облучения. Полная доза вычислена в биологических эквивалентах рентгена, причем для перевода физической поглощенной дозы нейтронов энергий 0,5 - 15 Мэв в биологическую использовали коэффициент качества (ОБЭ), равный 10. При вычислении суммарной дозы облучения за год учитывали усредненный коэффициент несистематичности ношения кассет, определенный экспериментально для каждого характерного периода в работе синхрофазотрона.

V. Результаты обработки данных дозиметрического контроля

Анализ уровней и характера облучения позволяет выделить из общего числа работающих в здании синхрофазотрона три следующих группы.

Первая группа - сотрудники, непосредственно занятые на эксплуатации основных узлов и устройств синхрофазотрона, ремонте и ревизии вакуумной камеры, главной об-

мотки электромагнита, эксплуатации мишеней, обслуживании линейных ускорителей и т.д. Сотрудники, отнесенные к этой группе, подвергались воздействию нейтронов, заряженных частиц и гамма-квантов широкого энергетического спектра, однако в полной дозе всегда преобладал вклад от нейтронов и гамма-квантов низких и средних (контролируемых) энергий. Воздействие бета-излучения за счет навеленной радиоактивности от узлов и деталей ускорителя не превышало 15-20% от дозы гамма-излучения. Помимо этого, имело место дополнительное локальное облучение рук при работе с мишенями и другими радиоактивными деталями. Кроме воздействия проникающей радиации, имелись другие неблагоприятные факторы, связанные с работой внутри вакуумной камеры ускорителя: значительная физическая нагрузка, неудобное положение при работе, применение органических растворителей и клеев.

Вторая группа - включает в себя физиков-экспериментаторов, инженеров, техников, лаборантов и механиков, принимавших участие в проведении физических экспериментов непосредственно на пучках частиц высокой энергии вплоть до 10 Гэв. Для них характерно общее или локальное облучение потоком нейтронов, заряженных частиц и гамма-квантов высокой энергии. В период с 1956 по 1960 г. преобладало, по-видимому, общее облучение, тогда как в последующие годы при работе на хорошо коллимированных пучках частиц облучению в большей степени подвергалась верхняя часть тела. Сотрудники, отнесенные к этой группе, подвергались также воздействию более низкоэнергетических нейтронов и протонов (до 15 Мэв), образующихся в результате ядерных взаимодействий пучков частиц высокой энергии с окружающими предметами. Воздействие бета-излучения отсутствовало.

В третью группу - включен весь вспомогательный персонал, работающий в полях излучения эпизодически: электрики, сантехники, уборщицы, рабочие механической мастерской и т.д. Условия работы сотрудников, отнесенных к этой группе, характеризуются незначительными мощностями доз на рабочих местах при том же составе проникающего излучения, что и для первой группы. Вклад бета-излучения отсутствовал.

Были обработаны данные обследования сотрудников, составляющих большинство работавших в основных условиях в 1961-1963 гг. Из этого контингента 22% составили лица из первой группы, 24% - из второй и 54% из третьей группы. Среднегодовые дозы в единицах предельно допустимой дозы (ПДД), вычисленные по результатам дозиметрического контроля для каждой из названных выше групп, представлены на рис. 2 и в табл. 3 (за предельно допустимую дозу принимали 5 бэр/год в течение всего периода работы с 1956 по 1963 г.).

Т а б л и ц а 3

Группы сотрудников, объединенных по характеру работ			Г о д ы							
			1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963
I группа эксплу- тац. персонал)	Средняя годо- вая доза	в бэр	1,0	1,25	2,65	4,15	5,00	1,5	0,8	0,85
		в ед. ПДД	0,20	0,27	0,53	0,83	1,03	0,30	0,16	0,17
II группа (экспе- римен- таторы)	Сред- няя годо- вая доза	в бэр	1,10	1,9	3,1	3,75	4,7	1,0	0,8	0,8
		в ед. ПДД	0,22	0,38	0,62	0,75	0,94	0,20	0,16	0,16
III группа (вспомо- гатель- ный пер- сонал)	Сред- няя годо- вая доза	в бэр	0,2	1,15	0,95	1,45	1,5	0,90	0,60	0,75
		в ед. ПДД	0,04	0,23	0,19	0,29	0,3	0,18	0,12	0,15

Представленные данные позволяют сделать следующие выводы.

- 1) Изменение величины среднегодовых доз облучения соответствует изменению условий труда и росту интенсивности внутреннего пучка синхрофазотрона.
- 2) Степень облучения персонала в последние три года остается примерно на одном уровне и в среднем не превышает 0,3 предельно допустимой дозы. Это свидетельствует о наличии некоторого резерва для дальнейшего повышения интенсивности.
- 3) В распределении среднегодовых доз облучения по группам в 1961-63 гг. намечается тенденция к сближению уровней облучения персонала всех трех групп.

Для более полной характеристики условий труда в целом за весь период на рис. 3 представлены гистограммы фактически полученных персоналом доз. К примеру, для первой группы характерно, что основная доля работающих получала в среднем по 2-3 бэр/год (0,4 - 0,6 ПДД). В третьей группе соответственно - менее 0,5 бэр/год (менее 0,1 ПДД).

Анализ результатов дозиметрического контроля и представленных графически данных позволяет сделать вывод о практической неразличимости степени облучения первой и второй групп. Однако при анализе клинических данных следует иметь в виду качественное различие характера облучения персонала этих групп и возможность неконтролируемого дополнительного облучения в 1961-1963 гг. потоком релятивистских частиц.

В целом условия труда на синхрофазотроне ОИЯИ можно считать удовлетворительными. Степень облучения персонала в 1956-1963 гг. находилась в пределах допустимых уровней. В пуско-наладочный период отсутствовали сколько-нибудь значительные контролируемые переоблучения.

VI. Краткие сведения по материалам клинических наблюдений

За всеми работниками ЛВЭ, начиная от момента их поступления в ОИЯИ, было установлено систематическое медицинское наблюдение. Итоги этих наблюдений за всем контингентом работающих в данной лаборатории, а также материалы специальных подробных исследований, предпринятых сотрудниками Института гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР, в сопоставлении с данными адекватной контрольной группы показали вполне удовлетворительное состояние здоровья обследуемых. Все они признаны практически здоровыми и оставлены на прежней работе, что в полной мере соответствует благоприятной радиационной обстановке в лаборатории. Частота различных жалоб, отдельных общесоматических заболеваний тех или иных органов и систем, средние значения показателей крови, картина хрусталика у лиц основной и контрольной групп не представляли су-

ществленных различий, что хорошо иллюстрируют две следующие таблицы (табл. 4 и 5).

Особому анализу и сопоставлению показателей у лиц основной и контрольной групп, а также у работников трех групп, выделенных по дозиметрическим данным, были подвергнуты материалы специальных исследований.

Т а б л и ц а 4

Частота общесоматических заболеваний у лиц основной и контрольной групп в %

З а б о л е в а н и я	Основная группа	Контрольная группа
Гипертоническая болезнь	2	5
Миокардиодистрофия	2	4
Артериосклеротический кардиосклероз	3	3
Гастрит хронический	4	8
Колит хронический	3	4
Холецистит хронический	2	3
Язвенная болезнь	3	4
Ожирение	2	2
Вегетативная дистония	11	9
Астено-вегетативный синдром	1	1
Невротические реакции	12	10

Т а б л и ц а 5

Показатели периферической крови у лиц основной и контрольной групп
(данные 1961 г.)

Показатели	Контрольная гр. M ± m	Основная группа M ± m
Гемоглобин в гр. %	14,7 ± 0,05	14,8 ± 0,05
Эритроциты в I мм^3	4582000 ± 23700	4620000 ± 21100
Цветной показатель	0,96 ± 0,003	0,96 ± 0,003
Ретикулоциты в %	7,1 ± 0,21	7,5 ± 0,27
РОЭ в мм/час	6,2 ± 0,24	6,5 ± 0,24
Лейкоциты в I мм^3	6660 ± 118	6610 ± 124
Нейтрофилы в %	55,2 ± 0,64	56,4 ± 0,66
в I мм^3	3804 ± 72	3845 ± 70,5
Лимфоциты в %	33,5 ± 0,76	32,7 ± 0,75
в I мм^3	2235 ± 51,4	2154 ± 54,6
Палочкоядерные		
Нейтрофилы в %	4,4 ± 0,22	4,8 ± 0,18
Эозинофилы в %	2,8 ± 0,15	2,7 ± 0,13
Моноциты в %	6,3 ± 0,21	6,7 ± 0,2
Тромбоциты в °/оо	55,5 ± 0,82	54,1 ± 0,79
в I мм^3	247000 ± 314	241000 ± 321
Время кровотечения в минутах	2,1 ± 0,051	2,2 ± 0,053

ПРИМЕЧАНИЕ: Показатели красной крови и РОЭ даны для мужчин, т.к. они составляли подавляющее большинство обследованных как в основной, так и в контрольной группах.

Как уже указывалось, помимо обычного обшеклинического, неврологического, офтальмологического осмотров и развернутого анализа крови, производились электрокардиографическое исследование, сфигмография, осциллография, реография, определение пототделения и кожной температуры, вегетативных рефлексов Ашнера и ортоклиностатического, исследование порогов болевой, дискриминационной и вибрационной чувствительности, реакции на утомление и внимание с помощью корректурного метода Бурдона. Окулистом проводилось обследование по развернутой схеме, включавшей определение давления в центральной артерии сетчатки, электроофтальмоскопию с определением калибра сосудов и биомикроскопию хрусталика с помощью щелевой лампы нового образца, дающей возможность осматривать среды глаза с большим увеличением ^{/10/}.

Анализ этих материалов позволил выявить некоторое учащение случаев гипотензий у лиц основной группы по сравнению с контролем (17% и 5% соответственно для максимального и 35% и 21% для минимального артериального давления, $p < 0,01$), а также гипотензии в центральной артерии сетчатки (21% и 7% случаев, $p < 0,01$).

Известную корреляцию с уровнем доз облучения обнаружили также в снижении тонуса периферических сосудов мышечного типа, лабильности вегетативной регуляции сердечного ритма, раздражения в системе кожной рецепции, наблюдавшихся достоверно чаще у лиц I и II группы по сравнению с III группой и контролем.

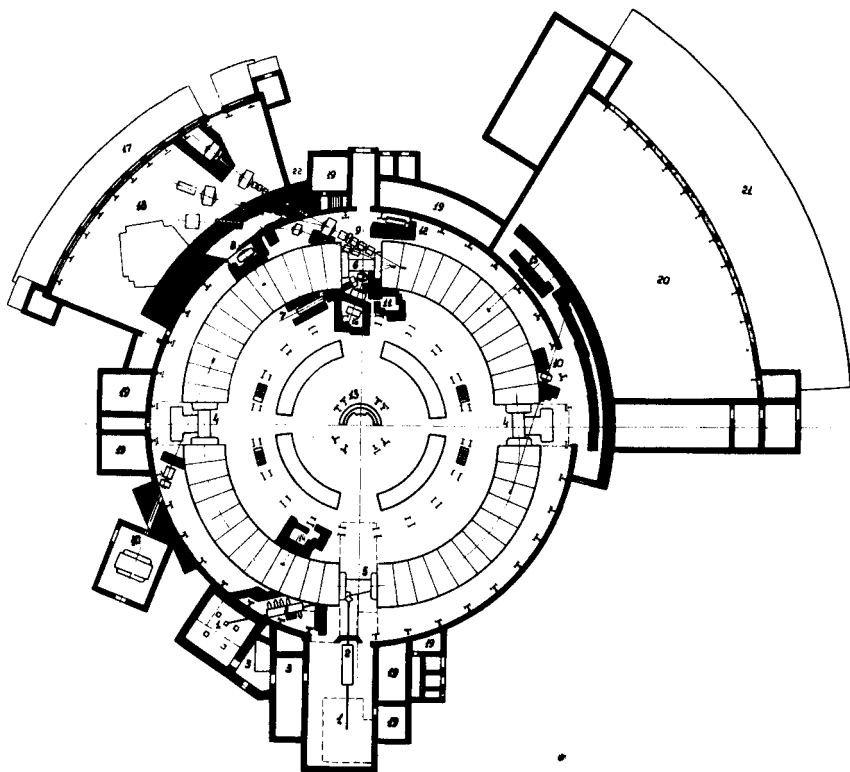
Следует указать, что речь идет о комплексе нерезких сдвигов, выявляемых лишь при специальном исследовании, не нарушающих самочувствия и работоспособности обследованных лиц. Эти сдвиги лежат, по-видимому, в границах физиологической лабильности наиболее чувствительных систем, реакции которых удается обнаружить и в диапазоне малых доз облучения. Сдвиги эти не обнаруживают заметного прогрессирования при динамическом наблюдении.

Л и т е р а т у р а

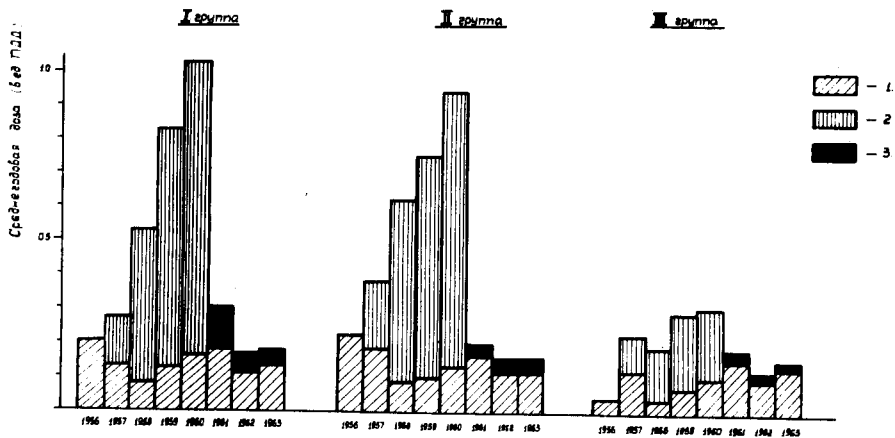
1. В.И. Векслер и др. Атомная энергия, № 4, 22 (1956).
2. А.К. Гуськова, А.И. Понизовская и др. Материалы 3 научно-практической конференции по радиационной гигиене. Л., Медгиз, 1963, стр. 29-30.
3. М.М. Кочков, В.Н. Мехедов. Атомная энергия, т. 4, вып. 5 (1958).
4. В.П. Афанасьев. Атомная энергия, т. 7, вып. 1 (1959).
5. Санитарные правила работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений, № 333-60, Госатомиздат, 1960.
6. Сборник радиохимических и дозиметрических методик. Под ред. Н.Г. Гусева и др. Медгиз, М., 1959.
7. В.Ф. Козлов, В.С. Меркулова. Сборник работ по некоторым вопросам дозиметрии и радиометрии ионизирующих излучений, стр. 23. Госатомиздат, М., 1961.

8. В.Н. Лебедев, М.И. Салацкая. В сб. "Приборы и методы анализа излучений". Вып. III, стр. 164-181. Госатомиздат, 1962.
9. Л.С. Золин, В.Н. Лебедев, М.И. Салацкая. Атомная энергия, т. 13, вып. 5 (1962).
10. Э.Н. Львовская, Э.С. Котова. Мед. радиология, 9 , 52-55 (1964).

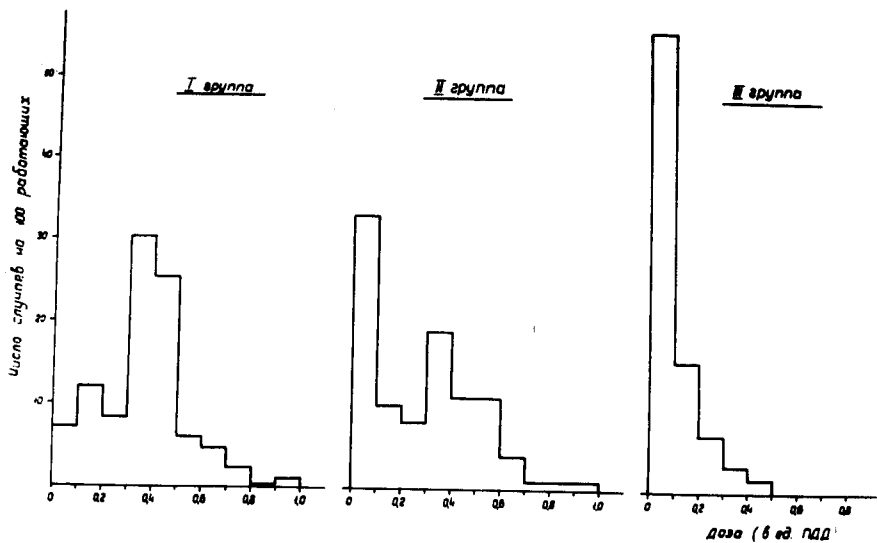
Рукопись поступила в издательский отдел
3 октября 1964 г.



Р и с. 1. План корпуса синхрофазотрона. 1 - помещение форинжектора на 570 кэв, 2 - линейный ускоритель на 9 Мэв, 3 - пульт управления ЛУ, 4 - ускоряющие прямолинейные промежутки, 5 - вводной прямолинейный промежуток, 6 - выводной прямолинейный промежуток, 7 - канал положительных К - мезонов, 8 - канал медленных К - мезонов, 9 - каналы отрицательных π - мезонов, 10 - каналы нейтральных частиц, 11 - бетонный домик, 12 - канал медленных К-мезонов, 13 - вспомогательный пульт управления, 14 - канал положительных К-мезонов, 15 - канал нейтральных К-мезонов, 16 - канал положительных π - мезонов, 17 - лабораторные помещения в цокольном этаже, 18 - физический павильон, 19 - вспомогательные помещения, 20 - физический корпус, 21 - лабораторные помещения в цокольном этаже, 22 - амбразура в бетонной стене.



Р и с. 2. Распределение среднегодовых доз облучения по годам (1 ед. ПДД - 5 бэр/год). 1 - доза гамма-облучения, 2 - максимально возможная доза облучения быстрыми нейтронами и релятивистскими нуклонами. 3 - доза облучения быстрыми нейтронами.



Р и с. 3. Распределение фактически полученных персоналом доз облучения по величине (по вертикальной оси в относительных единицах отложено число случаев облучения в дозах, отсчитанных по горизонтальной оси).