

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3001/82

28/VI-82

16-82-170

А.Г.Белов, Г.А.Комендантова, Ю.Г.Тетерев,
А.П.Череватенко

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА
НА УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ
НА ЭНЕРГИЮ 16 МэВ – МИКРОТРОНЕ

Направлено в журнал "Атомная энергия"

1982

1. ВВЕДЕНИЕ

Микротроны /1/ в последнее время находят все более широкое применение в науке и технике. В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ микротрон на энергию электронов 16 МэВ используется в качестве базовой установки для нейтронно- и гамма-активационного анализа геологических образцов /2/. Основные параметры микротрона как источника излучений приведены в табл.1.

Таблица 1

Энергия ускоренных электронов, E_0 , МэВ	16
Средний ток ускоренных электронов, мкА	до 30
Частота повторения импульсов излучений, Гц	50:800
Длительность импульса излучений, мкс	2,5
Эффективность вывода пучка электронов, %	>90
Тормозная мишень	тантал, 2 мм
Мощность пучка на мишень, кВт	до 0,48
Конвертор нейтронов	уран+бериллий
Интегральный выход нейтронов, нейтр./с	$3 \cdot 10^{11}$
Замедлитель нейтронов	графит, $1 \times 1 \times 1$ м ³
Объем помещения установки, м ³	140
Скорость вентиляции, м ³ /ч	1400
Расход воды, охлаждающей микротрон, м ³ /ч	2

Зал микротрона находится на уровне второго этажа лабораторного корпуса. Схема размещения микротрона, графитового куба, биологической защиты приведена на рис.1. Толщины потолочного перекрытия и пола составляют по 1,6 м обычного бетона.

Ускоренный до энергии 16 МэВ пучок электронов с помощью магнитного канала выводится из ускорителя и поворотным магнитом направляется либо в центр графитового куба, где располагается тормозная мишень из тантала и вплотную к ней - урановый /естественный уран/ конвертор нейтронов, окруженный бериллием, либо в канал, на конце которого стоит только тормозная мишень. Графитовый куб служит для термализации фотонейтронов; в него помещаются исследуемые нейтронно-активационным методом образцы.

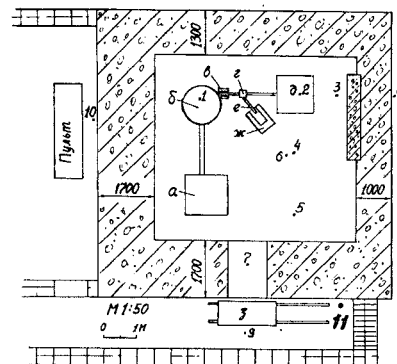


Рис.1. План расположения микротрона МТ-17. Цифры у точек - номера точек, в которых проводилось исследование радиационной обстановки; а - ВЧ генератор; б - микротрон; в - выводное устройство с защитой; г - коммутирующий магнит; д - графитовый куб; е - гамма-канал; ж - свинцовая ловушка гамма-канала толщиной 20 см; з - откатная чугунная дверь.

При работе установки возникает смешанное гамма-нейтронное поле излучений. Источниками тормозного гамма-излучения являются конструкционные узлы микротрона, на которых происходят потери электронов в процессе их ускорения и вывода из микротрона, а также сама тормозная мишень. Источниками нейтронов являются конвертор нейтронов и детали микротрона и установки, которые подвергаются облучения гамма-квантами с энергиями, превышающими порог фотоядерных реакций /для меди $E_{пор.} = 10,8$ МэВ/. На отдельных узлах и деталях микротрона, тормозной мишени и конверторе наводится остаточная радиоактивность. В течение первых нескольких минут после выключения микротрона в зале присутствуют запаздывающие нейтроны деления урана.

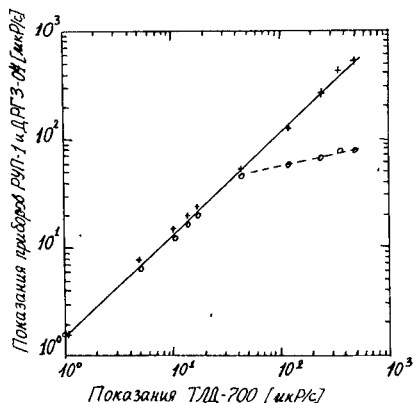
Угловое распределение тормозного излучения от тяжелой мишени при энергии электронов 16 МэВ резко выражено в телесном угле $\sim 15^\circ$ в направлении движения электронов /3/. Угловое распределение фотонейтронов от уранового конвертора можно считать изотропным /4,5/, а энергетическое распределение близко к спектру деления со средней энергией $\sim 1,2$ МэВ /6/.

Общим вопросам формирования вторичного излучения, его распределения и прохождения через защиты на ускорителях электронов подобного диапазона энергии посвящен ряд исследований /например, /3-9/. Целью настоящей работы являлось получение эмпирической информации о факторах радиационной опасности и их источниках на конкретной действующей установке и выяснение возможности применения на ней промышленных приборов для осуществления регулярного радиационного контроля.

2. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Высокая скважность излучения /1000:8000/ и значительная величина граничной энергии спектра гамма-квантов как до, так и

Рис.2. Сравнение показаний гамма-дозиметров в поле излучений микротрона МТ-17 с данными ТЛД: + - для приборов ДРГ-3-01, ДРГ-3-03, ДРГ-3-04; о - для прибора РУП-1 с гамма-датчиком.



после защиты создают условия измерений, для которых не предназначены большинство стандартных приборов радиационного контроля. Поэтому нами были проведены исследования дозиметрических приборов на адекватность их показаний в условиях излучений микротрона и определены пределы их использования.

В качестве дозиметра для гамма-излучения, дающего наиболее достоверную информацию, были использованы термолюминесцентные детекторы LiF, ТЛД-700 фирмы HARSHAW [11,10/], на которые не оказывает влияние импульсность излучения, а "ход с жесткостью" не превышает 20% для тормозного излучения с эффективной энергией вплоть до 10 МэВ/12/. При измерениях с использованием ТЛД-700 считалось, что за защитой и не в прямом пучке тормозного излучения равновесие между заряженным и нейтральным компонентами имеет место. На рис.2 приведены результаты сравнения данных с ТЛД-700 с показаниями типичных дозиметрических приборов гамма-излучения: на основе газоразрядного счетчика - РУП-1/13/; на основе сцинтилляционного детектора - ДРГ-3-01, ДРГ-3-03, ДРГ-3-04/14/. Из рисунка видно, что приборы типа ДРГ-3-01, ДРГ-3-03, ДРГ-3-04 достаточно удовлетворительно измеряют мощность дозы тормозного излучения вплоть до ~500 мкР.с⁻¹. Неожиданно оказалось, что и прибор РУП-1 с гамма-датчиком, имеющим мертвое время, сравнимое с гамма-импульсом, дает правильные показания вплоть до ~40 мкР.с⁻¹, что, по-видимому, связано с его низкой эффективностью регистрации гамма-квантов, а затем он сильно занижает измеряемую мощность дозы.

Промышленный нейтронный дозиметр ДНА-1/14/ и радиометр РУП-1 с нейтронными датчиками обнаружили заметную чувствительность к тормозному гамма-излучению микротрона при мощности дозы этого излучения выше 0,5 мкР.с⁻¹: в местах измерения за

защитой микротрона, где, по данным фотоэмульсионного метода/15/ и рекомбинационного дозиметра REM-2/16/, нейтронов практически нет /измеренный коэффициент качества излучения дал значение КК~1/, прибор РУП-1 как с датчиком быстрых нейтронов, так и с датчиком медленных нейтронов регистрировал до 40000 нейтр.см⁻².с⁻¹, а прибор ДНА-1 давал показания около 200 мбэр.ч⁻¹, независимо от точки измерения. Такое поведение нейтронных приборов, датчики которых имеют сцинтиллятор, видимо, объясняется тем, что сигналы, создаваемые высокоэнергетичными гамма-квантами с высокой мощностью дозы в импульсе, превышают порог дискриминации и не разделяются электронной схемой этих приборов.

Коронные счетчики медленных нейтронов типа СНМ-14 нечувствительны к неимпульсным полям гамма-излучения мощностью до 1500 Р.ч⁻¹/17,18/. Была проведена проверка влияния импульсного тормозного излучения микротрона на работу такого счетчика, помещенного в центре парафинового цилиндра с толщиной стенки 120 мм. Этот детектор считается дозиметром/19,20/.

Импульсы с нейтронного датчика регистрировались пересчетным прибором и одновременно наблюдались на экране осциллографа, синхронизированного с частотой запуска микротрона. Поскольку в парафиновом цилиндре "время жизни" нейтронов до регистрации значительно больше длительности импульса тормозного излучения, на экране осциллографа импульсы от нейтронов статистически распределены, в то время как импульсы от гамма-излучения синхронизированы с частотой работы микротрона. Датчик нейтронов помещается в зале микротрона при работе последнего в режиме вывода пучка электронов на тормозную мишень, окруженную ловушкой из свинца. Изменяя толщину стенок ловушки, изменяли соотношение потоков гамма-квантов и нейтронов. Средняя мощность дозы гамма-излучения измерялась прибором ДРГ-3-04. Личнейные показания датчика нейтронов в зависимости от тока электронов наблюдалась до средней скорости счета датчика 10⁴с⁻¹. При мощности дозы тормозного излучения 500 мкР.с⁻¹ на экране осциллографа уже был синхронизирующий импульс от импульсов тормозного излучения, но его величина лишь в два раза превышала уровень шумов короны, и он еще дискриминировался регистрирующей схемой, имеющей порог чувствительности, рекомендуемый в паспорте на счетчик СНМ-14. Для режима работы микротрона на конвертор нейтронов с графитовым кубом нелинейность из-за просчетов наблюдалась при загрузке СНМ-14 выше 2,5.10⁴ импульсов в секунду.

В качестве активного дозиметра нейтронов использовался также счетчик СНМ-14 с комбинированным полиэтиленовым замедлителем с толщиной стенки 124 мм и со слоем кадмия 0,6 мм на глубине замедляющего слоя 55 мм/21,22/. В качестве пассивных до-

зиметров нейтронов, не имеющих просчетов, применялись: активационный детектор In в парафиновом шаре диаметром 280 мм/23/; In в полиэтиленовом шаре диаметром 254 мм/17/ и термолюминесцентный детектор ${}^6\text{LiF}$ в паре с ${}^7\text{LiF}$ /ТЛД 600/700/ в полиэтиленовом шаре диаметром 254 мм/24-26/.

Проверка адекватности показаний использованных дозиметров нейтронов эквивалентной дозе в полях излучения микротрона была проведена в сравнении с эквивалентной дозой, определенной по энергетическому спектру нейтронов. Спектр нейтронов определяется с помощью активации индия либо пары ТЛД 600/700 в шаровых полиэтиленовых замедлителях разного диаметра/27/ с последующей обработкой данных по программе, использующей метод статистической регуляризации/28/. Сравнения проведены как для режима работы микротрона на тормозную мишень с конвертером нейтронов и графитовым кубом /режим 1/, так и для режима работы на тормозную мишень без конвертера нейтронов и графитового куба /режим 2/. В режиме 1 спектр нейтронов значительно обогащен /~90%/ нейтронами с энергией до 1 кэВ, в то время как в режиме 2 спектр обогащен быстрыми нейтронами /см. рис.5/. Сравнения показаний выполнены для всех применявшихся нейтронных детекторов в точках 7,9 и 10 /рис.1/; в точках 3,4, 5 и 6 сравнения проведены для детекторов в полиэтиленовом шаре диаметром 254 мм.

Оказалось, что счетчик нейтронов СНМ-14 в парафиновом замедлителе с толщиной стенки 120 мм завывает наиболее вероятную дозу в 10 раз в режиме 1 и до 3 раз в режиме 2. Счетчик СНМ-14 в полиэтиленовом комбинированном замедлителе завывает наиболее вероятную дозу до 3 раз в режиме 1 и в точке за чугунной откатной дверью - в режиме 2, в остальных местах в режиме 2 показания этого датчика совпадают в пределах ошибок с наиболее вероятной дозой.

Индий в парафиновом шаре диаметром 280 мм либо в полиэтиленовом шаре диаметром 254 мм дает в обоих режимах завывание в 2÷2,5 раза. Такая же величина завывания наблюдается для пары ТЛД 600/700 в полиэтиленовом шаре, диаметром 254 мм.

Аномально большое завывание показаний дозиметра, выполненного на базе счетчика СНМ-14, помещенного в цилиндрический парафиновый замедлитель, в "мягком" спектре нейтронов, по-видимому, связано с конструкцией замедлителя, имеющего сквозной канал по центру для счетчика СНМ-14, что создает возможность "подсветки" счетчика с его торцов медленными нейтронами, не проходившими замедлитель.

3. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА

3.1. Внешнее излучение

Основным компонентом дозового поля излучений ускорителей электронов является тормозное излучение. Это иллюстрирует рис.3, на котором приведены качественные характеристики типичных соотношений мощностей эквивалентной дозы на единичную мощность первичного пучка электронов для различных типов вторичного излучения, создаваемого на расстоянии 1 м от мишени, бомбардируемой электронами с энергией E_0 в отсутствие защиты мишени/29/. Заштрихованные области отражают вариации ситуаций, зависящих от таких факторов, как материал мишени и ее толщина.

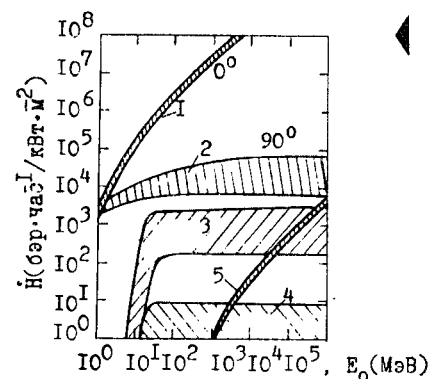
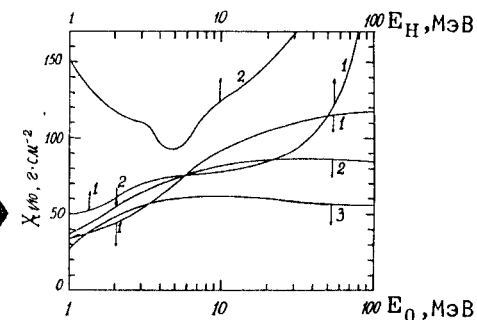


Рис.3. Типичные соотношения мощности эквивалентной дозы для различных видов вторичного излучения до защиты электронных ускорителей на энергию E_0 : 1 - тормозное излучение под углом 0° к направлению пучка электронов; 2 - тормозное излучение под углом 90° к направлению пучка электронов; 3 - нейтронное излучение; 4 - введенная радиоактивность; 5 - мюонное излучение только под углом 0° .

Рис.4. Значения длины десятикратного ослабления в зависимости от энергии частиц: 1 - бетон /обычный/; 2 - сталь; 3 - свинец.



На рис.4 приведены значения длины десятикратного ослабления эквивалентной дозы в широком пучке тормозного излучения для бетона, стали и свинца под углом 0° к направлению падения пучка электронов с энергией E_0 на тяжелую мишень как функции энергии падающих электронов/29/. Здесь же приведены значения длины

десятикратного ослабления эквивалентной дозы нейтронов в зависимости от энергии нейтронов $E_n/30$. Как видно из рис.4, для бетона длина десятикратного ослабления эквивалентной дозы тормозного излучения от электронов с $E_0=16$ МэВ составляет около 100 г.см^{-2} , в то время как для нейтронов $E_n=1$ МэВ/средняя энергия спектра фотонейтронов/ составляет величину порядка 50 г.см^{-2} , то есть за бетонной защитой эквивалентная доза так же /как и до защиты/ будет в основном обусловлена тормозным излучением. Для железа же /сталь, чугун/ наблюдается обратная ситуация: если для тормозного излучения слой десятикратного ослабления эквивалентной дозы составляют $\sim 85 \text{ г.см}^{-2}$, то для 1 МэВ нейтронов - около 150 г.см^{-2} ; за такой защитой может оказаться, что радиационную обстановку будут определять нейтроны, а не тормозное гамма-излучение.

Поскольку источник вторичного излучения электронов локализован /тормозная мишень - конвертор/, то целесообразно применять для него локальную защиту, например из свинца, для снижения уровня тормозного излучения в зале, тем самым снижая требования к глобальной /бетонной/ защите.

В начале работы микротрона как источника излучений сразу же проявились за защитой локальные всплески уровней тормозного излучения, которые явно имели своим источником не тормозную мишень-конвертор. В помещении пультовой при общем уровне гамма-фона порядка $0,1 \text{ мкР.с}^{-1}$ наблюдался пучок в точке 10 /см. рис.1/, мощность дозы в котором достигала 15 мкР.с^{-1} . Геометрически точка 10 находится напротив резонатора микротрона. При плохой настройке катушки, корректирующей орбиты электронов и находящейся у резонатора, мощность дозы в пучке в точке 10 увеличивалась до 30 раз. Распределение мощности дозы гамма-излучения за защитой вдоль стены, перпендикулярной направлению выведенного пучка электронов на графитовый куб, имело двугорбый вид, что указывало на наличие еще одного локального источника тормозного излучения /кроме тормозной мишени/. Для выявления таких мест в зале микротрона были экспонированы термолюминесцентные детекторы /35 точек/. Для экранировки уже известного локального источника тормозного излучения тормозная мишень окружалась ловушкой из свинца. Данные по облучению ТЛД показали, что кроме уже известной локализации потерь электронов на резонаторе проявился источник в месте перехода магнитного канала в электроновод, куда выводится пучок с конечной энергией ускорения. В месте входа пучка в магнитный канал потеря практически нет. Обнаруженные источники тормозного излучения защищались локально. Внутри бронированного сердечника магнита микротрона напротив резонатора помещен свинцовый экран /10 см/; место перехода магнитный канал - электроновод защищено также 10 см свинца. Внутри графитового куба за тормозной мишенью-кон-

вертором установлен свинцовый экран толщиной 10 см /по ходу пучка электронов/, что не повлияло на распределение тепловых и резонансных нейтронов внутри куба. Наружная стенка куба в плоскости, перпендикулярной оси пучка, выложена так же свинцовой защитой толщиной 5 см. Часть стены, перпендикулярной направлению выведенного пучка электронов, была усилена обычным бетоном толщиной 40 см /выложена блоками/.

Таблица 2

№ точки измерения (см.рис.1)	Режим	Доза по нейтронам, бар.ч ⁻¹	Доза по гамма-излучению, Р.ч ⁻¹	Примечание
I	I	20±10	1000	на магните
2	I	20±10	360	на кубе
3	I	6,1±3,4	24 ^x	^x влияние свинц. экрана
4	I	5,3±3,0	380	
5	I	2,6±1,6	77	
6	2	17,7±1,2	21	
7	I	0,7±0,4	6	
	2	3,9±0,4	18	
8	I	-	11. 10 ⁻³	на уровне 2 этажа
9	I	2,5.10 ⁻³	2.10 ⁻³	
	2	(13,3±2,9).10 ⁻³	2,8.10 ⁻³	
10	I	0,11.10 ⁻³	0,4.10 ⁻³	
	2	(0,58±0,2).10 ⁻³	0,7.10 ⁻³	
II	I	1,0.10 ⁻³	1,8.10 ⁻³	
	2	(5,3±0,5).10 ⁻³	1,4.10 ⁻³	

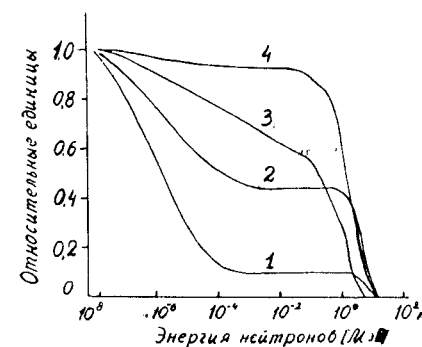


Рис.5. Относительный вклад в дозу от нейтронов с энергией выше заданной на микротроне MT-17: 1 - в точке 3 и 4 /рис.1/, режим 1; 2 - точка 10, режим 2; 3 - точка 9, режим 2; 4 - точка 6, режим 2.

Таблица 3

Время после остановки микротрона	Вблизи графитового куба	Тормозная мишень из тантала	У ярма магнита под резонатором	Урановый конвертор	Резонатор
10 мин.	50	2,2	1,2	120	1,2
30 мин.	36	0,9	1,0	-	0,6
1,5 часа	15	0,6	1,0*	-	0,25
10 часов	2,2	0,4	<0,1	20	0,1
16 часов	1,4	0,3	<0,1	-	<0,1
53 часа	0,8	0,2	<0,1	1,6	<0,1
23 суток	<0,1	<0,1	<0,1	1,6	<0,1

После проведения таких мероприятий по дополнительной защите распределение мощности дозы тормозного излучения за защитной стеной, перпендикулярной оси выведенного на куб пучка электронов, не имело максимумов, а мощность дозы по отношению к максимальным значениям уменьшилась примерно в 50 раз. При работе в режиме 1 тормозная мишень защищена свинцовым экраном толщиной 20 см /по ходу пучка, с боков 15 см/.

В табл.2 приведены значения уровней излучения в контрольных точках для номинальной работы микротрона при наличии всех дополнительных защит. Доза, обусловленная нейтронным облучением, приведена на основании данных в спектре нейтронов, получаемых с помощью мультисферной методики/27,28/. Измерения доз гамма-излучения в зале микротрона выполнены с помощью термолуминесцентных детекторов ТЛД-700.

На рис.5 приведены интегральные дозовые спектры нейтронов в некоторых типичных точках микротрона. Кривые отражают относительный вклад в нейтронную дозу нейтронов с энергией выше заданной. Рис.5 иллюстрирует широкий набор типов спектров. Наиболее "мягким" спектр нейтронов является в режиме 1, в табл.2 данные по дозе нейтронов для точек 9,10,11 приведены по измерениям с 10-дюймовым замедлителем и коррекцией, найденной в случае "мягкого" излучения для получения наиболее вероятной дозы.

Наиболее "жестким" спектр нейтронов является в режиме 2 в зале микротрона. За защитой он "смягчается", но более "жесток" в направлении, близком к направлению первичного пучка электронов. Дозы от нейтронов и от гамма-излучений на местности вблизи здания, где размещен микротрон, составляют $0,1 \pm 0,2$ мбэр.ч⁻¹.

Как можно видеть из табл.2, за чугунной откатной дверью /точка 9, рис.1/ доза нейтронного излучения превышает дозу тормозного. В таких случаях целесообразно перед входом устанавливать защиту экранного или лабиринтного типа толщиной около 0,5 м из обычного бетона.

3.2. Наведенная радиоактивность

Наведенная радиоактивность микротрона и мишеней имеет место, но не создает проблем в аспекте радиационной безопасности. Измерения мощности дозы от наведенной радиоактивности проведены в районе тех узлов, где происходят основные потери электронов: резонатора /на расстоянии 30 см/, выводных устройств, и в районе мишеней: танталовой тормозной мишени /25 см/, уран-бериллиевого конвертора нейтронов /50 см/, а также вблизи графитового куба в том месте, где находится сотрудник при извлечении из куба облученных образцов. Результаты этих измерений приведены в табл.3 /мкР.с⁻¹/.

Значимая активность обусловлена долгоживущими изотопами. При разобранном микротроне и снятом резонаторе мощность дозы внутри латунной камеры вблизи стенок составляла $6 \div 8$ мкР.с⁻¹ через 10÷15 мин после выключения микротрона, а спустя 17 часов - около 0,3 мкР.с⁻¹. При измерении излучений наведенной радиоактивности от резонатора с помощью Ge(Li)-детектора наблюдались только два радиоактивных изотопа: $^{62}\text{Cu} /T_{1/2} = 9,8$ мин/ и $^{64}\text{Cu} /T_{1/2} = 12,8$ ч/. Долгоживущая активность проявляется в основном в той части уранового конвертора, в которую входит пучок тормозных квантов /в табл.3 указана мощность дозы от этого торца уранового конвертора/, противоположная часть конвертора имеет активность, на несколько порядков меньшую. Тормозная мишень заменяется раз в полгода, приведенные в таблице величины относятся к концу срока ее службы.

Доза вблизи графитового куба от запаздывающих нейтронов уранового конвертора через 1 мин после выключения микротрона составляет около 3 мбэр.ч⁻¹, а спустя еще 3 минуты - 0,2 мбэр.ч⁻¹.

3.3. Радиоактивность воздуха и воды

Активация воздуха и воды имеет место при превышении порога фотоядерных реакций: 10,55 МэВ на азоте в воздухе и 15,67 МэВ на кислороде в воде. Потенциальное вредное воздействие внутреннего облучения от активированных воздуха и воды пренебрежимо по сравнению с внешним облучением от активированного воздуха и труб с водой и сосудов, которое, в свою очередь, значительно меньше дозы от наведенной радиоактивности деталей и мишеней микротрона.

В зале микротрона проводилась прокачка воздуха через аэрозольные фильтры как во время работы, так и при выключенном микротроне. Во всех случаях радиоактивность аэрозолей не превышала $3,5 \cdot 10^{-16} \text{Ки} \cdot \text{л}^{-1}$ по бета-активности и $1,7 \cdot 10^{-16} \text{Ки} \cdot \text{л}^{-1}$ по альфа-активности /фон аппаратуры/. Мощность дозы гамма-излучения воздуха внутри вентиляционной трубы сразу же после выключения микротрона не превышала $50 \text{мкР} \cdot \text{ч}^{-1}$. Расчетная оценка образования ^{41}Ar при учете, что в зале нет обменной вентиляции и плотность потока тепловых нейтронов порядка $10^5 \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, дает величины концентрации ^{41}Ar порядка $4 \cdot 10^{-10} \text{Ки} \cdot \text{л}^{-1}$, что на два порядка ниже допустимой концентрации содержания этого изотопа в воздухе рабочих помещений/31/.

Измерения мощности дозы гамма-излучения от трубы, по которой проходит вода после охлаждения микротрона, дают величину меньше $50 \text{мкР} \cdot \text{ч}^{-1}$. Для определения радиоактивных изотопов и их концентрации в воде, прошедшей через систему охлаждения микротрона, была взята на выходе этой системы проба воды 5 л путем непрерывного отбора в течение 6 часов работы микротрона. Затем в пробу добавлялось 2 г гидроокиси железа и производилось осаждение при $\text{pH} = 8$. Гидроокись железа осадила все элементы, присутствующие в воде, кроме калия и натрия. Высушенный фильтрат измерялся на $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторе объемом 40см^3 в течение 12 часов спустя двое суток после отбора пробы. Никаких радиоактивных элементов обнаружить в этой пробе не удалось. Расчет, сделанный с помощью методики, приведенной в работе/32/, показывает, что среднегодовая концентрация радиоактивных изотопов в воде, охлаждающей микротрон, в предположении его непрерывной работы ниже допустимой концентрации для открытых водоемов.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следовательно, можно сделать вывод, что основным фактором радиационной опасности при действии микротрона с энергией 16 МэВ является тормозное излучение. Хотя с помощью локальных защит и можно значительно снизить мощность дозы за защитой зала микротрона, но желательно, чтобы его стены имели толщину не менее 1,5 м. При наличии откатной железной двери /сталь, чугун/ целесообразно иметь перед нею со стороны зала бетонный /или полиэтиленовый/ лабиринт.

Наведенная радиоактивность для данной энергии и мощности пучка электронов не представляет серьезных проблем при организации обслуживания, профилактики и ремонта микротрона; однако наведенная радиоактивность уранового конвертора довольно значительна.

Система водного охлаждения микротрона не требует каких-либо специальных устройств для обеспечения радиационной безопасности. Система вентиляции тоже не требует специальных устройств, но необходим значительный воздухообмен из-за образования большого количества озона.

Промышленные приборы гамма-излучения РУП-1, ДРГ-3-01, ДРГ-3-03, ДРГ-3-04 пригодны для измерений в полях внешнего излучения микротрона в указанных пределах.

Промышленные приборы для нейтронного излучения: дозиметр ДНА-1 и радиометр РУП-1, не пригодны. В качестве активного дозиметра нейтронов рекомендуется нейтронный счетчик типа СНМ-14 в комбинированном полиэтиленовом замедлителе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капица С.П., Милехин В.Н. Микротрон. "Наука", М., 1969.
2. Выропаев В.Я. ОИЯИ, 14-9446, Дубна, 1976.
3. Бурмистенко Ю.Н. и др. Ускорители /под ред. О.А. Вальднера/. Атомиздат, М., 1968, вып.Х, с.238.
4. Цовбун В.Н. ОИЯИ, 16-7104, Дубна, 1973.
5. Кимель Л.Р. и др. В сб.: Приборы и методы анализа излучений. Атомиздат, М., 1962, вып.3, с.71.
6. Ковалев В.П. Вторичные излучения ускорителей электронов. Атомиздат, М., 1979.
7. Цовбун В.И. ОИЯИ, Р16-7834, Дубна, 1974.
8. Машкевич В.П. В сб.: Вопросы дозиметрии и защиты от излучений. Атомиздат, М., 1962, вып.2, с.109.
9. Бродер Д.Л. и др. Бетон в защите ядерных установок. Атомиздат, М., 1966.
10. Barker K. Solid State Dosimetry. CRC Press, Ohio, 1973.
11. Франк М., Штольц В. Твердотельная дозиметрия ионизирующего излучения. Атомиздат, М., 1973.
12. Ehrlich M., Soares C.G. NBS Technical Note 1119, Washington, 1980.
13. Немировский Б.В. и др. Радиометры /под ред. Е.А. Левандовского/. Атомиздат, М., 1972.
14. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. Атомиздат, М., 1977, с.321.
15. Комочков М.М., Салацкая М.И. ОИЯИ, Р16-8175, Дубна, 1974.
16. Зельчинский М., Жарновецкий К. In: Neutron Monitoring, IAEA, Vienna, 1967, p.125.
17. Горн Л.С., Хазанов Б.И. Избирательные радиометры. Атомиздат, М., 1975.
18. Толченков Ю.М., Чайковский В.Г. ПТЭ, 1963, №6, с.5.
19. De Pangher J. Nucl.Instr.and Meth., 1959, vol.5, p.61.

20. Золин Л.С. ОИЯИ, 2252, Дубна, 1965.
21. UCRU. Report 20, 1971.
22. Радиационная безопасность. Величины, единицы, методы и приборы /пер. с англ. под ред. И.Б.Кейрима-Маркуса/. Атомиздат, М., 1974.
23. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-6790, Дубна, 1972.
24. Bonifas A. et al. CERN, HP-74-138, Geneva, 1974.
25. Tyun J.W.H. CERN, HS-RP/012/CF, Geneva, 1977.
26. Tyun J.W.H. In: Proc. Vth Int. Conf. on Luminescence Dosimetry. Sao Paulo, 1977, p.288.
27. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-9123, Дубна, 1975.
28. Туровцева Л.С. Решение обратных некорректно поставленных задач методом статистической регуляризации /Программа ОБР-23/. ИПМ АН СССР, М., 1975.
29. Swanson W.P. Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators. Technical Reports, Series No.188, IAEA, Vienna, 1979.
30. Комочков М.М. ОИЯИ, Р16-7335, Дубна, 1973.
31. Нормы радиационной безопасности НРБ-76. Атомиздат, М., 1978.
32. Комочков М.М.; Тетерев Ю.Г. АЭ, 1973, т.34, вып.1, с.17.

рукопись поступила в издательский отдел
3 марта 1982 года.

Белов А.Г. и др.

16-82-170

Радиационная обстановка на ускорителе электронов
на энергию 16 МэВ - микротрона

Исследована адекватность показаний и определены пределы использования различных дозиметрических приборов в радиационных полях микротрона. Показано, что гамма-дозиметры на основе газоразрядного детектора имеют существенно меньший верхний предел измерений дозы, чем в случае непрерывного излучения, а на основе сцинтилляционного работают удовлетворительно, в то же время нейтронные дозиметры на основе сцинтилляционного детектора: ДНА-1А и РУП-1, не применимы для измерений в условиях излучения микротрона. Рекомендуется коронарный нейтронный счетчик в комбинированном полиэтиленовом замедлителе. Установлено, что радиационная опасность при работе микротрона в основном определяется тормозным излучением. Наведенная радиоактивность при данной энергии не представляет серьезных проблем при организации обслуживания. Система водного охлаждения микротрона и система вентиляции не требуют специальных устройств для обеспечения радиационной безопасности.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Belov A.G. et al.

16-82-170

Radiation Situation on the 16 MeV Electron Accelerator - Microtron

Adequacy of response and limits of the use of different dosymetric instruments in radiation fields of the microtron were investigated. It is shown that gamma-dosimeters based on a scintillation detector are more appropriate, whereas for GM counter dosimeters the upper limit of measuring doses is much lower than for continuous radiation. Commercial neutron dosimeters based on scintillation detectors, DHA-1 and RUP-1 cannot be applied for measurements under radiation conditions of the microtron. A corona neutron counter in a polyethylene moderator is recommended for purposes of neutron dosimetry. It is established that it is the radiation danger during microtron operation that determines mainly the bremsstrahlung. The induced radioactivity at a given electron energy does not present serious problems for service. Microtron water cooling system and air ventilation system do not require any special devices for providing radiation security.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградской.