

**Харьковский государственный университет**

**На правах рукописи**

**МАЗИЛОВ Александр Валентинович**



**ФОРМИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ  
НА ТЕРРИТОРИИ ХФТИ**

**01.04.16 – физика ядра и элементарных  
частиц**

**А в т о р е ф е р а т**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук**

**Харьков – 1994**

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в ННЦ Харьковский физико-технический институт

Научный руководитель: доктор физико-математических наук  
Коваленко Григорий Дмитриевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник Рамюк  
Брий Николаевич (ННЦ Харьковский  
физико-технический институт)

кандидат физико-математических наук  
Шматко Евгений Степанович (Харьковский  
государственный университет)

Ведущая организация: Сумский институт прикладной физики  
НАН Украины

Защита состоится "4" октября 1994 г. в 14 часов  
на заседании Специализированного совета Д 053. 06. 01  
в Харьковском государственном университете по адресу:  
310108, г. Харьков - 108, пр. Курчатова 31, ауд. 301

С диссертацией можно ознакомиться в центральной научной  
библиотеке Харьковского государственного университета

Автореферат разослан "31" 08 1994 г.

Ученый секретарь Специализированного  
совета  
доктор физико-математических наук

 Азаренков Н.А.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00777720 (U)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Центральной проблемой, определяющей перспективы развития ядерной энергетики и связанных с ней ядерных научно-производственных центров, является изучение и оценка действия радиационных факторов на экологическую обстановку и биологические объекты.

Харьковский физико-технический институт является национальным научным центром Украины, масштабы деятельности которого перекрывают ряд направлений физики. Среди основных направлений центра можно выделить следующие:

ядерно-физическое материаловедение и радиационные технологии;

физика плазмы;

ядерная физика высоких энергий и ускорители.

Исследования по этим направлениям ведутся на 18 ускорительных установках, 17 электронных микроскопах и микроанализаторах, 30 различных рентгеновских установках, более чем на 40 установках для изучения свойств плазмы. К последним относятся стеллараторы, торостроны, инжекторы плазменных потоков, электромагнитные плазменные ловушки, плазменные ускорители и др.

Все они являются источниками ионизирующего излучения. Большинство из них уникальны и не имеют аналогов. Ускорители электронов и протонов высокой энергии в результате взаимодействия ускоренных частиц с ядрами химических элементов, составляющих вещество конструкций, и последующего образования ядерно-электромагнитных каскадов генерируют излучение, состоящее из различных частиц ( $n$ ,  $p$ ,  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ,  $\gamma$ ,  $e^-$ ,  $e^+$  и т. д.), энергия которых простирается от долей эВ до максимальной энергии первичных частиц.

По совокупности своих характеристик вторичное излучение ускорителей не имеет аналогов в земных условиях. Благодаря этому изучение радиационного воздействия ионизирующего излучения на окружающую

среду, проблема защиты от него приобрели значение самостоятельного раздела прикладной ядерной физики и стали новым и актуальным направлением исследований. Это направление вплотную примыкает к биологии и медицине, оно тесно связано с физикой элементарных частиц, ускорительной техникой и радиационным материаловедением.

В данной работе рассматривается комплекс вопросов, связанных с анализом экспериментальной информации и исследованием радиационной обстановки, создаваемой рентгеновскими, плазменными и ускорительными установками, действующими в институте, оценкой радиационного воздействия этих установок на окружающую среду. Актуальность подобных исследований стала особенно очевидной в настоящее время в связи с глобальным изменением радиационной обстановки, сложившемся в результате аварии на Чернобыльской АЭС и ликвидации ее последствий.

Целью работы является комплексное исследование радиационной обстановки, создаваемой на территории ХФТИ, изучение влияния различных радиационных факторов на процесс ее формирования и окружающую среду.

Научная новизна этого направления исследований обусловлена специфическими особенностями, присущими экспериментальным установкам, являющимся источниками ионизирующих излучений и особенно ускорителями заряженных частиц на высокие энергии. Сочетая в себе современные достижения ускорительной техники, каждый из них лишь в общих чертах повторяет сооруженные ранее прототипы и вносит свою долю и свои особенности в процесс формирования радиационной обстановки на ближайших и отдаленных участках. В представленной работе впервые выполнены систематические измерения ионизирующих излучений на рентгеновских, плазменных и ускорительных установках, позволившие установить некоторые закономерности формирования радиационной обстановки при их работе.

Впервые исследованы спектральные и дозовые характеристики гамма- и нейтронного излучений с внешней стороны защиты ускорителей ДУЗ-2000

и ЛУЭ-300 при различных режимах их работы и в различные временные интервалы. Установлены энергетические диапазоны излучений, вносящих основную вклад в мощность эквивалентной дозы.

Впервые проведены комплексные экспериментальные исследования и получены количественные данные о радиационной обстановке при работе ускорителя ЛУЭ-2000 по программе "ЛУЧ". Определен изотопный состав и рассчитаны концентрации радиоактивных газов и аэрозолей, образующихся в воздухе при облучении мишеней электронным пучком. Измерены величины гамма-нейтронного излучения с внутренней и внешней сторон защиты.

Впервые выполнены измерения интегральных доз гамма-излучения на всей территории ХЭТИ термолуминесцентным методом. На основании результатов измерений составлена картограмма дозного поля и определен вклад различных радиационных факторов в процесс формирования радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне.

Практическая ценность. Полученные результаты экспериментальных исследований нашли свое практическое применение в организации радиационного контроля в ХЭТИ, установлении периодичности и объема дозиметрических измерений. Часть полученных результатов легла в основу при разработке автором стандарта предприятия "Индивидуальный дозиметрический контроль. Общие требования и методы".

Данные, полученные в результате исследования основных характеристик термолуминесцентных детекторов, позволили существенно снизить погрешность измерений при контроле радиационной обстановки в области малых доз.

Предложенная в работе методика измерений радиационного фона была успешно применена при исследовании радиационной обстановки на территории г. Харькова и Харьковской области [7] и может быть использована при радиационном обследовании других, более значительных территорий.

Совокупность данных, полученных в результате выполненных иссле-

дований, может быть использована для оценки радиационной обстановки при проектировании ускорителей, при разработке и создании систем радиационного контроля на действующих и проектируемых установках.

На защиту выносятся:

1. Выводы, полученные из анализа результатов дозиметрического контроля на различных объектах ХТТИ за последнее десятилетие.
2. Результаты экспериментальных исследований спектрального состава гамма-нейтронного излучения с внешней стороны защиты ускорителей.
3. Результаты комплексных экспериментальных исследований радиационной обстановки, создаваемой линейным ускорителем электронов ЛУЭ-2000 при работе в наиболее жестком облучательном режиме:
  - исследования качественного и количественного содержания радиоактивных газов и аэрозолей в рабочей зоне ускорителя и на выбросе из вентиляционной системы в атмосферу;
  - исследование наведенной радиоактивности элементов конструкции ускорителя, защиты и мишени;
  - исследование радиационной обстановки с внутренней и внешней сторон защиты ускорителя.
4. Результаты, полученные при исследовании характеристик термолюминесцентных детекторов и их применении для контроля радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне.
5. Совокупность полученных данных как база для решения задач по оценке влияния на радиационную обстановку и окружающую среду действующих ускорителей на высокие энергии и других источников ионизирующих излучений.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, приведен краткий обзор литературы по рассматриваемым вопросам. Изложены цель и научная новизна работы. Представлены основные положения, вносимые на защиту.

В первой главе систематизированы имеющиеся в литературе сведения об источниках естественного фона внешнего и внутреннего облучения, приведены количественные данные о дозах, обусловленных этими источниками. Рассмотрены имеющие место в ХЭТИ радиационные факторы и их характеристики. Описаны механизмы образования ионизирующего излучения в ускорителях заряженных частиц, плазменных и рентгеновских установках. Рассмотрены применяемые в ХЭТИ методы и средства контроля радиационной обстановки и индивидуального дозиметрического контроля, обоснован выбор тех или иных средств, приведены их характеристики.

Вторая глава посвящена анализу радиационной обстановки по результатам дозиметрического контроля за последнее десятилетие. В ней описана методика дозиметрических измерений. На рисунках в виде гистограмм представлены значения годовых доз на рабочих местах и местах возможного пребывания персонала, обслуживающего электронные микроскопы, микроанализаторы, рентгеновские, плазменные и ускорительные установки. Установлены закономерности формирования радиационной обстановки на этих установках.

Анализ индивидуального облучения показал, что распределения индивидуальных лучевых нагрузок с хорошей точностью описываются нормальным или логнормальным распределением. Наиболее вероятное значение годовой индивидуальной дозы составляет 300 мЗв.

Уровень радиационного фона на территории жилого массива и непосредственно прилегающих к институту участках за период с 1981 по 1992 год по результатам измерений составлял около 15 мкР/ч. После аварии

на Чернобыльской АЭС в результате переноса воздушных масс радиационный фон с 30 апреля 1986 г. увеличился примерно в 3 раза, а 10 мая превышение составило 5,3 раза. Во второй половине мая радиационная обстановка нормализовалась. Превышение суммарной экспозиционной дозы над естественным значением за май 1986 г. составило примерно 20 мР.

В третьей главе исследован спектральный состав гамма-излучения в диапазоне энергий от 0,1 МэВ до 30 МэВ с помощью детектора на базе  $NaJ(7e)$  и нейтронного излучения в диапазоне энергий от 0,5 эВ до 100 МэВ с помощью спектрометра Боннера с внешней стороны защиты линейных ускорителей электронов ЛУЗ-300 и ЛУЗ-2000 при различных режимах их работы и в различные временные интервалы (в момент прохождения пучка электронов и при измерении в непрерывном режиме). Показано, что максимальная энергия фотонов с внешней стороны защиты ускорителей достигает 10 - 15 МэВ. Наличие гамма-излучения между токовыми импульсами обусловлено замедлением и захватом тепловых нейтронов с последующим излучением гамма-квантов. Форма спектра в данном случае не зависит от параметров пучка и толщины защиты. Основной вклад в мощность эквивалентной дозобусловлен гамма-квантами, образованными в результате радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами материала защиты.

При исследовании спектров вне здания ускорителя ЛУЗ-300 установлено, что в момент прохождения пучка энергия фотонов не превышает 0,5 МэВ. Фоновый спектр и спектр, полученный в промежутках между электронными импульсами, близки друг к другу и имеют характерные максимумы, что указывает на основной вклад в гамма-излучение наведенной радиоактивности.

При исследовании спектрального состава нейтронного излучения с внешней стороны защиты ЛУЗ-300 установлено, что вклад промежуточных нейтронов (0,5 эВ - 0,2 МэВ) в общий поток является основным и составляет около 80 %, а вклад сверхбыстрых нейтронов (более 20 МэВ) в за-

зависимости от места измерения изменяется в пределах от 1 до 9 %.

Четвертая глава посвящена экспериментальному исследованию влияния работы установок института на радиационную обстановку и окружающую среду.

В первой части этой главы описаны исследования радиационной обстановки, создаваемой ускорителем ЛУЗ-2000 при работе по программе "ЛУЧ". Особенностью этой программы является, во-первых, использование высокоэнергетических пучков большой мощности, во-вторых, длительное (более месяца) непрерывное облучение, в-третьих, размещение облучаемых образцов не в мишенном зале, где предусмотрены с этой целью специальные защитные сооружения, а после 14-й ускоряющей секции (все-го секций 50).

Методика эксперимента заключалась в следующем. Забор воздуха (для исследования радиоактивных газов и аэрозолей) производился одновременно в двух точках: в районе облучаемой мишени (расстояние от точки забора до мишени примерно 1,5 м) с помощью воздуходувки ВПП-4 и районе 20-й секции с помощью стационарной вентиляционной системы В-15. Для исследования газов использовалась проточная ионизационная камера. Осаждение аэрозолей производилось на фильтр А5А - 20, состоящий из титана Петрянова. Затем фильтры периодически спектрометрировались в течение 2,5 месяца с помощью германий-литиевого детектора.

Анализ полученных энергетических спектров гамма-активных аэрозолей, содержащихся в воздухе рабочей зоны работающего ускорителя, показал, что в районе облучаемой мишени содержатся аэрозоли  $^{52}\text{Mn}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{48}\text{V}$ ,  $^{59}\text{Ni}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ , образующиеся при активации железа;  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{82}\text{Na}$ ,  $^{24}\text{Na}$ , образующиеся в результате активации бетона;  $^{40}\text{K}$ ,  $^{44}\text{mSc}$ , которые образуются в активированном грунте. Их концентрации в воздухе рабочей зоны ускорителя примерно на 4 порядка ниже предельно-допустимых величин. В воздухе, выбрасываемом вентиляционной системой в атмо-

сферу, обнаружены радионуклиды  $^{44m}\text{Se}$ ,  $^7\text{Be}$ . Концентрация  $^7\text{Be}$  в воздухе на 6 порядков ниже предельно-допустимой величины.

Для определения изотопного состава и концентрации газов был использован метод снятия кривой распада исследуемого радиоактивного газа, заключенного в камере, с последующим разложением ее на составляющие компоненты по периодам полураспада. Таким образом определены изотопы  $^{15}\text{O}$  (концентрация в воздухе  $8 \cdot 10^{-8}$  Ки/л),  $^{13}\text{N}$  и  $^{11}\text{C}$  (концентрация каждого из них в воздухе  $10^{-8}$  Ки/л).

Мощность дозы радиоактивных газов на выходе ВПП-4 составила:

по гамма-излучению от 20 до 40 мкР/ч;

по бета-излучению от 120 до 270 мкР/ч..

В вентиляционной системе радиоактивность газов не превышала фоновых значений.

Гамма-нейтронное излучение в санитарно-защитной зоне изменялось в пределах от 13 до 20 мкбэр/ч.

Во второй части четвертой главы описаны исследования радиационного фона на территории санитарно-защитной зоны термолюминесцентным методом. С этой целью проведены исследования основных характеристик термолюминесцентных детекторов: изменение чувствительности от времени хранения (экспозиции), зависимость выхода термолюминесценции от величины дозы и температуры окружающей среды, зависимость показаний от времени освещения облученных детекторов, энергетическая зависимость чувствительности детекторов ("ход с жесткостью"). Обнаружено существенное снижение чувствительности детекторов от времени, что требует проведения градуировки детекторов до и после экспозиции. Это обстоятельство особенно важно при измерениях в области малых доз, когда время экспозиции составляет несколько месяцев.

Для измерений радиационного фона на территории ХЗТИ использовались детекторы ДТГ-4 и ТЛД-500К. Каждый детектор имел свой градуиро-

вочный коэффициент. В кассету-дозиметр, закрывавшуюся герметично и светонепроницаемо, помещалось 4 детектора. Измерения выполнены в летний и осенне-зимний периоды (при выключенных и работающих ускорительных установках соответственно). Использовалось 125 штук дозиметров, установленных через каждые 25 м по периметру института. 4 дозиметра были установлены на удалении примерно 10 км от института, 3 дозиметра хранились в свинцовом контейнере. Время экспозиции составляло 118 суток.

Проведенные измерения показали, что 1) среднее значение мощности дозы на расстоянии 10 км от института составило 10 мкР/ч; 2) мощность дозы внутри свинцового контейнера составила около 5 мкР/ч; 3) мощность дозы вдоль границы санитарно-защитной зоны колеблется вокруг значения 10 мкР/ч; 4) существует участок границы длиной около 250 м с величиной мощности дозы, достигающей 15,5 мкР/ч, что обусловлено влиянием ускорителя ЛУ3-300.

При неработающих установках этого участка не обнаружено.

Измерения радиационного фона на территории промплощадки проводились в узлах прямоугольной пространственной сетки размерами примерно 60 x 70 м. Таким образом было размещено 100 дозиметров (по одному дозиметру в каждой точке). Время экспозиции составляло 100 суток. Измерения, как и в предыдущем случае, выполнены при работающих и неработающих ускорительных установках. Построение линий уровня мощностей доз (изолиний) произведено в зависимости от двух пространственных переменных с использованием гладкого восполнения (сплайн-интерполяция) на прямоугольной сетке. Процесс обработки состоял из трех основных этапов: поиска изолинии, ее отслеживания и оформления. Вычисления производились на ЭЕМ-1057.

Показано, что при работающих ускорителях имеет место увеличение среднего значения мощности дозы до 30 - 40 мкР/ч на отдельных участ-

ках промплощадки. Наибольший вклад в радиационный фон вносят ускорители ЛУЭ-2000 и ЛУЭ-300. В период профилактики (при неработающих установках) в районе расположения ускорителей ЛУЭ-2000, ЛУЭ-300 и ЛУЭ-10 также обнаружено незначительное превышение среднего уровня мощности дозы до  $I_2 - I_4$  мкР/ч, что связано, по-видимому, с наличием наведенной радиоактивности на конструкциях ускорителей, защиты и облученных образцов.

Картограммы распределений радиационных полей на территории промплощадки построены в двумерном и трехмерном пространствах с нанесением плана расположения основных строений.

В заключении изложены основные выводы диссертации.

1. Проведен анализ радиационной обстановки, создаваемой действующими в ХФТИ электронными микроскопами, микроанализаторами, рентгеновскими, плазменными и ускорительными установками, за последние 10 лет. Показано, что изменения радиационной обстановки на территории промплощадки обусловлены работой наиболее крупных ускорителей электронов и протонов ЛУЭ-10, У-12, ЛУЭ-40, ПГ-5, ЛУЭ-300 и ЛУЭ-2000. В наиболее значительной степени эти изменения касаются рабочих и смежных помещений ускорителей и участков, непосредственно прилегающих к зданиям ускорителей.

2. Проведен анализ индивидуального облучения персонала ХФТИ за последние 17 лет. Показано, что наиболее вероятное значение годовой индивидуальной дозы составляет примерно 300 мбэр. Эта величина в 1,5 раза превышает дозовую нагрузку, обусловленную естественным радиационным фоном и сравнима с облучением населения за счет медицинских рентгенологических исследований. На 90% она обусловлена гамма-излучением, около 8% вклада дают быстрые и примерно 2% - тепловые нейтроны.

3. Исследован спектральный состав гамма-излучения в диапазоне

энергий от 0,1 до 30 МэВ и нейтронного излучения в диапазоне энергий от 0,5 эВ до 100 МэВ с внешней стороны защиты линейных ускорителей электронов ЛУЭ-300 и ЛУЭ-2000 при различных режимах их работы. Показано, что основной вклад в мощность эквивалентной дозы обусловлен гамма-квантами, образованными в результате радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами материала защиты. Основной вклад в поток нейтронов с внешней стороны защиты обусловлен нейтронами в энергетическом интервале от 0,5 эВ до 0,2 МэВ.

4. Экспериментально изучен как источник излучения линейный ускоритель электронов ЛУЭ-2000. Впервые проведены комплексные экспериментальные исследования и получены количественные данные о радиационной обстановке при работе ускорителя по программе "ЛУЧ". Установлено следующее.

4.1. Воздух, выбрасываемый из рабочей зоны ускорителя в атмосферу, не влияет на радиационный фон в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения, так как концентрация радиоактивных газов и аэрозолей в выбрасываемом воздухе не превышает фоновых значений.

4.2. В непосредственной близости к облучаемой мишени концентрация аэрозолей примерно в 5 раз выше, чем в вентиляционной системе, но остается при этом на 4 - 5 порядков ниже предельно-допустимых величин.

4.3. Радиоактивность газов, образовавшихся вблизи мишени, определяется в основном бета-активным радионуклидом  $^{150}\text{I}$ . Вклад радиоактивности газов в мощность дозы, обусловленную наведенной активностью в рабочей зоне ускорителя, незначителен.

4.4. Наведенная радиоактивность мишени и элементов конструкции ускорителя и защиты приводит к значительным уровням гамма-излучения в рабочей зоне ускорителя, но практически не влияет на радиационную обстановку в рабочих помещениях персонала.

4.5. Гамма-нейтронное излучение, возникающее при облучении ищени, ухудшает радиационную обстановку в рабочих и смежных помещениях персонала и вносит до 50% вклада в радиационный фон санитарно-защитной зоны.

5. Впервые составлена картограмма дозного поля в санитарно-защитной зоне ХТТ на основании измерений интегральных доз термомлюминесцентным методом. Обнаружено, что величина радиационного фона в большей степени зависит от работы ускорителя ЛУЭ-300 и в меньшей степени - от работы ЛУЭ-2000.

6. Исследованы основные характеристики термомлюминесцентных детекторов. Показано, что при измерениях, требующих длительных экспозиций, необходимо учитывать изменение чувствительности детекторов от времени.

Апробация работы и публикации. Материалы диссертации докладывались на III Всесоюзной школе по термомлюминесцентным детекторам (Зр-кутск, 1990 г.), IV Всесоюзном совещании по методам индивидуальной дозиметрии (Москва, 1990 г.), региональном семинаре по применению и метрологическому обеспечению термомлюминесцентной дозиметрии (Харьков, 1992 г.), XIII семинаре по линейным ускорителям заряженных частиц (Харьков, 1993 г.), межрегиональном семинаре по дозиметрии и проблемам современного радиационного мониторинга (Харьков, 1993 г.).

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Ангуфьев В.П., Дижий Н.П., Коваленко Г.Д., Курищенко А.М., Мазилон А.В., Матия П.П. Определение радиоактивных нуклидов и их активности в помещении линейного ускорителя электронов // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Общая и ядерная физика. 1985. Вып. 2 (31). С. 90 - 93.

2. Витько В.И., Гончаров К.Г., Коваленко Г.Д., Курищенко А.М.,

Мазилев А.В. Спектральный состав гамма- и нейтронного излучений за защитой электронных ускорительных установок: Препринт ХФТИ 86 - 10. Харьков: ХФТИ АН УССР. 1986. 10 с.

3. Коваленко Г.Д., Куриценко А.М., Мазилев А.В. Индивидуальный дозиметрический контроль. Общие требования и методы. - СТП 398 - 88. Харьков: ХФТИ АН УССР. 1988. 11с.

4. Витько В.И., Гончаров И.Г., Коваленко Г.Д., Красников А.А., Мазилев А.В., Светличная И.П. Влияние аварии на ЧАЭС на радиационную обстановку в г. Харькове: Препринт ХФТИ 90 - 60. Харьков: ХФТИ, 1990. 16 с.

5. Гончаров И.Г., Коваленко Г.Д., Мазилев А.В., Светличная И.П., Влияние облучательной программы "ЛУЧ" на радиационную обстановку и окружающую среду: Препринт ХФТИ 90 - 27. Харьков: ХФТИ, 1990. 15 с.

6. Витько В.И., Коваленко Г.Д., Мазилев А.В. Исследование характеристик термомлюминесцентных детекторов и их применение для контроля радиационной обстановки: Препринт ХФТИ 92 - 27. Харьков: ХФТИ, 1992. 12 с.

7. Витько В.И., Гончаров И.Г., Коваленко Г.Д., Мазилев А.В., Светличная И.П. Радиационная обстановка на территории г. Харькова и области: Препринт ХФТИ 92 - 19. Харьков: ХФТИ, 1992. 26 с.

8. Витько В.И., Коваленко Г.Д., Мазилев А.В. Исследование радиационной обстановки, создаваемой линейными ускорителями электронов ЛУЭ-2000 и ЛУЭ-300 // Тезисы докладов XIII-го Харьковского семинара по линейным ускорителям заряженных частиц. Харьков: ННЦ ХФТИ, 1993. С. 48.

Подписано в печать 21.06.94. Формат 60x84/16. Офсетная печать. Усл.п.л. 1,0. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 80. Заказ 141.

Харьков-108, ротاپринт ННЦ ХФТИ

AB 30.770

**AB 30.770**