



ЦА0601407

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
Национальный научный центр
«Харьковский физико-технический институт»

*М.В. Сосипатров, А.В. Мазилев, Б.Н. Разсукованный,
Н.А. Богонос, И.Г. Гончаров, А.Г. Гриво, В.Я. Никулина*

**РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
В ННЦ ХФТИ:
ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
Национальный научный центр
«Харьковский физико-технический институт»

*М.В. Сосипатров, А.В. Мазилев, Б.Н. Разсукованный,
Н.А. Богонос, И.Г. Гончаров, А.Г. Гриво, В.Я. Никулина*

**РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
В ННЦ ХФТИ:
ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

2006

РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ННЦ ХФТИ: ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ / М.В. Сосипатров, А.В. Мазиллов, Б.Н. Разсукованный, Н.А. Богонос, И.Г. Гончаров, А.Г. Гриво, В.Я. Никулина. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2006. – 75 с.

Приведены самые необходимые и достаточно полные данные о радиационной обстановке на основных объектах, в санитарно-защитной и наблюдаемой зонах ННЦ ХФТИ в динамике, включающие в себя мощность эквивалентной дозы на рабочих местах персонала категорий А и Б, обусловленную фотонной и нейтронной составляющими, эффективную дозу внешнего и внутреннего облучения персонала, содержание урана в воздухе рабочих помещений, в атмосферном воздухе и атмосферных выпадениях и осадках, сбросах (производственных сточных вод), радиоактивное загрязнение почвенного покрова зоны наблюдения, радиационный гаммафон на периметре территории промплощадки и в жилом массиве. Большое внимание уделено нерадиационным факторам, таким как магнитное, электромагнитное и лазерное излучения, контролю над содержанием вредных химических веществ (включая вещества I класса химической опасности. бериллий и бенз/а/пирен) в воздухе рабочих помещений, приземном слое атмосферы и почвенном покрове за период осуществления контроля с 1991 года по 2005 год.

Все данные, за исключением данных по бенз/а/пирену, получены метрологически аттестованной Лабораторией радиационных исследований и охраны окружающей среды.

Рис. 34, табл. 13, список лит. – 49 назв.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.	Введение	5
2.	Радиационный мониторинг	7
2.1.	Радиационный контроль на ускорителях электронов	8
2.2.	Наведенная радиоактивность воздуха рабочей зоны ускорителей... ..	11
2.3.	Радиационный контроль при работах с ураном в открытом виде.....	13
2.3.1.	Внешнее облучение.	14
2.3.2.	Внутреннее облучение.....	16
2.3.3.	Выводы из раздела 2.3.....	21
2.4.	Радиационный контроль на установках с используемым и неиспользуемым рентгеновским излучением.....	21
2.5.	Индивидуальный дозиметрический контроль.....	23
2.6.	Радиационный контроль на границе санитарно-защитной зоны.....	24
3.	Радиозкологический мониторинг	27
3.1.	Контроль над очисткой сточных вод, загрязненных ураном.....	27
3.2.	Содержание альфа-активных радионуклидов в атмосферном воздухе, атмосферных выпадениях и осадках.....	30
3.3.	Содержание радионуклидов в почвенном покрове микрорайона «Пятихатки».....	32
3.4.	Радиационный гамма-фон в микрорайоне «Пятихатки».....	38
4.	Санитарно-экологический мониторинг	39
4.1.	Контроль над уровнями постоянных электромагнитных полей.....	39
4.1.1.	Источники постоянных магнитных и электромагнитных полей.....	39
4.1.2.	Воздействие на организм и гигиенические нормативы.....	40
4.1.3.	Средства измерительной техники (СИТ).....	42
4.1.4.	Результаты измерений	44
4.1.5.	Выводы из раздела 4.1	45
4.2.	Контроль над уровнями лазерных излучений.....	46
4.3.	Содержание вредных химических веществ в воздухе рабочих помещений ННЦ ХФТИ и сточных водах.....	47
4.4.	Содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и почвенном покрове.....	49
4.4.1.	Характеристика источников загрязняющих веществ.....	49
4.4.2.	Характеристика источников выбросов загрязняющих веществ.....	50

4.4.3. Контроль над выбросами бенз/а/пирена и его содержанием в атмосферном воздухе.....	50
4.4.4. Расчет рассеивания в атмосфере загрязняющих веществ. ...	57
4.4.5 Содержание бериллия и бенз/а/пирена в почвенном покрове.	59
4.4.6. Выводы из раздела 4.4.....	59
Заключение	63
Литература.....	64
Приложение.....	68
Измерения напряженности импульсных магнитных полей.....	68

1. ВВЕДЕНИЕ

Со времени появления человека в истории природы нашей планеты все отчетливее проявляется влияние антропогенных факторов. Современные возможности техники и масштабы хозяйственной деятельности общества настолько возросли, что под действием человека на поверхности Земли уже частично сформировано и продолжает формироваться новое состояние природы, которое получило название биотехносферы. Превращение биосферы в биотехносферу – процесс исторически, наверное, неизбежный и закономерный. Но он противоречив и нередко сопровождается загрязнением в различных формах окружающей среды, уничтожением естественных ресурсов, нарушением экологического равновесия.

Изучение такого важного вопроса, как влияние разнообразных факторов окружающей среды на заболеваемость и в первую очередь на злокачественные новообразования, совершенно неотделимо от общей проблемы влияния окружающей среды на здоровье населения [1,2]. При этом под окружающей средой необходимо понимать целостную систему взаимосвязанных природных и антропогенных объектов и явлений, включающих в себя социальные, природные и искусственно создаваемые физические, химические и биологические факторы, которые прямо или косвенно воздействуют или в определенный момент могут воздействовать на жизнь и деятельность человека.

В данной работе авторами сделана попытка привести достаточно полные и достоверные данные о радиационной обстановке на основных объектах, в санитарно-защитной* и наблюдаемой зонах** ННЦ ХФТИ, включающие в себя мощность эквивалентной дозы на рабочих местах персонала категорий А и Б, обусловленную фотонной и нейтронной составляющими, эффективную дозу внешнего и внутреннего облучения персонала, содержание урана в воздухе рабочих помещений, в атмосферном воздухе, атмосферных выпадениях и осадках, сбросах (сточных водах), радиоактивное загрязнение почвенного покрова зоны наблюдения, радиационный гамма-фон на периметре территории промплощадки и в жилом массиве. Мы попытались показать это в динамике, период контроля взят с 1991 года (для концентрации урана в воздухе рабочей зоны с 1961 года) по 2005 год. Это так называемый радиационный и радиэкологический мониторинг.

* Условно принято, что границей санитарно-защитной зоны является периметр промплощадки №2 ННЦ ХФТИ. На самом деле существуют две такие зоны: одна радиусом 300 м вокруг здания №4, другая радиусом 400 м вокруг мишенного зала здания №2 (место гашения электронного пучка ускорительного комплекса ЛУЭ-2000).

** Наблюдаемой зоной в данном случае считается территория вне пределов периметра ННЦ ХФТИ, включая территорию жилого массива «Пятихатки».

Он регламентируется Нормами радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) – основным государственным документом, устанавливающим систему принципов, критериев и правил, выполнение которых является обязательной нормой в политике государства по отношению к обеспечению противорадиационной защиты человека и радиационной безопасности [3]. Согласно этому документу радиационно-дозиметрический контроль и в целом радиационная безопасность по отношению к практической деятельности строятся с использованием следующих основных принципов

- любая практическая деятельность, сопровождаемая облучением людей, не должна осуществляться, если она не приносит большей пользы облучаемым лицам или обществу в целом по сравнению с вредом, который она причиняет (принцип оправданности);

- уровни облучения от всех попадающих под регулирование видов практической деятельности не должны превышать установленные пределы доз (принцип неперевышения);

- уровни индивидуальных доз и/или количество облучаемых лиц по отношению к каждому источнику излучения должны быть настолько низкими, насколько это может быть достигнуто с учетом экономических и социальных факторов (принцип оптимизации).

Оптимизация радиационной защиты наиболее эффективна на стадии проекта. Если при этом в качестве граничной индивидуальной дозы диапазона оптимизации выбрана величина, меньшая основного предела, то выполнение принципа неперевышения гарантировано и сводится к формальной проверке и контролю [4].

Критерием выполнения для персонала принципа неперевышения является известное неравенство [3-5]:

$$E/LD + \sum_i I_i/ALI_i \leq 1,$$

где LD – годовой предел дозы; ALI_i – предел годового ингаляционного поступления i -го нуклида; E – фактическая годовая доза внешнего облучения; I_i – фактическое годовое ингаляционное поступление i -го нуклида.

Если ингаляционным поступлением радионуклидов в организм (как в виде аэрозолей, так и в виде газов) можно пренебречь, получаем:

$$E/LD \leq 1$$

Согласно НРБУ-97 под величиной E понимается *эффективная доза*. Предел эффективной дозы ПД = 20 мЗв (2 бэр) в среднем за пять последовательных лет, но не более 50 мЗв за каждый отдельный год. Эти пределы совпадают с соответствующими рекомендациями и международными нормами [4, 6].

Следует отметить [7], что отличие НРБУ-97 по сравнению с НРБ-76/87 не сводится к механическому уменьшению предела дозы. Во-первых,

изменено само понятие (физический смысл) дозы, сопоставляемой с ее пределом. Во-вторых, введен пятилетний период осреднения годовой дозы. В-третьих, модифицирована и расширена сфера действия Норм радиационной безопасности. По рекомендации МКРЗ [4] прежнее понятие *эквивалентная доза* присвоено практически новой дозовой величине (средней по органу дозе). Некоторые основные понятия новых норм радиационной безопасности (эффективная доза, практическая деятельность, оптимизация, риск, ущерб и др.) отсутствовали в прежних нормативных документах, в свою очередь, НРБУ-97 не содержит некоторых привычных нормативов (ДМД, ДПП для гамма- и нейтронного излучений, ДС_А и др.).

Должное внимание в работе уделено и нерадиационным факторам, таким, как магнитное, электромагнитное и лазерное излучения, контролю над содержанием вредных химических веществ (включая вещества I класса химической опасности бериллий и бенз/а/пирен) в воздухе рабочей зоны, приземном слое атмосферы, почвенном покрове и сточных водах как промплощадки, так и жилого массива «Пятихатки» за тот же период осуществления контроля. Это санитарно-экологический мониторинг (назовем его так). Его цель – предупреждение отрицательного воздействия деятельности ННЦ ХФТИ на окружающую среду и здоровье населения и персонала. Объектами контроля являются атмосферный воздух, осадки, атмосферные выпадения, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу стационарными источниками загрязнения, сбросы сточных вод в канализационную систему г. Харькова, воздух рабочей зоны производственных помещений и др.

Таким образом, в рамках настоящей работы предоставляется возможность заинтересованным в экологических аспектах деятельности Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт» сторонам и лицам ознакомиться с информацией в области охраны атмосферного воздуха и состояния приземного слоя атмосферы как территории промплощадки, так и микрорайона «Пятихатки».

Все данные, за исключением данных по бенз/а/пирену, получены метрологически аттестованной Лабораторией радиационных исследований и охраны окружающей среды.

Измерения напряженности импульсных магнитных полей, используемых в различного типа и назначения экспериментальных установках, осуществлены с помощью нестандартных средств измерительной техники. По этой причине результаты измерений приведены в Приложении.

2. РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ

Задачей радиационного мониторинга является организация и осуществление радиационно-дозиметрического контроля в целях [3]:

– расчета текущих и прогнозных уровней облучения персонала категорий А и Б, населения, а также оперативного и долговременного

планирования этих уровней для контроля непревышения лимитов дозы и контрольных уровней;

- подтверждения соответствия требованиям Санитарного законодательства радиационно-гигиенических условий на рабочих местах и выявления тенденций в обеспечении радиационной безопасности, в том числе при модернизации действующих радиационно-опасных установок и модификации технологий и технологических регламентов;

- контроля эффективности радиационной защиты персонала и населения;

- обеспечения исходной информацией для расчета доз и подтверждения принятия решений в случае аварийного облучения, облучения в несчастных случаях.

Достижение перечисленных выше целей осуществляется посредством:

- радиационно-дозиметрического контроля населения и персонала, включая текущий (плановый), операционно-технологический и специальный контроль;

- мониторинга производственной и воздушной среды;

- индивидуального дозиметрического контроля внешнего и внутреннего облучения персонала (ИДК).

2.1. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ НА УСКОРИТЕЛЯХ ЭЛЕКТРОНОВ

Первопричиной возникновения полей ионизирующего излучения в элементах конструкций ускорителей и за их пределами являются потери пучка на разных стадиях рабочего цикла. Заряженные частицы, выбывающие из объема пучка в силу случайных или неизбежных причин, попадают на стенки ускорительных секций. При этом возникают ядерно-электромагнитные каскады, компоненты которых могут обладать значительной проникающей способностью, приводя к образованию полей мгновенного излучения. Результатом воздействия этих полей на оборудование ускорителей и окружающую воздушную среду является наведенная радиоактивность элементов конструкций ускорителей, защиты, мишеней и воздуха рабочей зоны. При взаимодействии пучков высокоэнергетичных (ускоренных) заряженных частиц с облучаемыми мишенями также образуются мощные потоки гамма-нейтронного излучения широкого спектра энергий. В воздухе рабочей зоны ускорителей в результате ядерных реакций типа (γ, n) , (γ, pn) , (γ, p) , $(\gamma, 2n)$ и других образуются радиоактивные нуклиды с различными периодами полураспада. Часть из них в виде радиоактивных газов и аэрозолей может быть выброшена в атмосферу, образовав дополнительный источник излучения и увеличив тем самым общий уровень излучения в районе расположения ускорителей.

Контроль над радиационной обстановкой на ускорителях ННЦ ХФТИ включает в себя текущий (плановый), оперативный и специальный контроль [8,9]. Плановый контроль служит для получения текущей информации о состоянии радиационной обстановки, о ее изменении, а также о возникновении возможных аварийных ситуаций. Оперативный контроль осуществляется в случае необходимости проведения персоналом ремонтных или других работ в зоне повышенного излучения, где возможна дозовая нагрузка, превышающая установленные уровни. Специальный контроль служит для получения новых сведений о радиационной обстановке, необходимых для определения или уточнения объема текущего (планового и оперативного) радиационно-дозиметрического контроля.

На рис. 2.1.1 и 2.1.2 в виде гистограмм отражена радиационная обстановка на ускорительном комплексе ЛУЭ-2000 и ускорителе ЛУЭ-300 на основании анализа результатов планового радиационно-дозиметрического контроля в период с 1991 по 2005 год. Показан вклад фотонной и нейтронной составляющих в эквивалентную дозу на рабочих местах постоянного и временного пребывания персонала. Наиболее объективная информация содержится в верхней части рисунков, где отражена среднегодовая мощность дозы, рассчитанная на основании результатов измерений в контролируемых местах:

$$P_{cp} = \sum P / n ,$$

где P_{cp} – среднегодовая мощность дозы; P – измеренная мощность дозы; n – число точек измерений.

В нижней части рисунков показаны усредненные (средневзвешенные) значения максимально-зарегистрированных мощностей доз в разное время на протяжении года.

Видно, что среднегодовая мощность дозы фотонного излучения на ускорительном комплексе ЛУЭ-2000 не превышает 2,7 мкЗв/ч, в последние годы ощутимый вклад в мощность дозы дают нейтроны. На ускорителе ЛУЭ-3000 фотонная и нейтронная составляющие мощности эквивалентной дозы находятся в пределах от 0,1...1,5 мкЗв/ч. Напомним, что Нормами радиационной безопасности Украины (НРБУ) установлена допустимая эффективная доза облучения персонала категории А, равная 20 мЗв/год. При референтном времени работы 1700 ч в год получаем допустимую мощность дозы, равную 11,8 мкЗв/ч.

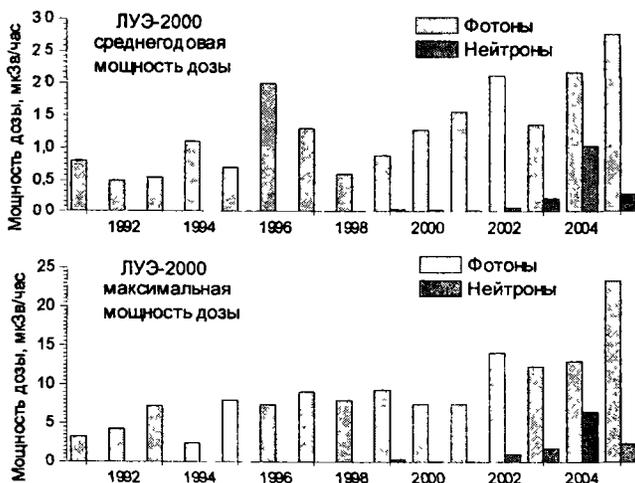


Рис 2.1.1 Вклад фотонной и нейтронной составляющих в среднегодовые и средневзвешенные максимальные значения эквивалентной мощности дозы на рабочих местах ускорительного комплекса ЛУЭ-2000

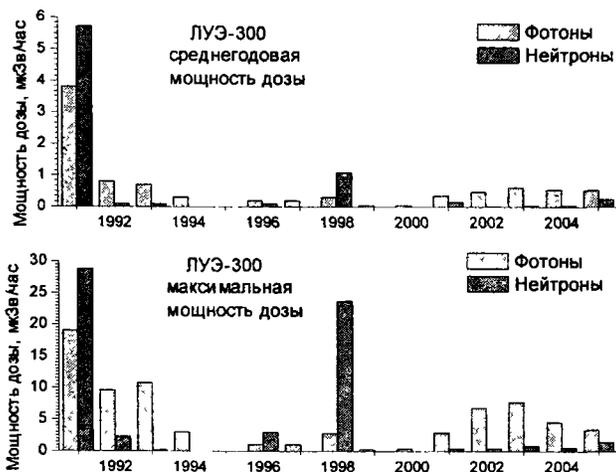


Рис 2.1.2. Вклад фотонной и нейтронной составляющих в среднегодовые и средневзвешенные максимальные значения эквивалентной мощности дозы на рабочих местах ускорителя ЛУЭ-300

2.2. НАВЕДЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ УСКОРИТЕЛЕЙ

При одновременной работе ускорителей КУТ и ЭПОС исследован спектральный состав, произведена идентификация и рассчитаны концентрации радиоактивных аэрозолей, образующихся в воздухе рабочей зоны с последующим выбросом в атмосферу. Ускорители при этом работали по облучательной программе «Кристалл» (облучались кристаллы топазов) в следующем режиме:

- ускоритель КУТ: энергия около 11 МэВ, ток на выходе 0,65 мА;
- ускоритель ЭПОС: энергия 16 МэВ, ток на выходе 0,4 мА.

Забор воздуха производился из вентиляционной системы с помощью воздуходувки, осаждение аэрозолей осуществлялось на фильтр АФА-20, состоящий из ткани Петрянова. Объем прокачанного воздуха контролировался газовыми счетчиками. Измерения спектрального состава выполнены с помощью германий-литиевого радиационного детектора ДГДК-68В, предназначенного для измерения энергетических спектров гамма-излучения в диапазоне энергий 0,05...10 МэВ. Конструктивно детектор выполнен в виде герметичного неразборного блока детектирования – криостата. Кристалл германия установлен на верхнем конце хладопровода и закрыт цилиндрическим кожухом из алюминиевого сплава диаметром 90 мм. Нижний конец хладопровода погружен в сосуд Дьюара, заполненный жидким азотом.

Технические данные детектора следующие:

Диапазон регистрируемых энергий, МэВ.....	0,05...10
Энергетическое разрешение, кэВ:	
для энергии 122 кэВ по изотопу Со-57 ПШПВ.....	1,2
для энергии 1332 кэВ по изотопу Со-60 ПШПВ.....	1,8
для энергии 1332 кэВ по изотопу Со-60 ПШДВ.....	3,6
Чувствительность для энергии 1332 кэВ по изотопу Со-60, мм ²	68
Абсолютная эффективность, %.....	$6,8 \cdot 10^{-3}$
Площадь чувствительной поверхности, см ²	12
Толщина чувствительной поверхности, мм ²	14

Отбор проб производился дважды, каждый раз прокачано более 10^3 м³ воздуха. Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения, измеренная дозиметром ДБГ-01Н вплотную к фильтру после осаждения на него аэрозолей, не превышала естественного радиационного фона. Идентификация и определение концентраций производились с помощью компьютерной программы «Baltispectr». Идентифицированные радионуклиды и их концентрации *C* приведены в табл. 2.2.1, энергетический спектр радиоактивных аэрозолей – на рис. 2.2.1.

Таблица 2.2.1

Радиоактивные аэрозоли, образующиеся в воздухе рабочей зоны ускорителей КУТ и ЭПОС при работе по программе «Кристалл»

Радионуклид	Энергия, МэВ	Квантовый выход, отн. ед.	$T_{1/2}$	C , Бк/м ³	Предельно допустимая концентрация, установленная НРБУ
²¹⁰ Pb	0,2386 0,3000	0,436 0,033	10,64 ч	0,03	не регламентирована
²¹⁴ Pb	0,3519	0,37	26,8 мин	0,75	То же
²¹² Bi	0,7270	0,07	1,00 ч	1,2	«-»
²¹⁴ Bi	0,6093 1,1200 1,7645	0,461 0,15 0,169	19,9 мин	5,8	«-»
²⁰⁸ Tl	0,5830 2,6140	0,96 0,998	3,05 мин	0,007	«-»
³⁹ Cl	0,2503 1,2672 1,5173	0,4630 0,5360 0,3850	56,2 мин	0,53	«-»

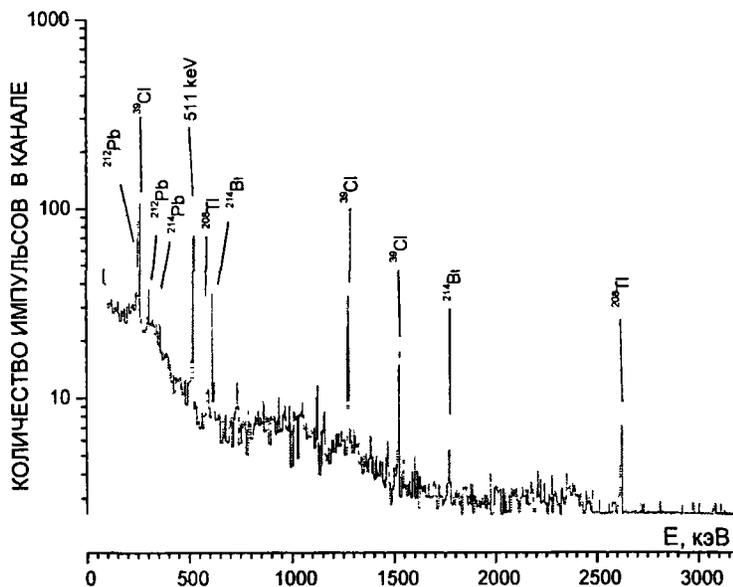


Рис 2.2.1. Энергетический спектр радиоактивных аэрозолей, образующихся при одновременной работе ускорителей КУТ и ЭПОС по облучательной программе «Кристалл»

Из таблицы видно, что все радионуклиды, содержащиеся в аэрозолях воздуха, НРБУ не регламентированы, вместе с тем, их концентрации в воздухе пренебрежимо малы.

Ранее, при работе ускорителя ЛУЭ-2000 по облучательной программе «Луч» и использовании мишени, состоящей из 69% железа, 16% хрома и 15% никеля, конструктивно выполненной из 208 пластин толщиной 0,3 мм, нами установлено [8,10], что в непосредственной близости к облучаемой мишени концентрация аэрозолей примерно в 5 раз выше, чем в вентиляционной системе, но остается при этом на 3-4 порядка ниже допустимых концентраций для воздуха рабочих помещений.

Показано также, что радиоактивность газов, образующихся вблизи мишени, в основном обусловлена изотопами ^{15}O , ^{13}N , ^{11}C . Преобладающий вклад в радиоактивность газов вносит изотоп ^{15}O с периодом полураспада 2,05 мин. Суммарный вклад радиоактивных газов в величину приведенной активности металлических конструкций в рабочей зоне ускорителя незначителен.

2.3. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ РАБОТАХ С УРАНОМ В ОТКРЫТОМ ВИДЕ

Контроль над содержанием урана и бериллия в воздухе рабочих помещений организован в 1961 году в здании №4, где на шести сообщающихся по воздуху производственных участках зала и в изолированных помещениях проводились работы с ураном в объемах и условиях, при которых его концентрация могла превышать установленные допустимые значения (в дальнейшем работы с ураном проводились и в зданиях № 50, 57 [11]). Предельно допустимая концентрация урана в период с 1961 года по настоящее время составляла:

- с 1961 г. по 1963 г. – $1.0 \cdot 10^{-14}$ Ки/л,
- с 1964 г. по 1970 г. – $7.0 \cdot 10^{-14}$ Ки/л,
- с 1971 г. по 1977 г. – $1.3 \cdot 10^{-13}$ Ки/л;
- с 1978 г. по 1997 г. – $5.9 \cdot 10^{-14}$ Ки/л;
- с 1998 г. по настоящее время – $5.4 \cdot 10^{-15}$ Ки/л (0 2 Бк/м³).

Аналитической формой условия непревышения предела годовой эффективной дозы для персонала категории А, осуществляющего практическую деятельность, связанную с проведением работ с ураном (равно как и с другими радиоактивными веществами в открытом виде), является неравенство [3,11].

$$\frac{E_{ext}}{DL_E} + \frac{C^{inhal}}{PC^{inhal}} \leq 1, \quad (2.3.1)$$

где C^{inhal} и PC^{inhal} – соответственно среднегодовая и допустимая концентрации урана в воздухе рабочих помещений.

2.3.1. Внешнее облучение

Первое слагаемое в неравенстве (2.3.1) характеризует внешнее облучение персонала. Годовая эффективная доза внешнего облучения E_{ext} может быть получена как прямым измерением, например, с помощью средств индивидуального дозиметрического контроля, так и расчетным путем. Согласно нормативным документам, индивидуальный дозиметрический контроль обязателен для лиц, облучение которых может превысить установленный уровень: 15 мЗв до 1997 года, 10 мЗв с 1998 года. Как будет показано далее, расчетное значение дозы значительно ниже, по этой причине индивидуальный контроль персонала, работающего с ураном, на протяжении всего времени начиная с 1961 года, отсутствовал.

В упомянутой работе [11] консервативно оценена верхняя граница эффективной годовой дозы внешнего облучения, подавляющий вклад в которую обусловлен гамма-излучением изотопов ^{238}U и ^{235}U , находящихся в равновесии с дочерними продуктами распада: ^{234}Th , ^{234m}Pa , ^{234}U от материнского изотопа ^{238}U и ^{231}Th от материнского изотопа ^{235}U . Поскольку в расчетах было сделано несколько существенных условий (предположений), остановимся на них подробнее.

По правилам ядерной безопасности на рабочем месте могло быть использовано не более 300 г обогащенного урана (вариант А), либо не более 5 кг естественного урана (вариант Б). Таким образом, предположено, во-первых, что уран всегда выдавался в максимальном количестве, во-вторых, степень обогащения составляла 90%. Исходя из этого установлена степень радиационной опасности с точки зрения внешнего облучения в каждом из вариантов. Как известно, мощность экспозиционной дозы, создаваемая точечным источником, пропорциональна произведению его активности и гамма-постоянной. Активность входящих в уран изотопов ^{238}U и ^{235}U получена из соотношения:

$$Q = \frac{3,57 \cdot 10^5 M}{A \cdot T_{1/2}},$$

где Q – активность изотопа, Ku ; M – масса изотопа, g ; A – атомный номер изотопа; $T_{1/2}$ – период полураспада, лет. Отсюда удельная активность ^{235}U ($T_{1/2} = 7,04 \cdot 10^8$ лет) равна:

$$q(^{235}\text{U}) = 2,16 \cdot 10^{-6} \text{ Ku/g},$$

а удельная активность ^{238}U ($T_{1/2} = 4,47 \cdot 10^9$ лет)

$$q(^{238}\text{U}) = 3,36 \cdot 10^{-7} \text{ Ku/g}$$

Рассматривая обогащенный уран как смесь изотопов ^{238}U (10%) и ^{235}U (90%), а естественный уран как смесь изотопов ^{238}U (99,28%) и ^{235}U

(0,715%), определена полная активность материнских изотопов ^{238}U и ^{235}U для каждого варианта:

- для варианта А (300 г урана обогащенного) $Q_A(^{238}\text{U}) = 0,01 \text{ мКи}$,
 $Q_A(^{235}\text{U}) = 0,58 \text{ мКи}$;

- для варианта Б (5 кг урана естественного) $Q_B(^{238}\text{U}) = 1,67 \text{ мКи}$,
 $Q_B(^{235}\text{U}) = 0,077 \text{ мКи}$

Активность каждого из дочерних изотопов вследствие равновесия равна активности их материнских изотопов. В общем случае цепочки распада при наличии материнского изотопа и дочерних продуктов распада гамма-постоянная этой системы K_γ равна:

$$K_\gamma = K_{\gamma 0} + \sum K_{\gamma i} \cdot \eta_i,$$

где $K_{\gamma 0}$ - гамма-постоянная материнского изотопа; $K_{\gamma i}$ - гамма-постоянная i -го дочернего изотопа; η_i - отношение активностей дочернего изотопа к материнскому. Используются справочные значения гамма-постоянных

$$K_{\gamma i}, \frac{(P \cdot \text{см}^2)}{(ч \cdot \text{мКи})}:$$

$$- K_\gamma(^{235}\text{U}) = 0,710, \quad K_\gamma(^{231}\text{Th}) = 0,0714;$$

$$- K_\gamma(^{238}\text{U}) = 0,072, \quad K_\gamma(^{234}\text{Th}) = 0,0579, \quad K_\gamma(^{234\text{m}}\text{Pa}) = 0,0590,$$

$$K_\gamma(^{234}\text{U}) = 0,00373.$$

Поскольку в состоянии равновесия активности материнского и дочернего изотопов равны ($\eta \equiv 1$), то гамма-постоянная цепочки распада равна сумме гамма-постоянных входящих в неё изотопов. Таким образом,

для цепочки распада ^{235}U гамма-постоянная $K_\gamma(^{235}\text{U}) = 0,781 \frac{(P \cdot \text{см}^2)}{(ч \cdot \text{мКи})}$,

для цепочки распада ^{238}U - $K_\gamma(^{238}\text{U}) = 0,193 \frac{(P \cdot \text{см}^2)}{(ч \cdot \text{мКи})}$.

Теперь необходимо сказать еще об одном условии. Исходя из существующих правил эксплуатации установок, предназначенных для работ с ураном, условий проведения подготовительно-заключительных работ, размеров установок и рабочей зоны была принята следующая, наиболее реальная модель. Точечный источник гамма-излучения, состоящий из двух изотопов активностью $Q(^{238}\text{U})$ и $Q(^{235}\text{U})$ с соответствующими гамма-постоянными $K_\gamma(^{238}\text{U})$ и $K_\gamma(^{235}\text{U})$, находится на расстоянии $R = 100 \text{ см}$ от персонала категории А в течение установленного референтного времени $t = 1700 \text{ ч}$. В этом случае годовая эффективная доза внешнего облучения определяется по формуле:

$$E_{\text{ext}} = 0,646 \frac{Q(^{238}\text{U}) \cdot K_\gamma(^{238}\text{U}) + Q(^{235}\text{U}) \cdot K_\gamma(^{235}\text{U})}{R^2} t, \text{ бэр.} \quad (2.3.2)$$

Коэффициент 0,646 в этой формуле служит для перевода экспозиционной дозы, выраженной в *рентгенах*, в эффективную дозу, выраженную в *бэрах*. Подставляя в (2.3.2) соответствующие значения, получаем эффективные годовые дозы облучения для вариантов А и Б:

$$\begin{aligned} - E_{ext}(A) &= E_{ext}(^{238}U) + E_{ext}(^{235}U) = 0,050 \text{ бэр}, \\ - E_{ext}(B) &= E_{ext}(^{238}U) + E_{ext}(^{235}U) = 0,042 \text{ бэр} \end{aligned}$$

Таким образом, эффективные годовые дозы в обоих вариантах примерно одинаковы*. Исходя из полученных данных, можно утверждать, что вклад первого слагаемого в неравенство (1) относительно мал:

$$\frac{E_{ext}}{DL_F} \leq 0,01 \text{ до 1997 года} \quad \text{и} \quad \frac{E_{ext}}{DL_G} \leq 0,025 \text{ с 1998 года.}$$

2.3.2. Внутреннее облучение

Второе слагаемое в неравенстве (2.3.1) характеризует уровень внутреннего облучения персонала при ингаляционном пути поступления радионуклидов.

Результаты контроля среднегодовой концентрации радионуклидов в воздухе рабочего помещения позволяют определить годовую эффективную дозу внутреннего облучения, причём, не отдельного лица, а группы лиц, занятых на работах с открытыми источниками излучения в данном помещении независимо от рода выполняемой работы.

Как уже отмечалось, контроль над содержанием урана в воздухе рабочих помещений ННЦ ХФТИ существует с 1961 года по настоящее время. Авторами выполнен полный анализ соблюдения принципа непревышения за период в сорок с лишним лет [11,12]. В настоящей работе приводятся лишь основные результаты данного анализа, в достаточной мере отражающие основные тенденции дозовых затрат касательно внутреннего облучения персонала.

На рис. 2.3.1 приведены среднегодовые (средневзвешенные по всем помещениям) концентрации урана (в единицах *Ku/л*) в воздухе рабочих помещений в целом по ННЦ ХФТИ за период контроля с 1961 года по 2005 год. На рис. 2.3.2а показаны обнаруженные максимальные среднегодовые концентрации (в единицах *Ku/л*) в воздухе рабочих помещений, предназначенных для работ с ураном, за тот же период времени, на рис. 2.3.2б – то же в единицах действующих в соответствующие годы допустимых уровней РС.

* Небезынтересно сделать следующее сравнение. Годовая эффективная доза 0,05 бэр соответствует среднегодовой мощности экспозиционной дозы, равной примерно 45 мкР/ч, что удовлетворительно согласуется с результатами прямых дозиметрических измерений

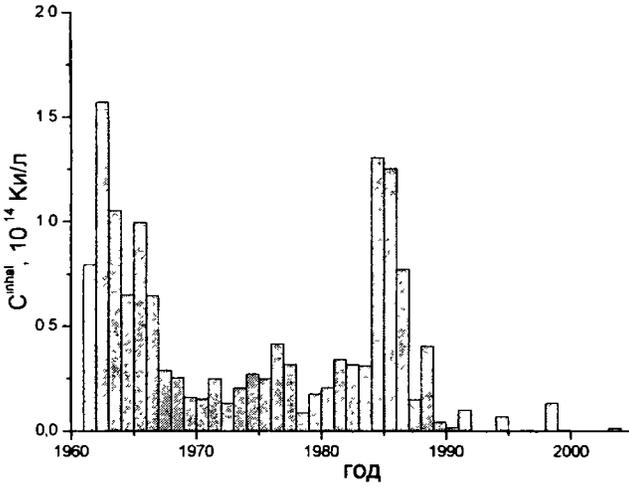


Рис. 2.3.1 Среднегодовые концентрации урана в воздухе рабочих помещений в целом по ННЦ ХФТИ

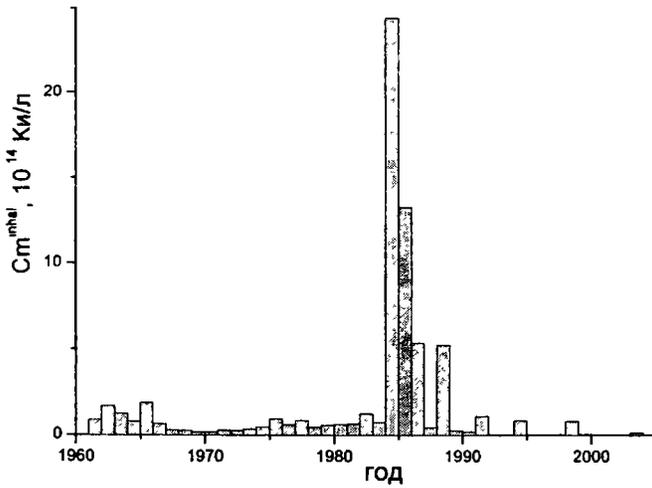


Рис. 2.3.2 а. Максимальные среднегодовые концентрации урана в воздухе рабочих помещений ННЦ ХФТИ в единицах Ки/л

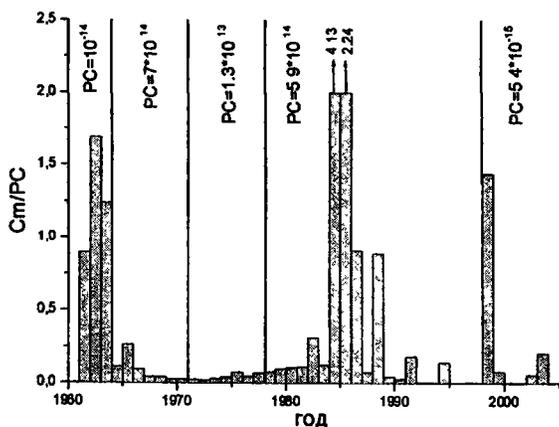


Рис. 2.3.2 б. Максимальные среднегодовые концентрации урана в воздухе рабочих помещений ННЦ ХФТИ в единицах допустимых уровней

Наличие выраженных пиков свидетельствует о том, что имелись случаи, когда разовые, среднесменные и, как следствие, среднегодовые концентрации были выше установленных допустимых уровней, а значит, допускалось нарушение принципа не превышения. Это происходило в 1962, 1963, 1984, 1985 и 1998 годах. Допущенные превышения концентрации урана в воздухе отдельных помещений над допустимым значением, а следовательно, и предела годовой эффективной дозы, полученной персоналом, согласно действовавшим в то время Нормам радиационной безопасности (равно как и действующим в настоящее время НРБУ-97), должны были быть скомпенсированы снижением уровня облучаемости в последующие годы*. Ниже в табл. 2.3.1 перечислены эти помещения, год, когда происходило нарушение условия не превышения (подчеркнуто) с последующими годами компенсации дозы, количество работающего в помещении персонала по отношению к общему числу персонала ННЦ ХФТИ, допущенного к работам с ураном (n , %), значение величины

$\frac{E_{ext}}{DL_E} + \frac{C^{inhal}}{PC^{inhal}}$ как в году, когда было превышение, так и в последующие несколько лет компенсации (предпоследний столбец), а также среднее значение скомпенсированной величины $\frac{E_{ext}}{DL_E} + \frac{C^{inhal}}{PC^{inhal}}$ (последний столбец).

* В соответствии с НРБУ-97, превышение предела годовой эффективной дозы должно быть скомпенсировано в течение любых последовательных 5 лет при условии, что превышение было не более чем в 2,5 раза.

Таблица 2.3.1

Уровни облучения персонала (в единицах $\frac{E_{ext}}{DL_E} + \frac{C^{inhal}}{PC^{inhal}}$) при нарушениях принципа непревышения

№ п/п	Наименование помещения	Годы компенсации	n, %	$\frac{E_{ext}}{DL_E} + \frac{C^{inhal}}{PC^{inhal}}$	$\frac{E_{ext}}{DL_E} + \frac{C^{inhal}}{PC^{inhal}}$ (скомпенсированное)
1	Зал IV-I	1962-1964	≈ 80	1,70; 1,08; 0,10	0,96
2	Порошковая	1962-1963	≈ 5	1,51; 0,45	0,99
3	Спецмастерская	1962-1964	≈ 5	1,16; 0,9; 0,02	0,70
4	Помещение №30	1962-1964	≈ 5	1,61; 1,25; 0,09	0,98
5.	Помещение №004	1984-1988	≈ 5	4,14; 0,06; 0,08; 0,03; 0,04	0,87
6.	Помещение №120	1985-1987	≈ 5	2,25; 0,07; 0,03	0,78
7.	Помещение №114	1998-1999	≈ 5	1,44; 0,02	0,73

Наибольший период компенсации повышенного облучения персонала потребовался в случае нарушения принципа непревышения в помещении №004, в котором в 1984 году произошло самопроизвольное воспламенение порошкообразного металлического урана, вызвавшее в течение двух смен превышение допустимой концентрации урана в воздухе рабочей зоны с максимальным значением $1,1 \cdot 10^{-12} \text{ Ки/л}$ (18,7 PC). В результате среднегодовая концентрация урана в воздухе этого помещения в 1984 году составила 4,13 PC. Во всех остальных случаях компенсация годовой дозы произошла значительно быстрее.

Следует, однако, принимать во внимание масштабы имевшего место повышенного облучения: если в 60-е годы повышенному облучению был подвергнут почти весь персонал, то в последующие годы это были единицы процентов допущенного к работам персонала. Основной причиной такого положения являлось сосредоточение большинства экспериментальных установок и вспомогательного оборудования, а следовательно, и персонала в одном производственном помещении (так называемом зале IV-I). К концу 70-х годов число помещений для работ с ураном возросло. На рис. 2.3.1 видно, что динамика концентрации урана в воздухе рабочей зоны, следовательно, и облучаемости персонала делится на три периода: 60-е годы – конец 70-х; конец 70-х – 1990 год и с начала 90-х годов по настоящее

время. Первые два периода в определённой степени связаны с рассредоточением работ с ураном, последний период – с резким сокращением работ.

Для иллюстрации процесса облучаемости персонала в первые два периода времени мы выбрали для каждого из них по одному помещению, имевшему максимальную удельную среднегодовую концентрацию урана в воздухе рабочей зоны из всех помещений, состоящих на радиационно-дозиметрическом контроле в данный период времени, определяемую как максимальное значение из величин $\sum_{i=1}^n C_i/n$, вычисленных для каждого помещения. Здесь n – число лет радиационно-дозиметрического контроля.

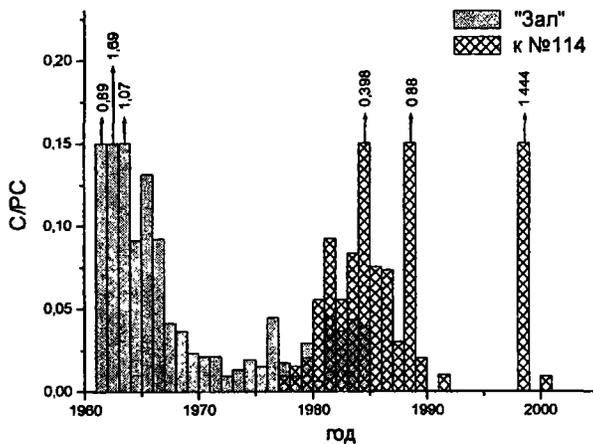


Рис. 2.3.3. Среднегодовые концентрации урана в воздухе рабочей зоны зала IV-I (1961-1984 гг.) и помещения №114 (1977-2003 гг.)

Смысл заключается в том, что персонал этих помещений за весь период времени получил максимальную эффективную дозу внутреннего облучения. Для первого периода времени этим помещением был зал IV-I, в воздухе рабочей зоны которого удельная среднегодовая концентрация урана составляла $4,1 \cdot 10^{-14} \text{ Ку}/(\text{л} \cdot \text{год})$, для второго периода – помещение №114 с удельной среднегодовой концентрацией $0,43 \cdot 10^{-14} \text{ Ку}/(\text{л} \cdot \text{год})$. На рис. 2.3.3 показана динамика изменения величины C/PC для зала IV-I и помещения №114.

Представляется важным отметить, что знание величины C/PC позволяет однозначно определить годовую эффективную дозу внутреннего облучения персонала. Действительно, по определению [3] численное значение допустимой концентрации радионуклида в воздухе рабочего

помещения таково, что при этой величине (и при условии только ингаляционного пути облучения в течение года) годовая эффективная доза внутреннего облучения не превысит предела годовой эффективной дозы. Другими словами, значение среднегодовой концентрации урана в воздухе рабочего помещения C , равное допустимой концентрации PC , соответствует годовой эффективной дозе внутреннего облучения, равной DL

2.3.3. Выводы из раздела 2.3.

Обобщая изложенное, можно утверждать, что эффективная доза облучения персонала D' за n лет работы с ураном в помещении со среднегодовой концентрацией урана в воздухе рабочей зоны C , будет равна:

$$D' = n \cdot E_{ext} + DL \sum_{i=1}^n C_i / PC,$$

где $E_{ext} = 0,05$ бэр (см. подраздел «Внешнее облучение»); $DL = 5$ бэр (до 1997 года), 2 бэр (с 1997 года). Значения DL приведены в начале раздела.

Таким образом, за годы работ с ураном в помещении зала IV-I (24 года) персонал мог получить эффективную дозу за счет внешнего и внутреннего облучения, приблизительно равную

$$D (\text{зал IV-I}) = 24 \cdot 0,05 + 5 \cdot 4,430 = 1,2 + 22,15 = 23,35 \text{ бэр},$$

т. е. в среднем $0,97$ бэр/год ($9,7$ мЗв/год). Аналогично для помещения №114 (27 лет):

$$D (\text{пом. №114}) = 27 \cdot 0,05 + (5 \cdot 1,8 + 2 \cdot 1,453) = 1,35 + 12 = 13,35 \text{ бэр},$$

т. е. в среднем $0,49$ бэр/год ($4,9$ мЗв/год).

Максимальную эффективную дозу облучения персонал мог бы получить при условии работы с 1961 по 2005 год в помещениях с максимальными среднегодовыми концентрациями (см. рис. 2.3.2):

$$D (\text{max}) = 43 \cdot 0,05 + (5 \cdot 14,109 + 2 \cdot 1,772) = 2,15 + 74,08 = 76,24 \text{ бэр},$$

т. е. в среднем $1,77$ бэр/год ($17,7$ мЗв/год) при лимите эффективной дозы 20 мЗв/год.

2.4. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ НА УСТАНОВКАХ С ИСПОЛЬЗУЕМЫМ И НЕИСПОЛЬЗУЕМЫМ РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

К установкам с используемым рентгеновским излучением относятся электронные, автоионные и растровые микроскопы, а также устройства для электронно-лучевой плавки и получения металлических покрытий. Установки с используемым рентгеновским излучением включают в себя дифрактометры различного типа и устройства рентгеноструктурного анализа. Генерируемое ими рентгеновское излучение является результатом взаимодействия пучка ускоренных электронов или ионов с твердой мишенью и состоит из тормозной и характеристической компонент. Тормозное излучение – фотонное излучение с непрерывным энергетическим спектром, возникающее при торможении электрона в экранированном

кулоновском поле атомного ядра. Характеристика тормозного излучения, выходящего из облучаемой мишени, сложным образом определяется всем процессом взаимодействия электронного или ионного пучка с мишенью [13]. Однако в основе лежит элементарный акт испускания электроном тормозного фотона в электрическом поле атома мишени. Характеристическое излучение – фотонное излучение с дискретным энергетическим спектром, возникающее в результате перехода электронов с верхних энергетических уровней на нижние. При взаимодействии электронов, ионов или фотонов тормозного излучения с атомами мишени происходит выбивание электрона с одной из внутренних оболочек атома. Образовавшаяся вакансия занимает электрон, перешедшим с более высокой оболочки, при этом разница энергий связи электронов на оболочках может излучаться в виде кванта характеристического излучения.

Радиационно-дозиметрический контроль на данного типа установках осуществляется с периодичностью 1 раз в год при работе установок в стандартном режиме. При этом измеряется мощность эквивалентной дозы рентгеновского излучения на постоянных рабочих местах или в местах возможного нахождения персонала. Число точек измерений зависит от количества рабочих мест, характера распределения излучения и составляет, как правило, не менее 10. На установках с неиспользуемым рентгеновским излучением, помимо упомянутых измерений, осуществляются также измерения квартальных доз с помощью дозиметров-накопителей термoluminesцентного типа с детекторами на основе фтористого лития в кассетах из тканезквивалентной пластмассы с алюминиевым фильтром.

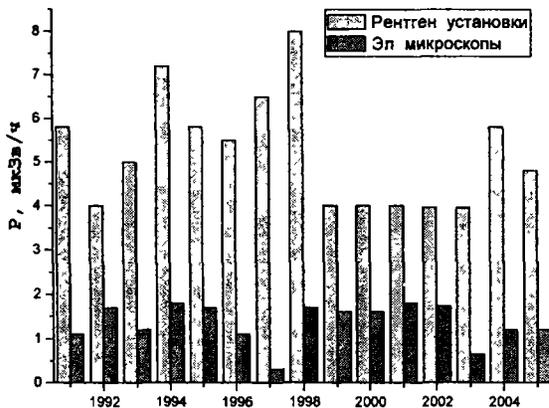


Рис 2 4 1 Максимальные значения мощности эквивалентной дозы на рабочих местах персонала установок с используемым и неиспользуемым рентгеновским излучением

На рис. 2.4.1 показаны максимально-зарегистрированные значения мощности эквивалентной дозы в местах возможного пребывания персонала, работающего на установках с используемым (микроскопы) и неиспользуемым (рентгеновские установки) рентгеновским излучением. Видно, что максимальные значения мощности дозы на первого типа установках лежат в пределах от 0,3 до 1,6 $мкЗв/ч$, на второго типа установках – от 4 до 8 $мкЗв/ч$. Усредненные (средневзвешенные) значения на 1-2 порядка ниже максимальных. Отсюда следует вывод об относительно низких уровнях облучения персонала, занятого на работах с данными установками.

2.5. ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

В соответствии с требованиями [3], индивидуальный дозиметрический контроль персонала категории А обязателен в случае, если имеется потенциальная возможность получения эффективной годовой дозы свыше половины предельно допустимой (предельно допустимая доза составляет 20 $мЗв/год$). В последние годы индивидуальному дозиметрическому контролю внешнего облучения подвергается около 400 человек из числа персонала категории А. На рис. 2.5.1 показаны результаты анализа индивидуального внешнего облучения персонала ННЦ ХФТИ за последние 16 лет по группам: в целом по ННЦ ХФТИ, ускорители тяжелых заряженных частиц, ускорители электронов и другие установки (ускорители прямого действия, плазменно-пучковые ускорители, термоядерные установки). Для персонала, не подвергающегося индивидуальному контролю, занятого, например, работой на термоядерных установках, использованы данные измерения квартальных доз в месте наиболее возможного пребывания (чаще всего таким местом является пульт управления установкой). Измерения выполнены с помощью дозиметров-накопителей с термолюминесцентными детекторами на основе фтористого лития, активированного магнием и титаном, в кассетах ДТУ-2 с алюминиевым фильтром толщиной 1 мм. Такие же дозиметры используются и в индивидуальном контроле. Показано, что в последние годы наиболее вероятное значение годовой индивидуальной дозы составляет примерно 2,0 $мЗв$. Более чем на 90% (рис. 2.5.2) оно обусловлено гамма-излучением, от 2 до 8% вклада дают быстрые нейтроны и от 1 до 3% - тепловые. В последние 3 года вклад нейтронного излучения в эффективную дозу внешнего облучения персонала ускорителей электронов заметно увеличился

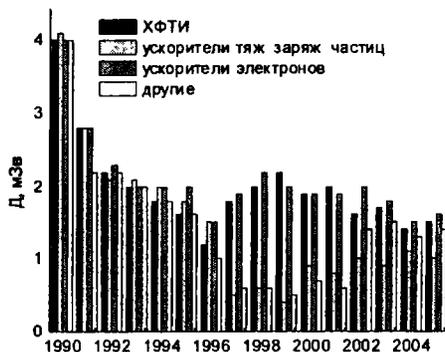


Рис. 2.5.1 Результаты анализа индивидуальных доз внешнего облучения персонала ННЦ ХФТИ по группам

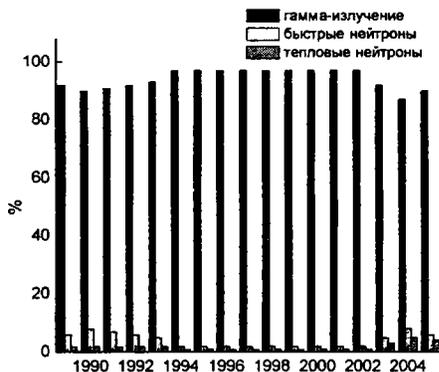


Рис. 2.5.2. Вклад гамма-излучения, быстрых и тепловых нейтронов в эффективную дозу внешнего облучения персонала ускорителей электронов

2.6. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ НА ГРАНИЦЕ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ

Для получения наглядной и максимально объективной информации о радиационной обстановке на границе санитарно-защитной зоны промплощадки №2 и оценке влияния работы ускорителей на ее изменение в 2005 году проведены долговременные измерения радиационного гамма-фона с помощью термолюминесцентных детекторов из фтористого лития ДТГ-4 и оксида алюминия ТЛД-500К. Калибровка детекторов производилась до и после экспозиции индивидуально, таким образом, каждый детектор имел

свой калибровочный коэффициент. Кассеты изготавливались светонепроницаемыми, в каждую из них помещалось по 4 детектора в алюминиевых фильтрах. Изготовленные кассеты-дозиметры в количестве 125 штук были установлены по периметру промплощадки на расстоянии примерно 25 м друг от друга и высоте 1,2 м от поверхности грунта таким образом, чтобы охватить весь периметр. Дозиметры в количестве 4 штук были установлены на удалении примерно 10 км от периметра, 3 дозиметра помещались в свинцовый контейнер с толщиной стенок 4 см. Время экспозиции составляло 90 сут.

Обработка результатов измерений производилась в соответствии с ОСТ 95. 925-82 «Общие требования к выполнению анализов, правила вычисления и сопоставления их результатов», погрешность измерений не превышала 10...15%.

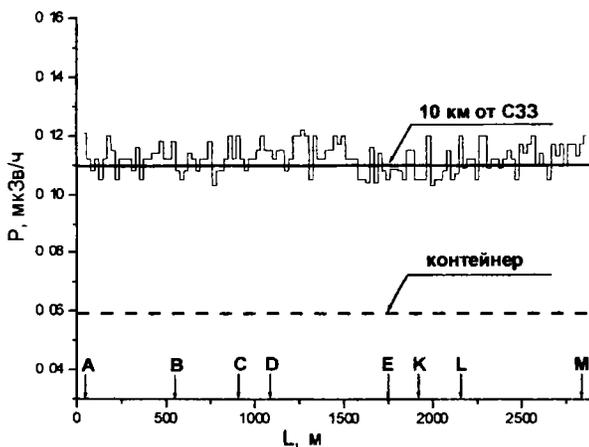


Рис 2.6.1 Радиационный гамма-фон на границе санитарно-защитной зоны в летне-осенний период 2005 года

На рис. 2.6.1 в виде гистограммы приведено распределение уровней радиационного гамма-фона вдоль периметра в летне-осенний период. По горизонтальной оси отложена длина периметра в развернутом виде с соответствующими опорными точками, по вертикальной оси – мощность дозы в мкЗв/ч. На рис. 2.6.2 схематично изображен план промплощадки с теми же опорными точками.

Из рис. 2.6.1 можно сделать следующие выводы:

- среднее значение мощности дозы на расстоянии 10 км от периметра составляло $(0,11 \pm 0,01)$ мкЗв/ч;

- мощность дозы, измеренная внутри свинцового контейнера ($0,06 \pm 0,006$) мкЗв/ч ,
- мощность дозы вдоль границы санитарно-защитной зоны колеблется вокруг значения $0,110 \text{ мкЗв/ч}$.

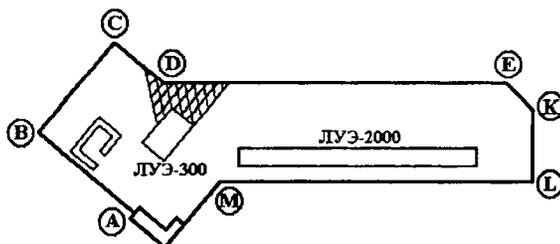


Рис 2 6 2 Схематический план расположения промплощадки

Для сравнения на рис. 2 6 3 приведена гистограмма, полученная в 1990 году и основанная на результатах неоднократных измерений с помощью тех же термолюминесцентных детекторов из фтористого лития ДТГ-4 и оксида алюминия ТЛД-500К. Измерения выполнены во время работы существующих в то время ускорителей ЛУЭ-2000 и ЛУЭ-300 [8]. Видно, что имел место участок периметра длиной около 250 м с мощностью дозы до $0,155 \text{ мкЗв/ч}$, обусловленной гамма-излучением, образованным в результате работы ускорителя ЛУЭ-300.

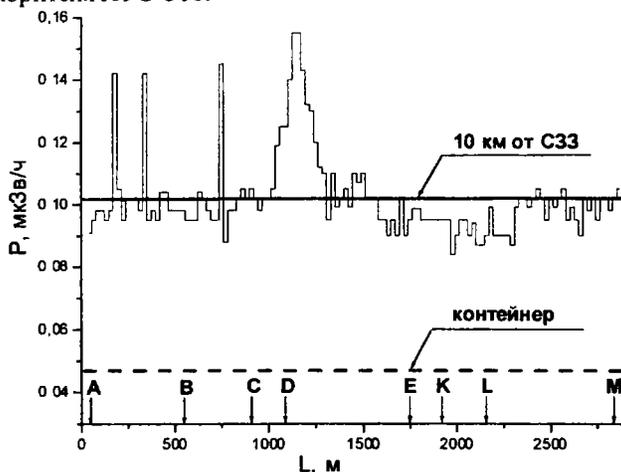


Рис 2 6.3. Радиационный гамма-фон на границе санитарно-защитной зоны при работе ускорителей ЛУЭ-2000 и ЛУЭ-300 (1989-1990 годы)

3. РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

3.1. КОНТРОЛЬ НАД ОЧИСТКОЙ СТОЧНЫХ ВОД, ЗАГРЯЗНЕННЫХ УРАНОМ

Сточные воды, загрязненные радионуклидами в основном естественного урана, используемого на технологических участках в здании №4, поступают по самотечной канализации (спецканализации) в накопительный резервуар (РАС) станции дезактивации, размещенный в здании №57-а и далее на очистные устройства, находящиеся в здании №57.

Характеристика радиоактивных отходов, хранящихся на станции дезактивации по состоянию на 2005 год, приведена в табл. 3.1.1.

Таблица 3.1.1

Характеристика радиоактивных отходов, хранящихся на станции дезактивации сточных вод по состоянию на 2005 год

Класс	Группа, категория	Основные радионуклиды	Суммарная активность	Объем
Долгоживущие, слабоактивная суспензия	2 группа, низкая активность	$^{238}\text{U}, ^{235}\text{U}$	1.3 МБк	Около 0,280 м ³

Дезактивация радиоактивных отходов (очистка сточных вод) проводится методом химического обессоливания воды на ионообменных смолах с предварительной химико-механической очисткой. Шлам, образующийся в результате очистки и представляющий собой суспензию, состоящую из твердой и жидкой фаз, по классификации, введенной Основными санитарными правилами [14], относится к низкоактивным жидким радиоактивным отходам, так как удельная активность α -радионуклидов (по $U-238$) в настоящий момент составляет 2...11 кБк/кг. Объемная удельная α -радиоактивность сточных вод, сбрасываемых после дезактивации, не должна превышать значения допустимой концентрации урана-238 в питьевой воде, т.е. значения PC_B^{ingest} , установленного НРБУ-97 для питьевой воды (ранее - значения $ДК_B$, установленного НРБ-76/87). При несоблюдении нормативов вода направляется на повторную очистку. Ниже в табл. 3.1.2 приведены результаты контроля содержания α -активных радионуклидов (по $U-238$) в сточных водах до очистки и после очистки, а также эффективности работы станции дезактивации за период с 1991 года по 2005 год. Анализ приведенных среднегодовых величин свидетельствует о значительном снижении в последние годы объемной удельной активности сточных вод, поступающих на очистку (рис. 3.1.1), являющемся следствием сокращения работ с ураном. При этом разовый характер выполняемых работ отражается в максимальных значениях удельной активности. Например,

средняя концентрация α -активных радионуклидов в воде, поступившей на очистку в 2001 году, составила 4260 Бк/м^3 , а максимальная концентрация - 11900 Бк/м^3 , откуда можно констатировать, что направление сточных вод на очистку является целесообразным.

Таблица 3.1.2

Результаты контроля качества сточных вод спецканализации и эффективности работы установки дезактивации за 1991-2005 гг.

Год	$ДК_B$ или $РС_B^{ingest}$, Бк/м^3	Среднегодовая удельная α -радиоактивность сточных вод, Бк/м^3		Средняя степень очистки, %
		до очистки	после очистки	
1991	21830	162563	96	99,8
1992	21830	27852	111	94,9
1993	21830	14667	104	98,6
1994	21830	3777	0	100
1995	21830	23741	196	95,7
1996	21830	34963	4037	91,3
1997	10000	14104	1844	87,8
1998	10000	26937	504	97,3
1999	10000	60613	1685	83,7
2000	10000	100960	1050	97,7
2001	10000	4260	380	77,3
2002	10000	473	126	73,2
2003	10000	729	262	68,9
2004	10000	876	253	68,7
2005	10000	653	306	60,8

Большое значение для нормальной эксплуатации станции дезактивации сточных вод спецканализации имеют правильные решения вопросов вентиляции, дозиметрического контроля, службы контрольно-измерительных приборов и автоматики. Важным средством предотвращения воздействия радиоактивных аэрозолей на персонал станции и окружающую среду являются вентиляционные системы В-3 и В-5, обслуживающие химические шкафы, приямок сбора и емкости обработки сточных вод, и предназначенные для выброса воздуха в окружающую среду через специальную вентиляционную трубу с предварительной очисткой его от радиоактивных аэрозолей путем осаждения на фильтры типа Д-19КЛ с тканью Петрянова. В соответствии с «Разрешением на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками» величина допустимого выброса α -активных аэрозолей (по $U-238$) составляет $0,0269 \text{ Бк/с}$ ($10086,42 \text{ Бк/год}$). Контроль эффективности работы пылегазоочистного

оборудования и контроль над соблюдением нормативов выбросов α -активных радионуклидов проводится при помощи приборов дискретного типа, основанных на принципе отбора проб на фильтры ФПП-15 с последующей их обработкой. По многолетним результатам систематического контроля можно сделать вывод, что аэрозольные фильтры, установленные в вентиляционных вытяжных системах, являются высокоэффективными, так как степень очистки выбрасываемого в атмосферу воздуха достигает 100%.

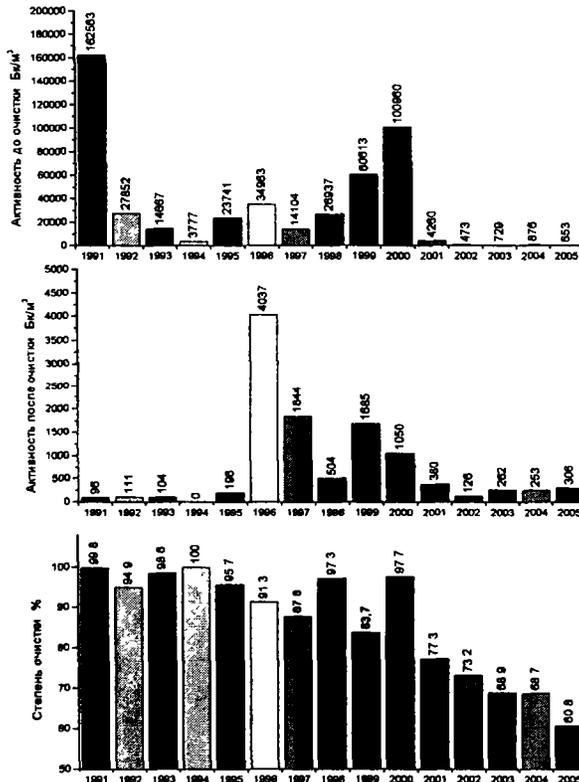


Рис. 3.1.1 Удельная активность сточных вод спецканализации и эффективности работы установки дезактивации

3.2. СОДЕРЖАНИЕ АЛЬФА-АКТИВНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ, АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ И ОСАДКАХ

Отбор проб атмосферного воздуха на содержание урана и других альфа-активных радионуклидов (по урану-238) производился на 3-х постах экологического наблюдения, расположенных в преимущественных направлениях ветра от источников выбросов, расположенных в здании №4 (одновременно на двух постах) Посты №1 и 3 находятся на территории ННЦ ХФТИ соответственно в северном и южном направлениях (примерно) от источников в месте максимально возможных концентраций урана при его рассеянии в случае слабого ветра. Пост №2 расположен за пределами территории примерно в южном направлении от источников выбросов Он позволяет оценить концентрации урана в случае более сильного ветра.

Отбор проб производился путем прокачки атмосферного воздуха через фильтры на основе ткани Петрянова. Анализ фильтров осуществлялся радиометрическим методом по альфа-излучению.

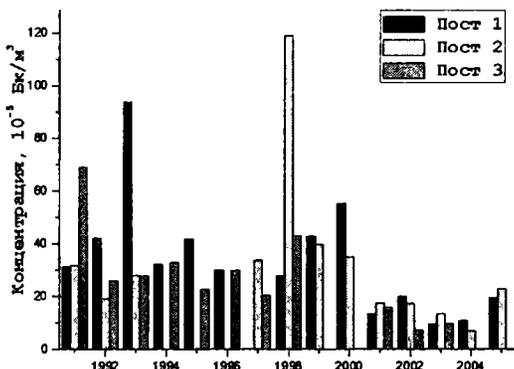


Рис. 3.2.1 Максимальная в году среднесуточная концентрация альфа-активных радионуклидов в атмосферном воздухе

На рис. 3.2.1 и 3.2.2 показаны максимальные в году и среднегодовые концентрации альфа-активных радионуклидов (по урану-238) в атмосферном воздухе, определенные по результатам радиометрического анализа проб, отобранных на постах наблюдения № 1, 2 и 3. Разброс концентраций связан с различными факторами, в том числе с преимущественным направлением ветра в то или иное время года. Учитывая, что допустимая концентрация урана-238 в атмосферном воздухе для лиц категории В (население) составляет $3 \cdot 10^{-3} \text{ Бк/м}^3$, можно считать, что ситуация с альфа-радиоактивностью атмосферного воздуха в микрорайоне «Пятихатки» вполне благополучная.

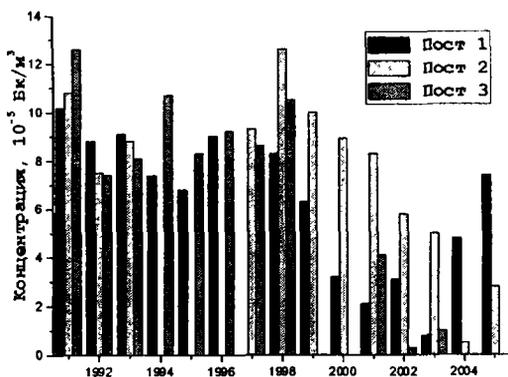


Рис. 3 2 2 Среднегодовая концентрация альфа-активных радионуклидов в атмосферном воздухе

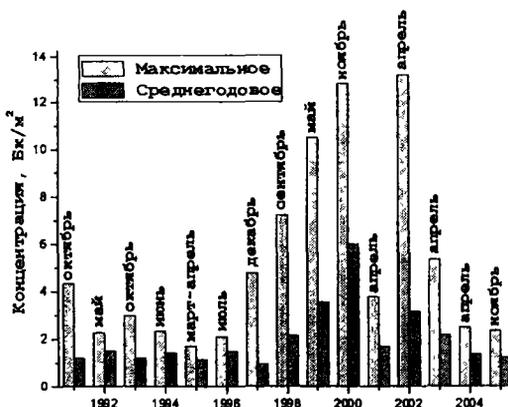


Рис 3 2 3. Максимальные и среднегодовые значения атмосферных выпадений альфа-активных радионуклидов

На рис. 3.2.3 показаны максимальные и среднегодовые значения атмосферных выпадений альфа-активных радионуклидов. Отбор проб осуществлялся на посту наблюдения № 1 на планшеты с последующим их озолением и измерением альфа-активности радиометрическим методом. На рис. 3 2 4 показаны максимальные и среднегодовые значения концентраций альфа-активных радионуклидов в атмосферных осадках.

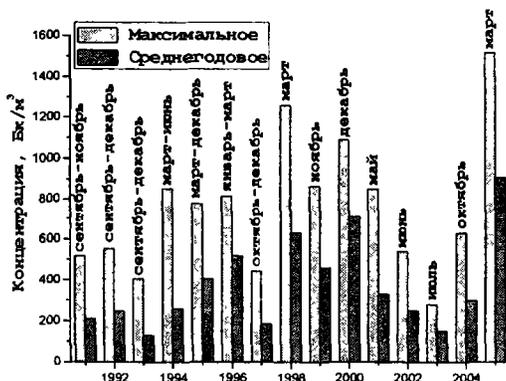


Рис. 3.2.4. Максимальные и среднегодовые концентрации альфа-активных радионуклидов в атмосферных осадках

Сбор осадков осуществлялся также на посту наблюдения № 1, затем осадки выпаривались на подложке и радиометрировались по альфа-излучению. На рис. 3.2.4 видно, что среднегодовые концентрации осадков лежат в пределах от 130 до 910 Bq/m^3 , максимальные значения достигали 1520 Bq/m^3 . Учитывая, что допустимая концентрация урана в питьевой воде составляет $10^4 Bq/m^3$, можно считать ситуацию с осадками также вполне благополучной. Атмосферные выпадения Нормами радиационной безопасности Украины не регламентируются, однако с уверенностью можно полагать, что уровни альфа-радиоактивных выпадений, лежащие в пределах от 1 до 13 Bq/m^2 , являются незначительными.

3.3. СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ МИКРОРАЙОНА «ПЯТИХАТКИ»

С целью оценки влияния деятельности ННЦ ХФТИ на окружающую среду было определено содержание радионуклидов ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{238}U в почвенном покрове микрорайона «Пятихатки». Пробы почвы были отобраны в 30 местах, расположенных примерно с равной плотностью в жилом массиве на непаханных участках земли. Отбор в каждом месте производился цилиндрическим пробоотборником до глубины 5 см в трех точках, расположенных в вершинах треугольника со стороной 5...10 м

Перед измерением образцы, отобранные в трех точках, смешивались, измельчались и просушивались. Измерение содержания гамма-активных нуклидов в пробах грунта производилось по методике [15] на гамма-спектрометре, изготовленном на основе германиевого диффузионно-дрейфового ($Ge(Li)$) детектора типа ДГДК-50В, находящегося в свинцовой защите толщиной 5 см, предусилителя, спектрометрического усилителя,

многоканального анализатора типа АИ-1024-95, персонального компьютера. Разрешение гамма-спектрометра на основе $Ge(Li)$ -детектора по линии 1333 кэВ - 3,4 кэВ. Граница относительной ошибки измерения для объемной геометрии при доверительной вероятности 0,95 составляет $\pm 22\%$. Обработка аппаратурных спектров производилась по программе BaltiSpectr.

Отобранные и подготовленные пробы помещались в стандартные сосуды Маринелли емкостью 1 дм³, в которых выдерживались три недели для достижения радиоактивного равновесия ^{226}Ra с его короткоживущими дочерними продуктами распада. Калибровка по энергии и эффективности проводилась при помощи образцовых спектрометрических гамма-источников (ОСГИ) и аттестованных объемных мер активности специального назначения изотопов ^{137}Cs , ^{40}K , ^{152}Eu , ^{226}Ra , ^{232}Th , естественного урана.

В гамма-спектрах отобранных и приготовленных проб были обнаружены естественные радионуклиды ^{40}K и гамма-активные элементы семейств ^{232}Th и ^{238}U , а также техногенный радионуклид ^{137}Cs . В качестве примера на рис. 3.3.1 показан аппаратурный спектр одной из проб.

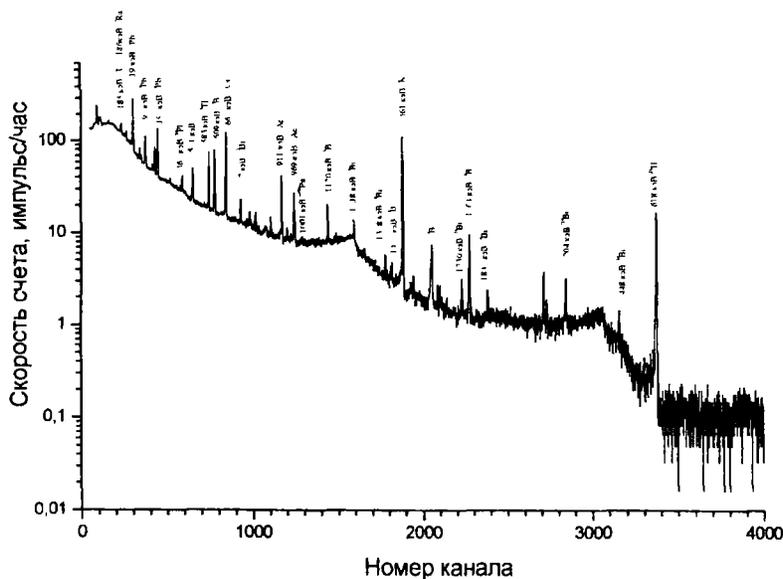


Рис.3 3 1 Гамма-спектр приготовленной пробы почвы

Активность ^{232}Th вычислялась по активности ^{228}Ac , исходя из предположения их радиоактивного равновесия (цепочка распада $^{232}Th \rightarrow ^{228}Ra \rightarrow ^{228}Ac$). Активность ^{226}Ra вычислялась по активности изотопов ^{214}Pb и ^{214}Bi (цепочка распада $^{226}Ra \rightarrow ^{222}Rn \rightarrow ^{214}Pb \rightarrow ^{214}Bi$), активность ^{238}U

оценивалась по гамма-линиям изотопов ^{234}Th - 93 кэВ (с учетом мешающего влияния близкой по энергии гамма-линии изотопа ^{228}Ac) и $^{234\text{m}}\text{Pa}$ - 1001 кэВ (цепочка распада $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th} \rightarrow ^{234\text{m}}\text{Pa}$).

Измерение объемной альфа-активности проб производилось с помощью низкофоновой установки в составе: блок детектирования БДСА, детектором в котором является сцинтилляционный экран из сернистого цинка, активированного серебром диаметром 80 мм, а приемником – фотоэлектронный умножитель ФЭУ 52.

Проба для измерения альфа-активности представляла собой навеску 60 мг, взятую из отобранной пробы почвы, растертую и нанесенную тонким слоем на подложку площадью 50 см², закрепленную 1% спиртовым раствором клея БФ-2 и высушенную под инфракрасной лампой. Приготовленные таким образом пробы выдерживались три недели для достижения радиоактивного равновесия ^{226}Ra с его короткоживущими дочерними продуктами распада. Активность пробы определялась методом сравнения с образцовым источником альфа-излучения из естественного урана. Минимально определяемая активность с погрешностью $\pm 30\%$ при доверительной вероятности 0,95 составила 70 Бк/кг. Время измерения каждой пробы составляло не менее 6 ч.

Результаты измерений удельной активности обнаруженных радиоактивных изотопов приведены в табл. 3.3.1, где C_{cp} – средняя удельная активность, $C_{cp}(чп)$ – средняя удельная активность черноземных почв по данным работы [16].

На рис. 3.3.2 показаны графики, иллюстрирующие данные таблицы. Пунктирными линиями обозначены средние значения удельной активности радионуклидов исследуемых нуклидов по 30-ти пробам, а штриховой линией – средние значения удельной активности естественных нуклидов в черноземной почве [16].

Удельная активность радионуклида ^{137}Cs в исследуемых 30 пробах имеет разброс значений от 4,6 до 51 Бк/кг при средней величине 22 Бк/кг, что соответствует [17] загрязнению от 0,035 до 0,38 Бк/см² при среднем значении 0,165 Бк/см², что близко к средним значениям загрязнения до аварии на ЧАЭС. Загрязнение цезием-137 является следствием глобальных выпадений после ядерных испытаний и аварии на ЧАЭС в апреле 1986 года.

В работе [17] приводятся данные относительно загрязнения цезием-137 почвенного покрова, образцы которого были отобраны на окраинах г. Харькова летом и осенью 1991 года (ННЦ ХФТИ находится на северной окраине города). Величина загрязненности почвы составляла в то время от 92 до 156 Бк/кг. Заметное снижение загрязнения почвы объясняется не только распадом радионуклида (за прошедшие 10 лет активность его снизилась на 20%), но и другими факторами, например, естественной миграцией радиоактивных осадков в глубь почвы.

Таблица 3.3 I

Результаты измерения активности радионуклидов в пробах

Номер пробы	Удельная активность радионуклидов в пробах $C_{уд}$, Бк/кг					Общая α -активность в пробах $C_{об}$, Бк/кг	
	^{137}Cs	^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra	^{238}U	Расчетная	Измеренная
1	2	3	4	5	6	7	8
1	14	530	44	26	<50	470	-
2	18	510	33	28	<50	420	-
3	7	470	28	25	<50	370	-
4	4,6	440	31	23	<50	370	-
5	4,6	490	31	27	<50	400	450
6	23	470	32	24	<50	380	-
7	27	410	27	23	<50	350	-
8	23	450	30	26	<50	390	320
9	3,0	430	31	24	<50	380	-
10	16	550	31	28	<50	410	-
11	28	480	30	27	<50	400	-
12	29	470	33	25	<50	400	330
13	18	510	29	28	<50	400	400
14	18	410	26	23	<50	340	-
15	19	520	35	24	<50	400	-
16	22	450	31	26	<50	390	270
17	33	530	32	27	<50	410	480
18	6,6	450	29	28	<50	400	320
19	13	410	32	21	<50	360	-
20	37	390	25	22	<50	330	300
21	16	340	28	22	<50	340	<270
22	51	430	30	23	<50	360	330
23	40	390	30	23	<50	360	-
24	20	460	26	23	<50	340	400
25	23	420	26	23	<50	340	-
26	16	360	27	38	<50	470	-
27	35	350	25	19	<50	300	-
28	31	510	29	24	<50	370	-
29	32	380	27	19	<50	310	-
30	30	490	26	24	<50	350	-
C_{cp}	22,0	450	29,8	24,8	<50	377	-
$C_{cp}(ун)$	-	410	36	22	22	-	-

Удельная активность естественного радиоизотопа ^{40}K в отобранных пробах лежит в диапазоне 340...530 Бк/кг при среднем значении 450 Бк/кг, что близко к средним значениям удельной активности калия-40 для черноземов – 410 Бк/кг [16].

Удельная активность радиоизотопа ^{232}Th в отобранных пробах лежит в диапазоне 25...44 Бк/кг при среднем значении 29,8 Бк/кг. Среднее значение удельной активности ^{232}Th для черноземов — 36 Бк/кг [16]

Удельная активность радиоизотопа ^{226}Ra лежит в диапазоне 19...38 Бк/кг при среднем значении 24,8 Бк/кг. Полагая, что природный ^{226}Ra находится в радиоактивном равновесии с родоначальником его радиоактивного ряда – ураном-238, можно считать среднюю удельную активность ^{226}Ra для черноземов равной удельной активности ^{238}U для той же почвы. Эта величина по данным той же работы [16] равна 22 Бк/кг. Удельная активность ^{238}U , оцененная по гамма-линиям короткоживущих дочерних изотопов ^{234}Th и $^{234\text{m}}\text{Pa}$, не превышает 50 Бк/кг $\pm 30\%$ при доверительной вероятности 0,95.

В столбце 7 табл. 3.3.1 приведены расчетные значения общей альфа-активности проб от альфа-активных изотопов радиоактивных семейств ^{238}U и ^{232}Th . Вклад альфа-активных изотопов семейства ^{235}U незначителен, так как в естественной смеси изотопов урана на 1 распад ^{238}U приходится 0,046 распада ^{235}U . При расчете общей альфа-активности предполагалось, что все элементы в естественных радиоактивных семействах в пробах грунта находятся в радиоактивном равновесии. В столбце 8 приведены измеренные значения общей альфа-активности для некоторых проб. Расчетные и измеренные величины удовлетворительно согласуются между собой.

Проведенные исследования показали, что содержание природных радиоактивных элементов ^{40}K и семейств урана и тория близко к средним значениям для черноземных почв. Содержание ^{137}Cs в пробах, обусловленное глобальными выпадениями после испытаний ядерного оружия и аварией на ЧАЭС, в настоящее время соответствует его содержанию в почве на исследуемой территории до Чернобыльской аварии.

Таким образом, можно уверенно полагать, что деятельность института не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на содержание исследованных элементов в почве микрорайона «Пятихатки».

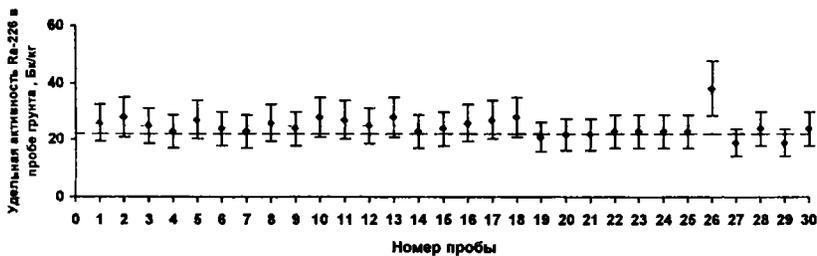
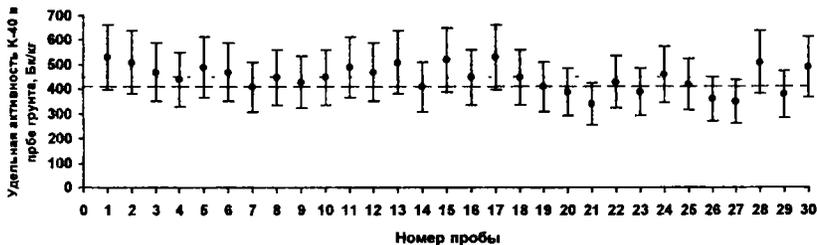
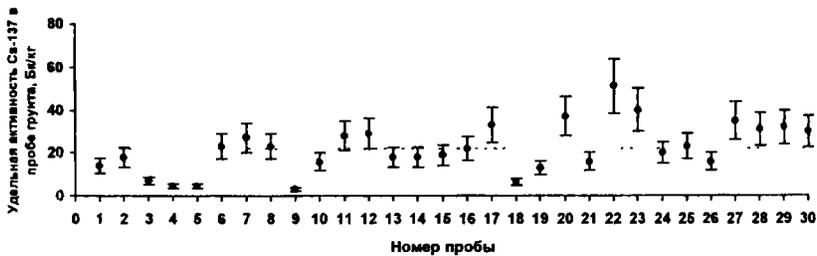


Рис 3 3 2. Удельная активность радионуклидов в пробах грунта

3.4. РАДИАЦИОННЫЙ ГАММА-ФОН В МИКРОРАЙОНЕ «ПЯТИХАТКИ»

Измерения уровней радиационного гамма-фона на территории жилого массива «Пятихатки» проводятся еженедельно на высоте примерно 1 м от поверхности грунта с помощью дозиметра ДБГ-01Н, предназначенного для измерения мощности эквивалентной дозы фотонного излучения, начиная от значений естественного фона, в диапазоне энергий от 0,05 до 3 МэВ. Чувствительность в указанном диапазоне энергий изменяется не более $\pm 25\%$ относительно гамма-линии радионуклида цезий-137.

На рис. 3.4.1 в виде гистограммы показаны среднемесячные значения уровней радиационного фона за последние 5 лет с указанием отдельного промежутка времени с 1985 по 1987 год. Видно, что радиационный фон незначительно колеблется около значений 0,11...0,12 мкЗв/ч, которые можно считать естественным радиационным фоном для данной местности.

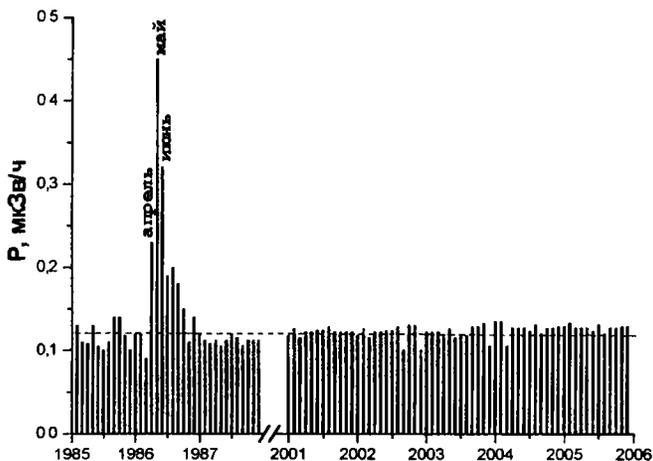


Рис 3.4.1. Уровни радиационного фона в микрорайоне «Пятихатки»

В конце апреля 1986 года, после появления в средствах массовой информации сообщения об аварии на ЧАЭС, измерения радиационного фона стали осуществляться ежедневно. На рис. 3.4.1 видно, что среднемесячные значения мощности эквивалентной дозы достигали 0,45 мкЗв/ч (май 1986 г.) и лишь к сентябрю-октябрю вернулись к естественным значениям. Дополнительная дозовая нагрузка на жителей микрорайона «Пятихатки» за счет фотонного облучения Чернобыльского происхождения составила около 0,6 мЗв.

Подробное исследование радиационной обстановки в мае-июне 1986 года [18] показало, что в первых числах мая наблюдалось увеличение альфа- и бета-активности в атмосферных выпадениях, а также объемной альфа- и бета-активности. В воздухе обнаружено повышенное (над фоновым значением) содержание таких радионуклидов, как теллур-132, йод-131, рутений-103, цезий-134, цезий-136 и цезий-137. Впоследствии [17,19] цезий-137 в надфоновых количествах (до 1 Ки/км^2) обнаружен в почвенном покрове на территории г. Харькова и Харьковской области.

4. САНИТАРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

4.1. КОНТРОЛЬ НАД УРОВНЯМИ ПОСТОЯННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В задачу электромагнитного мониторинга входило исследование и определение параметров магнитных (постоянных и переменных) и электромагнитных (радиочастотного диапазона) полей, характеризующих величины вредных факторов на рабочих местах персонала, а также установление ранга их контроля.

4.1.1. ИСТОЧНИКИ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

На обследованных установках, где используются электромагнитные поля (ЭМП) ВЧ-диапазона, источниками полей являются генераторы промышленного производства типа ВЧГ и ВЧИ непрерывного действия мощностью до нескольких десятков киловатт и частотой излучения 440 и 66 кГц . Во всех установках ВЧ-излучение используется для индукционного нагрева образцов (локальный нагрев, поверхностная закалка, термическое разложение паров различных соединений и т.д.). На установках № 22-1 («Янтарь») и № 27-1 («Луч-4М») ВЧ-излучение, кроме того, используется для возбуждения (поджига) и поддержания плазмы (индукционного разряда).

Источниками СВЧ-излучения служат генераторы, которые можно разделить на 2 группы: генераторы непрерывного излучения (установки «Макет», ДСМ-2) и генераторы импульсно-моделированного излучения (установка «Кремень», стенд испытания клистронных усилителей, клистронные усилители ускорителей ЛУЭ-10, ЭПОС, КУТ). На установке «Макет» СВЧ-излучение используется для отработки методов диагностики плазмы, на установке ДСМ-2 – для возбуждения плазмы при плазменной очистке поверхностей. Частоты излучения генераторов первой группы от нескольких гигагерц до нескольких десятков гигагерц.

Генераторы второй группы служат для обеспечения входной мощности клистронных усилителей линейных ускорителей электронов. Частота излучения фиксированная – 2,8 ГГц , мощность – до 10 кВт .

Перечисленные установки расположены в помещениях промплощадки № 2.

Установки с использованием постоянных магнитных полей (МП) расположены на территории промплощадки № 1 и предназначены для различных исследований:

- взаимодействия плазмы с электронным пучком в однородном и неоднородном магнитных полях;
- автоэмиссионного способа получения ионных и электронных пучков;
- коллективных методов ускорения;
- распространения электромагнитных волн большой амплитуды и ускорения заряженных частиц в сильноточных электронных пучках;
- нелинейных эффектов в электронных пучках.

Источником постоянного МП на всех этих установках являются различного типа и конструкций соленоиды, которые при питании током от нескольких десятков до двух тысяч ампер создают рабочую напряженность МП до нескольких килоэрстед.

4.1.2. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОРГАНИЗМ И ГИГИЕНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ

Эффект воздействия ЭМП на живой организм [20] зависит от энергетической характеристики поля, которая определяется квадратами напряженности его электрической составляющей (ЭС) и магнитной составляющей (МС), а также от длительности этого воздействия. Кроме того, на этот эффект влияют такие факторы, как характер излучения: непрерывное, модулированное; характер воздействия: изолированное (один источник), сочетаемое (несколько источников одной частоты) или комбинированное (наличие других неблагоприятных факторов, например, повышенная температура, ионизирующее излучение и т. д.); постоянное или переменное; локальное или общее.

С микроскопической точки зрения механизм биологического действия ЭМП связан с возбуждением степеней свободы молекул или ее частей, зависящий от частоты и амплитуды (напряженности ЭС и МС) излучения. С макроскопической – это переход энергии ЭМП (зависящей от квадрата напряженности ЭС и МС) в тепловую энергию (повышение температуры тела, локальный избирательный нагрев тканей, органов, клеток).

Установлено, что тепловой эффект возникает при некоторых пороговых значениях интенсивности воздействия ЭМП: от нескольких сотен B/m для ВЧ-диапазона и от нескольких единиц mBm/cm^2 для СВЧ-диапазона. Поэтому допустимые уровни ЭМП радиочастот основываются на так называемых предельно допустимых значениях энергетической нагрузки $ЭН_{пд}$ [21].

Поскольку в диапазоне ВЧ (от 0,06 до 300 МГц) нет определенной зависимости между ЭС и МС, предельно допустимые энергетические нагрузки в течение рабочего дня для каждой из них установлены отдельно. Кроме того, установлены предельно допустимые значения напряженности ЭМП по ЭС и МС, причем для МС нормирование осуществлено в диапазоне от 0,06 до 3 МГц. В табл. 4.1.1 приведены максимальные предельно допустимые значения напряженности поля $E_{ПД}$ и $H_{ПД}$ и предельно допустимые значения энергетических нагрузок $\mathcal{E}N_{ПДЕ}$ и $\mathcal{E}N_{ПДН}$ для различных интервалов ВЧ-диапазона. Величины $E_{ПД}$ и $H_{ПД}$ определяются из соотношений:

$$E_{ПД}^2 = \mathcal{E}N_{ПДЕ}/T \text{ и } H_{ПД}^2 = \mathcal{E}N_{ПДН}/T,$$

(T – время воздействия излучения в течение смены, в часах), но не должны превышать значений, указанных в табл. 4.1.1. В скобках указаны значения ПДУ при $T = 7,2$ ч применительно к диапазону частот 66 и 440 кГц.

Очевидно, что в диапазонах от 0,06 до 3 МГц должно выполняться также условие:

$$\mathcal{E}N_E/\mathcal{E}N_{ПДЕ} + \mathcal{E}N_H/\mathcal{E}N_{ПДН} \leq 1,$$

где $\mathcal{E}N_E$ и $\mathcal{E}N_H$ – воздействующие энергетические нагрузки ЭС и МС поля.

Таблица 4.1.1

Предельно допустимые значения нормируемых величин ЭМП и МП ВЧ-диапазона

Параметры	Предельные значения в диапазонах частот, МГц		
	от 0,06 до 3	от > 3 до 30	от > 30 до 300
$E_{ПД}$, В/м	500* (53)	300	80
$H_{ПД}$, А/м	50 (5,3)	-	-
$\mathcal{E}N_{ПДЕ}$, (В/м) ² ·ч	20000*	7000*	800
$\mathcal{E}N_{ПДН}$, (А/м) ² ·ч	200	-	-

В диапазоне СВЧ электромагнитные волны сформированы, т.е. между напряженностью магнитного поля H , напряженностью электрического поля E и, следовательно, плотностью потока энергий P существует соотношение:

$$P[\text{мВт/см}^2] = E^2[\text{В/м}]^2/7456 = 19H^2[\text{А/м}]^2$$

В этом случае можно было бы нормировать любую из этих величин. Однако, если учесть, что размеры антенн регистрирующих приборов

* В нормативном документе [22] эти значения равны:

$$E_{ПД} = 600 \text{ В/м}; \mathcal{E}N_E = 28800 \text{ и } 7200 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}.$$

соизмеримы с длиной волны излучения ($\lambda \sim$ от 1 м до 1 мм), с одной стороны, а биологическое воздействие излучения определяется энергетическими параметрами поля, с другой, – нормирование проводится по энергетической нагрузке и плотности потока энергии [22] при условии (аналогичном в ВЧ-диапазоне):

$$ППЭ_{пл} = ЭН_{пл}/T ,$$

где $ППЭ_{пл}$ – предельно допустимое значение плотности потока энергии, но не более 1000 мкВт/см^2 ; $ЭН_{пл}$ – предельно допустимое значение энергетической нагрузки, равное 200 мкВт/см^2 ; T – время воздействия излучения в течение смены.

В случае облучения в течение смены ($T = 7,2 \text{ ч}$) значение $ППЭ_{пл}(7,2) = 28 \text{ мкВт/см}^2$.

Установлено следующее значение предельно допустимого уровня (ПДУ) [23]: напряженность постоянного МП на рабочем месте не должна превышать 8 кА/м (система СИ) или 100 Э (система СГС). Следует помнить, что магнитная проницаемость воздуха примерно равна единице, поэтому напряженность и магнитная индукция равны, т.е.

$$ПДУ = 8 \text{ кА/м} = 100 \text{ Э} \approx 10 \text{ мТл}$$

4.1.3. СРЕДСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ (СИТ)

Для измерения ЭС и МС напряженности ЭМП в ВЧ-диапазоне использовался измеритель напряженности поля типа ПЗ-15. Работа прибора основана на индуцировании под действием ЭМП ВЧ-напряжения в антеннах-преобразователях и его преобразовании в постоянное напряжение, фиксируемое индикатором. Пределы измерения ЭС от 1 до 3000 В/м , МС – от $0,5$ до 500 А/м в диапазоне частот от 100 кГц до 300 МГц по ЭС и от 10 кГц до 30 МГц по МС. Основная погрешность измерений не более $\pm 3 \text{ дБ}$ ($\sim 10\%$).

Плотность потока энергии в СВЧ-диапазоне определялась с помощью измерителей плотности потока энергии типа ПЗ-18 и ПЗ-20, принцип действия которых основан на преобразовании термоЭДС, возникающей под действием ЭМП в термopарах антенн-преобразователей, в постоянное напряжение. Пределы измерения ППЭ от $0,3 \text{ мкВт/см}^2$ до 100 мВт/см^2 с основной погрешностью не более $\pm 2,0 \text{ дБ}$ ($\sim 10\%$). Эти приборы обеспечивают измерение ППЭ импульсно-модулированных СВЧ-излучений с длительностью импульсов от 1 до 500 мкс при частотах модуляции от 200 Гц до 10 кГц . Последнее обстоятельство (ограничение нижнего предела частоты модуляции) стало причиной, по которой оказалось невозможным осуществить контроль на значительном количестве действующих установок-источников СВЧ импульсно-модулированного излучения, в частности, на линейных ускорителях электронов.

Специальных требований к погрешности и методике измерений постоянного МП не предъявляется. Связано это, возможно, с тем, что погрешность существующих приборов составляет несколько процентов. Так, используемые нами приборы (измеритель магнитной индукции типа Ш1-8 и миллитесламетр типа Ф 4355) имеют основную погрешность не более ± 2 и $\pm 2,5\%$ соответственно. В приборах используется эффект Холла, т.е. возникновение разности потенциалов между поперечными концами пластины, расположенной перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, вдоль которой проходит ток. Пределы измерения составляют от $\sim 1 \text{ мТл}$ до $1,5 \text{ Тл}$

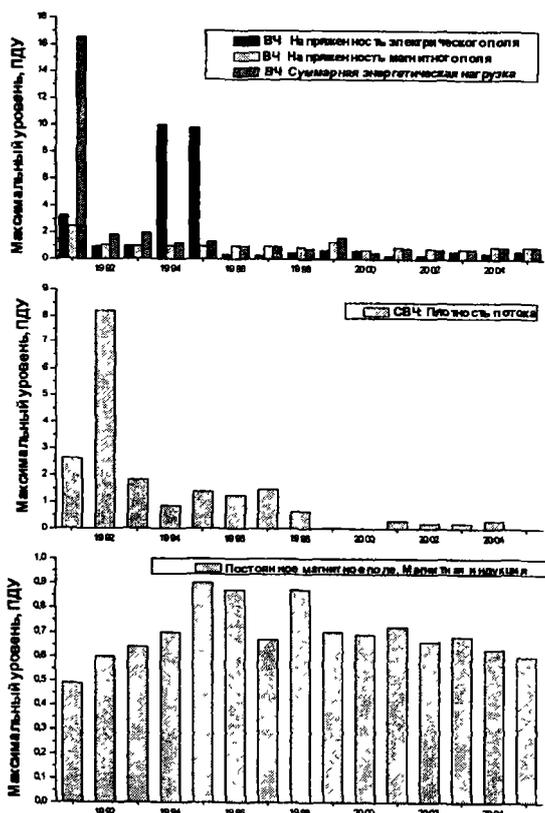


Рис. 4.1.1 Динамика максимальных значений параметров магнитных и электромагнитных полей в местах возможного пребывания персонала

4.1.4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Основная часть исследовательской работы по измерению нормируемых величин ЭМП и МП выполнена нами в период до 2000 года [24-26]. В настоящей работе дополнены полученные ранее данные. На рис. 4.1.1 в виде диаграммы показаны максимально-зарегистрированные значения в местах возможного нахождения персонала таких параметров ЭМП и МП, как напряженность электрического и магнитного полей ВЧ-диапазона, суммарная энергетическая нагрузка ВЧ-полей, плотность потока СВЧ-излучений и магнитная индукция постоянных магнитных полей. В табл. 4.1.2 приведены максимальные измеренные нормируемые величины в единицах ПДУ. для ЭМП ВЧ-диапазона – ЭС, МС и ЭН_Е + ЭН_Н (эти значения могут относиться к разным точкам измерения), для ЭМП СВЧ-диапазона – ППЭ, для постоянного МП – магнитная индукция В.

Таблица 4.1.2

Результаты измерений нормируемых величин ЭМП и МП

№ п/п	Название установки	Место расположения установки	Максимальные измеренные значения нормируемых величин в единицах ПДУ
1	2	3	4
1.	ВЧГ – 24/0 44	Зд 4 III, к. 214	ЭС = 0,23; МС = 0,74; ЭН _Е + ЭН _Н = 0,63
2.	ВЧИ-4-10	Зд 4 III, к. 216	ЭС = 0,13; МС = 0,92; ЭН _Е + ЭН _Н = 0,89
3	ВЧГ-60/0.66	Зд. 50, зал	ЭС = 0,05; МС = 1 19; ЭН _Е + ЭН _Н = 1,44
4	№ 27-1 ЛУЧ-2М	Зд. 4 II, к. 27	ЭС = 0,13; МС = 1,04; ЭН _Е + ЭН _Н = 1,09
5	№ 10 - 1	Зд. 4 II, к. 10	ЭС = 0,44; МС = 0,60; ЭН _Е + ЭН _Н = 0,38
6	№ 18 - 3	Зд. 4 II, к. 18	ЭС = 0,06; МС = 0,24; ЭН _Е + ЭН _Н = 0,06
7	№22 - 1 “Янтарь”	Зд. 4 II, к. 22	ЭС = 0,34; МС = 0,61; ЭН _Е + ЭН _Н = 0,49
8	№ 22 - 1 “Сирень”	Зд. 4 II, к. 22	ЭС = 0,16; МС = 0,85, ЭН _Е + ЭН _Н = 0,72
9	№ 31 - 3 “Сирень”	Зд. 4 II, к. 31	ЭС = 0,22; МС = 0,54; ЭН _Е + ЭН _Н = 0,31
10	№ 29 - 1 “Сирень”	Зд. 4 II, к. 29	ЭС = 0,23; МС = 0,27; ЭН _Е + ЭН _Н = 0,12
11	№ 35 - 3	Зд. 4 II, к 35	ЭС = 0,41; МС = 0,27; ЭН _Е + ЭН _Н = 0,23
12	ДСМ-2	Зд. 32, к. 218	ППЭ = 0,04

1	2	3	4
13	«Макет»	Зд. 71, к. 417	$ППЭ < 0,01$
14	Испытательный стенд	Зд. 2, секц 11	$ППЭ < 0,04$
15	КРЕМЕНИЙ 1,2	Зд. 2, к. 76	$ППЭ < 0,04$
16.	Клистр. усил. ЛУЭ-10	Зд. 2, к. 110	$ППЭ_1 = 7,3^*$, $ППЭ < 0,04$
17	Клистр. усил. КУТ	Зд. 2	$ППЭ < 0,04$
18	Клистр. усил. ЭПОС	Зд. 2	$ППЭ_1 = 1,9^*$; $ППЭ < 0,04$
19	ЭВ - 2	Зд. 2, к. 303	$B = 0,40$
20	ИСП - 2	Зд. 2, к. 303	$B = 0,23$
21	МАК - 3	Зд. 2, к. 306	$B = 0,51$
22	«Самшит-1»	Зд. 2, к. 118	$B = 0,55$
23	«Самшит-2»	Зд. 2, к. 319	$B = 0,58$
24	«Горизонт»	Зд. 5, к. 102 б	$B = 0,65$
25	«Волна»	Зд. 2, к. 315	$B = 0,70$

4.1.5. ВЫВОДЫ ИЗ РАЗДЕЛА 4.1

Выполненная работа носила кроме планового характера, направленного на получение численных значений нормируемых величин электромагнитных и магнитных полей и их сравнение с установленными или рассчитанными допустимыми значениями, также и исследовательский. Измерения проводились не только в установленных в предыдущее время контрольных точках производственных помещений постоянного пребывания работающих, но и также во всех доступных областях пространства вокруг источника поля. Этим достигнуто две цели. Во-первых, показано, что схему расположения ранее установленных точек контроля (точка максимального значения измеряемой величины в непосредственной близости к установке, несколько точек на удалении от источника и точки на рабочих местах персонала) следует сохранить, поскольку результаты измерений в этих точках отражают реальную картину степени опасности для работающих. Во-вторых, сделан вывод о том, что характер функциональной зависимости параметров поля от расстояния до источника установить невозможно ввиду «закрытости» геометрии (обилия в пространстве измерений предметов, влияющих на конфигурацию поля), хотя будет справедливым утверждение, что напряженности полей убывают значительно быстрее, чем $1/r$ (r – расстояние от точки измерения до источника излучения).

Важным является вывод относительно оправданности проведения контроля [24]. Совершенно очевидно, что контроль за уровнями ЭМП ВЧ-диапазона и постоянного МП оправдан с точки зрения медицинских,

* $ППЭ_1$ – значение плотности потока энергии на поверхности волновода клистронного усилителя (место кратковременного пребывания персонала).

экономических и социально-психологических затрат по сравнению с возможными последствиями воздействия этих полей на организм работающих, поскольку измеренные (и вычисленные) параметры поля составляют несколько десятков процентов от ПДУ. Контроль за ППЭ ЭМП в СВЧ-диапазоне на перечисленных выше установках по мнению авторов скорее не оправдан, так как измеренные величины не превышают 4% от ПДУ. По этой причине целесообразно перевести этот вид контроля из обязательного ежегодного в контроль эпизодический, т. е. измерения следует проводить в случаях ввода в действие новых или реконструкции действующих установок, изменения режимов работ, защитных устройств, организации новых рабочих мест и т. п.

4.2. КОНТРОЛЬ НАД УРОВНЯМИ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

В ННЦ ХФТИ имеется в наличие более 40 лазеров различного типа и параметров, в том числе несерийные. Класс степени опасности генерируемого лазерами излучения, определенный Лабораторией радиационных исследований и охраны окружающей среды, лежит в пределах от II до IV, большинство III-IV класса В настоящее время в эксплуатации находится около 10. Напомним [27], что лазеры II класса генерируют выходное излучение, представляющее опасность при облучении глаз прямым или зеркально отраженным излучением. Выходное излучение лазеров III класса представляют опасность при облучении глаз прямым, зеркально отраженным, а также диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности, и (или) при облучении кожи прямым и зеркально-отраженным излучениями. И, наконец, выходное излучение лазеров IV класса представляет опасность при облучении кожи диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности.

Сущность дозиметрического контроля лазерного излучения [28] заключается в измерении параметров излучения в заданной точке пространства и сравнении полученных значений плотности мощности непрерывного излучения, плотности энергии импульсного (импульсно-модулированного) излучения или энергетической яркости рассеянного излучения со значениями соответствующих ПДУ. Значения ПДУ определяются с учетом спектральных, временных частотных и пространственных параметров лазерного излучения в заданной точке контроля.

В нижеследующей табл. 4.2.1 приведены максимально-зарегистрированные уровни энергетической освещенности непрерывного лазерного излучения и энергетической экспозиции импульсного излучения в период с 1991 по 2005 год Средневзвешенные значения, как правило, на 1-2 порядка ниже максимальных уровней.

Из приведенных сведений следует вывод, что уровни лазерного облучения не представляют опасности для персонала.

Таблица 4.2.1

Максимальные значения уровней лазерного излучения в единицах ПДУ

Энергетический параметр	Год						
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Энергетическая освещенность непрер. изл.	0,2	0,2	0,18	10^{-7}	10^{-7}	0,16	10^{-3}
Энергетическая экспозиция импульсного излучения	1,5	0,6	1,4	1,1	1	1	1

Продолжение табл. 4 2.1

Энергетический параметр	Год							
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Энергетич. освещенность непрер. излуч.	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	0,002	10^{-3}	0,002	0,003	0,003
Энергетич экспозиция имп. излучения	0,004	10^{-3}	1,07	0,9	0,86	0,68	0,93	0,8

4.3. СОДЕРЖАНИЕ ВРЕДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧИХ ПОМЕЩЕНИЙ ННЦ ХФТИ И СТОЧНЫХ ВОДАХ

Контроль над содержанием вредных химических веществ в воздухе рабочих помещений ННЦ ХФТИ и сточных водах осуществляется по согласованному с органами государственного санитарного надзора плану. Воздух исследуется на содержание следующих веществ: серной кислоты, окислов хрома, азота, окиси углерода, марганца, графита, озона, фтористого и хлористого водорода, щелочи, бериллия и пыли. Сточные воды исследуются на минерализацию, содержание взвешенных веществ, хлоридов, сульфатов, хрома (+6), железа общего, СПАВов, меди, нитратов, азота аммония и нефтепродуктов.

На рис. 4.3.1 в виде гистограмм показано число проб воздуха рабочей зоны и сточных вод промплощадки №2 и жилого массива «Пятихатки» с превышением установленных допустимых уровней (в процентах к общему числу выполненных проб) за период с 1996 по 2005 год. Из данного рисунка следует, что ситуация с воздухом рабочей зоны вполне удовлетворительная. Наибольшее число превышений (36% от числа отобранных и проанализированных проб) имело место в 1997 году по озону, который контролируется на ускорительном комплексе ЛУЭ-2000 и образуется в результате взаимодействия ускоренных электронов (или других заряженных частиц) с воздухом. Были превышения и по графиту. В сточных водах промплощадки №2 также значительное количество проб (до 30% от числа

проанализированных) имели превышения установленных уровней по различным химическим веществам, причем наибольшее число превышений наблюдалось по взвешенным веществам и СПАВам. Имели место превышения по нитратам, хлоридам, железу, азоту аммония. Пробы сточных вод микрорайона «Пятихатки» начали контролироваться с 1999 года и имели в основном 100-процентные превышения по СПАВам.

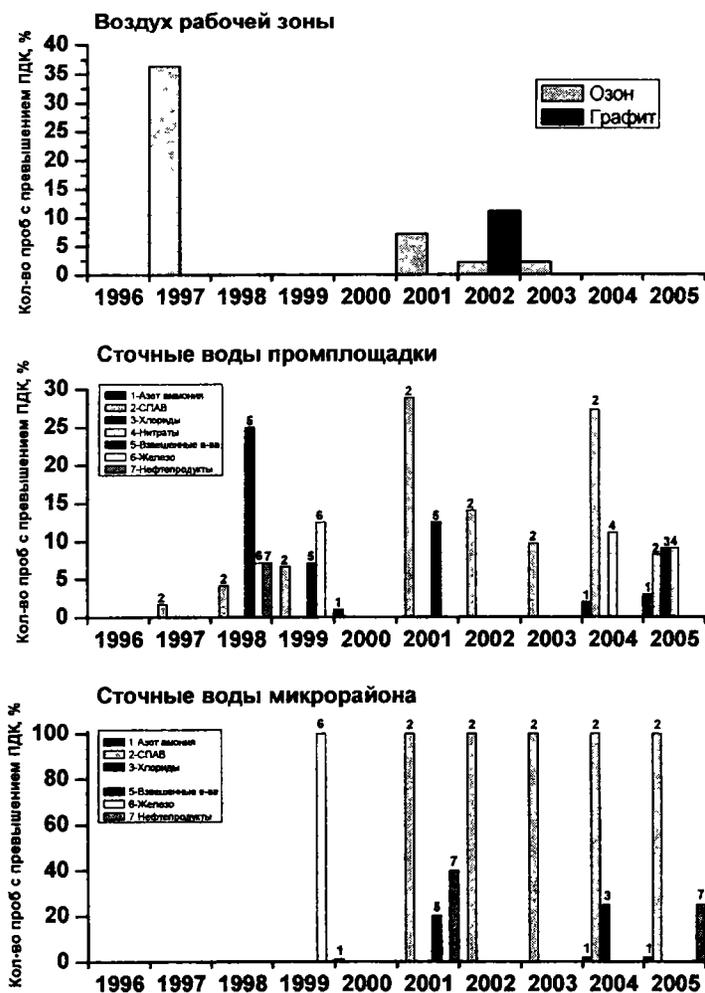


Рис 4 3 1 Количество проб воздуха рабочей зоны и сточных вод промплощадки №2 и жилого массива «Пятихатки» с превышением установленных допустимых уровней (в процентах к общему числу выполненных проб)

4.4. СОДЕРЖАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ И ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ

4.4.1. Характеристика источников загрязняющих веществ

Потенциальные источники выделения загрязняющих веществ условно можно разделить на две основные группы – специфические для данного предприятия и источники, достаточно подробно представленные в справочной и информационной литературе.

Особый интерес представляют источники первой группы. К ней относятся источники выделения соединений бериллия, альфа-активных радионуклидов, бенз/а/пирена, озона, а также источники, связанные с механической обработкой исследуемых материалов.

Соединения бериллия потенциально могут выделяться на участках дистилляции и нанесения покрытий, волочения, проката фольги. Сплавы, содержащие бериллий, обрабатываются по проекту на цепных, вакуумных и прокатных станах и станках электрон스크ровой обработки. Электронскровая обработка соединений бериллия производится под слоем керосина, при этом одновременно с бериллием в воздух может выделяться и керосин.

Выделение альфа-активных радионуклидов происходит или может происходить при проведении экспериментальных работ с ураном, а также при обработке сточных вод спецканализации.

Озон выделяется при работе ускорителей и системы газоподготовки. Система газоподготовки состоит из воздухозаборника с фильтром, воздушного компрессора и озонатора ОУ-3. Полученная в озонаторе смесь озона и воздуха в дальнейшем может быть использована для решения различных задач, в частности, обработки сельхозпродукции с целью повышения ее сохранности, очистки и дезодорации воздуха и воды и т. д.

Источниками выделения бенз/а/пирена являются пиролизные установки участка нанесения пироуглеродных покрытий и пиролитического уплотнения пористых материалов. Технологический процесс пиролитического уплотнения осуществляется в установках типа «Агат» и ГФ различной мощности. Технология уплотнения предусматривает нагрев природного газа до температуры пиролиза метана (≥ 880 °С). В качестве сырья используется природный газ. Газ, отходящий от установок пиролиза, имеет состав, отличающийся от природного наличием водорода (до 30 об. %), повышенным содержанием тяжелых углеводородов и пониженным содержанием метана. Отходящий газ выбрасывается в атмосферу через 4 свечевых газопровода. Исследования спектра канцерогенных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в выбросах, проведенные с использованием методов тонкослойной хроматографии и низкотемпературного спектрально-люминесцентного анализа, показали [29], что бенз/а/пирен составляет основную часть группы химических соединений класса ПАУ и является наиболее активным канцерогенным компонентом выбросов.

Для автоматизированного расчета рассеивания в приземном слое атмосферы бериллия, бенз/а/пирена и альфа-активных радионуклидов заданы величины выбросов указанных веществ, соответствующие максимальным потенциальным концентрациям в газовой смеси на выходе из источников.

Работа дерево- и металлообрабатывающих станков кратковременна. Максимальные выбросы загрязняющих веществ определяются на основании инструментального измерения объемов выбрасываемого воздуха и концентраций в нем загрязняющих веществ.

При проведении и подготовке исследований также использовались технологические процессы, распространенные во многих отраслях промышленности: гальванопокрытия, сварочные работы [30,31]. Валовые выбросы загрязняющих веществ (т/год) этой группы источников определены по удельным показателям образования вредных веществ, выделяющихся в атмосферу от основных видов технологического оборудования предприятий машиностроения и военно-промышленного комплекса.

4.4.2. Характеристика источников выбросов загрязняющих веществ

Выбросы загрязняющих веществ поступают в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздухопроводы и трубы. Технологический процесс производства в ННЦ ХФТИ соответствует современному отечественному уровню, газоочистное оборудование обеспечивает степень очистки выбрасываемого в атмосферу воздуха от альфа-активных радионуклидов, бериллия, древесной и абразивно-металлической пыли, пыли графита с эффективностью, не ниже установленной нормативными документами.

Основной мерой по предупреждению загрязнения бенз/а/пиреном атмосферного воздуха в районе расположения участка по пиролизу газа является отработка и строгое соблюдение оптимального режима работы установок. Выбросам бенз/а/пирена и содержанию бенз/а/пирена в приземном слое атмосферного воздуха в ННЦ ХФТИ уделяется особое внимание. Для бенз/а/пирена пороговое значение объема потенциальных выбросов составляет $5,0 \cdot 10^{-7}$ т/год. Для расчета рассеивания бенз/а/пирена в атмосфере задан потенциальный выброс от совокупности источников $1,908 \cdot 10^{-6}$ з/с (при фонде рабочего времени 2080 ч/год валовый выброс составит $1,428 \cdot 10^{-5}$ т/год).

4.4.3. Контроль над выбросами бенз/а/пирена и его содержанием в атмосферном воздухе

Как уже отмечалось, основным нерадиационным канцерогеном, образующимся в применяемых в ННЦ ХФТИ технологиях пиролитического уплотнения пористых материалов, является бенз/а/пирен – полициклический ароматический углеводород, вещество I класса химической опасности.

Отработанный газ проходит через систему очистных сооружений, улавливающих подавляющую часть углеводородов, после чего выбрасывается в атмосферу через 4 свечевых газопровода на отметке 36,5 м над поверхностью земли Система очистных сооружений включает в себя три ступени очистки: водоохлаждаемый участок газопровода, участок, охлаждаемый фреоном (фреоновый холодильник) и фильтр тонкой очистки (фильтр Петрянова).

Содержание бенз/а/пирена определялось непосредственно в свечевых выбросах и в атмосферном воздухе. Анализ проб осуществлялся спектрально-люминесцентным методом на установке «Арома-34» с предварительным хроматографическим выделением анализируемой субстанции. Предел обнаружения составлял 10^{-10} г/мл

В табл. 4.4.1 приведены результаты контроля над выбросами бенз/а/пирена в период с 1991 по 2005 год. Здесь C_{max} – максимальное значение концентрации бенз/а/пирена на свечевом выбросе; C_{cp} – среднее значение концентрации (средневзвешенное по результатам анализов всех проб); V – суммарный расход газа за год; $N_{пр}$ – количество анализов с превышением величины предельно допустимого выброса (ПДВ); $N_{ан}$ – суммарное количество анализов проб, отобранных одновременно. В первой части таблицы представлены результаты контроля над выбросами из свечей № 2, 3 и 4, во второй части – результаты контроля над выбросами из свечи № 5 и годовые величины: суммарный расход газа, среднегодовая концентрация, валовой выброс, число анализов с превышениями ПДВ, суммарное число анализов проб, отобранных одновременно, и общее число проб.

Таблица 4.4.1 (часть 1)

Выбросы бенз/а/пирена

Год	Свеча № 2		Свеча № 3		Свеча № 4	
	C_{max} , нг/м ³ ; дата отбора	C_{cp} , нг/м ³	C_{max} , нг/м ³ ; дата отбора	C_{cp} , нг/м ³	C_{max} , нг/м ³ ; дата отбора	C_{cp} , нг/м ³
1	2	3	4	5	6	7
<i>Величина ПДВ от совокупности источников 8×10^{-7} г/с ($2,45 \times 10^{-5}$ т/год)</i>						
1991	518400 27.06.91	249607	45500 30.05.91	28109	6520 06.12.91	6520
1992	572160 25.03.92	794495	622050 26.06.92	130928,6	214550 22.01.92	52900,7
1993	240,5 20.01.93	101,05	183,5 19.02.93	94,62	3420 30.09.93	656
1994	336,5 15.11.94	148,2	382 15.11.94	163,3	48,5 05.04.94	48,5

1	2	3	4	5	6	7
1995	114 15.02.95	114	111,5 15.02.95	111,5	-	-
1996	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	215 07.04.98	215	-	-
1999	-	-	-	-	-	-
2000	348 06.06.00	348	143 22.11.00	143	68 29.06.00	37,5
2001	-	-	-	-	-	-
<i>Величина разрешённого выброса $4,77 \times 10^7$ г/с от каждого источника (от совокупности источников $1,908 \times 10^6$ г/с), валового выброса – $1,428 \times 10^5$ т/год</i>						
2002	2,1 02.04.02	2,1	3,1 02.04.02	3,1	-	-
2003	480 11.02.03	480	52 11.02.03	52	-	-
2004	107 01.04.04	107	33 01.04.04	33	-	-
2005	173 16.03.05	173	33 14.12.05	33	7580 06.10.05	7580

Таблица 4.4.1 (часть 2)

Год	Свеча № 5		За год			
	C_{max} , нг/м ³ ; дата отбора	$C_{ср}$, нг/м ³	V , м ³ /год	$C_{ср}$, нг/м ³	Валовой выброс, т/год	$N_{пр}/N_{ан}$, (всего проб)
1	2	3	4	5	6	7
<i>Величина ПДВ от совокупности источников 8×10^7 г/с ($2,45 \times 10^5$ г/год)</i>						
1991	2760 06.12.91	1352	242423	76865	$1,88 \times 10^5$	1/7 (15)
1992	3120000 05.10.92	626333	244460	230474,5	$5,634 \times 10^5$	8/13 (42)
1993	13620 20.08.93	2345	118032	857,44	$1,01 \times 10^7$	0/14 (34)
1994	-	-	63067	140,43	$8,9 \times 10^9$	0/2 (7)
1995	-	-	9618	112,75	$1,1 \times 10^9$	0/1 (2)
1996	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-
1998	11300 07.04.98	11300	27000	5757,3	$3,11 \times 10^7$	0/1 (2)

1	2	3	4	5	6	7
1999	7 02.06.99	7	23000	7	$1,61 \times 10^{-10}$	0/1 (1)
2000	175 06.06.00	175	45000	148,2	$2,35 \times 10^{-8}$	0/4 (5)
2001	193 20.09.01	75	46000	75	$3,45 \times 10^{-9}$	0/4 (5)
<p><i>Величина разрешенного выброса $4,77 \times 10^7$ г/с от каждого источника (от совокупности источников $1,908 \times 10^6$ г/с), валового выброса – $1,428 \times 10^5$ г/год</i></p>						
2002	185,3 02.04.02	185,3	33923	63,5	$3,26 \times 10^{-9}$	0/1 (3)
2003	413 11.02.03	413	64130	315	$2,38 \times 10^{-8}$	0/1 (3)
2004	4000 01.04.04	2146,5	75704	1108,6	$2,38 \times 10^{-8}$	0/2 (4)
2005	6530 06.10.05	6530	66378	3579	$2,6 \times 10^{-7}$	0/3 (4)

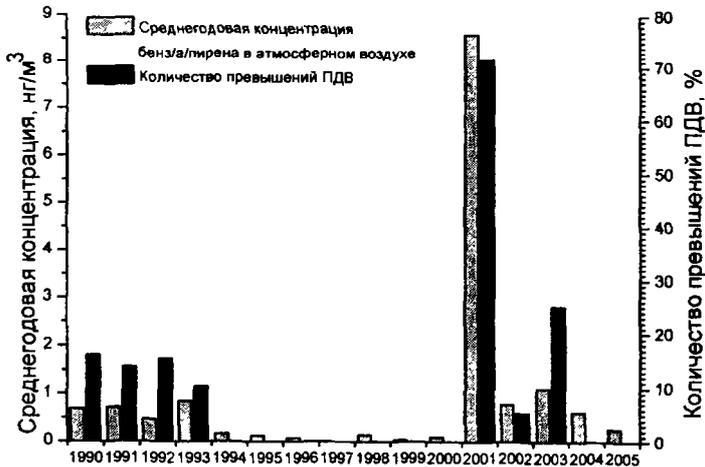


Рис. 4.4.1. Содержание бенз/а/пирена в атмосферном воздухе микрорайона «Пятихатки»

На рис. 4.4.1 в виде гистограмм показано среднегодовое содержание бенз/а/пирена в атмосферном воздухе микрорайона «Пятихатки» в период с 1990 по 2005 год в единицах измерения нг/м^3 (левый столбик) и количество проб с превышением установленной предельно допустимой концентрации в

процентах к общему числу отобранных проб (правый столбик). В табл. 4.4.2 приведены подробные результаты контроля над содержанием бенз/а/пирена в атмосферном воздухе промплощадки №2 и жилого массива «Пятихатки».

Таблица 4 4.2

Результаты контроля над содержанием бенз/а/пирена в атмосферном воздухе промплощадки №2 и жилого массива «Пятихатки»

Год	Промплощадка №2				Жилой массив		За год	
	Пост №1		Пост №2		C_{max} , нг/м ³ (мес.)	C_{cp} , нг/м ³	N_{np}/N_{om}	\bar{C}_{cp} , нг/м ³
	C_{max} , нг/м ³ , (мес.)	C_{cp} , нг/м ³	C_{max} , нг/м ³ (мес.)	C_{cp} , нг/м ³				
1990	-	-	-	-	2,23 (10)	0,685	9/56	0,69
1991	-	-	-	-	8,13 (10)	0,71	24/174	0,71
1992	-	-	-	-	3,80 (12)	0,46	8/52	0,46
1993	4,92 (09)	0,59	11,46 (09)	1,05	8,71 (09)	0,89	4/39	0,84
1994	0,29 (02)	0,14	-	-	0,35 (11)	0,18	0/21	0,16
1995	0,16 (04)	0,11	-	-	0,23 (01)	0,14	0/24	0,13
1996	0,10 (01)	0,08	-	-	0,1 (03)	0,08	0/6	0,08
1997	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	0,14 (04)	0,14	0/1	0,14
1999	-	-	-	-	0,05 (02)	0,03	0/2	0,03
2000	0,10 (11)	0,10	-	-	-	-	0/2	0,10
2001	18,90 (06)	11,8	1,40 (09)	0,94	12,10 (06)	11,40	5/7	8,60
2002	0,90 (07)	0,63	5,00 (07)	0,98	0,20 (08)	0,20	1/19	0,78
2003	-	-	0,70 (12)	0,45	2,70 (11)	1,75	1/4	1,10
2004	-	-	0,90 (09)	0,62	-	-	0/4	0,62
2005	0,46 (03)	0,30	0,30 (10)	0,23	-	-	0/4	0,26

Здесь C_{max} – максимальное значение концентрации бенз/а/пирена; C_{cp} – среднее значение концентрации (средневзвешенное по результатам анализов

всех проб); N_{np} – количество анализов с превышением предельно допустимой величины; $N_{ан}$ – суммарное количество анализов проб; \bar{C}_{cp} – среднегодовое значение концентрации.

В 2001 году из семи отобранных проб пять показали превышения предельно допустимого уровня, причем, величины превышений составляли до 19 раз. По этой причине в 2002 году была предпринята попытка провести более тщательные исследования с ежемесячным отбором проб одновременно на двух постах экологического наблюдения [29].

При проведении исследований были задействованы четыре установки АГАТ-1,6 и одна установка АГАТ-3,2, подключенные к свече №2, две установки АГАТ-2, одна установка АГАТ-3,2 и одна – АГАТ-1,6, подключенные к свече №3, и установка ГФ-2, подключенная к свече №5. Общий расход природного газа в 2002 году составил около 32 тыс. м³, из них примерно половина (15,3 тыс. м³) была израсходована на установке ГФ-2

На установках АГАТ-1,6 и АГАТ-3,2 в основном проводились кратковременные эксперименты. Суммарный выброс отработанного газа от этих установок составил: свеча №2 - 11056 м³, свеча №3 – 5060 м³.

Отбор проб выбрасываемого в атмосферу воздуха (отходящих газов) производился на источниках свечевых выбросов № 2, 3, и 5. Результаты исследования отобранных проб показаны в табл. 4.4.3.

Таблица 4.4.3

Содержание бенз/а/пирена в свечевых выбросах

Дата отбора проб	Место отбора проб	Концентрация бенз/а/пирена в выбросах, г/м ³	Выброс бенз/а/пирена, г/с	Разрешённый выброс бенз/а/пирена, г/с
02.04.02	Свеча №2	$2,1 \times 10^{-9}$	$9,62 \times 10^{-12}$	$4,77 \times 10^{-7}$
02.04.02	Свеча №3	$3,1 \times 10^{-9}$	$4,73 \times 10^{-12}$	$4,77 \times 10^{-7}$
02.04.02	Свеча №5	$1,9 \times 10^{-7}$	$7,72 \times 10^{-10}$	$4,77 \times 10^{-7}$

Отбор проб атмосферного воздуха производился на 3-х постах экологического наблюдения, расположенных, как уже отмечалось, в преимущественных направлениях ветра от источников выбросов (одновременно на двух постах). Посты №1 и 3 находятся на территории ННЦ ХФТИ соответственно в северном и южном направлениях от источников в месте максимально возможных концентраций бенз/а/пирена при его рассеянии в случае слабого ветра. Пост №2 расположен за пределами территории примерно в южном направлении от источников выбросов. Он позволяет оценить концентрации бенз/а/пирена в случае более сильного ветра, а также вклад в загрязнение атмосферного воздуха автотранспортом и такими потенциальными источниками бенз/а/пирена, как смола, используемая при ремонте кровель, асфальтовое покрытие дорог и другие.

Кроме того, три пробы были отобраны на контрольном посту, расположенном на 10-километровом удалении от источника выбросов.

Результаты анализов приведены в табл. 4.4.4.

Таблица 4.4.4

Концентрация бенз/а/пирена в атмосферном воздухе

№ п/п	Дата отбора	Номер поста	Концентрация бенз/а/пирена, г/м ³	Предельно допустимая концентрация (ПДК), г/м ³
1	2	3	4	5
1.	20-23.03 2002	1 3	$6,9 \times 10^{-10}$ $5,5 \times 10^{-10}$	1×10^{-9}
2.	2-3.04 2002	1 3	$1,7 \times 10^{-10}$ $7,0 \times 10^{-10}$	
3.	15.05.2002	конт- рольн. пост	$8,35 \times 10^{-9}$ $5,95 \times 10^{-9}$ $7,05 \times 10^{-9}$	
4.	28-29.05. 2002	1 3	3×10^{-10} 5×10^{-10}	
5.	11-12.06. 2002	1 3	9×10^{-10} 5×10^{-9}	
6.	24-25.07. 2002	1 3	4×10^{-10} 3×10^{-10}	
7.	27-28.08. 2002	1 2	- 2×10^{-10}	
8.	30.09 – 1.10.2002	1 3	8×10^{-10} 2×10^{-10}	
9.	28-29.10 2002	1 3	9×10^{-10} 1×10^{-9}	
10.	11-12.11. 2002	1 3	6×10^{-10} 5×10^{-10}	
11.	10-11.12. 2002	1 2	9×10^{-10} 7×10^{-10}	

Из анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- концентрация бенз/а/пирена в воздухе, выбрасываемом в атмосферу, и в воздухе рабочей зоны не вызывает опасений;

- из девятнадцати проб атмосферного воздуха, отобранных в течение года (одновременно на двух постах), одна проба показала 5-кратное превышение ПДК бенз/а/пирена. Это произошло 11 июля. Анализ работы установок показал, что ни одна из них в этот день не работала в режиме пиролиза, следовательно, превышение не может быть вызвано свечевыми выбросами. Необходимо отметить, что во время отбора проб температура воздуха достигала 40°C в тени при полном отсутствии ветра. В таких условиях высокое содержание бенз/а/пирена в атмосферном воздухе могло

быть обусловлено испарением из асфальтовых покрытий дорог и битумных кровель;

- подтверждением сделанного выше объяснения может служить и тот факт, что три пробы воздуха, отобранного на 10-километровом удалении от источника (заведомо не связанного с выбросами) в течение дня - 15 мая, также показали 6...8-кратные превышения ПДК (см. табл. 4.4.4, контрольный пост). В этот день температура воздуха также была высокой - достигала 35 °С в тени при полном отсутствии ветра;

- различие в содержании бенз/а/пирена в пробах, отобранных на постах №1 и 3 в период с 11 по 12 июля, может быть связано со следующим обстоятельством. Воздух на посту №3 отбирался всего 3 ч с 11 до 13 ч, в жаркое время суток, было прокачано 9 м³. Воздух на посту №1 отбирался по регламенту - 24 ч, было прокачано 80 м³. Повышенное выделение бенз/а/пирена в жаркий период суток частично компенсировалось пониженным выделением в ночное, более прохладное время. Этот факт косвенно подтверждает вывод, сделанный выше;

- во время отбора проб 28-29 октября работали девять установок пиролиза. Это максимальное количество одновременно работающих установок за последние пять лет. Содержание бенз/а/пирена в атмосферном воздухе при этом не превышало ПДК;

- расчетные данные (рис. 4.4.4) показывают, что в районе расположения постов №1, 2 и 3 концентрация бенз/а/пирена, обусловленного свечевыми выбросами, должна быть на 2-3 порядка ниже экспериментальных результатов.

4.4.4. Расчет рассеивания в атмосфере загрязняющих веществ

Расчет рассеивания в атмосфере загрязняющих веществ, присутствующих в выбросах ННЦ ХФТИ, выполнен по программе ЭОЛ-ПЛИУС, реализующей расчетные зависимости ОНД-86 [32].

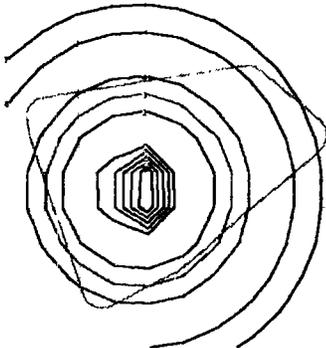


Рис. 4.4.2. Бериллий.
Концентрация 0,002...0,0004 ПДК

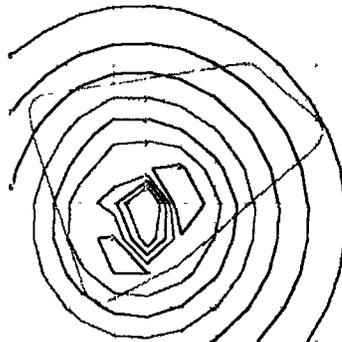
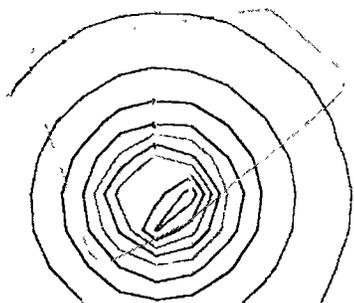
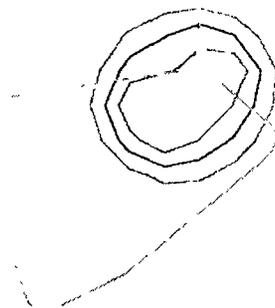


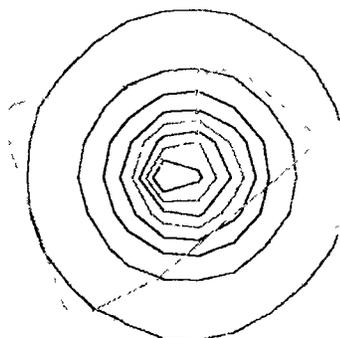
Рис. 4.4.3. Уран.
Концентрация 0,08 .. 0,02 ПДК



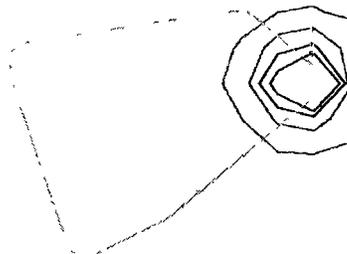
*Рис 4 4 4 Бенз/а/пирен
Концентрация 0,007 0,0006 ПДК*



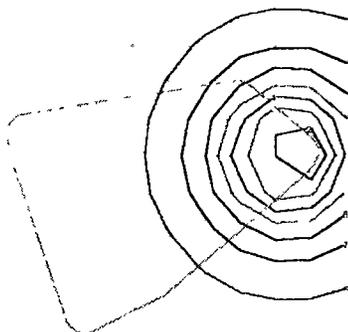
*Рис 4 4 5 Озон
Концентрация 0,01 0,001 ПДК*



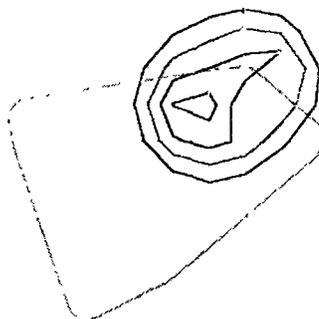
*Рис 4 4 6. Пыль металлическая
Концентрация 0,04 0,003 ПДК*



*Рис 4 4 7 Абразивная пыль
Концентрация 0,2 0,01 ПДК*



*Рис 4 4 8. Окись углерода
Концентрация 0,003 0,0003 ПДК*



*Рис 4 4 9 Окись азота
Концентрация 0,0008 0,0001 ПДК*

В задание на расчет входили: описание метеорологических условий, источников выбросов вредных веществ, характеристика состава выбросов, описание вредных веществ, описание групп суммаций. На рис. 4.4.2 – 4.4.5 показаны картограммы рассеивания с нанесением изолиний распределения концентраций специфических для ННЦ ХФТИ загрязняющих веществ (урана, бериллия, бенз/а/пирена и озона) в приземном слое атмосферы. На рис. 4.4.6 – 4.4.9 показаны картограммы рассеивания металлической и абразивной пыли, а также окиси углерода и окиси азота.

4.4.5. Содержание бериллия и бенз/а/пирена в почвенном покрове

Впервые в ННЦ ХФТИ были проведены исследования с целью получения данных о содержании бенз/а/пирена в почвенном покрове микрорайона «Пятихатки» [33]. Отбор проб почвы производился на непаханных участках земли. Образцы брались из верхнего гумусового горизонта, так как верхние 2-5 см почвы принимают основную нагрузку атмосферных выпадений. С глубиной содержание загрязняющих выпадений падает по экспоненте, к фоновому значению оно приближается на глубине 15-30 см. Исходя из этого, пробы были отобраны до глубины 5 см, всего отобрано 30 проб.

Анализ проб почвы на бериллий проводился фотоколориметрическим методом с использованием бериллона [34]. Во всех пробах присутствие бериллия ниже уровня обнаружения – 10 мг/кг.

Анализ проб на бенз/а/пирен осуществлялся, как и в анализах проб воздуха, спектрально-люминесцентным методом на установке «Арома-34» с предварительным хроматографическим выделением анализируемой субстанции. Предел обнаружения составлял 10^{-10} г/мл.

Получен массив значений концентраций в виде таблиц, при этом каждое значение привязано к конкретному местоположению в исследуемом регионе. Диапазон полученных значений колеблется в пределах от 0,2 до 1,9 мкг/кг.

4.4.6. Выводы из раздела 4.4

Анализ результатов расчета рассеивания загрязняющих веществ, присутствующих в выбросах ННЦ ХФТИ реально или потенциально, показывает, что предприятие не оказывает заметного влияния на состояние приземного слоя атмосферного воздуха микрорайона «Пятихатки». Выбросы загрязняющих веществ поступают в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздухопроводы и трубы. Из 25 наименований веществ наибольшие приземные концентрации – меньше 0,1 ПДК по 21 наименованию, по 4 другим (пыль графита, пыль абразивно-металлическая, пыль древесная, натрия гидроокись) – от 0,11 до 0,79 ПДК достигаются лишь в пределах территории ННЦ ХФТИ.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что концентрация бенз/а/пирена – вещества 1 класса химической опасности – в воздухе, выбрасываемом в атмосферу, находится под контролем и в настоящее время не вызывает опасений. Обнаружено относительно высокое содержание бенз(а)пирена в почвенном покрове прилегающего к промплощадке ННЦ ХФТИ микрорайона «Пятихатки». Как уже ранее отмечалось, при достаточно высокой температуре воздуха высокое содержание бенз/а/пирена в атмосферном воздухе, а следовательно, и в почвенном покрове, могло быть обусловлено испарением из асфальтовых покрытий дорог и битумных кровель.

Это первые исследования, нуждающиеся в безусловном продолжении и уточнении полученных результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог исследованиям, проведенным на протяжении последних 15 лет в области радиационной безопасности, производственной санитарии и охраны окружающей природной среды, результаты которых описаны в данной работе, представляется важным особо подчеркнуть, что объектом исследований являлись нормируемые параметры практически всех производственных факторов, негативному воздействию которых так или иначе подвергаются сотрудники Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт», включая лиц, отнесенных к персоналу категориям А и Б, и жители микрорайона «Пятихатки». Учитывая, что злокачественные новообразования в мире уже многие годы занимают по значимости второе место среди болезней человека [2,35-37], уступая лишь сердечно-сосудистым, особое внимание в работе уделено канцерогенным факторам – радиационному и нерадиационному. Последний объединяет в себе группу химических соединений класса полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), образующихся в технологических процессах пиролитического уплотнения пористых материалов при использовании нагрева природного газа. Бенз/а/пирен составляет основную часть этой группы и является наиболее активным канцерогенным компонентом.

За рамками работы остались лишь такие факторы как шум, освещенность и микроклимат (температура, влажность, скорость движения воздуха), негативное воздействие которых на персонал (лица, отнесенные к категориям А и Б) сведено до минимального и поэтому не может являться существенным

Результаты работы свидетельствуют о том, что контролируемые параметры исследованных производственных факторов вредного воздействия на организм в основном не превышают установленных допустимых величин. Имели место случаи некоторых превышений, например, мощности эквивалентной дозы фотонного излучения в определенных местах периодического пребывания персонала,

электромагнитных полей, единичные случаи превышений содержания урана и вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны, сточных водах фекальной канализации промплощадки. Однако общая радиационно-экологическая ситуация как на промплощадке, так и за ее пределами на протяжении исследуемого периода находилась под контролем и не вызывала опасений. Проведенные исследования не дают оснований говорить о какой бы то ни было степени неблагоприятного влияния деятельности института вообще и его технологических процессов, в частности, на состояние окружающей среды, включая территорию жилого массива «Пятихатки»

Хотелось бы несколько подробнее остановиться на проблеме нормирования ионизирующего облучения с учетом особенностей его действия в малой дозе и с малой мощностью дозы. Основы действующей системы нормирования облучения отражены в рекомендациях МКРЗ (Публикация № 60) [4, 38] и Нормах радиационной безопасности Украины [3]. Эта система базируется на гипотезе беспороговой линейной зависимости доза-эффект, которая в последние годы подвергается критике со стороны ведущих мировых специалистов в области дозиметрии, защиты и биофизики, поскольку накапливается все больше сведений, не согласующихся с ней. Например, гормезис (или порог) характерен для жителей Японии, подвергшихся атомной бомбардировке [39]. Эффект установлен для рака желудка, толстого кишечника, кожи, лейкоза. Установлено также, что за 2 млн чел. лет работы, начиная с военных лет, когда радиационная обстановка была тяжелой, а нормативы гораздо жестче, смертность среди персонала от лучевого рака оказалась меньше, чем у населения. Это решающий аргумент за безопасность (полезность) облучения в малой дозе, против опоры на линейную беспороговую зависимость и против предпринятого МКРЗ снижения пределов дозы [4].

Результаты фундаментальных исследований [40] по биологическому действию токсинов и других химических веществ убедительно доказывают, что и для них типичен гормезис. Этот вывод перекликается с предложением [41] унифицировать подходы к регламентации обоих вредных факторов.

Учет пороговой дозы [38] при регламентированном облучении резко изменяет представление об опасности облучения в малой дозе и при малой мощности дозы, показывая, что первые годы воздействия могут быть не только безопасны, но и полезны для здоровья. Современные пределы дозы занижены в несколько раз. Это порождает страх перед облучением и приводит к неоправданным затратам больших сил и средств.

Автор работы [42] также утверждает, что при облучении в малых дозах ни у животных, ни у человека не отмечено детерминистских эффектов, а риск стохастических эффектов последствий имеет чисто гипотетический характер. В этом состоит принципиальное отличие эффектов малых доз от воздействия в промежуточных и больших дозах, когда детерминистские эффекты при достижении пороговых значений проявляются у всех облученных объектов, а риск стохастических последствий, в частности

злокачественных новообразований, проявляется с определенной вероятностью, увеличивающейся с ростом дозы.

И еще хотелось бы подчеркнуть следующее. Возрастание удельного веса злокачественных новообразований в мире связано не только с увеличением продолжительности жизни людей и улучшением диагностики, но и с расширением контакта людей с канцерогенами различной природы. Согласно литературным данным, до 90% всех случаев рака в настоящее время обусловлено воздействием окружающей среды, из них 70-80% случаев связывают с воздействием химических канцерогенов и только 10% - с радиационными факторами [2,43]. Устранение или ограничение действия канцерогенов может иметь большое значение в профилактике этого заболевания. Исследование влияния факторов окружающей среды на заболеваемость злокачественными новообразованиями неотделимо от общей проблемы влияния этих факторов на здоровье населения. Для правильных выводов о влиянии различных факторов окружающей среды на заболеваемость необходима, прежде всего, общая санитарно-гигиеническая оценка наиболее важных природных факторов (климата, солнечной радиации, атмосферного воздуха, химического состава почв и воды) и социально-экономических условий жизни людей, так как проблема влияния факторов окружающей среды на заболеваемость имеет еще и социальную направленность [2,43]. Сюда относится и комплекс факторов, которые характеризуются как «образ жизни» (питание, курение и другие привычки, употребление лекарств и т. д.). Все эти факторы также можно считать экологическими.

После Чернобыльской аварии многие исследователи использовали при оценке причин существующих различий заболеваемости между отдельными группами населения методы, не позволяющие в достаточной степени учесть всю сложность связей и оценить влияние многофакторного комплекса элементов окружающей среды на заболеваемость, искусственно выделяя радиационный фактор [44]. В настоящее время некоторые ученые пришли к выводу о том, что химический риск почти на порядок выше радиационного даже на неблагоприятных в радиационном плане объектах [45].

Последствия повреждающего действия канцерогенов на биоценозы трудно прогнозировать, однако есть основание считать, что канцерогенные факторы, особенно антропогенного происхождения, могут со временем вызвать глубокие нарушения в биоценозах, более сложные, чем последствия действия токсических и других веществ. Объективная оценка [46] возможна только на основе системного подхода, учитывающего взаимодействия комплекса разнородных факторов окружающей среды и их взаимное влияние на заболеваемость.

Таким образом, изучение влияния факторов окружающей среды на заболеваемость, и в первую очередь на злокачественные новообразования, неотделимо от общей проблемы влияния окружающей среды на здоровье населения. Действие ионизирующего излучения является одним из факторов

окружающей среды, участвующих в формировании современной канцерогенной ситуации. Однако объективная оценка возможна только на основе системного подхода, учитывающего взаимное влияние разнообразных факторов внешней среды на заболеваемость.

Нельзя не сказать о некоторых, уже затянувшихся проблемах перехода на Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97), введенные в ННЦ ХФТИ 1998 году. Существуют объективные причины, по которым НРБУ-97 оказываются более трудными для понимания и практического применения. Хотя на самом деле концепция эффективной дозы и использование эквивалентной (средней по органу) дозы, в сочетании с рекомендациями МКРЗ по практическому применению радиационного мониторинга, дают возможность более строгого построения системы радиационной безопасности.

Основная трудность применения НРБУ-97 заключается в том, что используемая измерительная система индивидуального дозиметрического контроля внешнего облучения (термолюминесцентный дозиметр с накопителями на основе детекторов из LiF , Mg , Ti в кассетах с алюминиевым фильтром) не вполне удовлетворяет современным требованиям. Для оценки средствами индивидуального контроля эффективной дозы от внешнего облучения МКРЗ рекомендует измерять величину $H_p(10)$ – индивидуальный эквивалент дозы проникающего излучения [38]. Чтобы установить условия, при которых существующая система удовлетворяет необходимым требованиям по измерению дозы внешнего гамма-излучения, необходимо провести соответствующие калибровки и сличения [7,47].

Таким образом, оставшиеся проблемы перехода на НРБУ-97 могут быть решены.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность сотрудникам Лаборатории радиационных исследований и охраны окружающей среды Светличной И.П., Покас Г.В., Донцу А.И., Тупице В.М., Медведковой Ю.Д., Затолоке А.П., Гончаровой Л.В., Плишко С.Г., Вирич Т.В., Коваль В.П., Кирочкиной А.Ю., Диденко Л.В., Кузнецову П.В., Андрееву Д.Г., участвовавшим в выполнении измерений контролируемых параметров. Авторы также благодарят Гурина В.А. и Колосенко В.В. за предоставленную возможность проведения исследований по бенз/а/пирену, а также Левенца В.В. и Усикова Н.П. за помощь в осуществлении контроля и проведении таких исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.С. Бабаев, В.Ф. Демин, Л.А. Ильин и др. *Ядерная энергетика, человек и окружающая среда* /Под ред. А.П. Александрова. М. Энергоиздат, 1981, 295 с.
2. А.Ф. Цыб, В.К. Иванов, А.П. Бирюков, В.А. Эфендиев. *Эпидемиологические аспекты радиационного канцерогенеза (научный обзор). Радиация и риск: Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра*. 1985, в. 6, с. 78-161.
3. *Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) Государственные гигиенические нормативы ГГН 6.6.1.-6.5.001.98* Издание официальное. Киев, 1998.
4. *Рекомендации международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях 1990 года* Публикация 60, часть 1, МКРЗ. М.: Энергоатомиздат, 1994, 192 с.
5. *Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87*. М.: Энергоатомиздат, 1988; 160 с.
6. *Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения: Серия изданий по безопасности №115*. МАГАТЭ. Вена, 1997, 382 с.
7. A.V. Mazilov. Peculiarities of UKRRSS-97 and Their Application at NSC KIPT Accelerators//*Вопросы атомной науки и техники. Серия «Ядерно-физические исследования» (38)*. 2001, №3, с. 171-172.
8. A.N. Dovbnya, A.V. Mazilov, M.V. Sosipatrov. Peculiarities of Forming the Radiation situation at an Area of NSC KIPT Accelerators Location//*Вопросы атомной науки и техники. Серия «Ядерно-физические исследования» (41)*. 2003, №2, с. 103-107.
9. А.В. Мазиллов. Радиационный контроль в ННЦ ХФТИ: основные результаты, проблемы и решения//*Труды Международной конференции «Радиоэкология-2002: радиационная безопасность, здоровье человека и окружающая среда. Проблемы и пути их решения на современном этапе», г. Мариуполь, 10-12 сентября 2002 г.*, с. 68-69.
10. И.Г. Гончаров, Г.Д. Коваленко, А.В. Мазиллов, И.П. Светличная *Влияние облучательной программы «Луч» на радиационную обстановку и окружающую среду*. Препринт ХФТИ 90-27. Харьков: ХФТИ, 1990, 15 с.
11. А.В. Мазиллов, Б.Н. Разсукованный, Г.Д. Коваленко и др. *Содержание урана и бериллия в воздухе рабочих помещений ННЦ ХФТИ в период с 1961 по 2003 год. Уровни облучения персонала* Препринт ХФТИ 2005-1 Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005, 26 с.
12. А.В. Мазиллов, Б.Н. Разсукованный, М.В. Сосипатров, Г.Д. Коваленко. *Исследование степени радиационной опасности при работах*

с ядерным топливом в ННЦ ХФТИ//*Міжнародна науково-практична конференція „Екологічна безпека проблеми і шляхи вирішення” (12-16 вересня 2005 р, м Алушта, АР Крим)* Збірник наукових статей у двох томах. Т. II, с 270-277.

13. В.Н Васильев, Л.А. Лебедев, В.П. Сидоркин, Р.В. Ставицкий. *Спектры излучения рентгеновских установок*: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1990, 144 с.

14. *Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України*: Державні санітарні правила 6.177-2005-09-02. Видання офіційне. Київ, 2005.

15. А.В. Мазиллов, И.Г. Гончаров, И.П. Светличная. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2000, 14 с.

16. А.Н. Марей, Ф.С. Зыкова, М.М. Сауров. *Радиационная коммунальная гигиена*. М.: Энергоатомиздат, 1984, 176 с.

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

18. В.И. Витько, И.Г. Гончаров, Г.Д. Коваленко, А.В. Мазиллов. *Влияние аварии на ЧАЭС на радиационную обстановку в г. Харькове* Препринт ХФТИ 90-60. Харьков: ХФТИ, 1990, 16 с.

19. V.I. Vitko, I.G. Goncharov, G.D. Kovalenko, A.V. Mazilov *The Radiation Situation on the Territory of Kharkov and Kharkov Region. Fourth Annual Conference “Scientific, Technical, and Social Aspects of Chornobyl NPP Closure Abstracts of presentations September 26-29, 2000.* Slavutysh, Ukraine, p. 204.

20. Справочник по гигиене труда /Под ред. Б.Д. Карпова, Е. Ковшило Л.: Медицина, 1979.

21. ГОСТ 12.1.006-84. *Электромагнитные поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля (с изменениями от 13.11.87 № 4161)*

22. *Сборник важнейших официальных материалов по санитарным и противозидемиологическим вопросам Т.1*/Под ред. В.М. Подольского. М., 1991.

23. *Предельно допустимые уровни воздействия постоянных магнитных полей при работе с магнитными устройствами и магнитными материалами*. Утверждены зам. главного государственного санитарного врача СССР 16.0877. М., 1978.

24. А.В. Мазиллов, Б.Н. Разсукованный *О контроле параметров магнитных и электромагнитных полей как факторов вредного воздействия на организм*: Препринт ХФТИ 2000-2. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2000, 12 с.

25. A.V. Mazilov, B.N. Razukovanniy. *Research of Parameters of the Magnetic and Electromagnetic Fields Around Installations for Activating, Diagnostics and Containing the Plasma VIII Ukrainian Conference and School*

on Plasma Physics and Controlled Fusion Alushta (Crimea), September 11-16, 2000 Published by NSC KIPT, Kharkov, p. 190.

26. А.В. Мазилев, Б.Н. Разсукованный. О контроле параметров магнитных и электромагнитных полей, используемых в термоядерных установках//*Материалы III Международного симпозиума «Актуальные проблемы дозиметрии 15 лет после Чернобыльской катастрофы»*. 24-26 октября 2001 г Минск, Беларусь, с. 42-44.

27 *Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров*. Министерство здравоохранения СССР. М., 1982.

28. ГОСТ 12.1.031-81. Система безопасности труда Лазеры Методы дозиметрического контроля лазерного излучения.

29. В.А. Гурин, А.В. Мазилев, В.В. Колосенко и др Нерадиационное канцерогенное влияние технологических процессов ННЦ ХФТИ на окружающую среду// *XI (ежегодная) Международная научно-техническая конференция «Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов»* Сборник научных трудов, т. 3. Харьков-Бердянск, 2003, с. 501-506.

30. А.В. Мазилев, М.В. Сосипатров, Н.А. Богонос, А.А. Мазилев. Выбросы загрязняющих веществ ННЦ ХФТИ и состояние приземного слоя атмосферного воздуха: Препринт ХФТИ 2004-1. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2004, 16 с.

31. Н.А. Богонос, В.А. Гурин, А.В. Мазилев и др. Влияние технологических процессов ННЦ ХФТИ на состояние приземного слоя атмосферы// *XII (ежегодная) Международная научно-техническая конференция «Экология и здоровье человека Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов»*: Сборник научных трудов. 7-11 июня 2004 г., г. Бердянск. Т. 3, с. 527-530.

32. ОНД-86 *Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий*. Л.: Гидрометеиздат, 1987.

33. В.И. Лапшин, В.В. Левенец, А.В. Мазилев и др. Исследование экологической обстановки в ННЦ ХФТИ и жилом массиве «Пятихатки»//*Труды 15 Международной конференции по физике радиационных явлений и радиационному материаловедению (XV-ICPRP)*. 10-15 июня 2002 г. Алушта, с. 354-355.

34. *Руководство по определению бериллия в объектах внешней среды и биосредах*. Минздрав СССР. Институт биофизики. М., 1984, 82 с.

35. А.П. Ильинский, Ю.П. Соловьев. *Первичная профилактика рака*. М., 1986, с. 5-14.

36. А.А. Моисеев. *Цезий-137: Окружающая среда: Человек*. М.: Энергоатомиздат, 1985.

37. Л.М. Шабад. *О циркуляции канцерогенов в окружающей среде*. М. Медицина, 1973.

38. Публикация 60 МКРЗ. Рекомендации международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Ч. 2. Приложения/Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1994.

39. И.Б. Кеирим-Маркус. *Нормирование облучения с учетом особенностей его действия в малой дозе и с малой мощностью дозы*// Атомная энергия. т. 93, в. 4, октябрь 2002, с 299-308.

40. E. Calabrese. Scientific foundations of hormesis// *Toxicology*. 2001, v. 31. №4/5, p. 353-624, 637-648.

41. В.Ф. Демин, В.Я. Голиков, Е.В. Иванов и др. *Нормирование и сравнение риска здоровью человека от различных источников вреда*// Атомная энергия. 2001, т. 90, в. 5, с. 385-397.

42. А.В. Носовский. Вопросы нормирования облучения персонала и населения// *Ядерная и радиационная безопасность*. 2000, т. 3, с. 16-21.

43. Ю.И. Москалев, В.П. Стрельцова. *Лучевой канцерогенез в проблеме радиационной защиты*. М.: Энергоатомиздат, 1982.

44. *Чернобыльская катастрофа причины и последствия (экспертное заключение)*. В четырех частях. Минск: Тест, 1993.

45. И.И. Крышев. Анализ экологического риска для объектов ядерного топливного цикла// *Второй Обнинский симпозиум по радиологии* Обнинск, 1996, с. 301.

46. А.В. Мазилев, Б.Н. Разсукованный, А.Г. Толстолицкий. Радиационный фактор и другие канцерогенные факторы окружающей среды//Труды *Международной конференции «Радиоэкология-2002: радиационная безопасность, здоровье человека и окружающая среда Проблемы и пути их решения на современном этапе», 2 Мариуполь, 10-12 сентября 2002 г.*, с.70-71.

47. А.К. Сухоручкин, А.А. Корнеев. Проблемы внедрения НРБУ-97 на объекте «Укрытие»//*Наукові та технічні аспекти Міжнародного співробітництва в Чорнобилі: Збірка наукових статей*, в. 2. Славутич: Укратомвидав, 2000, с. 463.

ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Измерения напряженности импульсных магнитных полей, используемых в различного типа, и назначения экспериментальных установках, осуществлены с помощью нестандартных средств измерительной техники (ввиду того, что приборы, предназначенные для таких целей, промышленностью России и Украины не производятся). Сопоставление полученных результатов производилось с предельно допустимым уровнем (1,2 Э), рекомендованным в [1] для импульсных магнитных полей при условии пребывания персонала в поле с такой напряженностью в течение смены.

III. Сильноточный импульсный отражатель разряда «Макет»

Отражатель разряда «Макет» - это термоядерная установка, представляющая собой магнитную ловушку, в которой получение плазмы осуществляется в продольном магнитном поле. Разряд напряжением до 5 кВ, током до 2 кА, длительностью 2 мс происходит во внешнем магнитном поле, создаваемом соленоидом с током до 6 кА, длительностью 18 мс. Магнитное поле изменяется в пределах 0...8,4 кЭ. Определение магнитного поля в местах возможного пребывания персонала производилось расчетным и экспериментальными путями. Данные, используемые при расчете:

число катушек, входящих в соленоид.....	6;
число витков в катушке.....	40;
общая длина.....	140 см,
расстояние между катушками (от торца).....	18, 32, 32, 18 см;
расстояние от середины крайней катушки до торца.....	4 см,
средний диаметр катушки.....	36 см,
напряжение на соленоиде.....	27 кВ,
ток (максимальное значение).....	5,4 кА,
рабочий режим.....	$U=1.5 \text{ кВ}, I=3 \text{ кА}$.

Методика измерений состояла в следующем

На соленоид подавалось напряжение $U = 77 \text{ В}$ с током $I = 93 \text{ А}$ и частотой $f = 50 \text{ Гц}$, которое создавало магнитный поток. Измерения на рабочих местах производились с помощью короткой катушки с числом витков $n = 240$, средним диаметром $d = 22 \text{ см}$. При этом измерялось индуцированное магнитным потоком напряжение, определяемое как

$$U = n \cdot A \frac{dB}{dt} = n \cdot A \cdot \omega \cdot B_{\max},$$

где A – площадь витка; ω – частота поля; n – число витков; B – магнитная индукция.

Отсюда находилось значение B_{\max} . Затем определялся коэффициент пропорциональности между величиной рабочего тока в соленоиде и

величиной пробойного тока (93 А). Значение напряженности магнитного поля определялось как произведение коэффициента пропорциональности на B_{max} . Калибровка датчика производилась в магнитном поле с рассчитанной напряженностью. Измерения проводились как при рабочем, так и при максимальном режиме работы. Результаты определения напряженности импульсного магнитного поля, полученные расчетным и экспериментальным путями, сведены в табл. П1. Эскиз помещения изображен на рис. П1

Таблица П1

Результаты определения напряженности импульсного магнитного поля

Номер измерений	Напряженность магнитного поля, Э			
	Максимальный режим, $U=3 \text{ кВ}$		Рабочий режим, $U=1,5 \text{ кВ}$	
	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
1	105,0	160,0	59,5	89,0
2	6,8	11,7	3,8	6,5
3	1,0	5,2	0,5	2,9
4	8,0	15,3	4,4	8,5
5	62,8	75,2	34,8	41,9
6	13,0	19,8	7,3	11,0
7	0,5	3,4	0,3	1,9
8	0,7	3,4	0,4	1,9
9	3,5	9,9	2,0	5,5
10	0,9	5,2	0,5	2,9

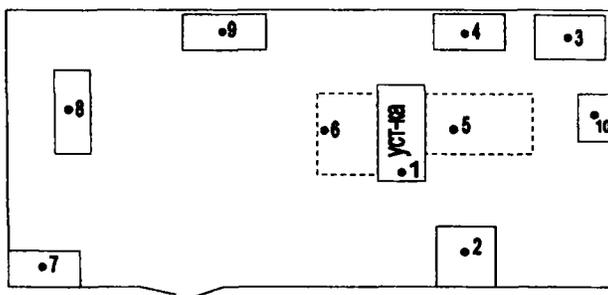


Рис. П1. Эскиз помещения установки «Макет»

Превышение экспериментальных результатов над расчетными объясняется наличием больших масс железа, что в расчетах не учтено.

Поскольку в течение смены производится примерно 200...300 разрядов с длительностью каждого 18 мс, следует полагать, что персонал в поле с такой напряженностью находится не более 6 с в смену. Таким образом,

следует полагать, что, несмотря на достаточно высокие уровни импульсных магнитных полей, образующихся при работе отражателя разряда «Макет», реальное воздействие на персонал не может вызывать опасений.

П2. Экспериментальный стенд для диагностики высокотемпературной плазмы «Рассвет-1»

Рабочее напряжение – 20 кВ, разрядный ток – 30 кА.

Экспериментальный стенд для диагностики высокотемпературной плазмы «Рассвет-1» по своему назначению представляет собой термоядерную установку. С целью измерения напряженности импульсного магнитного поля при работе установки использовался виток из проволоки толщиной около 1 мм, замкнутой через сопротивление $R = 1 \text{ Ом}$. Виток диаметром 100 мм помещался в место проведения измерений, в котором возможно пребывание персонала при работе установки. С помощью осциллографа измерялось напряжение на сопротивлении в момент осуществления разряда, которое связано с магнитным потоком следующим образом [2]:

$$U_{\max} = 10^{-8} \frac{d\Phi}{dt},$$

где $\Phi = B S$, $B \equiv H$ – напряженность магнитного поля; S – площадь витка.

Калибровка датчика проводилась в магнитном поле с рассчитанной напряженностью.

Определенное таким образом максимальное значение напряженности магнитного поля (в непосредственной близости к установке) составляет 10 Э. В местах наиболее вероятного пребывания персонала напряженность поля не превышает 1 Э.

П3. Сильноточный импульсный ускоритель релятивистских пучков «Агат»

Энергия ускоренных частиц – 0,28 МэВ, ток в импульсе – 3 кА.

Сильноточный ускоритель релятивистских пучков «Агат» является ускорителем прямого действия. Измерения напряженности импульсного магнитного поля при его работе проводились с помощью индукционного датчика (магнитного зонда), в состав которого входили катушка с числом витков, равным 280 и осциллограф. При этом измерялось индуцированное магнитным полем напряжение в катушке, по величине которого определялась напряженность магнитного поля (см. выше П1, П2).

Результаты измерений показали, что напряженность импульсного магнитного поля на магнитной катушке (соленоиде), являющейся составной частью ускорителя, при максимально возможном режиме ($U_{\max} = 5 \text{ кВ}$) составляет 18 кЭ, при рабочем режиме ($U_{\max} = 2 \text{ кВ}$) – от 3 до 4 кЭ. В местах постоянного и временного пребывания персонала (с внешней стороны

защиты, состоящей из свинца толщиной 5 мм и железа толщиной 1 мм) импульсное магнитное поле не зарегистрировано.

П4. Сильноточный импульсный ускоритель электронов прямого действия «Астра»

Энергия ускоренных электронов – 0,8 МэВ, ток в импульсе – до 20 кА.

Измерения напряженности импульсного магнитного поля при работе сильноточного ускорителя прямого действия «Астра» с помощью индукционного датчика (магнитного зонда) с катушкой и осциллографом (см. выше П1, П2). Результаты измерений показали, что напряженность импульсного магнитного поля внутри соленоида, являющегося составной частью ускорителя, при максимально возможном режиме ($U_{max} = 3$ кВ) составляет 11 кЭ, при рабочем режиме ($U_{max} = 1,5$ кВ) – до 3 кЭ. В местах постоянного и временного пребывания персонала (с внешней стороны защиты, состоящей из свинца толщиной 5 мм и железа толщиной 1 мм) импульсное магнитное поле не зарегистрировано.

П5. Сильноточный импульсный ускоритель электронов прямого действия «Темп-А»

Энергия ускоренных электронов – до 1 МэВ, ток в импульсе – до 20 кА.

Измерения напряженности импульсного магнитного поля при работе сильноточного ускорителя прямого действия «Темп-А» с помощью индукционного датчика (магнитного зонда) с катушкой и осциллографом (см. выше П1, П2).

Результаты измерений показали, что напряженность импульсного магнитного поля на расстоянии 0,5 м от соленоида составляет 17 Э, на расстоянии 1 м от соленоида – 1,2 Э, на расстоянии 2 м – 0,28 Э, на расстоянии 3,5 м – менее 0,2 Э. На постоянных рабочих местах, расположенных на расстоянии более 6 м от соленоида, магнитное поле также не зарегистрировано.

П6. Магнитная ловушка «Ураган-3М»

Магнитная ловушка (торсотрон) «Ураган-3М» является термоядерной установкой стеллараторного типа. Режим работы установки:

ток в соленоиде1 А;
напряженность магнитного поля в рабочем объеме2,0 кЭ;
частота1 импульс в
3...4 мин;
длительность импульса..... около 1 с.

Измерения напряженности импульсного магнитного поля на рабочих местах постоянного и временного пребывания персонала производились по описанной выше методике (см. выше П1, П2).

Результаты измерений следующие:

- верхняя часть торсатрона... .. до 50 Э
(в непосредственной близости);
- верхняя часть торсатрона, площадка на антресолях от 2 до 5 Э;
- поверхность торсатрона, высота от пола 1 м 1,8 Э;
- 3 м от поверхности торсатрона, 1 м от пола..... 1,5 Э;
- 5 м и более от поверхности торсатрона.. 0,5 Э.

Учитывая частоту и длительность импульсов, полученные значения следует уменьшить примерно в 180-240 раз, что свидетельствует о безопасном уровне импульсных магнитных полей при работе торсатрона «Ураган-3М».

П7. Электрофизическая установка для ускорения многозарядных ионов ИСП-1

Ускоритель многозарядных ионов ИСП-1 относится к классу ускорителей тяжелых заряженных частиц. Ускоряющее напряжение составляет 300 кВ, энергия многозарядных ионов – до 3 МэВ, ток в импульсе – 10 А, средний ток – 0,5 мкА.

Измерения напряженности импульсного магнитного поля на рабочих местах постоянного и временного пребывания персонала производились по описанной выше методике (см. выше П1, П2).

Получены следующие значения напряженности импульсного магнитного поля:

- на расстоянии 1 м от соленоида.....0,1 Э;
- на расстоянии 2 м от соленоида0,05 Э;
- на расстоянии 4 м от соленоида.....0,001 Э;
- на рабочих местах постоянного пребывания персонала.....0,05 Э.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о безопасном уровне воздействия импульсных магнитных полей на персонал при работе ускорителя многозарядных ионов ИСП-1.

П8. Индукционный ускоритель ионов «Индус-05»

Ионный индукционный ускоритель «Индус-05» относится к классу плазменно-пучковых ускорителей с напряжением до 300 кВ и током в импульсе до 5 А.

Измерения напряженности импульсного магнитного поля на рабочих местах постоянного и временного пребывания персонала производились по описанной выше методике (см. выше П1, П2).

Результаты измерений напряженности импульсного магнитного поля H в указанных на эскизе помещения (рис. П2) точках при работе ускорителя в максимальном ($U_{зар} = 3,3$ кВ) и рабочем ($U_{зар} = 1,65$ кВ) режимах приведены в табл. П2.

Наибольшие уровни напряженности импульсного магнитного поля, как и следовало ожидать, зарегистрированы в точках, лежащих на продольной

оси установки. На постоянных рабочих местах и местах наиболее вероятного нахождения персонала напряженность магнитного поля не превышает рекомендованного предельно допустимого уровня.

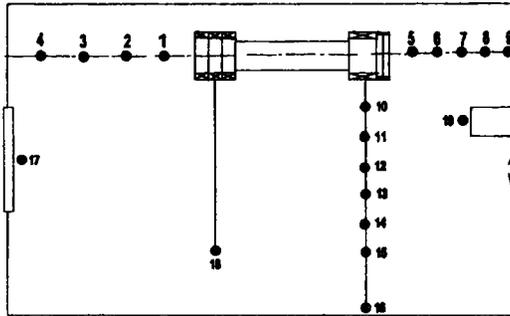


Рис П2. Эскиз помещения ускорителя «Индус»

Таблица П2

Результаты измерений напряженности импульсного магнитного поля на рабочих местах постоянного и временного пребывания персонала при работе ионного индукционного ускорителя «Индус-05»

Номер точек	Расстояние от соленоида, м	$H, \text{ Э}$	$H, \text{ Э}$
		$U_{зар} = 3,3 \text{ кВ}$	$U_{зар} = 1,65 \text{ кВ}$
1	0,5	69,5	34,8
2	1,0	6,6	3,3
3	1,5	2,5	1,7
4	2,0	0,16	0,08
5	0,5	66,6	33,1
6	1,0	8,3	4,1
7	0,3	2,5	1,2
8	2,0	1,2	0,6
9	2,5	0,7	0,33
10	0,7	2,3	1,2
11	1,0	2,2	1,1
12	1,5	1,9	0,7
13	2,0	0,7	0,3
14	2,5	0,4	0,2
15	3,0	0,3	0,2
16	6,0	0,06	0,03
17	3,5	0,16	0,08
18	3,0	0,16	0,08
19	1,75	1,5	0,75

П9. Экспериментальная установка для исследования взаимодействия высокочастотных полей с плазмой «Ёрш»

Установка для исследования взаимодействия высокочастотных полей с плазмой «Ёрш» относится к классу термоядерных установок с рабочим напряжением 5 кВ и током в импульсе 5 кА.

Измерения напряженности импульсного магнитного поля на рабочих местах постоянного и временного пребывания персонала производились по описанной выше методике (см. выше П1, П2): число витков в катушке 100, диаметр катушки 11 см, толщина проволоки 1 мм. Измеренные значения напряженности импульсного магнитного поля следующие:

в центре соленоида – 3 кЭ;

на расстоянии 10 см от поверхности соленоида (вдоль направления радиуса) – 100...200 Э;

на расстоянии 1 м от поверхности соленоида (вдоль направления радиуса) – 10...20 Э;

на расстоянии примерно 3 м от поверхности соленоида (под углом примерно 60° к направлению радиуса) – 1...3 Э;

на расстоянии примерно 5 м от поверхности соленоида (под углом около 75° к направлению радиуса) – 0,5 Э;

на расстоянии около 3 м от поверхности соленоида (примерно вдоль оси установки) – менее 0,1 Э.

Таким образом, на постоянных рабочих местах и местах наиболее вероятного нахождения персонала напряженность магнитного поля не превышает рекомендованного предельно допустимого уровня.

П10. Многощелевая электромагнитная плазменная ловушка «Юпитер-2М»

Многощелевая электромагнитная ловушка «Юпитер-2М» относится к классу термоядерных установок с энергией электронного пучка 5 кэВ, током пучка 2 А, рабочим напряжением 265 кВ и током 200 мА. Рабочий газ – водород, дейтерий.

Измерения напряженности импульсного магнитного поля на рабочих местах постоянного и временного пребывания персонала производились по описанной выше методике (см. выше П1, П2). Измерения проводились в двух взаимно перпендикулярных направлениях распространения поля: вдоль направления радиуса ловушки (L) и перпендикулярно радиусу (R). Расстояние от поверхности изменялось в пределах от 0 до 3 м, общее количество измерений – 24.

Полученные результаты представлены в виде графиков зависимости напряженности импульсного магнитного поля от расстояния (см. рис. П2). По оси абсцисс отложено расстояние от центра ловушки в метрах, по оси ординат – напряженность в эрстедах. На рис. П3 видно, что, на поверхности ловушки напряженность импульсного магнитного поля составляет 22...23 Э.

На расстоянии 1,6 м от центра (1,2 м от поверхности) в направлении R и 2,4 м от центра (1,4 м от поверхности) в направлении L напряженность магнитного поля снижается до 1, 2 Э. Следовательно, на постоянных рабочих местах и местах наиболее вероятного нахождения персонала напряженность магнитного поля не превышает рекомендованного предельно допустимого уровня.

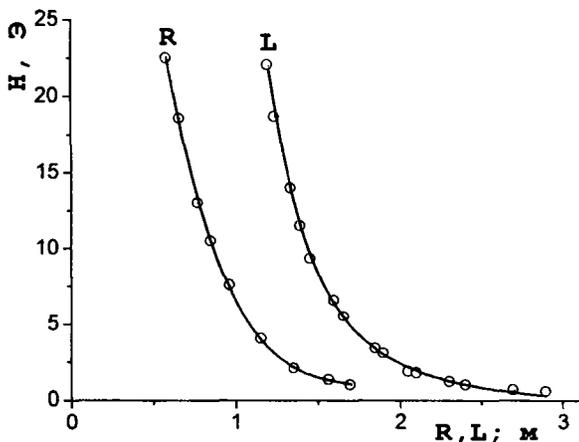


Рис. ПЗ Зависимость напряженности импульсного магнитного поля от расстояния до центра ловушки

Примечание. Измерения напряженности импульсных магнитных полей выполнены под руководством следующих специалистов, ответственных за эксплуатацию установок: А.И Скибенко («Макет»), В.Д. Коцубанова («Рассвет»), С.С. Пушкарева («Агат»), Н.П. Гадецкого («Астра»), Н.И. Гапоненко («Темп-А»), В.М. Залкина («Ураган-3М»), Б.И. Иванова (ИСП-1), В.А. Винокурова («Индус-05»), Л.И. Григорьевой («Ерш»), В.А. Маслова («Юпитер-2М»)

ЛИТЕРАТУРА

1. Регламентации работ в магнитных полях для персонала термоядерных установок и реакторов. Комплекс мероприятий по ограничению воздействия магнитных полей на персонал термоядерных установок. Отраслевые методические рекомендации. М., 1986
2. A. Piepara, Y. Maleski. Метод получения сильных магнитных полей короткой длительности//Acta Physic Polonica. 1956, №15, p. 381.

Михаил Васильевич Сосипатров, Александр Валентинович Мазилев,
Борис Николаевич Разукованный, Наталья Александровна Богонос,
Игорь Григорьевич Гончаров, Александр Григорьевич Гриво,
Валентина Яковлевна Никулина

РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ННЦ ХФТИ:
ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ответственный за выпуск Л.М. Ракивненко

Редактор, корректор Т.В. Ситнянская

Подписано в печать 24.03.06. Формат 60х84/16. Ризопечать. Усл.п.л. 4,4
Уч.-изд.л. 3,7. Тираж 100. Заказ №15.

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»
61108, г. Харьков, ул. Академическая, 1