**Безопасность электромагнитных полей**

Фомин Геннадий Васильевич, старший научный сотрудник ГНЦ РФ Институт биофизики

**Предисловие**

Настоящие рекомендации и требования разработаны ГНЦ РФ Институтом биофизики Главного управления по медико-биологическим и экстремальным проблемам Минздравмедпрома.

Научный руководитель - зам. директора Института, канд. техн.наук О.А.Кочетков, ответственный исполнитель - старший научный сотрудник Г.В.Фомин

**1.Введение**

Персонал ИТЭР может подвергаться воздействию различных видов неионизирующих излучений-электромагнитных полей (ЭМП):

-магнитного поля,постоянного и квазипостоянного, обусловленного токами плазмы и магнитных катушек,и импульсного,обусловленного колебаниями плазмы ;

-ВЧ-и СВЧ-излучений при утечках от оборудования для нагрева плазмы;

-лазерного излучения от оборудования для диагностики плазмы ;

-электрического и магнитного поля промышленной частоты от высоковольтного оборудования;

-циклотронного излучения (СВЧ-излучения с частотой выше 1ООГГц), возникающего из магнитотормозного излучения отдельных электронов.

1.1.Цель

Цель-разработка рекомендаций и требований по защите персонала при проектировании ИТЭР.В силу международного характера ИТЭР необходимо выявить и объединить все национальные критерии по электромагнитной безопасности.

1.2.Аннотация

Представлены данные по нормированию неионизирующих излучений в зависимости от двух концепций воздействия-энергетической и информационной. Особое внимание обращено на малоизвестную концепцию информационного воздействия, при котором определяющим параметром ЭМП является модуляция.

В виде отраслевых методических рекомендаций обоснована необходимость временной регламентации работ в квазипостоянных магнитных полях,необходимость экранирования ВЧ,СВЧ и лазерных излучений,необходимость возможной автоматизации и механизации работ в магнитных полях.

Даны нормы на ВЧ излучение в зависимости от частоты излучения,нормы на СВЧ излучения в величинах мощностей излучения,падающего на единицу площади,даны рекомендации по безопасносности лазеров.Сделан вывод о том,что нормирование в России более "жесткое",чем в других странах-участников проекта ИТЭР.

Ввиду практического отсутствия приборов по контролю магнитных полей,пригодных для измерения на плазменных установках, проанализированы и рекомендованы наиболее подходящие методы и средства контроля магнитных полей.Представлены данные по разработке и апробации прибора для индивидуального контроля постоянных магнитных полей. Даны рекомендации по инспекционному и индивидуальному контролю неионизирующих излучений.

Даны проектные требования к помещениям ИТЭР c учетом комбинированного воздействия ионизирующей и неионизирующей радиации.

**2.Критерии**

При действии ЭМП на биосистемы различают три уровня: первичные физико-химические,кибернетические и общие механизмы биологического действия ЭМП /21/.В основе первичных механизмов лежат физико-химические законы взаимодействия ЭМП с веществом:изменение траектории движущихся в МП заряженных частиц /например эритроцитов/;смещение или вращение анизотропных частиц,имеющих различную магнитную восприимчивость,изменения биогенного магнетита в клетках магниторецепторов, химическая поляризация электронов и ядер,приводящих к изменению кинетики радикальных химических реакций;расщепление квантовых уровней /эффект Зеемана/ и т.д.Однако следует отметить,что первичные физико-химические механизмы не могут ни предсказать,ни объяснить биологические эффекты.Это связано с тем,что между первичным взаимодействием ЭМП с элементами организма и биологическим эффектом имеется множество переходных звеньев,большинство которых неизвестны.Многие из этих промежуточных звеньев охвачены взаимопереплетающимися обратными связями.Поэтому для биологии и медицины гораздо более существенным является выяснение кибернетических механизмов действия ЭМП,которые сформулированы в виде змпирических обобщений /21/.Что касается общих механизмов действия ЭМП,то они,как и любые патофизиологические процессы,являются общими для всей медицины и не имеют "электромагнитной" специфики /1/.

В настоящее время большинство опубликованных работ касается энергетической концепции воздействия ЭМП,в которой биологические эффекты пропорциональны поглощенной энергии излучения,т.е. поглощенной дозе /12,13,17,21,38,44,45/.

Информационное воздействие характеризуется тем,что эффекты воздействия определяются модуляцией воздействующего фактора /ритмом воздействия/ и состоянием систем организма /4,5,6,7,10,16,40/.Малочисленность научных работ по информационному воздействию подчеркивает их научную новизну,однако теоретически возможно,что энергетическое воздействие будет частным случаем информационного,т.к. существует не только частотная,но и амплитудная модуляция /6/.Термин модуляция специалистами понимается по-разному.По определению из Большой советской энциклопедии /1974/: модуляция колебаний - это медленное по сравнению с периодом колебаний изменение амплитуды,частоты или фазы колебаний по определенному закону К.Шеннон /37/ понимал модуляцию "как отображение пространства сигнала в пространство сообщения".Радиоинженеры понимают модуляцию как изменяющийся по определенному закону частотный спектр т.е. ритм сигнала /13/.Для нашего случая полезно последнее понимание,т.к. амплитудная,кодово-импульсная и фазовая модуляция по преобразованию Фурье непосредственно связаны с частотной модуляцией.По существу процесс измерения (детектирования),в том числе и в дозиметрии,тоже основан на процессе модуляции или демодуляции.

Уже с тех пор,как СВЧ-техника получила широкое распространение стало известно,что волны СВЧ большой мощности могут вызвать у человека развитие ожога или теплового удара.Позже были получены результаты исследований,доказывающие наличие неблагоприятных эффектов при действии ЭМП более низкой частоты и интенсивности,в частности таких эффектов,как изменение скорости химических реакций /39/, нарушение иммунной системы,нарушения в составе белой крови /4, 27,31/,повреждение хромосом,развитие раковых опухолей /12/ и т.д. Действующее в настоящее время нормирование,как правило,ограничивает величины,пропорциональные энергии ЭМП.Например,для СВЧ -излучения Американским Национальным Институтом Стандартов принята величина интенсивности поглощенной энергии О,4Вт/кг /44/. Только в редких случаях учитываются другие биотропные параметры ЭМП:длительность воздействия,характер импульсов,градиент и направленность поля /17,21,46/. Интерес к информационным процессам для биологических систем появился совсем недавно,по сравнению с задачами о передаче энергии.Объяснить это можно тем,что основополагающие работы Шеннона по теории информации и Винера по кибернетике вышли только 40 лет назад.Уже тогда было установлено,что система передачи информации состоит из передатчика,канала передачи /подверженного шуму/ и приемника.Основными факторами для передачи информации через канал являются природа сигнала,затухание,шум,конфигурация приемника и передатчика,модуляция /ширина частотной полосы/, скорость передачи информации в канале.Работы по информационному воздействию ЭМП на организм следует разделить на три типа:

-передача информации от источника излучения к живой системе /перенос информации электромагнитным полем/

-передача информации в живой системе

-изменение информации или энтропии системы при воздействии ЭМП.

Впервые электромагнитный канал связи изучался с физической точки зрения в работах Габора /43/,подчеркнувшим,что теория информации должна рассматриваться не как математическая дисциплина,а как ветвь физики.Но лишь в классической работе Бриллюэна /14/ был сформулирован в общем виде негэнтропийный принцип информации и установлена глубокая связь между физической энтропией и информацией.С точки зрения этого принципа всякая информация представляется некоторым состоянием физической (биологической) системы и связана с отклонением ее от термодинамического равновесия или от состояния с равными вероятностями /4/.В дальнейшем /14/ были использованы квантомеханические соображения для рассмотрения канала передачи информации,образуемого передатчиком,излучающим электромагнитный сигнал со средней мощностью Рср и приемником, на который воздействует сигнал и аддитивный шум /тепловое излучение/ с мощностью Рш.В результате для максимальной скорости передачи информации " С " была физически обоснована известная формула Шеннона:

C = Df·log2( 1 + Pср/ Pш) (1)

где Df -ширина частотной полосы,в которой сосредоточена мощность cигнала /т.е. где промодулирован сигнал/.По сути Df -величина модуляции.Данная формула верна для ЭМП с частотой до порядка 10в10 Гц.Для рентгеновского и гамма-излучений в работе /14/ определены другие выражения.

Возможно,что первой работой по применению теории информации в биологических жидких системах была работа Ямомото /47/, затем последовала работа Баглайрелло /48/.В этих работах рассматриваются два основных вида каналов передачи информации: нервная система и гуморальная система /в частности система крови/. Хотя нейрон,как и любая клетка-это жидкая система и в некоторых нейронах обнаружены магниторецепторы,более наглядны представления по гуморальному каналу,в котором соответствие между потоком вещества и передачей сигналов более тесное. Гуморальный канал может передавать сигнал химическим путем в виде гормонов,растворенных газов (СО2,О2,N2),физическим путем(температура,давление) или посредством прямо передаваемых объектов (зритроциты,лейкоциты и т.д.) /48,49/.

Модуляция имеет первостепенное значение для передачи информации.Именно она приводит сигнал в соотношение с характеристиками среды,иначе сигнал не будет пригоден для передачи.Это выполняется за счет наложения сигнала на волну носителя.так широко известно,что рот двигается с низкой частотой /менее 1ОГц/,а для передачи сигнала на большое расстояние по воздуху сигнал модулируется посредством голосовых связок,генерирующих высокую частоту.Точно также предкапиллярные сфинкторы могут рассматриваться как модуляторы потока эритроцитов и лейкоцитов.Сердце тоже модулирует сигналы,а дыхание модулирует обонятельные сигналы,сигналы легочных газов и даже ритм сердечных сокращений /2/. Для оценки максимальной скорости передачи информации в гуморальном канале /48,49/ также используется известная формула Шеннона.При помощи этой формулы были получены оценки по скорости передачи информации в артериях,капиллярах,в нервной системе.В среднем она составляет около 1ООбит/с.

Концепция информационного воздействия ЭМП /4,5,6,7,10,16,24,49/ была впервые выдвинута Пресманом /24/ и формировалась в 6О-х годах,когда ряд экспериментов не могли объяснить при помощи концепции энергетического воздействия ЭМП.В современном виде информационная концепция представляется следующим образом.Неспецифическое влияние ЭМП на живой организм реализуется путем развития различных неспецифических реакций организма:стресса,тренировки,активации и соответствующих им состояний ареактивности /2,4,10,30/.Анализ структуры процессов гомеостаза при стрессе показывает,что в живой системе возникает ряд нескоординированных процессов,которые идут вразнобой и могут конкурировать. Уровень самоорганизации различных сервисных подсистем при этом резко падает и их состояние становится более неопределенным.Это сопровождается резким увеличением информационной энтропии,как функции выравнивания вероятностей систем.Причем часто наблюдаются флуктуации энтропии,т.е. система,минуя состояние нормы впадает в состояние с минимальной энтропией,затем в максимальное и т.д.,то есть возникают колебания.Одновременно может уменьшится объем информационного взаимодействия с окружающей средой,т.е. система на определенном этапе все больше приобретает свойство замкнутой.Это в свою очередь,согласно второму закону термодинамики в отношении к биологическим системам /50/,приводит к еще большему увеличению энтропии,а такие резкому падению резистентности,что в конечном счете приводит к болезням (чаще всего сердечно-сосудистым /30/),и может привести к полной деградации системы,к смерти /4/.В то же время состояния с высокой резистентностью -реакции тренировки и активации характеризуются более высокой упорядоченностью,причем вдали от положения равновесия.Условием снижения упорядоченности системы и возникновения стресса является информационная замкнутость процессов гомеостаза и флуктуации под действием ЭМП.Вывод из стресса должен предусматривать обогащение информационного потока,иными словами должно быть увеличено разнообразие типов воздействий,их модуляций. В этом,вероятно,состоит лечебное действие ЭМП.Однако при большой интенсивности информационного потока,т.е. при большой скорости передачи информации,возникают флуктуации,приводящие от нормальных состояний к стрессу /4/.Изменение энтропии систем организма обычно составляет несколько бит /29/.Необходимо еще учесть количество информации,переносимой ЭМП из организма человека,т.к. системы организма обладают своими электрическими и магнитными полями,в настоящее время получившие диагностическое значение /21/.

В чем преимущества концепции информационного воздействия?

Только с помощью этой концепции можно объяснить экспериментальные факты /5,6,/ по зависимости биологических эффектов от изменений частоты ЭМП;только с помощью этой концепции можно объяснить и спланировать дальнейшие эксперименты по вызову устойчивых стрессовых и патологических состояний животных со смертельным исходом.Концепция энергетического воздействия ЭМП показала свою частичную несостоятельность - например в том,что при кратковременном воздействии сверхсильных /около 1 Тл/ магнитных полей изменение состояния организма незначительное /21/.В качестве примера полезно также рассмотреть воздействие ЭМП миллиметрового диапазона волн из работы /5/,где представлены зависимости эффекта воздействия ЭМП на кроветворную систему опытных животных /мышей и крыс/. В этой работе можно проследить малую зависимость эффекта воздействия от мощности облучения миллиметровыми волнами, показана острорезонансная зависимость биологического эффекта от отношения ширины частотной полосы воздействия к частоте Df/f .В работе /13/ показано,что для импульсных излучений биологический эффект пропорционален величине Df/T,где T-период повторения импульсов (период модуляции).

Наличие двух концепций воздействия ЭМП приводит к выводу о том, что на ИТЭР необходимо контролировать частотные и энергетические параметры воздействующих излучений,а также оценивать изменения состояния здоровья работающих на основе донозологической гигиенической диагностики /22/.Необходимо связать информационные параметры ЭМП с изменением состояния здоровья.Методические рекомендации /10,16/ по оценке состояний организма на основе адаптационных реакций не учитывают того,что изменения показателей состояния здоровья работающих возникают при хроническом воздействии ЭМП через 2-3 года /17/.Поэтому методика /16/ была дополнена ретроспективной и прогностической оценкой на основе знтропийного метода /29/, и связано изменение энтропии систем организма /в частности системы белой крови/ с количеством информации,переносимой ЭМП /14/.Такая модель отрабатывалась методически /8,9,22,32/, и в основу заложено то,что эффект воздействия и само воздействие измеряется в одних и тех же величинах энтропии или количества информации (т.е. в битах).

Особенностью ИТЭР является комбинированное действие ионизирующих и неионизирующих излучений на персонал /и население/.Следует отметить,что имеющиеся в литературе данные о комбинированном /в частности синергитическом/ действии излучений не отвечает запросам практики.Результаты экспериментальных исследований часто не сравнимы и не равнозначны /поскольку не всегда соблюдаются и учитываются порядок действия разных факторов/,уровни воздействия очень велики и не соответствуют производственным и бытовым условиям.Т.е. большинство экспериментальных исследований поставлены в плане концепции энергетического воздействия,а это значит,что для достижения эффекта, обычно связанного с развитием лучевой болезни,авторы стремятся использовать "сверхсильные" дозы и "сверхсильные" электромагнитные излучения,которые редки в практике.При комбинированном синергетическом воздействии различные концепции такие,как предельно допустимые пороговые значения отдельных факторов,стали более неприемлемы.Например,два фактора,имеющие значения значительно менее своих ПДУ,вместе могут приводить к последней стадии стресса и болезням /16,46/.

Таким образом,развитие такой новой технологии,как термоядерная энергетика,приводит к появлению новых подходов в системе /технике/ безопасности,в частности к разработке новых методик и технических средств контроля.Изучение восприимчивости человека к магнитным полям (есть эксперименты"где человек чувствует поле в 1ОООО раз меньше геомагнитного /3/) может только усилить этот процесс.

В табл.1 и на рис.1 (см. приложение N1) представлены расчетные данные для индукции ПМП в помещениях ИТЭР /41 / и ИНТОР /42/.

Из гл.1 и рис.1 следует, что но всем реакторном зале и в прилегающих помещениях уровень ПМП превышает 10 мТл и магнитное поле обладает большим градиентом, максимально около 1 Тл/м, что существенно затруднит индивидуальный и инспекционный контроль ПМП на ИТЭР.

При использовании сверхпроводящих магнитных систем магнитное поле будет существовать и в перерывах между импульсами, т.е. практически постоянно. Поэтому при проведении определенных работ на не исключается кратковременное периодическое пребывание персонала в местах, где индукция ПМП выше 10 мТл, что обуславливает необходимость индивидуального контроля МП и определение зональности помещений ИТЭР.

С точки зрения физики и техники для получения термоядерных температур в системах с магнитным удержанием наиболее эффективным является метод нагрева плазмы энергией ЭМП радиочастотного диапазона. В горячей магнитоактивной плазме существует много механизмов поглощения энергии ЭМП, определяемых диэлектрическими свойствами плазмы. Есть несколько частотных диапазонов, в которых возможен нагрев плазмы. Каждый метод нагрева обеспечивает передачу энергии определенному типу заряженных частиц: ионам и (или) электронам. Кроме нагрева плазмы электромагнитные волны могут быть использованы и для других целей, в частности, для получения первоначального пробоя (предионизации), создания стационарного тока, контроля профилей температуры или тока, для уменьшения уровня примесей и т.д. В настоящее время выделяют три основных частотных диапазона (рис. ), в которых показано, что взаимодействие волн с плазмой может быть достаточно сильным: ионно-циклотронный (ИЦ), нижнегибридный и электронно-циклотронный (ЭЦ). Достоинства ВЧ-, СВЧ-систем нагрева плазмы связаны с тем, что ВЧ-антенны могут быть термоизолированы от плазмы, а источники ВЧ-энергии можно расположить за защитными экранами, исключив возможность попадания на них прямого нейтронного излучения. Это обеспечивает удобство обслуживания н эксплуатационных системах, но увеличивает возможность воздействия ЭМП на персонал. Конструкция излучателя электромагнитных волн в плазму зависит от частотного диапазона, типа возбуждаемой плазменной волны и ряда параметров плазмы. Для ИЦ диапазона, вследствии достаточно низкой частоты, излучателями являются индуктивные петли, хотя и возможно применение волноводных излучателей. Для ИЦ диапазона промышленность выпускает мощные вакуумные триоды и тетроды, на этих лампах собираются усилители. Для НГ-диапазона существуют клистроны, гироконы и т.д.Для ЭЦ-диапазона используются новые классы мощных генераторов миллиметрового диапазона волн, в частности, гиротронов /3/, которые дополнительно являются источниками сильного ПМП (индукцией до 1 Тл).

Необходимым оборудованием для диагностики плазмы является лазер. С позиции безопасности лазеры классифицируются по способности первичного или вторичного (отраженного) излучения вызывать биологически значимые повреждения,в первую очередь глаз и кожи. При комбинированном воздействии вредные факторы подразделяют на два типа. К первому типу относятся факторы воздействующие в основном на весь организм (ЭМП, ионизирующее излучение, вибрация, микроклимат). Ко второму типу относят факторы, воздействующие в основном на отдельные органы (лазерное излучение, аэрозоли, химические вещества, шум). Однако разграничение этих типов может быть нечетким, например, аэрозоли с бериллием,содержащий тритий, с тритидами металлов, миллиметровые волны (СВЧ-излучение).Лазерное излучение можно отнести как к первому, так. и ко второму типу, т.к. под воздействием этих излучений может происходить нарушение жизнедеятельности как отдельных органов,так и организма в целом. Однако с позиции опасности лазерного излучения в качестве тканей, которые непосредственно поглощают излучения, рассматривают только глаза и кожу. Поэтому ПДУ лазерного излучения определены именно для этих тканей при учете только тепловой (энергетической) концепции воздействия, хотя известен ряд экспериментальных результатов, которые не вписываются в рамки этой энергетической модели.

**3.Предельно допустимые уровни**

ПДУ при работе с постоянными магнитами,согласно /26/ составляет 100Гс (10мТл).Однако при разработке этого ПДУ не учитывались работы с крупными магнитами,т.к. ПДУ был разработан для условий производства небольших,локальных магнитов /17/.

Результаты выполненных физико-гигиенических исследований были использованы для обоснования рекомендаций по временной регламентации работ в магнитных полях для персонала ИТЭР /19,20/.В соответствии с этими отраслевыми методическими рекомендациями временная регламентация работ в ПМП для одного человека в смену составляет (табл.2):

Таблица 2

B,мТл 10 20 30 50 60 90 100 >100

t,ч 6.0 3.0 2.0 1.2 1.0 0.6 0.2 0

B,мТл-индукция постоянного (квазипостоянного) магнитного поля;

t,час-время воздействия в течение рабочего дня.

Обоснованность отраслевых рекомендаций подтверждают биологические эксперименты и последующее нормирование, проведенные для Министерства обороны СССР /15/ (данные табл.3).

Таблица 3

В,мТл 0.625 6.25 15 25

t,ч 24 8 2 1

B·t,мТл·ч 15 50 30 25

Для сравнения приведем рекомендации Министерства Энергетики США /38,45/ по ПМП (табл.4 ).

Таблица 4

Рекомендуемые США максимальные времена воздействия для индукции "В" по постоянным магнитным полям

Тип воздействия Для 8 часов Для 1 часа и меньше Для 10 минут и меньше

На все тело 10мТл 100 мТл 500 мТл

На руки и кисти рук 100мТл 1000мТл 2000мТл

Несколько измененные (более "смягченные") рекомендации США по ПМП /41/ представлены в табл.5.

Таблица 5

Whole body (mT) Extremities (mT) Exposure time

20 (60) 200mT work day

200 2000mT minutes per day

Из данных табл.2,3,4 и 5 следует, что рекомендации в США менее "жесткие", чем принятые в России. Это объясняется тем, что подход к нормированию ЭМП в США основан на "чисто" энергетической концепции воздействия /38/. В то время,как в России не допускается работа в полях с индукцией ПМП более 100мТл.Подобная закономерность наблюдается по всем нормам для ЭМП.

Рекомендации Международного Комитета по неионизирующей радиации (МКНР) /44/ для профессионалов по работам и ВЧ- и СВЧ- излучениях представлены в табл. 6.

Таблица 6

Стандарт и ПДУ в России (и в бывших странах СЭВ) для воздействия ВЧ-излучения представлены в табл. 7 и 8.

Таблица 7

Российское ПДУ воздействия ВЧ-излучений из стандарта /28/

При сравнении данных табл.6 и табл.7,8 еще раз подтверждается вывод о более "жестких" нормах в России. Во всяком случае нормирование в Росии более прогрессивное, т.к. учитывает временную регламентацию,

В отличие от ПМП, ВЧ-излучение хорошо экранируется, поэтому основной рекомендацией в этом случае является экранирование пультового помещения, устранение щелей, сокращение времени пребывания персонала в местах, где поля превышают допустимый уровень.

Представляет интерес изучение условий труда персонала, использующего терминалы ЭВМ и телевизоры, которые широко применяются в термоядерных исследованиях. Известно, что терминалы и телевизоры являются также источниками рентгеновского и ультрафиолетового излучений. Уровни рентгеновского излучения на расстоянии 5 см от поверхности дисплеев максимально достигают 0,5 мР/ч, а в среднем составляют О,04-0,05 мР/ч /36/. Однако наличие рентгеновского излучения налагает более жесткое ограничение на ВЧ и СВЧ-излучение.Согласно исследованиям, проведенным Ленинградским Институтом радиационной гигиены и Институтом гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР, было принято изменение N1 ГОСТ 12.1.006-76 (Постановление Б 2476 от 20.05.81). При этом допустимая плотность потока энергии ВЧ-излучения снижается в 10 раз при наличии рентгеновского излучения или высокой температуры, т.е. не должна превышать 1 Вт/м (0,1 мВт/см2 ). Тогда, в соответствии с новым ГОСТом /28/ требуется снижение величины энергетических параметров в 10 раз, что в свою очередь снизит ПДУ по Е и Н в 10 раз. Поэтому к вопросу о безопасности персонала, использующего персональные ЭВМ и телевизоры необходимо также подходить с точки зрения комбинированного воздействия факторов ионизирующей и неионизирующей радиации. Необходимо учесть также, что персонал в быту может попадать под воздействием ЭМП от телевизоров, компьютеров, средств связи и информации и т.д., после работы (в быту) воздействие ЭМП на персонал продолжается. Измерения /36/ показали, что спектр ВЧ-излучения у терминалов почти сплошной в диапазоне от 1 кГц до 2ОО МГц. Из ГОСТ /28/ следует, что ПДУ для профессионалов на этот диапазон частот по электрической составляющей будет около 10 В/м.

В целях предотвращения развития утомления и создания оптимальных условий труда операторов в ГНЦ РФ Институте биофизики был предложен комплекс организационно-технических, санитарно-гигиенических и эргономических требований /36/, которые являются существенным дополнением к методическим рекомендациям /19/.

В соответствии с ГОСТ 12.1.06-76 Электромагнитные поля радиочастот.Допустимые уровни и требования к контролю для СВЧ-излучения нормативная величина энергетической нагрузки :

ЭНПДУ=2Втч/м2 (200мкВтч/см2) для всех случаев облучения,исключая облучение от вращающихся и сканирующих антен.

Максимальное значение плотности потока энергии ППЭПДУ для СВЧ-излучения не должно превышать 10Вт/м2 или 1мВт/см2,что примерно в 5 раз меньше величины,указанной в табл.6 для данного диапазона частот. Однако в соответствии с дополнением N1 указанного ГОСТа 12.1.06-76 при наличии рентгеновского излучения или высокой температуры воздуха в рабочих помещениях (выше 280С) ППЭПДУ не должна превышать 1Вт/м2 (100мкВт/см2), что еще более ужесточает нормы для ЭМП в России по сравнению с рекомендациями МКНР.

Необходимо также учесть возможность воздействия на персонал СВЧ-излучения плазмы (циклотронное излучение) с длиной волны около 1 мм и частотой 1ООО ГГц.Это излучение может выйти из щелей в торе,в диагностическом оборудовании.

Для питания ИТЭР необходимы значительные электрические мощности (около десятков МВт).Такие мощности обуславливают наличие интенсивных электрических и магнитных полей промышленных частот 50 Гц). В настоящее время указанные ЭМП присущи и оборудованию на АЭС, что было показано в /35/. Поэтому при эксплуатации будущих термоядерных электростанций уровни ЭМП могут еще возрасти и воздействие ЭМП промышленных частот необходимо учесть.

ПДУ на электрическое поле 50Гц представлены в ГОСТ 12.1.002-84 "Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах".В частности ПДУ напряженности воздействия электрического поля 50Гц устанавливается равным 25кВ/м и допустимое время пребывания с напряженностью свыше 5 до 20кВ/м включительно вычисляется по формуле:

Т=-2+50/Е

где Т-допустимое время пребывания,ч

Е-напряженность воздействующего электрического поля,кВ/м.

Причем уже в настоящее время среди персонала АЭС (например, обслуживающего открытые распределительные устройства энергоустановок или электросварочное оборудование) можно выделить группы, попадающие под преимущественное воздействие магнитных полей (МП) промышленных частот (50Гц). При этом следует руководствоваться российскими (советскими) регламентирующими документами /33,34/,для которых нет аналогов за рубежом.

Принятые ПДУ на лазерное излучение изложены в санитарных нормах и правилах устройства и эксплуатации лазеров /25/ и в отраслевом стандарте "Требования безопасности при работе с лазерами" ОСТ 95 10069-84. По степени опасности лазеры подразделяются на следующие классы: О - безопасные, 1 - малоопасные, 2 - средней опасности, 3 - опасные, 4 - высокой опасности. Класс лазера определяют в зависимости от измеренной или расчетной мощности излучения на рабочих местах по таблицам санитарных правил.ПДУ также определяются из специальных таблиц в зависимости от режима работы лазера (импульсный, непрерывный), времени работы с лазером, мощности лазера, от длины волны излучения и вида излучения (прямое, зеркальное отраженное,диффузионно-рассеянное). ПДУ для лазерного излучения лазера определенного класса не "жестко" фиксировано.Его можно заменить путем уменьшения времени работы или перевода лазера из одного класса в другой.

**4.Проектные требования по безопасности**

**4.1..Требования к помещениям ИТЭР**

**4.1.1.Зональность**

В соотвествии с регламентацией работ в постоянных магнитных полях (табл.2) помещения ИТЭР можно разделить на:

1)помещения постоянного пребывания персонала в магнитных полях -где B<10мТл

2)помещения ограниченного (временного) пребывания персонала-где 10<B

3)необслуживаемые помещения-где В>100мТл.

4.1.2. В дополнении к требованиям "Санитарных правил для атомных электростанций" (СП АС-89) расчет толщины защиты для ИТЭР предлагается проводить исходя не только из мощности эквивалентной дозы Р, а также из значений индукции магнитного поля В,напряженности электрического поля Е,магнитного поля Н и плотности СВЧ излучения I,приведенных в табл.10.

До сдачи ИТЭР в эксплуатацию должна быть проверена эффективность биологической защиты и качество ее монтажа.Если при этом выявятся места с превышением Р,В, и I над проектными значениями,то обнаруженные дефекты должны быть устранены до ввода ИТЭР в эксплуатацию (см. замечание \*).

Если при сдачи ИТЭР в эксплуатацию выяснятся места с превышением Р,В,Е,Н,I над проектными значениями, обусловленными непредвиденными неоднородностями в защите или конструкционными и монтажными недостатками, то обнаруженные дефекты должны быть устранены до ввода ИТЭР в эксплуатацию.

\*Замечание. Необходимо учесть,что экранизация постоянного магнитного поля может вызвать нежелательные искажения поля внутри тора.Поэтому основным защитным мероприятием в этом случае является автоматизация и механизация работ.

**5.Мониторинг и контроль**

5.1.Виды контроля. Рекомендован медицинский контроль, а также технический (приборный): индивидуальный, инспекционный и (в некоторых случаях) постоянный контроль магнитных полей и инспекционный контроль ВЧ, СВЧ и лазерных излучений.

В виде отраслевых рекомендаций /19/ было разработано техническое задание на приборы инспекционного контроля ЭМП,которые должны обеспечить измерение следующих параметров:

1.Квазипостоянное магнитное поле.Диапазон индукции О,О1мТл-10Тл, длительность импульса О,1с-10с и более.

2.Импульсное магнитное поле.Диапазон индукции О,01-10Тл, длительность импульса 1нс-0,1с.

3.Импульсное высокочастотное излучение и сверхвысокочастотное излучение /пачки импульсов ВЧ- и СВЧ-излучений/.Длительность импульса от 1мкс до 1Ос,диапазон частот:

а) 60кГц-300МГц.Диапазон напряженности магнитного поля "Н" от 0,1А/м до 1ООкА/м,диапазон напряженности электрического поля "Е" от 1В/м до 1ОКВ/м

б) 300МГц-1000ГГц.Диапазон плотности потока энергии "I" от 10мкВт/см до 1000мвт/cм2

Наличие на ИТЭР резкого градиента ПМП обуславливает необходимость индивидуального контроля.В работе /19/ рекомендовалось создание системы индивидуального контроля постоянного магнитного поля по типу индивидуальной дозиметрии ионизирующей радиации.В ГНЦ РФ Институте биофизики совместно с РНЦ Курчатовский институт был разработан индивидуальный дозиметр магнитного поля /36/.

В данном приборе сигнал с магниторезистивного датчика преобразуется в частотный,а затем интегрируется пересчетным устройством.Т.е. сначала сигнал модулируется (на высокую частоту прибора накладывается низкая частота сигнала),а затем частотная модуляция преобразуется в амплитудно-импульсную.Для частотного преобразователя и пересчетного устройства были использованы интегральные схемы.Прибор был успешно апробирован на действующих термоядерных установках РНЦ Курчатовский институт /36/.

Была рассмотрена аналогия магнитного дозиметра с дозиметрами ионизирующего излучения,величины В с величиной мощности дозы ионизирующего излучения.На основе этой аналогии был предложен принцип индивидуального комбинированного дозиметра ионизирующих и неионизирующих излучений на основе одной измерительной части и разных датчиков.Возможно такой универсальный прибор будет легче создать на основе уже имеющихся разработок приборов,регистрирующих мощность дозы и дозу ионизирующего излучения.

Принцип измерения модуляции рекомендовано использовать в дозиметрах неионизирующих излучений.Существуют приборы,измеряющие модуляцию сигналов при любых видах модуляции.

Для большего учета концепции информационного воздействия ЭМП было дополнительно предложено измерять величину модуляции Df за период пульсаций.Предполагается,что или работающий совершает однотипные движения в постоянном МП или воздействует импульсное МП с определенным периодом между импульсами.

Разработку приборов для инспекционного контроля МП,ВЧ и СВЧ-излучения необходимо ускорить, а в качестве временной меры /19/ были разработаны устройства,в частности на основе и преобразования сигнала для визуализации на запоминающем осциллографе.Были использованы приборы типа KG-600 (Япония) с погрешностью 2%,типа НФ1М-1,FSM(Германия) с погрешностями 10%,типа Ф4355 (Россия),Ф4356 (Россия) и запоминающие осциллографы типа С8-15,С8-20,лазерное излучение измерялось с помощью прибора типа ИЛД-2 (Россия).

**5.2.Медицинский контроль**

При проектировании ИТЭР необходимо разработать систему медицинского мониторинга,проект котрой должен являться составной частью проекта ИТЭР.Эта система должна включать:

-контроль заболеваемости персонала и населения;

-установление зависимости уровней воздействия факторов и состояния здоровья персонала и населения;

-проведение оздоровительных мероприятий.

При хроническом воздействии МП,ВЧ- и СВЧ-излучений на персонал спустя 2-3 года после начала работы в состоянии здоровья работающих могут обнаружиться нарушения.Наиболее часто развиваются нарушения со стороны нервной,сердечно-сосудистой систем,внешнего дыхания,пищеварительного аппарата,некоторых биохимических показателей крови и мочи,а также морфологического состава периферической крови и РОЭ.При хроническом воздействии ЭМП около 10 лет стрессовые состояния могут перейти в патологию.

При периферических вазовегетативных нарушениях наиболее постоянно наблюдается гиперемия кожных покровов. СВЧ-излучение при больших интенсивностях вызывает ожог.

5.3.Сеть точек контроля. Сеть точек определяют диапазоны изменения ЭМП, для которых разработаны временные регламентации работ; для магнитного поля от 10 мТл до 1ОО мТл через 10 мТл, для ВЧ излучения от 1 А/м до 50 А/м через 5 А/м, от 30 В/м до 600 В/м через 50 В/м, для СВЧ-излучения от 5 мВт/см2 до 1ОО мВт/см2 , лазерное излучение от 10-6 Вт/см2 до 10-3 Вт/см2.

5.4. Периодичность контроля. Инспекционный контроль ЭМП необходимо осуществлять каждую смену и при изменении режима работы установок. Индивидуальный контроль МП следует проводить каждую смену для лиц, контактирующих с МП.

**Список литературы**

1.Автандилов Г.Г. Введение в количественную патологическую морфологию.-М, Медицина,1980,с 104-112.

2.Баевский Р.М.,Гуров С.Г. Измерьте ваше здоровье.М,Сов.Россия,1988, с 49.

3.Биогенный магнетит и магниторецепция.М,1989,т 2,с 340-382.

4.Гаркави Л.Х.,Квакина Е.Б.,Лупичев Л.Н. Роль адаптационных реакций в самоорганизации живых систем с позиции термодинамики неравновесных процессов. Сб."Механизмы биол.действ.электромагн.излучений",-Пущино,1987,с 74-75.

5.Голант М.Б. Об использовании амплитудной модуляции для повышения эффективности работы аппаратуры,применяемой для информационных воздействий электромагнитных колебаний на живые системы.Ж. "Электронная техника.Сер. Электроника СВЧ",1982,N8,с 6-7.

6.Девятков Н.Д.,Голант М.Б. Особенности частотно-зависимых биологических эффектов при воздействии электромагнитных излучений.Ж.-"Электр.техника.Сер. Электр.СВЧ". 1982,N12, с 46-50.

7.Девятков Н.Д.,Голант М.Б. Радиофизические аспекты использования в медицине энергетических и информационных воздействий электромагнитных колебаний.Ж."Электр.техн.Сер.Электр.СВЧ",1981,9,с 43-50.

8.Егорова М.С.,Малинина В.И.,Пархоменко Г.М.,Фомин Г.В. К вопросу о комбинированном действии ионизирующих и неионизирующих излучений на термоядерных установках.Сб.Методолог.аспекты гигиен.исслед. сочет.и комбин. воздействий.М,1986, с 152-158.

9.Методика энтропийной оценки воздействия магнитных полей на персонал по лейкоцитарным формулам крови.- ИБФ МВ СССР.Инв.Б-4587,М,1985,11 с.

10.Квакина Е.Б.,Гаркави Л.Х.,Уколова М.А. Управление состоянием организма на основе адаптационных реакций.Ж."Вопросы мед.электроники".Таганрог,1984,N5,с 46-51.

11.Фомин Г.В.,Смирнова Н.С.,Мартынюк Ю.Н. Расчет относительной энтропии лейкоцитарной формулы,как методика оценки преднозологических состояний персонала.Всес.конф."Проблемы донозологической гигиенической диагностики",Л,1989, с 235-236.

12.Кеннет Р.,Гай А. Биологическое влияние МКВ-излучения.-В мире науки.1986, 11, с 4-13.

13.Крылов В.А.,Югенкова Т.В. Защита от электромагнитных излучений.М,Сов. Радио,1972, с 6.

14.Лебедев Д.С.,Левитин Л.В. Перенос информации электромагнитным полем. Сб."Теория передачи информации."М,1964, с 5-20.

15.Магнитное поле.Сб.научных работ воен.мед.фак.при Куйбыш.мед.институте. Вып.15,1987,с 169-170.

16.Методические рекомендации "Повышение сопротивляемости организма с помощью адаптацианных реакций тренировки и активации на разных уровнях реактивности организма.Активационная терапия."-Ростов-на-Дону,1985, 14 с.

17.Методические рекомендации "Гигиена труда и профилактика неблагоприятного действия магнитных полей на работающих".М,1973,24c.

18.Методические рекомендации "Оздоровление труда пользователей ЭВМ, работающих с дисплеями на информационно-вычислительных центрах.МЗ УССР, Киев,1986, с 24.

19.Отраслевые методические рекомендации "Регламентации работ в магнитных полях для персонала термоядерных установок и реакторов" Утв.нач. 3ГУ при МЗ СССР,М,1986.

20.Пархоменко Г.М.,Кочетков О.А.,Фомин Г.В. Проблема гигиены труда в термоядерной энергетике. Ж. "Гигиена труда и профзаболевания"1988,N2,с1-4.

21.Плеханов Г.Ф. Три уровня механизмов биологического действия низкочастотных ЭМП.Сб."Биол.мех.и феном.действия низкочаст.и стат.ЭМП на живые сист."Томск,1984,с 3-8.

22.Проблемы донозологической гигиенической диагностики.Матер.науч.всес.конф.Л,1989,327 с.

23.Предельно допустимые уровни воздействия электрических полей частот 0.06-30МГц. СН-4131-86,М,1986,3 с.

24.Пресман А.С.Электромагнитные поля и живая природа.М,1968,с264.

25.Санитарные нормы и правила эксплуатации лазеров.М,1979.

26.Предельно допустимые уровни воздействия постоянных магнитных полей при работе с магнитными устройствами и магнитными материалами.СН-1742-77.М,1978.

27.Справочник по клиническим и лабораторным методам исследований.М,1975,с46.

28.Стандарт СЭВ.Электромагнитные поля радиочастот.СТ СЭВ 5801-86.

29.Теория информации в медицине.Минск,1974,с46-76.

30.Тигранян Р.А. Стресс и его значение для организма.М,1988,с81.

31.Турова Т.Ф.Влияние ЭМП промышленной частоты на показатели белой крови.Сб."Биол.мех.и феном.действ.низкочаст.и стат.ЭМП на жив.сист."Томск,1984,с112-113.

32.Фомин Г.В.Информационные характеристики электромагнитного поля,воздействующего на некоторые системы организма человека.Тез.докл. 1 Всес.биофиз.съезда.Т2,М,1982,с279.

33.ПДУ магнитных полей частот 50ГЦ.Харьков,1986,СН-3206-85.2.

34.Методические указания но гигиенической оценке основных параметров полей частотой 50Гц.Харьков,1986.СН 3207-85.

35.Фомин Г.В. Магнитное и электрическое поле на открытых распределительных устройствах АЭС.Ж. "Гигиена и санитория".М,1983,N2,с85.

36.Разработка критерия радиационной безопасности персонала термоядерных установок. Безопасность работ в высокочастотных полях для персонала,использующего ЭВМ. Отчет Института биофизики МЗ СССР.Инв.Б-4732,1989,24с.

37.Шеннон К.Работы по теории информации и кибернетики.М,1963,с33.

38.Аlpen E.L. Magnetic field exposure guidelines.Proc.Biomagn.Effects Workshop.LBL-7452.1978.

39.Acceleration of reactions exposure from magnetic fields. -New Scientist.24 Apr.1986,N105,p 30.

40.Fluctuation 1/f and tretment of information in biological systems.-Biophysics,1987,v 27,n5,p 206-208.

41.NSSR-1,Volume 6,Occupational Safety,Feb.14,1196,p 20.

42.International Tokamak Reactor INTOR.Phase Two A. Part1.Vienna.1983,p 465.

43.Gabor D. Communication theory and physics. Phil. Mag. 1950,v2,n7.

44.IRPA.Guidelines on limits of exposure to radio frequency electromagnetic fields in frequency range from 100kHz to 300GHz.-Health Physics.1988,v54.1,p115.

45.Magnetic fields.-Geneva,1987,p 197.

46.Power frequency field and biological stress.-18th Annual Hanford Life Science Symposium.1979,p 130.

47.Yamomoto S.F. -Biophysical J.,1962,n2,p 143.

48.Bugiarelo G. Biorheology information theori and cybernetics.-Biorheology,1973,v10,p 117-127.

49.Information content of clinical blood chemistry data. MEDINFO 80. Proc. 3rd word conf. Tokyo,1980,part 1,p 432-436.

50.Biological aplication of the statistical concept used in the Second Law.-J.Ther.Biol. 1983,v105,n1,p 103-106.