

Тема 9. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

9.1. Основные понятия, воздействие и физические характеристики

Воздействие электромагнитных полей (ЭМП) связано с тем, что в электромагнитном поле атомы и молекулы, из которых состоит тело человека, поляризуются и ориентируются по направлению распространения электромагнитного поля; в электролитах, которыми являются жидкие составляющие тканей, крови и т. п., после воздействия внешнего поля появляются ионные токи. Переменное электромагнитное поле вызывает нагрев тканей человека. Тепловой эффект является следствием поглощения энергии электромагнитного поля. Чем больше напряженность поля и время воздействия, тем сильнее проявляются указанные эффекты. Избыточная теплота отводится путем увеличения нагрузки на механизм терморегуляции. Однако, начиная с величины $0,1 \text{ Вт/м}^2$, называемой тепловым порогом, организм не справляется с отводом образующейся теплоты.

Биологическое действие электромагнитных полей *промышленной частоты* на организм человека отличается от воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Длительное воздействие электромагнитных полей промышленной частоты на организм человека вызывает нарушение состояния сердечно-сосудистой и нервной систем. Это выражается в сильных болях в области сердца, изменении кровяного давления и пульса. Основным параметром, характеризующим биологическое действие электромагнитного поля промышленной частоты, является *электрическая напряженность*. Магнитная составляющая заметного влияния на организм не оказывает, так как в действующих установках напряженность магнитного поля промышленной частоты не превышает 25 А/м , а вредное биологическое действие проявляется при напряженностях $150 - 200 \text{ А/м}$. Наряду с биологическим действием электрическое поле обуславливает возникновение разрядов между человеком и

металлическим предметом, имеющим иной, чем у человека, потенциал, а ток разряда может вызвать судороги.

Степень и характер воздействия электромагнитных *полей радиочастотного диапазона* на организм определяются следующими параметрами:

- плотностью потока энергии;
- частотой излучения;
- продолжительностью воздействия;
- режимом облучения (непрерывный, прерывистый, импульсный);
- размером облучаемой поверхности;
- индивидуальными особенностями организма;
- наличием сопутствующих дополнительных вредных факторов (повышенная температура окружающего воздуха свыше 28 °С, наличие рентгеновского излучения).

Воздействие ЭМИ радиочастотного диапазона особенно вредно для тканей со слаборазвитой сосудистой системой или недостаточным кровообращением (глаза, мозг, почки, желудок, желчный и мочевой пузырь). Могут появиться головные боли, повышение или понижение давления, нервно-психические расстройства, быстрое утомление.

Увеличение источников электромагнитных полей приводит к возникновению, так называемого «*электромагнитного смога*», который оказывает вредное воздействие на человека в производственных условиях, среде обитания, а также на живые организмы биосферы Земли.

Опасность воздействия электромагнитных полей усугубляется тем, что они не обнаруживаются органами чувств.

Согласно нормативной документации [1] на рабочих местах могут присутствовать следующие электромагнитные поля (ЭМП):

- электростатические поля (ЭСП);
- постоянные магнитные поля (ПМП);
- электрические и магнитные поля промышленной частоты 50 Гц (ЭП, МП ПЧ);

- электромагнитные поля на рабочих местах пользователей персональными компьютерами (ЭМП ПК) и средствами информационно-коммуникационных технологий (ЭМП ИКТ),

- электрические и магнитные поля (ЭП, МП) в диапазоне частот 10 кГц - 30 кГц,

- электромагнитные поля радиочастотного диапазона (ЭМП РД) в диапазоне 30 кГц - 300 ГГц.

Источниками различного вида электромагнитных полей могут быть:

- технологические установки для индукционной и диэлектрической термообработки различных материалов;

- устройства радиосвязи, телевидения и другие устройства формирования и передачи высокочастотных колебаний;

- являются индукторы, конденсаторы, фидерные линии, соединяющие отдельные части генераторов, трансформаторы;

- линии электропередач (ЛЭП), открытые распределительные устройства, включающие коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики, измерительные приборы, сборные, соединительные шины и вспомогательные устройства;

- электромагниты, соленоиды, импульсные установки, литые и металлокерамические магниты.

Электромагнитное поле характеризуется непрерывным распределением в пространстве, способностью распространяться со скоростью света, воздействовать на заряженные частицы и токи, вследствие чего энергия поля преобразуется в другие виды энергии.

Основными *параметрами* электромагнитных полей являются:

1 - электрическая составляющая, измеряемая в В/м;

2 - магнитная составляющая, измеряемая в А/м;

3 - частота, измеряемая в Гц;

4 - длина волны, измеряемая в м;

5 - энергетическая экспозиция электрической составляющей

электромагнитного поля, измеряемая в $(\text{В}/\text{м}^2) \cdot \text{ч}$;

6 - энергетическая экспозиция магнитной составляющей электромагнитного поля, измеряемая в $(\text{А}/\text{м}^2) \cdot \text{ч}$;

7 - энергетическая экспозиция плотности потока энергии электромагнитного поля, измеряемая в $(\text{Вт}/\text{м}^2) \cdot \text{ч}$;

8 - плотность потока энергии (ППЭ), измеряемая в $(\text{Вт} / \text{м}^2)$ ($1 \text{ Вт} / \text{м}^2 = 100 \text{ мкВт} / \text{см}^2$).

Длина волны λ связана с частотой f следующим соотношением:

$$\lambda = \frac{V_c}{f},$$

где V_c – скорость распространения электромагнитных волн, м/с ($V_c = 3 \cdot 10^8$ м/с);

f – частота электромагнитных волн, Гц.

Плотностью потока энергии называется количество энергии, переносимое электромагнитной волной через площадь в 1 м^2 , расположенную перпендикулярно перемещению электромагнитной волны, в единицу времени.

Пространство вокруг источника электромагнитного поля радиочастотного диапазона условно подразделяется на зоны:

- ближняя зона (зону индукции);
- дальняя зона (зону излучения).

Граница между зонами является величина:

$$R = \frac{\lambda}{2\pi},$$

где λ – длина волны.

В зависимости от расположения зоны, характеристиками электромагнитного поля является:

- в ближней зоне (где $R \leq \lambda/6$) два показателя: составляющая вектора напряженности электрического поля (В/м) и составляющая вектора напряженности магнитного поля (А/м);

- в дальней зоне (где R больше, чем $\lambda/6$) – используется один показатель: энергетическая характеристика, а именно — плотность потока энергии (ППЭ) (Вт/м^2).

9.2. Нормирование электромагнитных полей

Нормирование электромагнитных полей регламентируется санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 2.2.4.3359-16 [1].

9.2.1. Электростатическое поле (ЭСП)

Оценка и нормирование ЭСП осуществляется по уровню электрического поля дифференцированно в зависимости от времени его воздействия на работающего за смену.

Уровень ЭСП оценивают в единицах напряженности электрического поля (E) в международной системе единиц (СИ) измеряется в вольтах на метр [В/м] или в ньютонах на кулон [Н/Кл].

ПДУ напряженности электростатического поля ($E_{\text{ПДУ}}$) при воздействии менее 1 ч за смену устанавливается равным 60 кВ/м; *при воздействии ЭСП более 1 часа за смену $E_{\text{ПДУ}}$ определяются по формуле:*

$$E_{\text{ПДУ}} = 60 / \sqrt{T},$$

где T - время воздействия, ч.

В диапазоне напряженностей 20 - 60 кВ/м допустимое время пребывания персонала в ЭСП без средств защиты ($T_{\text{доп}}$) определяется по формуле:

$$T_{\text{доп}} = (60 / E_{\text{ФАКТ}})^2,$$

где $E_{\text{ФАКТ}}$ - измеренное значение напряженности ЭСП, кВ/м.

При напряженностях ЭСП менее 20 кВ/м время пребывания в электростатических полях не регламентируется. При напряженностях ЭСП, превышающих ПДУ, требуется применение средств защиты.

9.2.2. Постоянное магнитное поле (ПМП)

Оценка и нормирование ПМП осуществляется по уровню магнитного поля для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье)

воздействия в зависимости от времени пребывания работающего в постоянном магнитном поле за смену.

Уровень ПМП оценивают в единицах напряженности магнитного поля (Н) в А/м или в единицах измерения индукции магнитного поля (В) Тл (проводник, создающий магнитную индукцию 1 Тл это на 1 метр длины прямого проводника, перпендикулярного вектору магнитной индукции, с током силой 1 ампер действует сила 1 ньютон).

ПДУ напряженности (индукции) ПМП на рабочих местах представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1

ПДУ постоянного магнитного поля на рабочих местах

Время воздействия за рабочий день, мин	Условия воздействия			
	общее		локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
≤ 10	24	30	40	50
11 - 60	16	20	24	30
61 - 480	8	10	12	15

9.2.3. Электрические поля промышленной частоты (50 Гц)

Оценка и нормирование электрических полей (ЭП) частотой 50 Гц осуществляется по напряженности электрического поля (Е) в В/м в зависимости от времени его воздействия на работающего за смену.

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП частотой 50 Гц на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м.

При напряженностях в интервале 5...20 кВ/м включительно допустимое время пребывания Т (ч) в ЭП рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{50}{E} - 2,$$

где Е - напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м;

Т - допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч.

При напряженности 20...25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин.

При напряженности ЭП, превышающей 25 кВ/м, требуется применение средств защиты. Работа без средств защиты запрещена.

Допустимое время пребывания в ЭП может быть реализовано одноразово или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время необходимо находиться вне зоны влияния ЭП или применять средства защиты.

Время пребывания персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью ЭП ($T_{\text{пр}}$) вычисляют по формуле:

$$T_{\text{пр}} = \sum_{i=0}^n \frac{t_{E_i}}{T_{E_i}} \leq 1,$$

где $T_{\text{пр}}$ - приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту пребыванию в ЭП нижней границы нормируемой напряженности;

$t_{E_1}, t_{E_2} \dots t_{E_i}$ - время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью $E_1, E_2 \dots E_i$, ч;

$T_{E_1}, T_{E_2} \dots T_{E_i}$ - допустимое время пребывания для соответствующих контролируемых зон.

Суммарное время не должно превышать 8 ч.

Количество контролируемых зон определяется перепадом уровней напряженности ЭП на рабочем месте. Различие в уровнях напряженности ЭП контролируемых зон устанавливается 1 кВ/м.

9.2.4. Магнитные поля промышленной частоты (50 Гц):

Оценка и нормирование синусоидального (периодического) магнитного поля (далее - МП) частотой 50 Гц осуществляется по напряженности (Н) в А/м или индукции (В) в Тл для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье) воздействия в зависимости от времени пребывания работающего в переменном магнитном поле за смену. ПДУ воздействия магнитного поля частотой 50 Гц приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.2.

ПДУ синусоидального (периодического) магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания, ч	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии	
	общем	локальном
≤ 1	1 600 / 2 000	6 400 / 8 000
2	800 / 1 000	3 200 / 4 000
4	400 / 500	1 600 / 2 000
8	80 / 100	800 / 1 000

ПДУ МП синусоидального (периодического) частотой 50 Гц внутри временных интервалов определяется в соответствии с кривой интерполяции, представленной на рис. 9.1.



Рисунок 9.1 - Кривая интерполяции ПДУ магнитных полей частотой 50 Гц в зависимости от времени

При необходимости пребывания персонала в зонах с различной напряженностью (индукцией) синусоидального (периодического) МП общее время выполнения работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью.

Допустимое время пребывания работника может быть реализовано

одноразово или дробно в течение рабочего дня.

9.2.5. Электромагнитные поля диапазона частот 10 кГц - 30 кГц (ЭП, МП)

Оценка и нормирование электромагнитных полей осуществляется *раздельно* по напряженности электрического (Е), в В/м, и магнитного (Н), в А/м, полей в зависимости от времени воздействия.

ПДУ напряженности электрического и магнитного поля при воздействии в течение всей смены составляет 500 В/м и 50 А/м соответственно.

ПДУ напряженности электрического (Е), в В/м, и магнитного (Н), в А/м поля при продолжительности воздействия до 2 часов за смену составляет 1 000 В/м и 100 А/м соответственно.

9.2.6. Электромагнитные поля частот диапазона 30 кГц - 300 ГГц (ЭМП РД)

Оценка и нормирование ЭМП диапазона частот 30 кГц - 300 ГГц *осуществляется по величине энергетической экспозиции (ЭЭ).*

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот 30 кГц - 300 МГц рассчитывается по формулам:

$$\text{ЭЭ}_E = E^2 \cdot T, (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч},$$

$$\text{ЭЭ}_H = H^2 \cdot T, (\text{А/м})^2 \cdot \text{ч},$$

где Е - напряженность электрического поля, В/м;

Н - напряженность магнитного поля, А/м;

Т - время воздействия за смену, ч.

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц рассчитывается по формуле:

$$\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}} = \text{ППЭ} \cdot T, (\text{мкВт/см}^2) \cdot \text{ч},$$

где ППЭ - плотность потока энергии (мкВт/см²).

ПДУ энергетических экспозиций (ЭЭ_{пду}) на рабочих местах за смену представлены в таблице 9.4.

Таблица 9.4

ПДУ энергетических экспозиций ЭМП диапазона частот 30 кГц - 300 ГГц

Параметр	ЭЭ _{пду} в диапазонах частот, МГц				
	0,03 - 3,0	3,0 - 30,0	30,0 - 50,0	50,0 - 300,0	300,0 - 300000,0
ЭЭ _Е , (В/м) ² · ч	20 000	7 000	800	800	-
ЭЭ _Н , (А/м) ² · ч	200	-	0,72	-	-
ЭЭ _{ППЭ} , (мкВт/см ²) · ч	-	-	-	-	200

Для кратковременного воздействия (менее 0,2 ч за рабочую смену) ПДУ напряженности электрического и магнитного полей, плотности потока энергии ЭМП не должны превышать значений, представленных в таблице 9.5.

Таблица 9.5

Максимальные ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц - 300 ГГц

Параметр	Максимально допустимые уровни в диапазонах частот (МГц)				
	0,03 - 3,0	3,0 - 30,0	30,0 - 50,0	50,0 - 300,0	300,0 - 300 000,0
Е, В/м	500	300	80	80	-
Н, А/м	50	-	3,0	-	-
ППЭ, мкВт/см ²	-	-	-	-	1 000

Для случаев облучения от устройств с перемещающейся диаграммой излучения (вращающиеся и сканирующие антенны с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 20) и локального облучения рук при работах с микрополосковыми устройствами предельно допустимый уровень плотности потока энергии для соответствующего времени облучения (ППЭ_{пду}) рассчитывается по формуле:

$$\text{ППЭ}_{\text{пду}} = K \cdot \text{ЭЭ}_{\text{пду}} / T,$$

где K - коэффициент снижения биологической активности воздействий;

K = 10 - для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн;

K = 12,5 - для случаев локального облучения кистей рук (при этом уровни воздействия на другие части тела не должны превышать 10 мкВт/см²).

9.3. Методы и средства защиты от электромагнитных полей и излучений

Основными методами и средствами защиты от электромагнитных полей являются:

- 1) уменьшение мощности электромагнитного поля в источнике возникновения;
- 2) увеличение расстояния от источника до рабочего места;
- 3) изменение направленности электромагнитного излучения;
- 4) ограничение времени пребывания в опасной зоне;
- 5) обработка помещения материалами с наименьшими коэффициентами отражения;
- 6) применение радиопоглощающих материалов и поглотителей мощности, преобразующих энергию электромагнитного поля в тепловую, которая затем рассеивается;
- 7) размещение оборудования в отдельном помещении, применение дистанционного управления;
- 8) применение защитной сигнализации и блокировок;
- 9) применение защитных экранов из материалов с высокой электропроводностью и магнитной проницаемостью;
- 10) индивидуальные средства защиты.

9.3.1. Экранирование

Наиболее эффективный способ защиты.

Для отражающих экранов используют металлы (медь, латунь, алюминий, сталь), имеющие высокую проводимость.

Экраны применяются в виде:

- листов толщиной 0,5 мм (или по расчёту);
- сетки из проволоки 0,1÷1,0 мм с ячейками 1×1, 10×10 мм (в зависимости от λ , сторона ячейки должна быть $\ll \lambda$).

Форма экранов: замкнутые (камеры); незамкнутые (щит, П-образный, полусфера и т.п.).

При использовании экранов ЭМ энергия поглощается в поверхностном слое металла, частично отражаясь в сторону источника. Основная

характеристика экрана - эффективность экранирования, т.е. степень ослабления ЭМП $\mathcal{E} = \sigma / \sigma_{\text{с экр.}}$.

Экраны должны быть заземлены.

Частично отраженную от экранов и оборудования энергию поглощают с помощью радиопоглощающих покрытий из непроводящих материалов (каучук, поролон и др., с проводящими добавками), где энергия рассеивается в виде тепловых потерь.

Другой вид поглощающих покрытий действует по принципу вычитания амплитуд прямой и запаздывающей отражённых волн. Это интерференционные поглощающие покрытия.

При невозможности экранировать источник и защититься от утечки, экранируют рабочее место, используя эластичные материалы для чехлов, спецодежды (х/б ткань с металлическим проводом в виде сетки с ячейкой $\leq 0,5$ мм). Площадь нормируется от 40 до 70 м² в зависимости от мощности источника. Металлические предметы и оборудование, отражающие предметы и оборудование, отражающие утечки энергии, удаляют.

В условиях производства, связанного с воздействием ЭМП на работающих, все изолированные от земли крупногабаритные металлоконструкции, машины, механизмы и другие металлические объекты должны быть заземлены.

Дополнительная литература

1. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»